

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

1-2/2017

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics



Szkolenia, egzaminy i certyfikacja personelu NDT

TÜV Rheinland Polska organizuje szkolenia z badań nieniszczących w 1., 2. i 3. stopniu kwalifikacji w metodach ET, MT, PT, VT, RT, UT oraz technikach UT-PA (Phased Array) i UT-TOFD według wymagań normy EN ISO 9712. Oferowane szkolenia obejmują zakres Dyrektywy Urządzeń Ciśnieniowych 2014/68/UE.

Egzaminy kwalifikacyjne i proces certyfikacji przeprowadzane są przez niezależną i akredytowaną przez PCA Jednostkę Certyfikującą Osoby (nr AC 195). TÜV Rheinland Polska jest również uznaną organizacją trzeciej strony (nr NB 2627) upoważnioną do poświadczania kompetencji personelu NDT prowadzącego badania połączeń nierozłącznych na urządzeniach ciśnieniowych kategorii III i IV wg dyrektywy 2014/68/UE.



AC 195

www.tuv.pl

 **TÜVRheinland®**
Precisely Right.

ISSN 2451-4462





Twój Mentor pomocze Ci podjąć właściwą decyzję

Przedstawiamy WideoEndoskop
- Mentor Visual iQ™

Mentor Visual iQ™ to szybsze i dokładniejsze badania. Łączność w czasie rzeczywistym, intuicyjny ekran dotykowy, indywidualne profile użytkownika oraz trójwymiarowe obrazowanie w Pomiarze Fazowym 3D, to tylko niektóre możliwości, znacznie podnoszące efektywność badań wizualnych. Inteligentne rozwiązania wbudowane w urządzenie VideoProbe™, to nie tylko większa efektywność badań, ale przede wszystkim trafniejsze decyzje.

Więcej na temat nowego podejścia
GE do badań nieniszczących na:
mentorvisualiQ.com lub endoskopy.pl





Badania Nieniszczące i Diagnostyka
Agenda Wydawnicza SIMP
ul. Sabaly 11a, 71-341 Szczecin
tel. +48 576 400 550
e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl
www.bnid.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL BOARD

REDAKTOR NACZELNY / EDITOR-IN-CHIEF

Jerzy Nowacki

Z-CY REDAKTORA NACZELNEGO / DEPUTES EDITOR-IN-CHIEF

Tomasz Chady, Ryszard Pakos

SEKRETARZ NAUKOWY / SCIENTIFIC SECRETARY

Grzegorz Psuj

REDAKTOR JĘZYKOWY / EDITOR OF LANGUAGE AFFAIRS

Marcin Żytkowiak

REDAKTOR STATYSTYCZNY / EDITOR OF STATISTIC AFFAIRS

Sławomir Krajewski

REDAKTOR WYDAWNICZY / PUBLISHING EDITOR

Adam Sajek

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METHODOLOGY

Dr Sławomir Mackiewicz, Dr Marek Śliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH

Mgr Bogdan Piekarczyk, Mgr Marta Wojaś

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ

/ EQUIPEMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH

Dr Grzegorz Jezierski, Mgr Marek Lipnicki

PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ

/ PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH

Dr Krzysztof Dragan, Mgr Bogusław Olech, Mgr Darek Wojdała

DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS

Dr Bogusław Ładecki, Dr Ryszard Nowicki

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA
/ INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny 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, Brasil

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, Grece

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 Jan Kielczyk, Energomontaż-Północ, Polska

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, Instytut Lotnictwa, 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. Joao M A Rebello, Federal University of Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Artur Lopes Ribeiro, Instituto Superior Técnico, Portugal

Prof. Maria Helena Robert, University of Campinas, Brasil

Dr hab. Maciej Roskosz, Politechnika Śląska, Polska

Prof. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Polska

Prof. Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wrocławska, Polska

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

Prof. Jacek Ślania, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, Polska

Prof. Jacek Szeląg, IPPT PAN, Polska

Prof. Andrzej Szymański, Politechnika Śląska, Polska

Dr Marek Śliwowski, NDTTEST Warszawa, Polska

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

Prof. Yuji Tsuchida, Oita University, Japan

Prof. Andrzej Tytko, AGH Kraków, Polska

Prof. Lalita Udpa, Michigan State University, USA

Prof. Gábor Vértessy, 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 1-2/2017

ISSN 2451-4462

VOLUMEN 2

SPIS TREŚCI

Yuriy Yaremenko

Ultraviolet irradiation hazard aspects and proactive ways of its impact
reduction on personnel performing penetrant or magnetic particles
testing* 3

Uwe Ewert, Theobald Fuchs

Progress in Digital Industrial Radiology

Part II: Computed tomography (CT)* 7

Roman Gruca

Znaczenie kompetencji personelu NDT* 16

Jim Costain, Neil R. Pearson, Matthew A. Boat, Radosław Boba

Możliwości współczesnych skanerów den zbiorników działających
w oparciu o metodę strumienia rozproszenia pola magnetycznego* 20

Tadeusz Morawski

Zapewnienie jakości spoin w konstrukcjach stalowych* 24

Lista recenzentów w roku 2016 29

Amadeusz Opas, Ryszard Pakos

Dobór liczby naświetlań w badaniach radiograficznych* 31

Alexander Balitskii, Karol Franciszek Abramek, Małgorzata Mroziak,

Tomasz Stoeck, Tomasz Osipowicz

Fuel injection influence at engine start-up moment on diagnostic
parameter blow – by phenomenon* 36

Alexander Balitskii, Ihor Ripey, Vasyl Garda, Jacek Elias

Application of technical diagnostic parameters for evaluation of
serviceability forcible power plants high temperature pipelines* 39

Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów 43

Sławomir Mackiewicz

Detektory promieniowania stosowane w cyfrowej radiografii
bezpośredniej* 44

Alekandra Sytlak, Bogusław Olech

Medal im. Pana Profesora Zdzisława Pawłowskiego 52

Grzegorz Psuj

Konferencje NDT 55

Informacje dla Autorów i Czytelników 60

* - artykuł recenzowany

REKLAMY NA OKŁADCE

TUV 1

EVEREST 2

TELEMOND 3

MR Chemie 4

REKLAMY W NUMERZE

Instytut Spawalnictwa 2

EVEREST 6

46. KKBN 15

CASP 18, 19, 30, 35

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA
/PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION

casp system
ADVANCED TECHNOLOGIES



MR
NDT-materials



PTBNiDT

badania wizualne
Everest
Polska www.endoskopy.pl





INSTYTUT SPAWALNICTWA
Polskie Spawalnicze Centrum Doskonałości

KURSY **w zakresie badań nieniszczących**

według programów Instytutu Spawalnictwa
zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 9712

Zapraszamy na kursy z zakresu badań:

- wizualnych (VT)
- penetracyjnych (PT)
- magnetyczno-proszkowych (MT)
- radiograficznych (RT)
- ultradźwiękowych (UT)

NAUKA DLA PRZEMYSŁU

Szkolenie w sektorze przemysłowym „Utrzymanie ruchu kolei” w metodzie UT

Absolwenci, po zdaniu egzaminu prowadzonego przez Transportowy Dozór Techniczny (TDT), otrzymują Certyfikat Personelu Badań Nieniszczących TDT.

Nowość:

Badania wizualne odlewów i odkuwek

Kurs uzupełniający przeznaczony jest dla personelu badań wizualnych 2. stopnia kwalifikacji (VT2), z uprawnieniami wyłącznie do badania złączy spajanych i przerabianych plastycznie.

Instytut Spawalnictwa
ul. Bł. Czesława 16-18, 44-100 Gliwice
tel.: 32 231 00 11, fax: 32 231 46 52
is@is.gliwice.pl, www.is.gliwice.pl

Yuriy Yaremenko*
MR Chemie GmbH, Germany

Ultraviolet irradiation hazard aspects and proactive ways of its impact reduction on personnel performing penetrant or magnetic particles testing

Aspekty zagrożenia napromieniowaniem UV oraz aktywne sposoby redukcji jego oddziaływania na personel wykonujący badania penetracyjne lub magnetyczne

ABSTRACT

Ultraviolet (UV) irradiation is a part of interpretation process in fluorescent sub-methods of penetrant testing (PT) and magnetic particles inspection (MPI). Therefore exposure to UV and its hazard consequences should be considered by Health and Safety Executives inherently with test media hazards.

UV filtered spectacles, masks and clothing which covers exposed parts of the body are essential part of protective measures for operators. Alongside with the operator, the risk of exposure to surrounding personnel is always existent. Therefore, comprehensive approach to protective measures is needed, and UV basics, UV harmful impact and types of artificial sources should be studied more thoroughly.

This work analyzes hazard aspects of UV irradiation, compares UV irradiation influence emitted from different UV sources and offers to consider UV LED sources as proactive measure of UV exposure reduction on personnel.

Keywords: fluorescent penetrant testing, magnetic-particles inspection, UV irradiation, personnel safety

STRESZCZENIE

Promieniowanie ultrafioletowe (UV) jest stałym elementem w procesie interpretacji wyników badań penetracyjnych (PT) oraz magnetyczno-proszkowych (MP). Dlatego konieczne jest rozważenie skutków zagrożeń spowodowanych ekspozycją na promienie UV przez służby BHP. Okulary, maski i odzież, która obejmuje odsłonięte części ciała, są istotną częścią środków ochronnych dla operatorów. Ryzyko narażenia personelu uczestniczącego w badaniach istnieje zawsze. Dlatego kompleksowe podejście do środków ochronnych UV jest potrzebne, a szkodliwe oddziaływanie i rodzaje sztucznych źródeł promieniowania powinny być zbadane bardziej dokładnie.

Ta praca analizuje aspekty zagrożenia napromieniowaniem UV, porównuje wpływ promieniowania ultrafioletowego emitowanego z różnych źródeł promieniowania UV i oferuje do rozważenia UV LED jako źródła aktywnego środka redukcji narażenia pracowników na promieniowanie UV.

Słowa kluczowe: fluorescencyjne testy penetracyjne, badania magnetyczno-proszkowe, promieniowanie UV, bezpieczeństwo personelu



MSc

Yuriy Yaremenko

1. Ultraviolet irradiation in non-destructive testing

UV light is electromagnetic radiation with a wavelength shorter than visible light, but longer than X-rays. Whole UV spectrum lies in the range of 100 – 400 nm and typically cannot be seen by human eye. Basically, UV is classified in 3 wavelength bands. Short wavelength UV-C [100...280nm], middle wavelength UV-B [280...315nm] and long – UV-A [315...400nm]. In non-destructive testing, UV-A spectrum is permissible with a peak at 365 ± 5 nm.

According to [2] and [3] particular requirements to the UV spectrum profile are prescribed as well. Such strict approach to standardize and limit UV spectrum is caused by the fact that different UV wavelength bands have different influence on human health. Let us look at these main differences.

2. Ultraviolet hazard aspects

Parts of human body affected by UV are eyes and skin. The lens of the eyeball is more sensitive to UV-A and part of UV-B bands. Starting from 300 nm this and higher wavelength of the UV are absorbed by lens and cause protein changes. On the other hand, the layer of the skin called epidermis is more sensitive to UV-B irradiation, whereas UV-A is passing by to deeper layer, i.e. the dermis. UV-B spectrum plays a key role in DNA changes in epidermis cells, and both UV-B and UV-A contribute to skin aging (photoaging). It is worth mentioning that alongside with UV spectrum, there is another harmful light band belonging to visual spectrum, namely violet light [400 ... 490 nm]. This light band affects the back wall of the eyeball and its element called macula.

*Corresponding author. E-mail: yaremenko@mr-chemie.de

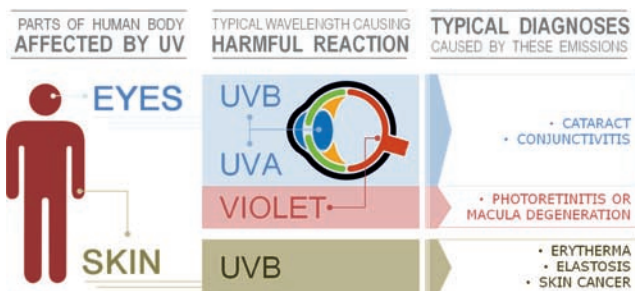


Fig. 1. Infographic of UV irradiation hazard aspects.

Rys. 1. Schematyczny podział zagrożeń promieniowaniem UV.

Typical diagnoses caused by each band of wavelength are: conjunctivitis and cataract for the eyes affected by UV-A and UV-B; Macula degeneration for the eyes affected by violet light emission; erythema, elastosis (photoaging) and skin cancer for the skin – mainly by UV-B.

After the overview of causes leading to the most harmful consequences to the human health, it is important to consider the relationship between the wavelength of the light emitted and power of its effects.

3. Wavelength and the power of exposure correlation

[1] set requirements regarding personnel protection exposed by the artificial optical radiation to the eyes and to the skin. UV exposure limits values for 8 hours shift draw up: 30 J/m² for the general UV spectrum (180-400 nm) and 104 J/m² for UV-A band only.

These values demonstrates that biophysical impact of the UV-B and UV-C spectrum dose is seen as a lot more harmful than UV-A. Graphical interpretation, as shown on Figure 2, describes detailed relationship between biophysical impact of different UV bands, using Action spectrum Index, $S(\lambda)$.

When we impose on this graphic Xenon, Mercury or other type of conventional UV source (Fig. 3) and compare the overlay with the spectrum of UV Light Emitted Diodes (LEDs) (Fig. 4), it clearly shows that conventional UV sources have much more intensive effects on operator than UV based on LED source. Taking into account logarithmic

Selective example of Xenon UV Lamp spectrum with built-in UV filter rscale of action spectrum index $S(\lambda)$, the harmful influence becomes sizable even at UV bands with low intensity.

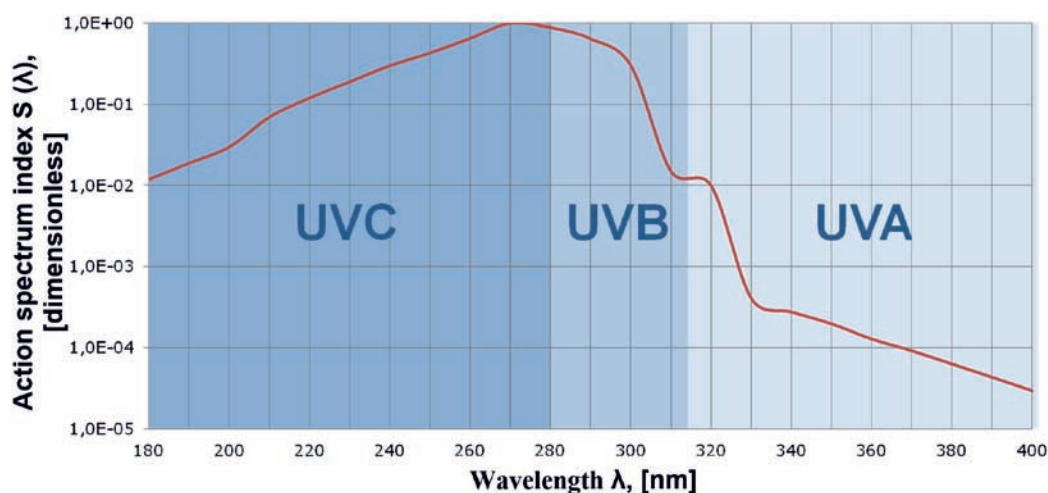


Fig. 2. Biophysical impact of UV irradiation as a function of wavelength. Graphical interpretation of the data obtained from 2006/25/ EC Directive.

Rys. 2. Biofizyczny wpływ napromieniania UV, w zależności od długości fali. Graficzna interpretacja danych uzyskanych z Dyrektywy 2006/25 / EC.

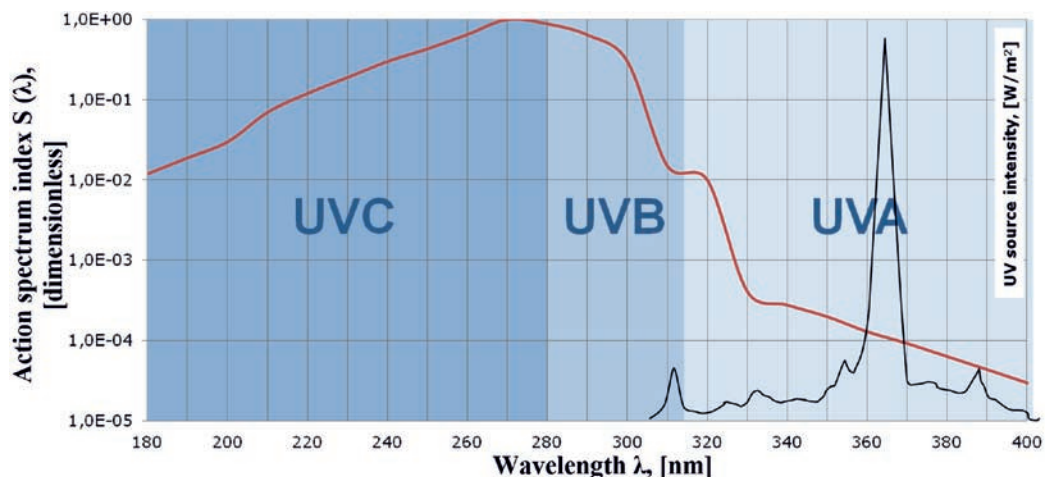


Fig. 3. Selective example of Xenon UV Lamp spectrum with built-in UV filter.

Rys. 3. Przykład widma ksenonowej lampy UV z wbudowanym filtrem UV.

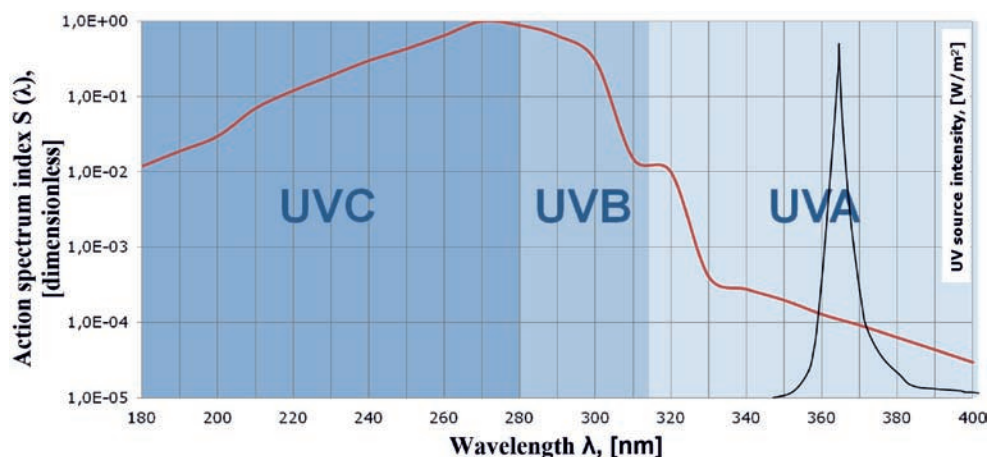


Fig. 4. MR 974 UV LED Lamp spectrum.

Rys. 4. Widmo lampy UV LED MR 974.

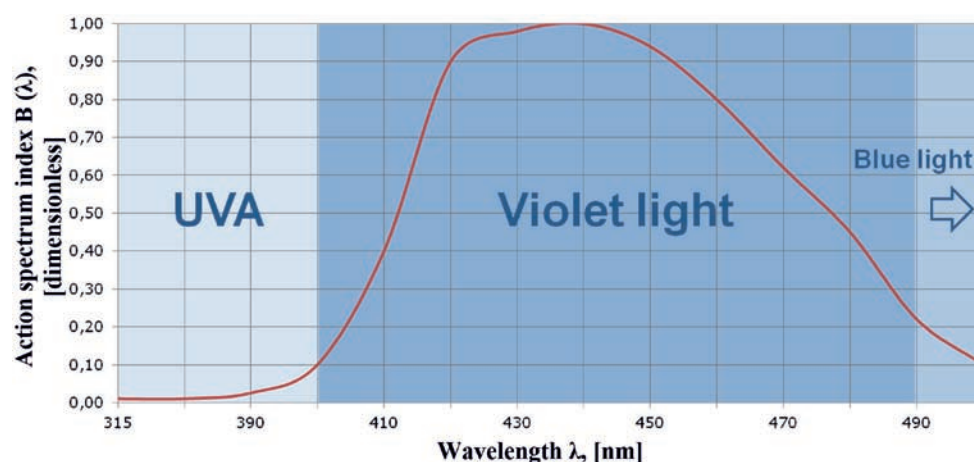


Fig. 5. Photochemical impact of Violet light spectrum. Graphical interpretation of the data obtained from 2006/25/EC Directive.

Rys. 5. Spektrum działania fotochemicznego światła fioletowego. Graficzna interpretacja danych z Dyrektywy 2006/25 / EC.

Moreover, in course of time, UV filter age and the borders of intercepted spectrum expand, and unwished UV wavelengths (which emitted unfiltered conventional UV source) are amplified. On the other hand, LEDs produce narrower UVA spectrum and do not irradiate UVB spectrum at all, no matter whether these irradiations are filtered additionally or not.

Besides UV spectrum, Health and Safety executives need to pay attention to violet light band, whose harmful spectrum sometimes underestimated. Figure 5 illustrates the difference in action of Violet light spectrum in association with Macula degeneration diagnosis.

Alongside with conventional UV sources, UV lamps with any kind of UV source, which produce spectrum of visible light in wavelength 400 – 490 nm should be avoided. Furthermore, background with the same violet band is typically registered on examination surface, during its exposure under permissible 365 nm UV. Consequently, the higher the concentration of UV beam generates UV lamp, the more intense the violet light emissions reflect from examination surface to the operator.

4. Summary

Thus, there is a list of preventive measures, which have to be taken into account for reduction of UV irradiation impact on personnel when perform PT or MPI.

- Use personal protective equipment against UV irradiation
- Avoid UV sources with any portion of UVB spectrum
- If conventional UV sources, as mercury, xenon, etc. are still in operation, replace UV filter regularly
- Avoid any UV sources with violet light irradiation [400...490 nm]
- Consider UV sources based on LED technology
- Avoid UV sources with intensive and concentrated UV beams

5. References/Literatura

- [1] European Directive 2006/25/EC
- [2] EN ISO 3059: 2012 Penetrant testing and magnetic particle testing – Viewing conditions
- [3] ASTM 3022-15 Standard Practice for Measurement of Emission Characteristics and Requirements for LED UV-A Lamps Used in Fluorescent Penetrant and Magnetic Particle Testing

Przenieś swoje Badania wizualne w nowy wymiar z Mentorem Visual iQ

Zaawansowane wideo boroskopy umożliwiają inspektorom wykrywanie, pomiar oraz analizę nieciągłości przy pomocy 3-wymiarowych modeli, oraz współdzielenie tych obrazów i danych z odległymi ekspertami. Dokonuj pomiarów na zarejestrowanych obrazach i weryfikuj na prezentowanym równoległym modelu 3D.

Pomiar Fazowy 3D - opatentowana technologia wykorzystująca projekcję wzorca oraz analizę przesunięcia fazowego w celu generowania 3-wymiarowego modelu badanego obszaru. Doskonałej jakości, pełnoekranowy obraz z możliwością pomiaru w dowolnym momencie, bez konieczności wymiany obiektywów, zapewnia wiarygodne wyniki badań. Dostępne na sondach o średnicy 6,1 mm.

Pomiar Stereo 3D - połączenie opatentowanej technologii pomiaru stereo z zaawansowanymi algorytmami analizy obrazu do generowania 3-wymiarowych modeli badanych powierzchni. Sprawdzaj uzyskane wyniki pomiarów na prezentowanym równoległym modelu 3D.

Podjęmij trafniejsze decyzje z 3-wymiarowym modelem.

Pomiary w oparciu o 2-wymiarowe, płaskie obrazy w tradycyjnej technologii stereo lub cienia, mogą prowadzić do kosztownych pomyłek. Pomiar Fazowy lub Stereo 3D, dostępne tylko w urządzeniach GE serii Mentor Visual iQ, generują pełny 3-wymiarowy model obserwowanej powierzchni. Ten 3-wymiarowy model, wraz z umieszczonymi na nim punktami pomiarowymi, może być obracany i obserwowany pod różnymi kątami, minimalizując ryzyko pomyłek, umożliwia podjęcie optymalnej decyzji.



technologia badań wizualnych
Everest
Polska



Channel Partner
GE Oil & Gas

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

Wybierz właściwy, dla Twojego badania, typ pomiaru.



Długość

- Prosty pomiar wielkości uszkodzeń lub elementów
- Długość pęknięcia
- Zmiana wielkości komponentu w wyniku odkształcenia lub erozji/korozji/zużycia
- Ocena wielkości wskaźników zużycia
- Położenie uszkodzenia na badanej części



Punkt do linii

- Uszkodzenia krawędzi łopatek turbin
- Szerokość przerwy
- Szerokość spoiny
- Brakujące krawędzie łopatek



Multi-Segment

- Całkowita długość pęknięcia
- Długość zapalierowania łopatki lub określenie kąta wejścia
- Pomiary odległości na powierzchniach nieregularnych lub zakrzywionych, dokładniejsze niż przy użyciu prostego pomiaru długości



Obszar

- Brzozy łopatek
- Uszkodzenia powłoki
- Powierzchnia wżerów lub korozji
- Zakres wpływu FOD



Głębokość

- Pomiar luzów wierzchołkowych
- Zagłębienia lub wżery korozyjne, erozyjne lub wpływu FOD
- Wewnętrzna średnica rury
- Wysokość spoiny
- Kamień na stojanie
- Szerokość przerwy



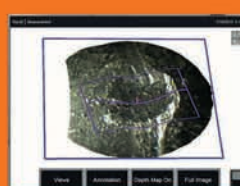
Profil głębokości

- Głębokość ubytków korozyjnych lub zagłębień erozyjnych
- Głębokość uszkodzeń z powodu FOD
- Wysokość spoiny lub głębokość rys, rowków, nacięć
- Szybka ocena kształtu powierzchni



Profil obszaru głębokości

- Korozja, erozja i wżery
- Szkody spowodowane FOD
- Maksymalna wysokość spawu
- Maksymalna głębokość bruzdy



Płaszczyzna pomiarowa

- brakujące narożniki łopatek - z pomiarem Obszaru
- uszkodzenia krawędzi łopatek - z pomiarem Punkt do linii
- pomiar luzu wierzchołkowego - z pomiarem Głębokości
- pomiar małych elementów - z pomiarem Długości lub Punkt do linii
- analiza wielkości zagłębienia - z Profilem obszaru głębokości



Uwe Ewert^{1*}, Theobald Fuchs²

¹BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Germany

²Fraunhofer Development Center X-ray Technology, Germany

Progress in Digital Industrial Radiology Part II: Computed tomography (CT)

Postępy w cyfrowej radiografii przemysłowej Część II: Tomografia komputerowa

ABSTRACT

Part 1: Film Replacement and Backscatter Imaging. The related paper was published in Vol 1-2/2016 of this journal.

Part 2: Computed tomography (CT). Applications cover the range from nano-meter to meter scale. New specialized high energy CT devices have been laid out for inspection of large building structures or complete cars before and after crash tests. The scope of typical CT applications changes from flaw detection to dimensional measurement in industry substituting coordinate measurement machines. First applications of at line or in line inspection in production lines of car industry are discussed. CT is applied for a variety of applications, where selected areas as e.g. plant and food research in outlined. Mobile computed tomography is applied for in-service radiographic crack detection and sizing of welded pipes in nuclear power plants and for NDT of large CFRP structures of airplanes.

Part 3: Micro Radiography and Micro CT. To be published in this journal.

STRESZCZENIE

Podobnie jak w przypadku zakończonego sukcesem wdrożenia fotografii cyfrowej, bardzo istotne zmiany można zaobserwować także w cyfrowej radiologii przemysłowej. Niniejsza praca jest podzielona na 3 części:

Część 1: Następcą błony radiograficznej i obrazowanie za pomocą rozproszenia wstecznego – publikacja ukazała się w wydaniu Nr1-2/2016 tego czasopisma.

Część 2: Tomografia komputerowa (CT). Zastosowania tomografii obejmują obiekty o wielkości od nanometrów do metrów. Nowe dedykowane urządzenia wysokoenergetycznej tomografii komputerowej skonstruowano w celu inspekcji dużych konstrukcji budowlanych czy też całych samochodów przed i po testach zderzeniowych. Cel typowego zastosowania tomografii komputerowej uległ zmianie z detekcji wad na wymiarowanie wyrobów przemysłowych, co spowodowało zastąpienie współrzędnościowych maszyn pomiarowych. W pierwszej kolejności omówiono zastosowanie tomografii komputerowej na liniach produkcyjnych w przemyśle samochodowym. Tomografia komputerowa ma wiele zastosowań, w tym np. badanie roślin i żywności. Przenośne tomografy komputerowe wykorzystywane są do wykrywania defektów i wymiarowania spawanych rur w elektrowniach jądrowych, a także do inspekcji dużych elementów konstrukcji lotniczych wykonanych z kompozytów węglowych.

Część 3: Mikroradiografia i mikrotomografia komputerowa.

Keywords: digital radiography, computed tomography, laminography, CFRP, aerospace, automotive

Słowa kluczowe: radiografia cyfrowa, tomografia komputerowa, laminografia, kompozyty węglowe, przemysł lotniczy, przemysł motoryzacyjny



DSc

Uwe Ewert

1. Introduction

Computed Tomography (CT) for 3D inspection is applied more and more for industrial applications following its establishment in medicine. In the 1990s, Computed Tomography devices were commonly used for investigations of materials in laboratories of universities and in industrial research. CT was introduced during the last 15 years in industrial quality assurance based on the increasing computer power and the availability of highly sensitive digital detector arrays (DDA). The application areas of CT are diverse and extensive, since any material or component can be examined



Chief Scientist

Theobald Fuchs

with CT. The major application areas of CT in science and industry are nondestructive testing, 3D materials characterization and dimensional measurements (metrology). At the 6th Conference on Industrial Computed Tomography (ICT) in 2016, it was concluded [1]: “CT is a non-touching, non-destructive method which reveals the complete 3D geometry of a specimen including inner surfaces. For research, CT is an excellent tool to support the development of new materials, new processes and new parts, but it is also used for quality control and failure analysis”.

Radiography and CT cover a wide application range, despite upcoming alternative NDT methods as phased array ultrasonics with synthetic aperture focusing for 3D

*Corresponding author. E-mail: uwe.ewert@bam.de

visualization [2] and complex electromagnetic methods, as e.g. THz-based inspections [3]. Radiography and CT are used in a range from a few keV up to about 15 MeV for industrial use and cover applications in the nano-meter to meter range. Selected radiographic application areas will be discussed in this paper. μ - and nano-CT will be covered in a separated paper in this journal.

2. Computed Tomography

2.1 Stationary Industrial Computed Tomography

Computed Tomography (CT) is an X-ray based method for the complete visualization of inner structures and surfaces or interfaces, respectively. The object under inspection is typically rotated during a scan, and several hundred radiographic projections are acquired with a digital detector array. Numeric procedures as e.g. the filtered back-projection, are used to reconstruct the three dimensional (3D) volume images. The ability of CT for measurement of dimensions is well known since its first application in the 70ties. The Nobel Prize was awarded to Cormack and Hounsfield in 1979 for "Computer Assisted Tomography". The first devices were described in scientific literature in 1972. The major application area for CT was and continues to be medicine. Soon after successful medical application, the first CT investigations were performed for material's science and flaw detection.

In the 1990s, the use of CT devices was common for material investigations in institutes and universities as well as in industrial research. With increasing computer power, CT was introduced 15 years ago in industrial quality assurance. Since then the accuracy of CT could be significantly improved, simultaneously the modern CT scanners can be produced with relatively affordable costs. This makes the CT technology interesting as touchless measurement tool for inner and outer dimensions.

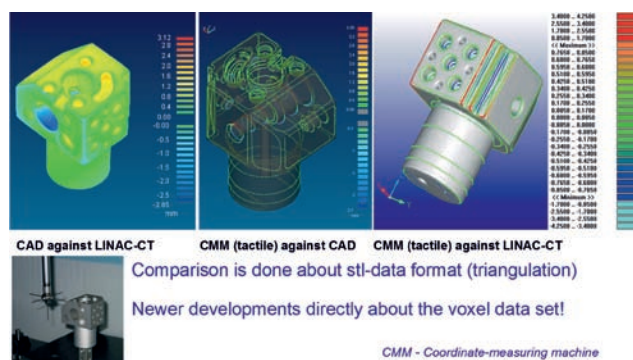


Fig. 1. Result of the comparison of the accuracy of high energy CT with a CMM measurement. The accuracies are encoded by color.

Rys. 1. Porównanie dokładności w przypadku wysokoenergetycznej tomografii komputerowej i współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Zakres tolerancji wymiaru odpowiada skali barw

2.2 Dimensional Measurement

The ability of CT for measurement of dimensions is well known since its first application in the 70ties. This makes the CT technology interesting as NDT and touchless measurement tool for dimensions, and especially, for inner dimensions which cannot be accessed by mechanical or optical

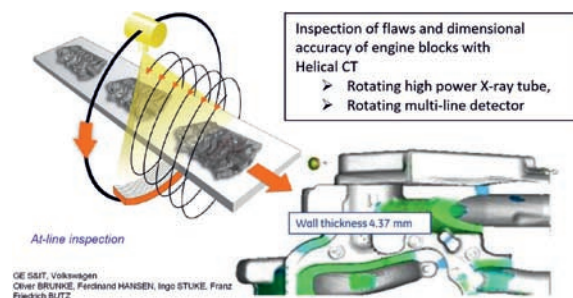


Fig. 2. At-line inspection of engine blocks in the manufacturing process with helical CT for defect detection and dimensional measurement.

Rys. 2. Inspekcja bloków silników podczas procesu produkcyjnego za pomocą spiralnej tomografii komputerowej w celu wykrywania defektów i wymiarowania.

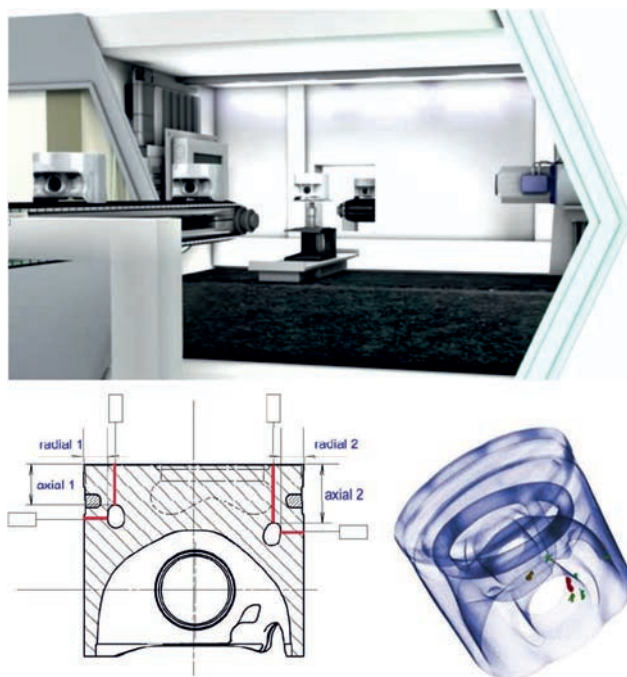


Fig. 3. Inline monitoring of piston production with X-ray CT. Top: the interior of the CT-system with pistons delivered through the front door, placed on a turn table between the X-ray tube (right hand side) and a digital detector array (left hand side). The exact design of the piston (lower left) is given to a fully automatic software algorithm to detect voids, cracks or deviations from the specified geometry (noncritical in green and shrinkage in red in the 3D visualization; lower right)

Rys. 3. Bieżące monitorowanie procesu produkcji tłoka z zastosowaniem tomografii komputerowej. Górna część: zdjęcie wnętrza systemu tomografii komputerowej z tłokami dostarczonymi przez drzwi frontowe, umieszczonymi na stole obrotowym pomiędzy lampą rentgenowską (po prawej stronie) i detektorem cyfrowym (po lewej stronie). Dokładny projekt tłoka (w lewej dolnej części rysunku) przekazywany jest do w pełni automatycznego algorytmu wykrywania pustek i pęknięć oraz odchyleń od zadanej geometrii (w prawym dolnym rogu: na wizualizacji przestrzennej zaznaczono zielonym kolorem odstępstwa niekrytyczne, a czerwonym skurcz.

tools. Prerequisite for the CT application is the accurate validation of the measurement procedure in comparison to coordinate measurement machines (CMM) and the present standards for determination of accuracy parameters with measurement systems. A new generation of multi sensor CMMs combines the CT operation with optical sensors

and tactile probing [4]. However, an important aspect of all coordinate measurements is the traceability of the geometry information obtained. To achieve traceability, several standards have been developed in recent years [5-8]. Reference standard gauges with high information content are e.g. a sphere calotte plate made of Zerodur and a sphere calotte cube made of titanium, which provides 2D or 3D information for CT system testing and correction, respectively. The following parameters have to be determined: Sphere distance error (SD), probing error size (PS) and probing error form (PF). This has been performed by parallel measurements of calibration objects and real test objects with high energy CT, micro CT and CMMs. Measurement differences are visualized by color coding (Fig. 1).

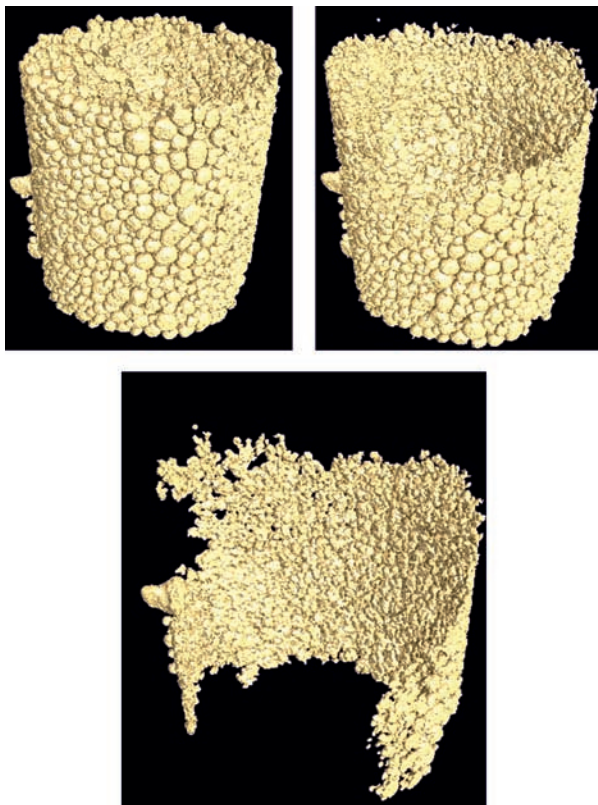


Fig. 4. Temporal change of a milk foam for coffee cream. The decay can be assessed and described from 3D image data acquired after 2, 4 and 6 minutes (from left, right, down) [13]

Rys. 4. Zmiany w czasie zachodzące w pianie mlecznej do kawy. Rozpad może zostać oceniony i opisany na podstawie danych z trójwymiarowych obrazów uzyskanych po 2, 4 i 6 minutach (od góry i dół od lewej do prawej) [13].

For example, Volkswagen uses a fast CT scanner for at-line inspection in its production process [9]. Engine blocks are inspected in production as a random selection in the production process. CT is used to test for flaws and control of correct dimensions (Fig. 2). First reports were given on in-line inspection [9].

Another example of in-line Computed Tomography that was realized by the Fraunhofer EZRT is the inspection of motor pistons [10, 11] (Fig. 3). This system for production monitoring is capable of measuring 100% of the parts keeping up with the production rate. Recognizing aberrations

early in the production process helps to minimize the rejection rate. Blowholes and pores are not only recognized but also located and geometrically analyzed. Up to now, manufactured parts are often rejected due to lack of information. They can be processed further, if the irregularities are located in a noncritical area or if the location is machined afterwards. Additionally, the metadata obtained are referred back into the production process. By intelligent data feedback, production parameters like pressure or temperature can be adjusted in a way that less critical flaws are produced.

A further relatively new field, where industrial CT is applied, is the analysis and monitoring of organic structures. For instance the temporal change of milk foam for coffee cream can be visualized by fast CT (Fig. 4). The seed or food producing industry set new challenges to 3D imaging, as a support for the development of improved plant varieties and pharmaceuticals or for monitoring of the production of high quality foods.

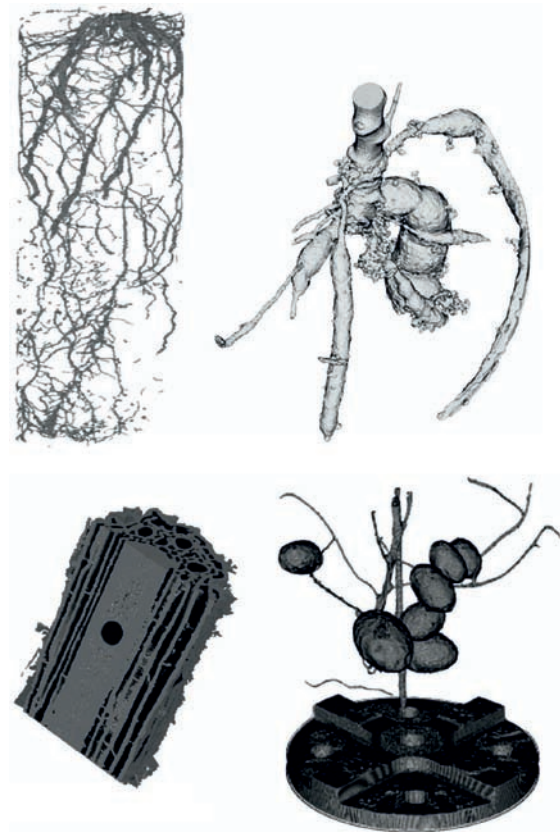


Fig. 5. 3D visualizations of (from left to right) root architecture beneath the soil, reservoirs, capillary tube inside the stem or trunk, fruits and organs. In all cases the soil which covers the complex structures is virtually removed.

Rys. 5. Trójwymiarowe wizualizacje podziemnego systemu korzeniowego, zbiorników, naczyń kapilarnych wewnątrz łodygi lub pnia, owoców i organów. We wszystkich przypadkach gleba, która okrywała złożone struktury została wirtualnie usunięta.

In agricultural engineering, many interesting parts of the plant are hidden to visual inspection beneath the soil wherein the plant is growing (Fig. 5). Thus the task for X-ray CT is to visualize these parts not only with high spatial and temporal resolution of the data set, but also with a high sensitivity for

very similar contrasts between different organic materials, which typically contain a high fraction of water.

Another upcoming application for 3D X-ray imaging technology is related to cultural heritage protection. More and more singular, precious, irreplaceable and culturally significant objects are digitized. The benefits are obvious and manifold: more than 90% of all historically relevant objects are hidden in storage facilities today and not accessible to the broad public. In addition, objects made of wood, leather, cloth, ivory or various other organic materials – in opposite to metallic tools, weapons and instruments – are subject to decay and disintegration. Thus preservation, monitoring of the status, virtual access and detailed inspection of for example musical instruments, sacral equipment, furniture and clothing is becoming extremely important to preserve the world's cultural heritage of all nations, religions and continents.



Fig. 6. Investigation of a precious guitar built in the first half of the 17th century in Italy [14]: Photography of the specifically designed support construction of the instrument (left), horizontal slice through the stabilizing structures inside the resonance body of the instrument (center), a surface rendered 3D display of the delicate ornaments embedded into the corpus and the neck (right).

Rys. 6. Badanie cennej gitary zbudowanej w pierwszej połowie 17 wieku we Włoszech [14]: Fotografia specjalnie zaprojektowanej konstrukcji wsporczej instrumentu (z lewej), poziomy przekrój wzdłuż stabilizującej struktury pudła rezonansowego instrumentu (środek), obraz trójwymiarowa wizualizacja powierzchni renderowanej z delikatnymi ornamentami zdobiącymi korpus i gryf (po prawej).

Presently, CT-systems face three major challenges with such culturally relevant objects: 1st many pieces like cupboards, pianos or statues are larger than the field of measurement provided by today's 40 cm by 40 cm standard flat panel detectors. 2nd historical objects often contain various materials, in particular mostly organic substances like wood, cloth, leather, or ivory, bones etc., in direct neighborhood with steel, copper or even gold, which have to be assessed with sufficient contrast in the reconstructed CT volume data sets. 3rd the investigation or digitization of a historical object may require a spatial resolution better than that needed for conventional non-destructive testing in industry, e.g. if the interior structure of wooden parts shall be examined. Thus CT systems, which can adequately be applied for cultural heritage, should provide the combined capability of high-resolution imaging of large objects with respective techniques for extension of the field of measurement and multi-energy

analysis for a wide range of material contrast. Fig. 6 shows an example of a CT investigation of a precious guitar, built in the first half of the 17th century in Italia [14, 15].

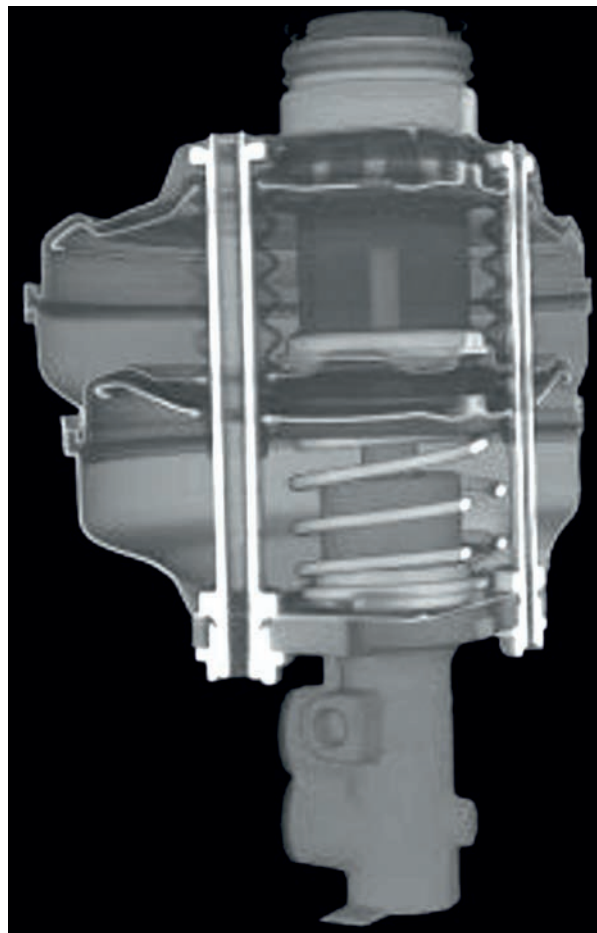


Fig. 7. High Energy (6MV) Axial CT image of a booster [7].

Rys. 7. Obraz z wysokoenergetycznej CT wzmacniacza [7].



Fig. 8. High Energy CT at Fraunhofer EZRT: Schematic presentation of the set-up of the high-energy facility.

Rys. 8. System wysokoenergetycznej tomografii komputerowej w Fraunhofer EZRT: schematyczny widok konfiguracji systemu.

High energy CT is basically applied for investigations of large objects as e.g. rocket motors, artillery ammunition, radioactive waste barrels, large castings and steel-reinforced concrete blocks. Several units are installed for investigation of weapons worldwide, with restricted information about these systems. The first high energy unit in Germany was

installed at BAM in 1992 [16] for inspection of barrels with radioactive waste. The CT scanner consists today of a linear accelerator (LINAC) with a maximum energy of 10.5 MeV, a manipulation system (translation and rotation) for objects of up to one metric ton and different detection systems for 2D and 3D tomography. Other labs exist worldwide, which are offering services for DR and CT. A typical application is the visualization of internal structures as shown in Fig. 7 [17].

In 2013 the Fraunhofer Center for X-ray Development (EZRT - Entwicklungszentrum Röntgentechnik) opened a new facility for industrial X-ray research. This center was equipped with the second high energy CT-laboratory in Germany in 2014. This lab is equipped with a 9 MV Linac and a 4 m line detector. Objects need to be manipulated on a turn table for CT scan. This lab offered first time high resolution 3D inspections of whole cars. Especially the crash tests of cars require time consuming mechanical analysis of the damages. Using a CT of a crashed car provides fast and highly resolved data on the structural deformations (Fig. 8, 9).

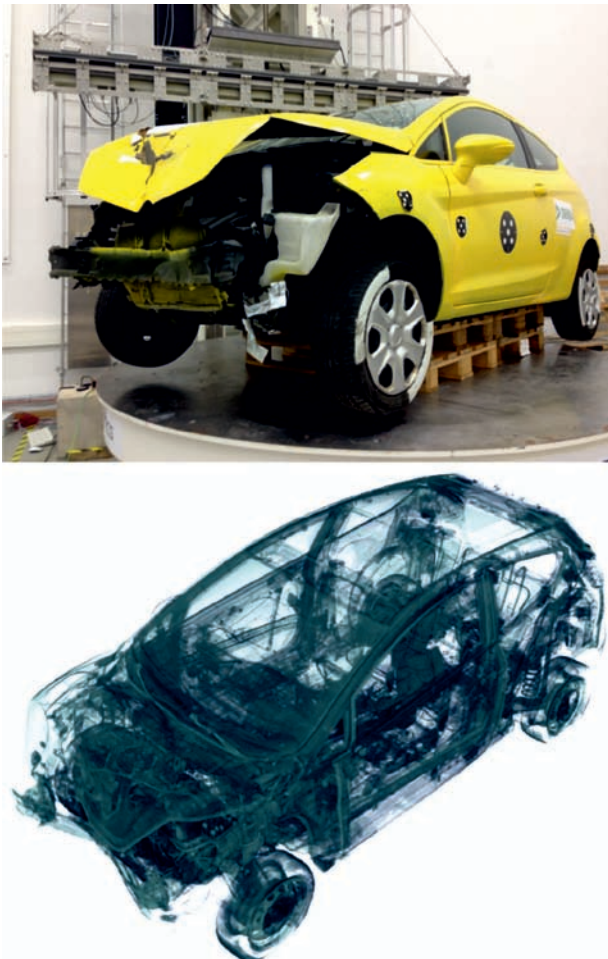


Fig. 9. High Energy CT at Fraunhofer EZRT: Up: photograph of a test car after crash test. Down: 3D visualization of the volume data set resulting from a CT measurement with the 9-MV-LINAC as X-ray source.

Rys. 9. System wysokoenergetycznej CT w Fraunhofer EZRT: (góra) fotografia samochodu po teście zderzeniowym, (dół) trójwymiarowa wizualizacja danych otrzymanych z CT z zastosowaniem 9-MV-LINAC jako źródła promieniowania.

A second high energy CT device was installed at BAM in 2013 (Fig. 9) consisting of a 7.5 MV source and a 2 m line detector and a DDA which can be used at different tile positions to obtain large area projections. The source, object and detectors can be manipulated with 13 numerically controlled axis and a resolution better than 50 μm . All manipulation systems are mounted on granite blocks. Fig. 10 shows the unit with a mounted concrete block of $1.5 \times 1.5 \times 0.3 \text{ m}^3$ for visualization and measuring of impact initiated crack fields. Fig. 10b represents the reconstructed crack field, centrally oriented from impact position. The used $40 \times 40 \text{ cm}^2$ Perkin Elmer detector was computer controlled positioned at different tile positions in a detection field of 3×5 positions, covering an area of about 1.4 m^2 . A special filtered and weighted shift average reconstruction was developed to implement the reconstruction of tiled laminographic scans [18]. The goal of the project is the investigation of the material response under pulse impact loading of airplanes to buildings. The CT is used to quantify the material damages as input and verification of finite element simulations to predict the behavior of the reinforced concrete after an impact.

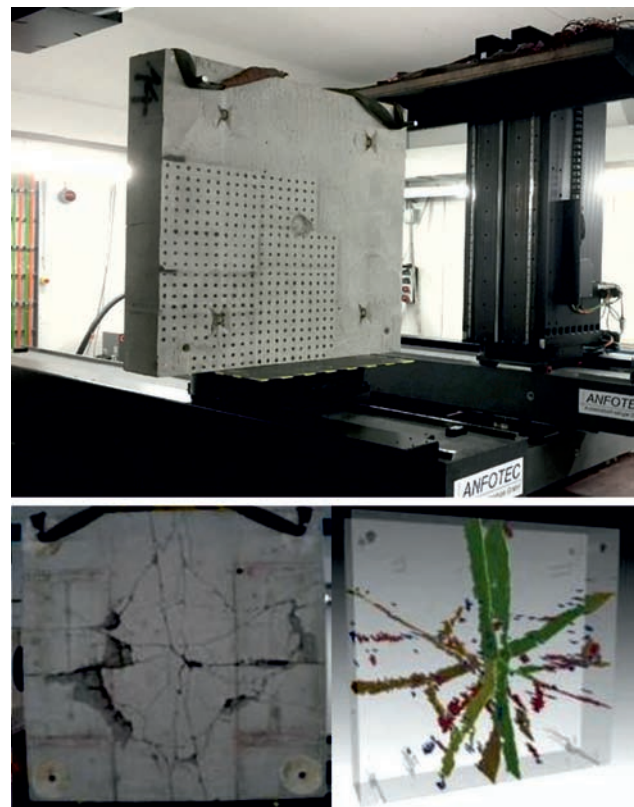


Fig. 10. Pictures of high-energy planar CT (7.5 MV) system (up), impact damaged slab (left), 3D CT image of slab illustrating the crack volume (right).

Rys. 10. Zdjęcie wysokoenergetycznego (7,5 MV) systemu CT (góra), płyta uszkodzona w wyniku uderzenia (dół-lewa), trójwymiarowa wizualizacja z CT płyty pokazująca pęknięcia (dół-prawa).

3. Reconstruction and Visualization Software for CT and Laminography.

Different software tools are used for reconstruction, visualization and data analysis. For the standard axial CT

geometry, usually the classical Feldkamp reconstruction (filtered back-projection) is used. For special geometries, projections can be acquired under limited data, limited angle and limited view conditions. Different groups developed complex reconstruction methods considering a reduced set of projections to save measurement time. Missing measurement angles are compensated considering a priori knowledge, Bayesian approaches and total variation for the solution of the inverse problem [19 - 21].

Special software tools were also developed in BAM for the algebraic reconstruction technique. The multiplicative SART method is suitable for the limited data CT if the number of projections need to be reduced due to low pulse rates or slow acquisition times. The next to base plane method [18] permits the reconstruction from limited number of projections and considering dead angles with no negative density in the resulting voxel data set.

4. Mobile Industrial Computed Tomography

For industrial objects, as e.g. bridges, pipelines and aircrafts, which cannot be brought to the laboratory, mobile CT scanners were developed. They are typically based on the planar tomographic design. The first applications were qualified by third party organizations for sizing of planar defects in nuclear power industry and aircraft industry.

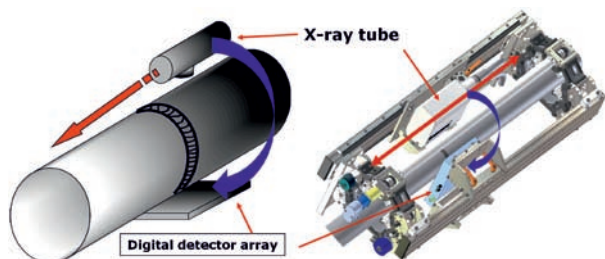


Fig. 11. Tomoweld manipulator for 360° circumferential scan and laminographic inspection; scheme and photograph.
Rys. 11. Manipulator Tomoweld do obwodowego skanowania w zakresie 360° i laminografii; schemat i zdjęcie.

The mechanized mobile tomographic system "TomoCAR" (Tomographic Computer Aided Radiometry) was developed first for inspection of circumferential welded seams of pipes [22]. It consists of the manipulator based position control of an X-ray tube in front of the region to inspect and a Digital Detector Array (DDA) behind it. Several hundred radiometric projections in small angular steps are acquired. The tomographic reconstruction allows the three dimensional (3D) representation of the material structure and included flaws. This is equivalent to a metallographic cross sectioning. It allows the reliable detection of planar defects with openings larger than 25 μm by subpixel resolution due to the achieved high signal-to-noise ratio of the used CdTe DDA.

The European project TomoWELD [23] was established to modernize the TomoCAR concept for effective inspection. This includes high contrast sensitivity measurements with a photon counting and energy discriminating CdTe detector [24, 28], and an optimized 3D reconstruction algorithm using GPUs. Fig. 11 shows a sketch and a picture of the TomoWELD system. A computer controlled manipulator

permits two measurement modes. In overview mode the source and detector can be moved 360° around the pipe axis, which provides a digital radiograph according to ISO 17636-2 [25].

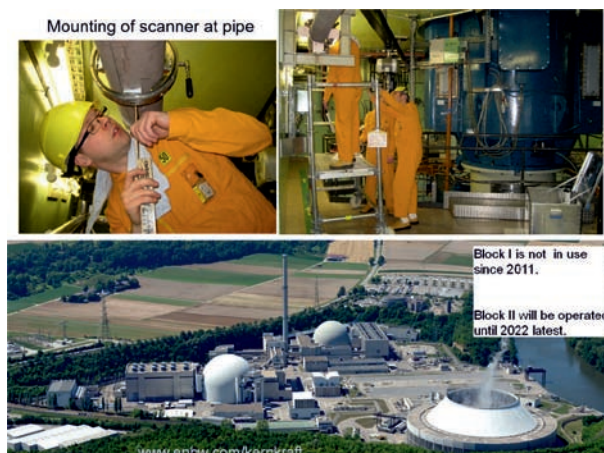


Fig. 12. View of the nuclear power station "Neckarwestheim" (bottom) and of mounting the TomoWELD scanner in Block I (top).
Rys. 12. Widok elektrowni jądrowej "Neckarwestheim" (na dole) i montażu skanera TomoWELD w Bloku I (u góry).

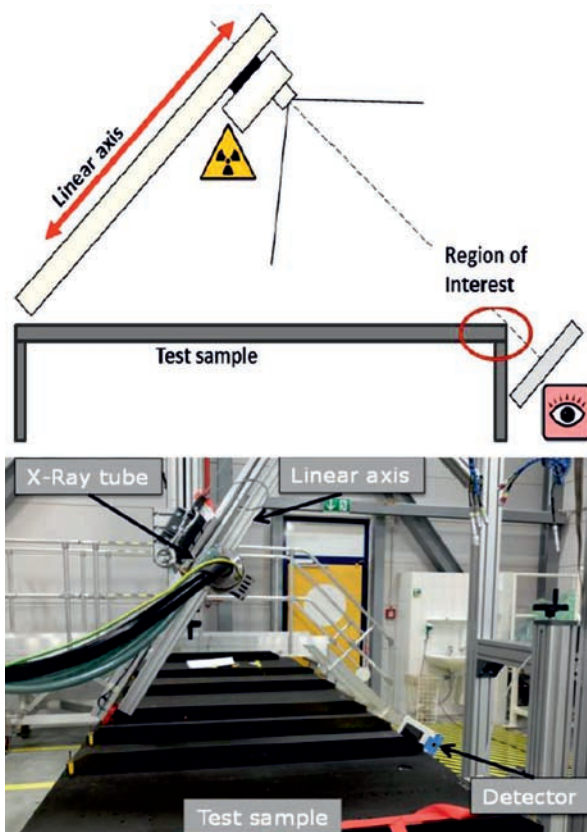


Fig. 13. Up: Schematic sketch of inspection setup. Down: Inspection setup in production environment. Only the X-Ray source is moving during image acquisition.

Rys. 13. Góra: Schematyczny szkic systemu kontroli. Dół: Aplikacja systemu kontroli w warunkach produkcyjnych. Źródło promieniowania rentgenowskiego jest w ruchu podczas akwizycji obrazu.

The planar tomographic mode is used to obtain cross sectional information of the weld seam by 3D reconstruction.

Therefore, the X-ray tube is moved with constant speed parallel to the detector plane. In general, the movement is parallel to the pipe axis as well. For special investigations, the tube scan axis can be tilted with respect to the pipe axis by a fixed angle (15°). This allows the simultaneous detection of transversal and longitudinal cracks [23, 26]. The X-ray tube is manufactured in a flat design and achieves 240kV at 0.6mm spot size [27]. A new flat X-ray tube prototype was manufactured, which was tested at 270kV [27]. The completed TomoWELD scanner was tested successfully in Block I of the Nuclear Power Plant "Neckarwestheim" (see Figure 12).

The TomoCAR design was modified for in situ inspection of large aircraft components under production conditions [22]. A gantry gate based planar tomograph was constructed and tested for inspection of the integrity of large CFRP components. The TomoCAR design was modified and equipped with a specially developed X-ray tube and a larger DDA. CFRP panels (Carbon Fibre Reinforced Polymers) of aircrafts of up to 3 x 9 m size were inspected [22]. The same concept was applied for analysis of indications found by UT investigations of 18 m long airplane structures (Fig. 13) [28].

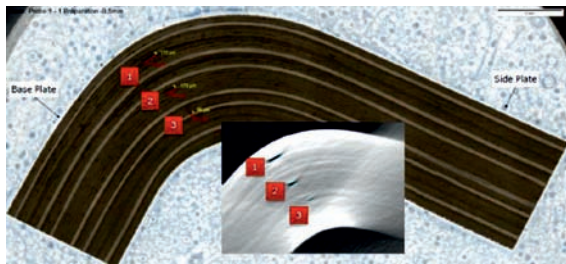


Fig. 14. Comparison of X-Ray Planar-CT (inside) and micrograph (outside large image).

Rys. 14. Porównanie wyników z planarnej tomografii komputerowej (na dole) i mikrofotografii (u góry, duży obraz).

An 18 m long U-shaped CFRP airplane structure was tested with laminography (Fig. 13). The standard NDT-inspection is based on an UT scan in order to detect defects larger than 6 by 6 mm². The ultrasonic (UT) inspection is not accurate enough to distinguish between large area material separations and clustered porosity. The UT inspection fails mostly at sharp material radii due to missing back wall echoes. X-ray based planar tomography was explored to obtain cross section images with higher resolution for better evaluation of flaw types and measurement of flaw dimensions. A specially designed gantry was used to acquire projections in tangential direction to the radius. In order to inspect the complete test object over the length, a gantry gate based planar tomograph was developed and tested (Fig. 13). The linear manipulator for the X-ray tube was positioned about 45° over the long area of the U shaped test object and parallel to the detector.

A Technical Qualification was performed at Airbus to demonstrate compliance of the applied process to the related standard process specification [28]. Here, the results of the laminographic scans were compared with photographs of cross sections of specially treated reference samples to

validate the accuracy of the method. Fig. 14 shows the comparison of a cross section with the corresponding laminographic slice presentation.

The imported dataset was analyzed with a VG Studio defect algorithm that yielded the requested defect parameters length (C), width (D) and depth. These are determined by the length and the width of a "Bounding Box" that surrounds a defect whereas the depth is defined as the minimal distance from the defect to the outer surface of the reconstructed volume. The size of defect is derived from length and width and is used for a first defect classification as shown in Fig. 15.

A similar concept was used for the inspection of glass fiber structures of wind mill wings. Glass fibers show a better contrast to the polymer matrix than carbon fibers. Undulations and unsuitable fiber alignments were better visualized.

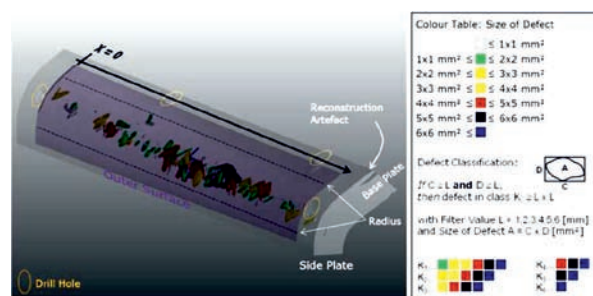


Fig. 15. 3D visualization and classification by size of defect and definition of the filter value.

Rys. 15. Trójwymiarowa wizualizacja i wyniki klasyfikacji wad pod względem ich wielkości określenie parametrów filtru.

5. Summary

Computed Tomography systems were significantly improved during the last years and are now commercially available for NDT. Applications cover the range from nano-meter to meter scale. During the last 15 years the method was enhanced from a specialized laboratory testing technique to routine industrial quality assurance systems. The application of CT as dimensional measurement devices may replace coordinate measurement machines in future. CT can measure inner and outer surfaces accurately. First applications are known, where CT is used for at-line and later in-line inspection in automobile industry for combined flaw detection and dimensional measurement. The CT is universally applicable for all kinds of investigations, including food industry and art work investigations. High energy CT devices are available for inspection of large and heavy samples. This reaches from inspection of crashed cars to impact investigations of concrete building structures. Mobile laminography is applied for non destructive cross sectioning of welded pipes and CFRP structures of airplanes and provides the dimensions and distribution of the indications as precondition for fracture mechanical evaluation.

6. Acknowledgement

The authors would like to thank the TomoWELD team [23, 26] for interesting discussions and contributions.

7. References/Literatura

- [1] Kastner, 6th Conference on Industrial Computed Tomography (ICT), 9th – 12th February 2016, Wels, Austria, <http://www.ndt.net/article/ctc2016/papers/preface.pdf>.
- [2] A. Chahbaz and R. Sicard, Comparative Evaluation between Ultrasonic Phased Array and Synthetic Aperture Focusing Techniques, AIP Conference Proceedings, Volume 657, Issue 1, 10.1063/1.1570213, 2003, <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1570213>.
- [3] D. Fratzscher, J. Beckmann, L. Von Chrzanowski, U. Ewert, Computed THz – Tomography, 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April 2012, Durban, South Africa, http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/291_wcndtfinal00291.pdf.
- [4] U. Ewert, Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation, NDE 2009, December 10-12, 2009, Tiruchirappalli, India, <http://www.ndt.net/article/nde-india2009/pdf/31-Ewert.pdf>.
- [5] VDI/VDE 2630 – 1.1 Computed Tomography in dimensional measurement - Basics and Definitions (2009), https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1473751.pdf
- [6] VDI/VDE 2630 – 1.2 Computed Tomography in dimensional measurement - Influencing variables on measurement results and recommendations for computed tomography dimensional measurements (2010), https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1671067.pdf
- [7] VDI/VDE 2630 – 1.3 / VDI/VDE 2617 – 13 Computed Tomography in dimensional measurement -Guideline for the application of EN ISO 10360 for coordinate measuring machines with CT sensors (2011) https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1804694.pdf, VDI/VDE 2630 – 1.4 Computed Tomography in dimensional metrology – Measurement procedure and comparability (2010), https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1571040.pdf
- [8] VDI/VDE 2630 – 2.1 Computed Tomography in dimensional measurement - Determination of uncertainty of measurement and the test process suitability of coordinate measurement systems with CT sensors (2015), https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/2283256.pdf.
- [9] O. Brunke, F. Hansen, I. Stuke, F. Butz, A new Concept for High-Speed at-line and in-line-CT for up to 100% Mass Production Process Control, 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April 2012, Durban, South Africa, http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/460_wcndtfinal00460.pdf.
- [10] S. Oeckl, Th. Kondziolka: Gussfehler genau orten Artikel QZ - Qualität und Zuverlässigkeit, Nr. 9, 2014, Jg. 59, Seiten: 56 - 57; Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., Frankfurt, Verlag: Carl Hanser Verlag, München.
- [11] Holger Schnell, PhD thesis, University Erlangen-Nürnberg, 2011.
- [12] A. Eggert, M. Müller, F. Nachtrab, J. Dombrowski, A. Rack, S. Zabler, High-speed in-situ tomography of liquid protein foams International Journal of Materials Research, July, Vol. 105, Nr. 7, pp 632-639.
- [13] Measurements performed at the EZRT laboratory at the University of Würzburg, in close collaboration with the chair for X-ray microscopy LRM.
- [14] Precious guitar, MI 58, Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg, Germany.
- [15] Th. Fuchs, R. Wagner, Ch. Kretzer, R. Schielein, G. Scholz, M. Zepf, F. Bär, S. Kirsch, M. Wolters--Rosbach, Development of a Standard for Computed Tomography of Historical Musical Instruments - the MUSICES project, 19th World Conference on Non-Destructive Testing, Munich 2016, <http://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/mo2c4.pdf>.
- [16] Quality assurance of radioactive waste packages by computerized tomography, Task 3 Characterization of radioactive waste forms A series of final reports (198589) No 37, <http://bookshop.europa.eu/de/quality-assurance-of-radioactive-waste-packages-by-computerized-tomography-task-3-pbCDNA13879/>.
- [17] High energy CT image by VJ Technologies, <http://vjt.com/vjt/technologies/high-energy-dr-ct>.
- [18] U. Ewert, K. Thiessenhusen, A. Deresch, C. Bellon, S. Hohendorf, S. Kolkoori, N. Wrobel, B. Redmer, Reconstruction Methods for Coplanar Translational Laminography Applications, Digital Industrial Radiology and Computed Tomography (DIR 2015), 22-25 June 2015, Belgium, Ghent, http://www.ndt.net/events/DIR2015/app/content/Slides/96_Ewert.pdf.
- [19] C. Schorr, M. Maisl, Ray-Length-Based ROI-Correction for Computed Laminography, 5th Conference on Industrial Computed Tomography (iCT) 2014, 25-28 February 2014, Wels, Austria, <http://www.ndt.net/article/dgzfp2014/papers/di2a3.pdf>.
- [20] Bayesian CT reconstruction with a priori knowledge, Eigenor, <https://www.eigenor.com/products/x-ray-tomography>
- [21] 3D reconstruction and 3D visualization, different algorithms inclusive FBP and ART, Volume Graphics, <http://www.volumegraphics.com/de/>.
- [22] U. Ewert, B. Redmer, C. Radel, U. Schnars, R. Henrich, K. Bavendiek, M. Jahn, "Mobile Computed Tomography for Inspection of Large Stationary Components in Nuclear and Aerospace Industries", Materials Transactions, Vol. 53, No. 2 (2012) pp. 308 to 310.
- [23] U. Ewert, B. Redmer, D. Walter, K. Thiessenhusen, C. Bellon, P. Nicholson, A. Clarke, K. Finke-Härkönen, J. Scharfschwerdt, K. Rohde, X-Ray Tomographic In-Service-Testing of Circumferential Pipe Welds - The European Project TomoWELD, 19th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT 2016), 13-17 June 2016 in Munich, Germany, <http://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/we3d5.pdf>.
- [24] D. Walter, U. Zscherpel, U. Ewert, Photon Counting and Energy Discriminating X-Ray Detectors - Benefits and Applications, 19th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT 2016), 13-17 June 2016 in Munich, Germany, <http://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/tu2b5.pdf>.
- [25] ISO 17636-2, Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors (2013), Beuth-Verlag.
- [26] Uwe Ewert, Bernhard Redmer, David Walter, Kai-Uwe Thiessenhusen, Carsten Bellon, P. Ian Nicholson, Alan L. Clarke, Klaus-Peter Finke-Härkönen, X-Ray Tomographic In-Service inspection of Girth Welds – The European Project TomoWELD, QNDE, 41st Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Proceedings of Conference, Boise, Idaho, USA, July 20-25, 2014, No. 525.
- [27] X-ray tube design: RTW RÖNTGEN - TECHNIK DR. WARRIKHOFF KG, <http://www.rtwxray.de>.
- [28] O. Bullinger, U. Schnars, D. Schulting, B. Redmer, M. Tschaikner, U. Ewert, Laminographic Inspection of Large Carbon Fibre Composite Aircraft-Structures at Airbus, 19th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT 2016), 13-17 June 2016 in Munich, Germany, <http://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/wel1i3.pdf>.

Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej (SIMP) oddział Kielce

mają zaszczyt i przyjemność zaprosić Państwa do udziału
w **46. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących**,
która odbędzie się w dniach 17 – 19 października 2017 r.
w Hotelu Europa Business & Spa w Starachowicach



Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących jest corocznym wydarzeniem, platformą wymiany wiedzy i doświadczeń oraz najnowszych dokonań w zakresie badań nieniszczących, jak również inspiracją do dalszych prac naukowych oraz szansą na nawiązanie nowych relacji biznesowych. **46. KKBN** będzie okazją do wymiany doświadczeń, zapoznania się z nowościami technicznymi na rynku badań nieniszczących i diagnostyki technicznej oraz osobistego kontaktu z zaproszonymi przedstawicielami najważniejszych międzynarodowych i krajowych organizacji zajmujących się badaniami nieniszczącymi. Zachęcamy do czynnego udziału w konferencji i zaprezentowania swoich osiągnięć w ramach następujących zagadnień:

- **Badania nieniszczące w przemyśle, budownictwie, transporcie, energetyce**
- **Metody, urządzenia, wyposażenie i oprogramowanie**
- **Diagnostyka techniczna urządzeń i konstrukcji**
- **Kompetencje i certyfikacja personelu w zakresie badań nieniszczących**
- **Przepisy, wymagania i normy dotyczące badań nieniszczących**
- **Jakość i kwalifikacje laboratoriów badawczych**

Program ramowy program konferencji obejmie następujące obszary i zagadnienia

NAUKA	prezentacje	Referaty i prezentacje wygłaszane przez autorów w ramach sesji równoległych właściwie do powyższych zagadnień
	sesja posterowa	Prezentowanie w formie posterów najnowszych wyników badań naukowych i prac doświadczalnych
PRAKTYKA	warsztaty	Praktyczne zastosowanie wyposażenia i urządzeń w aspekcie popularnych metod nieniszczących
	panel ekspercki	Otwarte forum dyskusyjne, podczas którego zaproszeni goście i eksperci w dziedzinach NDT odpowiedzą na nurtujące Państwa pytania, doradzą, wskażą rozwiązanie. Możliwość zadawania pytań, bezpośredniej wymiany doświadczeń i analiza konkretnych przykładów „case-study” w formie moderowanych paneli dyskusyjnych: METODY NDT, KOMPETENCJE PERSONELU, PRAWO I PRZEPISY
WYPOSAŻENIE	promocja wystawców	Prezentacja najnowszych produktów i nowinek w zakresie wyposażenia pomiarowego i badawczego
	wystawa	Możliwość bezpośredniego spotkania uczestników z przedstawicielami producentów i dystrybutorów sprzętu, systemów badawczych

Kontakt:

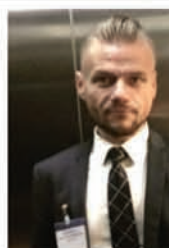
KOMITET
ORGANIZACYJNY



Joanna Adamczyk
+48 696 084 313

adamczyk.joanna@targikielce.pl

KOMITET
NAUKOWY



**dr inż.
Grzegorz Wojas**
+48 728 859 790

grzegorz.wojas@udt.gov.pl

Roman Gruca*

TÜV Rheinland Polska Sp. z o.o., Polska

Znaczenie kompetencji personelu NDT

Meaning the competence of personnel NDT

ABSTRACT

The article presents the possibilities of effective competence management personnel NDT.

The certificate of competence according to EN ISO 9712 defines the powers of NDT personnel by level of qualification, product sector(s) and industrial sector. The use of the permissions in the company, also is depends on the authorization issued by the employer for the staff to tasks performed NDT. This allows for optimal selection and management of staff competencies. Described in the article, a practical approach to the division of tasks depending on qualifications, it gives the possibility of delegating powers in different areas, e.g.: verification testing, supervision of testing, testing for the needs of technical expertise object.

Keywords: competence, supervision, NDT inspection, NDT personnel

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia możliwości efektywnego zarządzania kompetencjami personelu NDT.

Certyfikat kompetencji wg normy EN ISO 9712 określa zakres uprawnień personelu NDT poprzez stopień kwalifikacji, sektor(y) wyrobu, sektor przemysłowy. Wykorzystanie zakresu uprawnień w danej firmie zależy również od wydanego przez pracodawcę upoważnienia dla personelu do wykonywanych zadań NDT. Pozwala to na optymalny dobór i zarządzanie kompetencjami personelu podczas wykonywanych zadań. Opisane w artykule podejście praktyczne do podziału zadań w zależności od posiadanych kwalifikacji daje możliwości delegowania uprawnień do różnych zadań: np. badań sprawdzających, nadzoru nad badaniami, badań na potrzeby ekspertyz technicznych obiektu.

Słowa kluczowe: kompetencje, nadzór, badania NDT, personel NDT



Mgr inż.

Roman Gruca

1. Wstęp

Siłą każdego przedsiębiorstwa są ludzie i posiadane przez personel uprawnienia. Sprawne funkcjonowanie firm możliwe jest między innymi dzięki swobodnemu kształtowaniu struktury kompetencji, w zależności od lokalnych potrzeb i realizowanych przez przedsiębiorstwa zadań i projektów. Ma to również miejsce w przypadku działalności produkcyjnej i usługowej NDT. W przypadku badań nieniszczących kompetencyjne zróżnicowanie kadry to również zwiększenie wiarygodności i obiektywizmu prowadzonych badań.

Badania nieniszczące - NDT (Non-Destructive Testing) należą do grupy badań materiałowych pozwalających określać aktualny stan obiektu, zweryfikować ciągłość jego struktury, a także określić niektóre jego własności. Ich zaletą jest to, że nie zmieniają założonych parametrów wytrzymałościowych badanego obiektu i dają możliwość oceny jego stanu w trakcie eksploatacji. Skuteczność badań w dużym stopniu zależy od właściwie zdefiniowanych potrzeb, czyli wyboru odpowiedniej metody i techniki badań, jak również od merytorycznych kompetencji wykonujących oraz nadzorujących ich przebieg. Każda z metod badawczych bazuje na wykorzystaniu określonych zjawisk fizycznych i może prowadzić do uzyskania różnych wyników, właściwych dla danej metody, co może stanowić uzupełnienie w pozostałych metodach.

*Autor korespondencyjny. E-mail: roman.gruca@pl.tuv.com

2. Badania nieniszczące jako "specjalizacja lekarska"

Wśród badań nieniszczących można wyróżnić następujące metody: badania wizualne (VT), badania ultradźwiękowe (UT), badania magnetyczno-proszkowe (MT), badania penetracyjne (PT), badania prądami wirowymi (ET), badania radiograficzne (RT) [1].

Biorąc pod uwagę paletę zastosowań badań NDT, personel odpowiedzialny za ich wykonywanie powinien posiadać nie tylko kompetencje co do metodyki, ale również szeroką wiedzę o obiekcie badania, jego komponentach, technologii wytwarzania i warunkach eksploatacji. Kluczowa jest również umiejętność obiektywnej oceny wyników badania, co oznacza kierowanie się w ocenie kompetencjami i bieżącą znajomością norm i przepisów z obszaru NDT. W tym kontekście do wykonywania badań niezbędna jest swego rodzaju „specjalizacja lekarska”. Jest to trwale związane z obecnym trendem rozwojowym metod. W badaniach UT, w technice „Phased Array” stosuje się, analogicznie jak w badaniach USG w medycynie, zobrazowanie badanych miejsc. Z kolei w metodzie VT, podobnie jak w diagnostyce medycznej, powszechnie wykorzystuje się do badań trudno dostępnych miejsc cyfrowe endoskopy.

3. Kompetencje personelu badań nieniszczących

Organizacja pracy grupy osób odpowiedzialnych za przygotowanie, wykonanie, ocenę wyników badania NDT wymaga zaplanowania i koordynacji każdego zadania czy też projektu badawczego. Inne zadania stoją przed personelem przygotowującym i wykonującym badania, a inne przed personelem nadzoru nad badaniami, który opracowuje jego ujednoliconą metodykę w postaci procedury czy zatwierdzonych szczegółowych instrukcji badawczych [2]. Norma EN ISO 9712 „Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących”, opisująca ramowo system kwalifikacji

i certyfikacji personelu NDT, szczegółowo stopniuje zakres uprawnień, określając przy tym obszary kompetencji dla 1., 2., i 3. stopnia kwalifikacji [1].

Personel z uprawnieniami 1. stopnia posiada kompetencje do ustawienia parametrów aparatury i wykonywania badań NDT oraz zapisywania wyników wg określonych instrukcji badawczych. Nie może dokonywać oceny obiektu badania na podstawie uzyskanych wyników. Z kolei personel z uprawnieniami 2. stopnia, oprócz kompetencji z zakresu stopnia 1., może dokonywać oceny wyników badań, opracowywać pisemne instrukcje badawcze na podstawie norm i przepisów z obszaru NDT. Jest w pełni samodzielny na całej ścieżce, tzn. od przygotowania, wykonania badania, aż do końcowej oceny jego wyników. Natomiast personel z uprawnieniami 3. stopnia posiada pełne kompetencje przewidziane dla stopnia 2. Ponadto uprawniony jest do prowadzenia całkowitego nadzoru nad badaniami NDT, tworzenia procedur badawczych, również w tych obszarach, w których brak regulacji normatywnych [2]. Może zatem projektować nowe rozwiązania badawcze oraz definiować kryteria interpretacji i oceny dla wyników badań tam, gdzie nie zostały one sformalizowane w postaci normy czy przepisu. Personel 3. stopnia może pełnić funkcję egzaminatorów wg EN ISO 9712, którzy weryfikują kompetencje kandydatów na 1., 2., czy 3. stopień kwalifikacji [1] [3].

4. Zarządzanie personelem badań nieniszczących w praktyce

Biorąc pod uwagę zakres uprawnień dla poszczególnych stopni kwalifikacji, w zależności od potrzeb i wagi zadań badawczych, można w różny sposób zarządzać kompetencjami personelu NDT. Przedstawienie symulacyjne dwóch uniwersalnych przykładów organizacji badań pozwala pokazać, jak zarządzanie to może wyglądać w praktyce.

Można wyróżnić dwa warianty organizacji badań w czasie procesu wytwarzania wyrobu lub obiektu technicznego. W wariantcie podstawowym, personel NDT pracujący w dziale kontroli jakości jest podzielony na zespoły. Grupa z 1. stopniem uprawnień przygotowuje i wykonuje badania wg instrukcji badawczych. Natomiast grupa z 2. stopniem odpowiedzialna jest za opracowanie instrukcji i ocenę wyników badań. Opcja rozszerzona uwzględnia dodatkową osobę z 3. stopniem uprawnień, która sprawuje nadzór nad badaniami, zatwierdza pisemnie instrukcje i w zależności od potrzeby, opracowuje procedury badań [2].

Badania rewizyjne i ocena stanu obiektu mogą być zorganizowane również w dwojaki sposób. W wariantcie podstawowym personel NDT firmy usługowej składa się z zespołu, który wykonuje badania na obiekcie i prowadzi ocenę wraz z dostarczeniem danych do analizy. To grupa badaczy

z uprawnieniami 2. stopnia, zarządzana przez właściciela firmy z wiedzą o usługach NDT, ale bez potwierdzenia kompetencji w żadnym ze stopni wg EN ISO 9712. W opcji rozszerzonej, nadzór merytoryczny nad grupą sprawuje dodatkowa osoba z uprawnieniami 3. stopnia. Jej rola polega na przygotowaniu procedur i na zatwierdzaniu instrukcji badawczych, całościowym zbieraniu wyników, ich analizie oraz zatwierdzaniu raportów [2].

5. Dlaczego warto?

Niezależnie od rodzaju badań warto je przeprowadzić w rozszerzonym wariantcie. Udział osób z 3. stopniem kwalifikacji pozwala lepiej usystematyzować proces, zminimalizować możliwość wystąpienia błędów ludzkich oraz wykorzystać wiedzę do wsparcia w ustaleniach zakresu badania na etapie negocjacji ze zleceniodawcą. Wiedza ekspercka personelu 3. stopnia może być również wykorzystana do kontroli dostawców komponentów oraz w przypadku analizy reklamacji.

Warto też zwrócić uwagę na wagę samych badań nieniszczących. Ich wyniki są często podstawą do dalszej analizy eksperckiej na potrzeby oceny żywotności obiektu. Personel 3. stopnia doskonale sprawdza się tutaj jako wsparcie merytoryczne – często ocena żywotności obiektu realizowana jest w oparciu o autorską, nienormatywną metodykę badań. Niejednokrotnie badania rewizyjne prowadzone są w przypadkach niezależnego sprawdzenia jakości badań NDT. Czynności te realizuje tzw. trzecia niezależna strona. Rola personelu z uprawnieniami 3. stopnia jest tutaj kluczowa – po pierwsze, sam jest w stanie poprowadzić badanie wrywkowo wybranego miejsca na obiekcie od początku do końca, po drugie zna znacznie szerzej, wykraczając poza standardowe normy NDT, metody i techniki badań. W ten sposób trzecia strona, prowadząc swego rodzaju arbitraż, ma możliwość wiarygodnego i wnikliwego odniesienia się do jakości przeprowadzonych badań [2].

Niezależnie jednak od stopnia posiadanych uprawnień, o sile i zaangażowaniu w odpowiedzialne zadania całego zespołu zawsze będzie decydować wszechstronne wykształcenie, wieloletnia praktyka i odwaga w stosowaniu nowoczesnej metodologii badań.

6. Literatura/References

- [1] PN-EN ISO 9712:2012 Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących.
- [2] M. Danisch, R. Gruca, Procedura systemowa, Zautomatyzowane procesy badań nieniszczących szyn, TÜV Akademia Polska Sp. z o.o., wyd. 2012
- [3] TÜV Rheinland Polska, Materiały szkoleniowe, szkolenie UT3, rozdz.12, wyd.09/2016

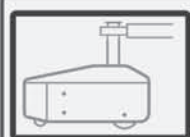
MAPOWANIE KOROZJI ORAZ WIZUALIZACJA PROFILU BADANEJ ŚCIANKI

PETROCHEMIA – ENERGETYKA – PRZEMYSŁ MORSKI

UT-LITE Zintegrowane urządzenie ultradźwiękowe do pełnej analizy badanej ścianki pod względem mapowania korozji oraz pomiaru grubości.

Zalety systemu UT-LITE:

- Głowice oponowe – brak potrzeby używania sprzęgacza
- Pełen zapis A, B oraz C Scan – pełna analiza wyników włącznie z danymi tabelarycznymi typu „excel”
- Pomiar grubości ścianki z wyodrębnieniem powłoki lakierniczej



ThetaScan



Thetascan

- ✓ Enkoder oś x oraz y
- ✓ B-C-SCAN
- ✓ 0.2625 m²/scan
- ✓ Uchwyt magnetyczny

Scorpion 2

- ✓ Enkoder
- ✓ B-SCAN + Profilowe
- ✓ Zdalny zasięg do 50 m
- ✓ Niezależny napęd kół
- ✓ Własne zasilanie
- ✓ Prędkość skanowania do 100 mm/s



Scorpion



UT- LITE

- ✓ Enkoder zapis w osiach - X, Y
- ✓ Zobrazowanie A-B-C-D-SCAN
- ✓ Defektoskop ultradźwiękowy
- ✓ Zasilanie bateryjne
- ✓ Kompatybilny z urządzeniami:
 - R-SCAN
 - THETASCAN
 - SCORPION
 - TOFD



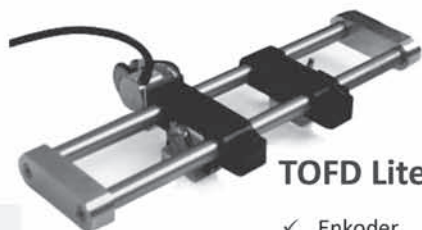
TANKS



PIPES



VESSELS



TOFD Lite

- ✓ Enkoder
- ✓ Pełen zestaw głowic TOFD
- ✓ Klipy proste oraz profilowane
- ✓ D-SCAN



ToFD Lite

R-scan

- ✓ Enkoder
- ✓ Głowica oponowa
- ✓ B-SCAN + profil
- ✓ Skan do 10 m



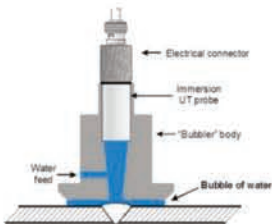
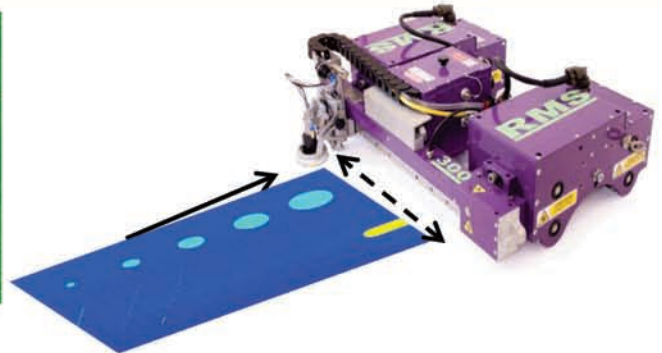
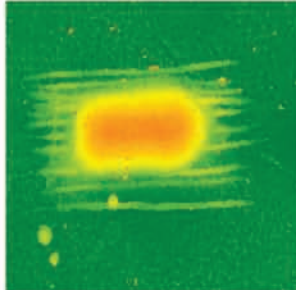
R-Scan Lite



RMS2

Zaawansowany system do mapowania korozji oparty na innowacyjnej technice skanowania głowicami zaczerpniętej z techniki badań zanurzeniowych.

- W pełni automatyczny oraz zdalny system mapowania korozji
- Wysokie prawdopodobieństwo wykrycia korozji – pełne zobrazowanie A, B, C-SCAN + analiza profilowa 2D oraz 3D
- Zdalny zasięg badania do 50 m – skan o szerokości do 1 m
- Badanie całej objętości – również powierzchni od strony badania
- Badanie od średnicy 160 mm do powierzchni płaskich



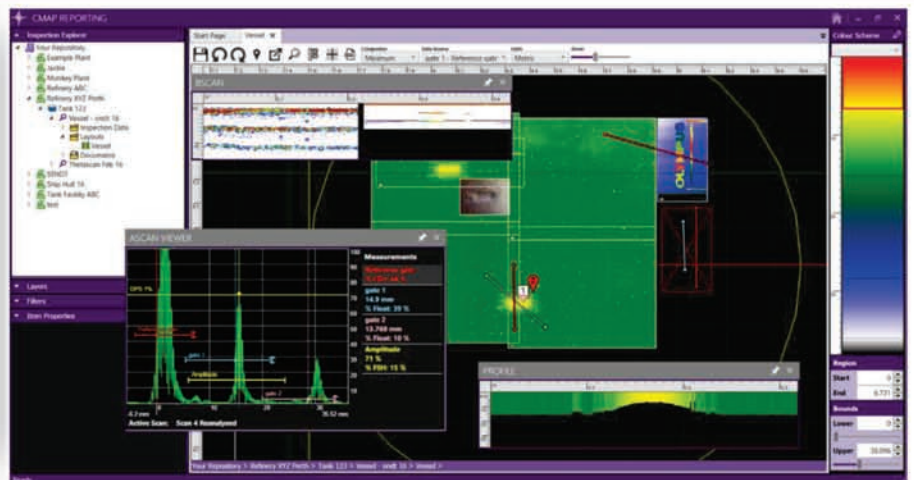
Specjalna głowica z kolumną wody:

- Doskonałe koncentrowanie się wiązki ultradźwiękowej w miejscu analizy
- Wysoka rozdzielczość skanowania do 0.5 mm
- Prędkość maksymalna głowicy to aż 730 mm/s
- Pełen dobór przetworników o zróżnicowanym ogniskowaniu wiązki ultradźwiękowej
- Pełna analiza powierzchni zewnętrznej oraz wewnętrznej



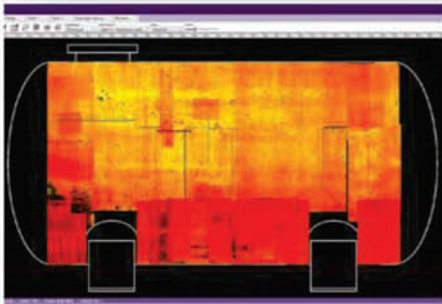
C-MAP – Oprogramowanie do zarządzania danymi, analizy i raportowania

Program C-MAP pozwala na bezkompromisową archiwizację zebranych danych podczas badań opartych na mapowaniu korozji w zobrazowaniu A, B, C-SCAN. W jednym programie możemy gromadzić niezliczoną ilość pojedynczych skanów w celu prezentacji w odniesieniu do całego badanego elementu (zbiornika, rurociągu itp.).



ZAOSZCZĘDŹ SWÓJ CZAS WYKORZYSTUJĄC ZAAWANSOWANE OPROGRAMOWANIE C-MAP

Jeżeli posiadasz wiele folderów z danymi C-SCAN, które często w sposób anonimowy są przechowywane w formie listy skanów umożliwiającą jedynie pojedynczy wgląd, to oprogramowanie jest dla Ciebie idealnym rozwiązaniem. Uzyskasz pełen obraz badanych obiektów z jednoczesnym dostępem do pełnej analizy ultradźwiękowej opartej na szerokiej gamie zobrazowań w odniesieniu do szkicu rzeczywistego badanego obiektu.



Jim Costain¹, Neil R. Pearson¹, Matthew A. Boat¹, Radosław Boba^{2*}¹Swansea Enterprise Park, Great Britain²Jaworzno, Polska

Możliwości współczesnych skanerów den zbiorników działających w oparciu o metodę strumienia rozproszenia pola magnetycznego

Capability of modern tank floor scanning with Magnetic Flux Leakage

ABSTRACT

The article below depicts the current state of MFL technology utilized in testing of storage tanks floor. The main advantage of the MFL is the capability of locating and appraising the size of the defects on large areas in a fast and effective way. Similarly as with other testing methods there are limitations which can have influence on consistency and credibility of the reported defects, however quite often the MFL is considered to be an easy screening method, in which every competent inspector can easily interpret the results. There are many wrong opinions concerning MFL which are mainly caused by lack of knowledge or awareness. Additionally, the article will also cover the solutions used in MFL scanners available on the market that allow the users to obtain high resolutions of scanning as well as the making the distinction between faults and defects located on the surface from the tested side and those located on the opposite side.

Keywords: magnetic flux leakage, MFL, inspection, storage tank floor

STRESZCZENIE

Niniejszy artykuł przedstawia obecny stan metody magnetycznego strumienia rozproszenia (MFL) wykorzystywanej do badania den zbiorników magazynowych. Podstawową zaletą MFL jest możliwość zlokalizowania i oszacowania wielkości defektów na dużych obszarach. Istnieją ograniczenia, które mogą mieć wpływ na spójność i wiarygodność raportowanych wad. Często metoda MFL jest traktowana jako prosta metoda przesiewowa, w której każdy kompetentny inspektor może łatwo interpretować wyniki. Istnieje wiele błędnych opinii dotyczących MFL, które wynikają głównie z braku wiedzy lub nieświadomości. W artykule zostaną przedstawione ograniczenia oraz wskazówki, w jaki sposób je zredukować. Omówione zostaną rozwiązania stosowane w skanerach MFL pozwalające na uzyskanie wysokich rozdzielczości skanowania oraz rozróżnienie wad na powierzchniach od strony badania od wad po przeciwległej stronie.

Słowa kluczowe: strumień rozproszenia pola magnetycznego, MFL, badanie, dno zbiornika magazynowego

1. Wprowadzenie

Metoda strumienia rozproszenia pola magnetycznego (MFL) jest szeroko stosowana do badań nieniszczących dużych konstrukcji stalowych takich jak naziemne zbiorniki magazynowe [1]. Badanie MFL doskonale sprawdza się w inspekcji den ze względu na możliwość szybkiego badania dużych powierzchni. Obszary te, mogące mieć setki m², wymagają od urządzeń MFL zlokalizowania wad z milimetrowymi dokładnościami oraz precyzyjnego określenia ubytku materiału. Oznacza to, że współcześnie sprzęt MFL musi zapewniać wysoką dokładność, powtarzalność i wiarygodność obrazowania wad.

Badania nieniszczące zbiorników magazynowych mogą obejmować wiele różnych metod, jednak to MFL jest używana do pokrycia największej powierzchni den. Ograniczenie wykorzystania takich urządzeń jest podyktowane głównie ich konstrukcją, a w przypadku MFL ograniczenie wynika z wielkości jarzm magnetycznych. Jakość kontroli jest zmienna i zależy od prawidłowej konfiguracji, odpowiedniego określenia przedmiotu badania oraz poziomu wiedzy operatora na temat samej technologii.

Badania UT to szczególnie przypadek, w którym istnieją różne poziomy wykształcenia i kwalifikacji. Obecnie badaniom MFL poświęca się mniejszą uwagę niż innym metodom, nie dostrzegając możliwości tej metody, co wynika głównie z braku wiedzy oraz braku dostępu do szkoleń i dostępności urządzeń.

Niniejszy artykuł ma odpowiedzieć na podstawowe pytania pojawiające się w odniesieniu do samej technologii, jak i możliwości nowoczesnych skanerów MFL.

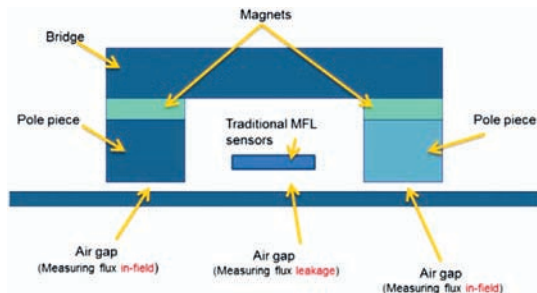
2. Podstawy MFL

Podstawową zasadą inspekcji elementów ferromagnetycznych metodą MFL jest uzyskanie odpowiedniego nasycenia polem magnetycznym materiału w obszarze badania. W sąsiedztwie wady wzrasta opór do indukowania pola magnetycznego i jeśli jest on wystarczająco wysoki, pole magnetyczne rozchodzi się wokół ubytku materiału. To pole może opływać wadę w otaczającym materiale, a także "rozpraszać się" poza jego granice. Ilość rozpraszającego pola magnetycznego można mierzyć przy użyciu odpowiednio umieszczonych czujników magnetycznych, które zwykle znajdują się w pobliżu powierzchni. Dla szybkiej kontroli den zbiorników przeważnie wykorzystuje się skanery z zabudowaną macierzą czujników ułożoną w linii prostopadłej do kierunku jazdy, co pozwala na mapowanie ubytków

*Autor korespondencyjny. E-mail: radoslaw.boba@casp.pl

w materiale przy jednym przejeździe skanera.

Obwód magnetyczny jest wytwarzany w układzie jarzma przedstawionym na Rys. 1. i składa się z dwóch magnesów, pomostu i dwóch nabiegunków. Jarzmo magnetyczne znajduje się blisko badanej powierzchni, na wysokości około 4 mm. Czujniki magnetyczne do pomiaru magnetycznego pola rozproszenia usytuowane są w równej odległości pomiędzy dwoma biegunami. Regulując wysokość czujników MFL nad badaną powierzchnią, można regulować wzmocnienie sygnału MFL.

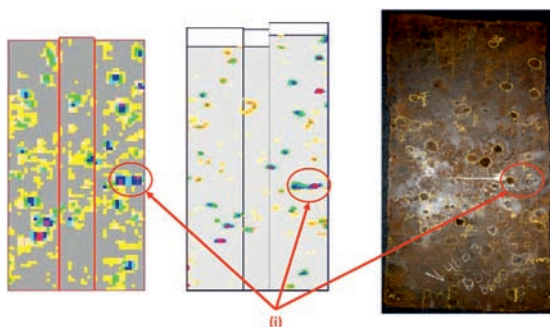


Rys. 1. Elementy jarzma magnetycznego oraz usytuowanie tradycyjnych czujników MFL względem siebie oraz względem badanego materiału.

Fig. 1. Elements of magnetic yoke and the placement of traditional MFL sensors in regard to one another as well as the tested material.

3. Możliwości i ograniczenia MFL

W ostatnich latach technologia MFL szybko ewoluowała i znacznie rozszerzono możliwości urządzeń kontrolnych opartych na MFL. Osiągnięcia w tym zakresie reprezentuje np. urządzenie Floormap3DiM firmy Silverwing [2]. Jednak nawet jeżeli ogólne czynniki wpływające na możliwości metody MFL są znane, konieczne jest przybliżenie technologii oraz ograniczeń metody.



Rys. 2. Dwa badania MFL próbek podłogi rzeczywistego zbiornika. Skany płyty (po prawej) wykonane przy użyciu FloormapVS2i (po lewej) i Floormap3DiM (w środku). Zestawienie sygnałów MFL i zdjęcie rzeczywistej płyty z oznaczonym obszarem (i) z dwoma oddzielnymi otworami.

Fig. 2. Two MFL tests of samples from the bottom of real storage tanks. The scans of the plate (at the right) are done using FloormapVS2i (at the left) and Floormap3DiM (in the middle). The correlation of the MFL signals and the photo of the real plate with "i" area marked, as well as two separate holes.

Podstawowym ograniczeniem w stosowaniu metody MFL jest to, że obecne standardy jej wykorzystania są znacznie niższe niż w innych badaniach, jak np. UT. MFL jest postrzegana jako niszowa i prosta metoda kontroli w porównaniu z innymi metodami NDT. Sygnały MFL są uważane za znacznie

prostsze i wymagają mniej interpretacji ze strony operatora. Jednakże w sygnale MFL zapisane jest wiele informacji - poza sygnałem amplitudy zapisana jest faza sygnału, która może określać czy sygnał pochodzi od spoiny, czy od wady.

Duże zagęszczenie czujników może dostarczyć dodatkowych informacji, pomagając lepiej oszacować kształt wady, co pozwala określić kształt powierzchni. Ulepszone rozwiązania technologiczne oraz wiedza o MFL mogą prowadzić do identyfikacji i klasyfikacji fałszywych wskazań pochodzących od zmiany odległości magnesów i czujników od badanej powierzchni, niejednorodności powłok lub fałszywych wskazań wynikających ze źle przygotowanych lub źle oczyszczonych powierzchni.

Mimo że badanie MFL jest stosunkowo proste i surowe, ocena rozmiaru wady wymaga określonych umiejętności i doświadczenia. W przeciwieństwie do panującego przekonania, MFL wymaga starannej konfiguracji urządzenia, kalibracji w określonym zakresie oraz właściwego użycia urządzenia. Interpretacja sygnałów może być obciążona błędem tak jak w innych metodach NDT, jeżeli nie weźmie się pod uwagę takich czynników, jak stan powierzchni płyty, grubość powłok, stan zabrudzenia dna zbiornika. Mimo że istnieje wiele parametrów MFL, które muszą być dopasowane do aplikacji, takie jak np. nasycenie, istnieją dwa kluczowe parametry wad, które są potrzebne do interpretacji.

Pierwszym z nich jest zdolność do określenia geometrii wad, a drugi odnosi się do wiedzy na temat ich pochodzenia. Kolejna sekcja rozważa te parametry w odniesieniu do rozwiązań technologicznych i możliwości ułatwienia interpretacji sygnałów MFL.

4. Nowoczesne funkcje MFL

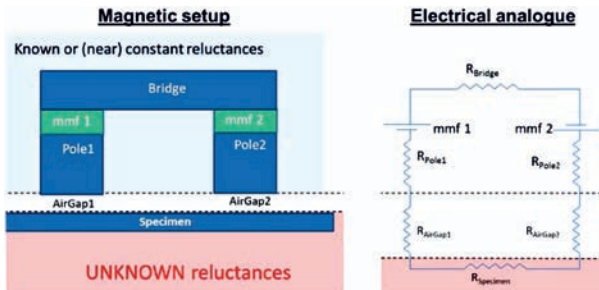
W tej sekcji zaprezentowane zostaną dwa kluczowe rozwiązania w inspekcji MFL den zbiorników magazynowych. Pierwsze dotyczy rozdzielczości czujników i jej wpływu na analizę kształtu ubytku. Drugie rozwiązanie oparte na dodatkowym zestawie czujników pozwala rozróżnić miejsce występowania ubytków pomiędzy powierzchnią dolną i górną płyty.

4.1 Rozdzielczość

Na Rys. 2. przedstawiono przykłady mapy MFL zarejestrowanej przy użyciu urządzeń o dwóch różnych gęstościach czujników. Każdy obraz pochodzi z tej samej stalowej płyty i składa się z trzech skanów, które po połączeniu razem tworzą widok płyty. Na podstawie obu obrazów można stwierdzić, że na płycie istnieje znaczna liczba obszarów z ubytkami materiałowymi. Mapa z ubytkami FloormapVS2i jest generowana na podstawie matrycy czujników z 16 kanałami. Odpowiada to rozdzielczości około 15 x 15 mm. Każdy pomiar jest reprezentowany przez kwadratowy blok i oznaczony kolorem proporcjonalnym do natężenia MFL: niskie wartości MFL są przedstawione kolorem żółtym i zielonym, wyższe wartości pola rozproszenia są przedstawione kolorem niebieskim i różowym, a maksymalny ubytek materiału kolorem czerwonym.

Na mapie korozji pochodzącej z Floormap3DiM widać wyraźnie odstęp pomiędzy wadami. Dzięki odległości między czujnikami 4,5 mm, próbującymi co 2 mm, zastosowanie

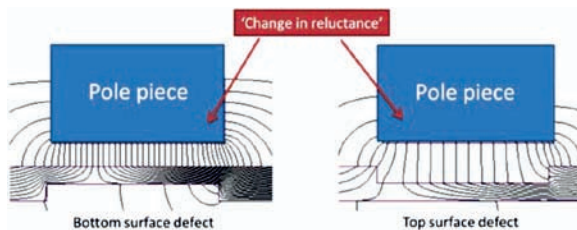
3DiM oznacza wzrost rozdzielczości o współczynnik 22,5, co zwiększa prawdopodobieństwo znalezienia mniejszej wady. Kolejnym efektem zwiększonej rozdzielczości jest prezentacja kształtu ubytku, co jest niemożliwe w rozwiązaniach niskiej rozdzielczości jak VS2i. Na podstawie Rys. 2. można również stwierdzić, że zwiększona rozdzielczość może umożliwić także segregację i klasyfikację poszczególnych wad.



Rys. 3. Poglądowe zobrazowanie elementów jarzma magnetycznego i jego odpowiednik w postaci elektrycznego obwodu analogowego.

Fig. 3. Outlook visualization of the magnetic yoke elements as well as its counterpart in form of analog electrical circuit.

Istnieją jednak pewne warunki, kiedy wady lub otwory w bliskim sąsiedztwie generują tak wysokie poziomy pola rozproszenia, że pojawiający się sygnał wynikowy MFL łączy je, obrazując jedną wadę. Takie sygnały scalone są obecne niezależnie od gęstości czujników magnetycznych, a zatem są wynikiem indukowanego pola magnetycznego. Przykład scalonych wskazań MFL z dwóch oddzielnych wad jest oznaczony (i). Chociaż może to być postrzegane jako ograniczenie MFL, większość uszkodzeń może być jednoznacznie powiązana z wadami występującymi na obrazie rzeczywistej płyty.



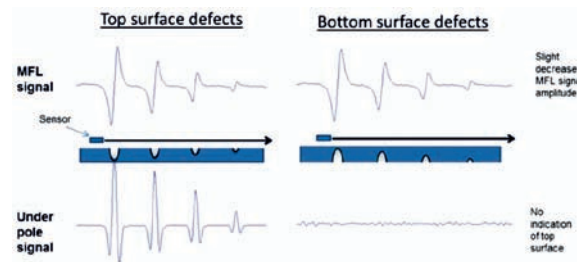
Rys. 4. Rozkład linii strumienia magnetycznego pod biegunem magnesu, gdy wada jest na górze oraz gdy równoważna wada jest na dole. Należy zauważyć, że tylko jeden nabiegunknik w obwodzie magnetycznym jest przedstawiony, a wielkość wady jest wybrana dla celów ilustracyjnych. Ponieważ odległość między dolną powierzchnią bieguna, a powierzchnią badaną wzrasta, gęstość linii strumienia magnetycznego spada, a tym samym następuje zmiana oporu, która następnie jest mierzona.

Fig. 4. The dispersion of the magnetic flux lines under the magnetic pole, if the fault is on top, and if an equivalent fault is down. It is important to notice that only one pole piece in the magnetic circuit is depicted, and the size of the fault is picked for illustrational purposes. Since the distance between the lower surface of the pole, and the inspected surface increases, the density of the magnetic flux lines is decreasing, which in turn causes the change in resistance which is measured.

4.2 Odróżnienie wad występujących na powierzchni dolnej i górnej płyty

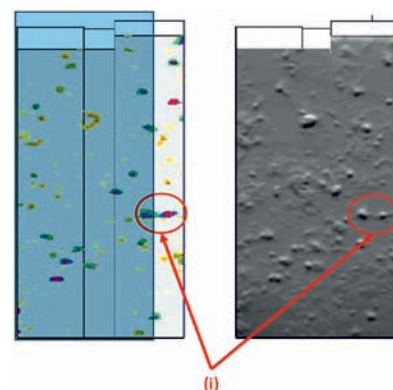
Jarzmo magnetyczne pokazane wcześniej na Rys. 1. zostało zilustrowane na Rys. 3. wraz z jego odwzorowaniem

w postaci analogowego układu elektrycznego. Na jego podstawie można wyjaśnić sposób rozpoznania wady występującej na powierzchni dolnej i górnej. Ze schematu obwodu magnetycznego widać, że wartość magnetycznego oporu jarzma obu nabiegunkników i do pewnego stopnia badanego materiału mają stałe parametry. Należy zauważyć, że dwa magnesy mmf1 i mmf2 pokazane są na schemacie elektrycznym jako źródła napięcia. Przez tę prostą analogię, przy pominięciu zmian potencjału wynikających z występującej wady na płycie, jedyne różnice oporu w obwodzie magnetycznym są wynikiem zmian w szczelinie powietrznej. Przy większej szczelinie powietrznej opór magnetyczny będzie większy. Jest to równoznaczne ze zwiększeniem rezystancji szczeliny powietrznej w układzie elektromagnetycznym. Zmiany szczeliny powietrznej można przypisać do kilku czynników, w tym odkształcenia płyty i uszkodzeń na górnej powierzchni próbki. W przypadku wad powierzchniowych zmiany w odległości pomiędzy dnem nabiegunknika (magnes 1 lub 2) będą wpływać na szczelinę powietrzną w niemal liniowy sposób [3]. W przypadku wady, większa głębokość zwiększy wielkość szczeliny powietrznej (czyli odległość pod nabiegunknikiem) i proporcjonalnie zwiększy opór szczeliny powietrznej. Zatem pomiar wad powierzchniowych może być zrealizowany przy użyciu odpowiednio położonych czujników pod magnesami.



Rys. 5. Sygnał MFL i odpowiedź czujników STAR dla wad występujących na górnej i dolnej powierzchni.

Fig. 5. MFL signal and the response of the STAR sensors for faults existing on upper and lower surface.



Rys. 6. Wyniki MFL i odpowiadające mu wyniki STARS (górna powierzchnia) mapowania fragmentu dna zbiornika pokazanego na Rys. 2. Zobrazowanie z użyciem STARS jest znacznie czytelniejsze niż z wykorzystaniem tylko MFL.

Fig. 6. The MFL results and corresponding STARS results (upper surface) of mapping the fragment of the storage tank bottom shown on picture 2. Visualized with usage of STARS makes it much more legible than when it is done only by using MFL.

Pomiar zmian szczeliny powietrznej realizowany jest przy użyciu czujników magnetycznych (używanych do mierzenia MFL), które są w stanie zmierzyć zmienność gęstości strumienia magnetycznego będącego funkcją wielkości szczeliny powietrznej.

Na Rys. 4. w postaci linii przedstawiono gęstość strumienia magnetycznego w przypadku wady występującej na górnej i dolnej powierzchni. Wysokość szczeliny powietrznej jest funkcją oporu magnetycznego oraz innych parametrów, takich jak przenikalność magnetyczna w szczelinie powietrznej. Można jednak przyjąć, że przenikalność magnetyczna w szczelinie jest wartością stałą.

Pomiary sygnału pod magnesem zostały zaimplementowane w skanerze dna zbiornika Floormap3DiM i mogą dostarczać informację rozróżniającą miejsce występowania wady po zestawieniu z konwencjonalnym sygnałem MFL. Takie uzupełnienie tradycyjnej technologii skanowania dna zbiorników MFL zostało zaprojektowane i opracowane przez firmę Silverwing (UK) Ltd i jest nazywane STARS.

Przykładowy zapis danych z MFL i STARS dla wad znajdujących się na górnej i dolnej powierzchni płyty ze stali pokazano na Rys. 5. Na rysunku przedstawiono przekrój wzdłuż osi płyty z wadami o głębokości 20%, 40%, 60% i 80%. Pierwszy obraz przedstawia odpowiedź MFL, gdy wady występują po stronie badania, a drugi obraz, gdy są na dole płyty. Wady te mają profile sferyczne. Tradycyjne dwubiegunowe sygnały MFL pochodzące z pojedynczego czujnika magnetycznego poruszającego się wzdłuż osi płyty na wysokości 4,1 mm zostały pokazane w górnej części Rys. 5. Jako że kolejne ubytki są coraz mniejsze, intensywność sygnału MFL proporcjonalnie maleje. Można zauważyć, że sygnał nie jest proporcjonalny do głębokości wady, a do jej objętości jak opisano w pracach Saundersona [4]. Jak wskazano w kilku publikacjach [5, 6, 3, 7, 8], sygnały MFL mają podobną charakterystykę dla wad o podobnej geometrii występujących na powierzchni od strony badania i po przeciwległej stronie płyty. Mimo że istnieje jeszcze niewielki wzrost amplitudy generowany przez wady na powierzchni od strony badania, to sygnały można uznać za wiarygodne i poddać dalszemu przetwarzaniu. Dzięki temu technologia STARS jest wykorzystywana do pomiaru wad na powierzchni od strony badania. Znając odpowiedź układu MFL dla wad występujących od czoła i na dnie płyty, przy użyciu czujników STARS można jednoznacznie stwierdzić, na której powierzchni występują ubytki korozyjne.

Rys. 6. pokazuje typowe zobrazenia, które mogą być uzyskane przy użyciu technologii STARS. Mapa MFL pokazana po lewej i STARS po prawej stronie wykonane zostały na płycie przedstawionej na Rys. 2. Pomijając paletę kolorów, istnieje wyraźna różnica w prezentacji pomiędzy dwiema mapami. Sygnały MFL zostały zoptymalizowane, aby pokazać intensywność, jednak dwubiegunowy charakter STAR i przejrzystość prezentacji wad pozwala na ich czytelne przedstawienie w skali szarości. Będąc dwubiegunowym, mediana sygnału, która wskazuje na brak ubytków na górnej powierzchni jest przedstawiana kolorem szarym. Należy zauważyć, że zarówno dla MFL, jak i STARS wykorzystywane

są czujniki o tej samej rozdzielczości, ale STARS zapewnia lepsze zobrazenie kształtu ubytku. MFL dąży do scalenia wad, które generują duży wpływ pola i znajdują się w bliskiej odległości, jednak odpowiadające im sygnały STARS pokazują wyraźne i odrębne wady. Wyraźne rozróżnienie dwóch połączonych wad opisanych w sekcji 2 jest wskazane przez (i). Większość wad w przykładowej płycie znajduje się na górnej powierzchni i tylko otwory zostałyby wykryte przez STARS, jeżeli skanowanie wykonano od drugiej strony.

5. Wnioski

W przeszłości metoda MFL postrzegana była jako dość prymitywna i niezbyt powtarzalna. Dostępne obecnie technologie pozwalają traktować technikę MFL na równi z innymi metodami badań nieniszczących, jednak ze względu na ograniczony dostęp do urządzeń oraz szkoleń, nadal na rynku funkcjonują błędne opinie. Podnoszenie kwalifikacji personelu badań nieniszczących dla lepszego zrozumienia techniki MFL oraz pewności interpretacji wyników badań dna zbiorników może prowadzić do upowszechnienia metody przez służby dozоровe i właścicieli zbiorników magazynowych jako metody powtarzalnej i wiarygodnej.

W artykule pokazano, w jaki sposób niektóre ograniczenia były i są nadal postrzegane oraz jak obecny stan techniki pozwala te ograniczenia likwidować. Narzędzia wykorzystywane w obecnie dostępnych na rynku skanerach MFL gwarantują dużą rozdzielczość badania, wysoką jakość gromadzonych danych, ich intuicyjną analizę oraz łatwe sposoby raportowania i zobrazenia danych.

6. Literatura/References

- [1] Jim Costain, Neil R. Pearson, Matthew A. Boat. Capability of modern tank floor scanning with Magnetic Flux Leakage. 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016.
- [2] Silverwing (UK) Ltd. website. <http://www.silverwingndt.com/magnetic-fluxleakage/floormap3di-mfl-tank-floor-scanner>, March 2016.
- [3] P. C. Charlton. Atheoretical and experimental study of the magnetic flux leakage method for the analysis of corrosion defects in carbon steel plate. PhD Thesis, Swansea institute of higher education, 1995.
- [4] D. H. Saunderson. The MFE tank floor scanner - a case history. IEE colloquium on non-destructive evaluation, 1988.
- [5] A. R. Ramirez, J. S.D. Mason, and N. R. Pearson. Experimental study to differentiate between top and bottom defects for mfl tank floor inspections. NDT&E international, 42:16–21, 2009.
- [6] D. L. Atherton and M. G. Daly. Finite element calculation of magnetic flux leakage detector signals. NDT international, 1987.
- [7] S. Lukyanets, A. Snarskii, M. Shamonin, and V. Bakaev. Calculation of magnetic leakage field from a surface defect in a linear ferromagnetic material: an analytical approach. NDT & E International, 36, 2003.
- [8] J. Wilson, M. Kaba, G. Y. Tian, and S. Licciardi. Feature extraction and integration for the quantification of PMFL data. Nondestructive Testing And Evaluation, 25:101–109, June 2010.

Tadeusz Morawski*

UTiE "Level", Warszawa, Polska

Zapewnienie jakości spoin w konstrukcjach stalowych

Quality assurance of welds in steel structures

ABSTRACT

The aim of the publication was to identify the main factors affecting the quality assurance of welds in steel structures. Particular attention was paid to the importance of imperfections and notches in carrying structures static and fatigue. Also recalled the basis for the fatigue strength of welds and provides examples of the types of joints in classes FAT. Conducted analysis of the requirements for imperfections for quality levels, B, C, D according to PN-EN ISO 5817: 2014 [4]. It highlighted the lack of attention to the CEN in connection with failures in the content standards. The new NDT techniques exemplified research tanks using PA.

Keywords: quality assurances, fatigue resistance, quality levels, fatigue classes of welded structure elements, standards, ultrasonic phased array (PA)

STRESZCZENIE

Celem publikacji było określenie głównych czynników mających wpływ na zapewnienie jakości spoin w konstrukcjach stalowych. Szczególną uwagę zwrócono na znaczenie niezgodności spawalniczych i karbów w konstrukcjach przenoszących obciążenia statyczne i zmęczeniowe. Przypomniano także podstawy dotyczące wytrzymałości zmęczeniowej spoin oraz podano przykłady typów złączy w klasach FAT. Przeprowadzono analizę wymagań dla niezgodności spawalniczych o poziomach jakości B, C, D, według PN-EN ISO 5817:2014E [4]. Podkreślono brak dbałości CEN w związku z usterkami w treści norm. Nowe techniki NDT zilustrowano przykładem badania zbiorników metodą PA.

Słowa kluczowe: zapewnienie jakości, wytrzymałość zmęczeniowa, poziomy jakości, klasy zmęczeniowe spawanych elementów konstrukcji, normy, wieloprzetwornikowe badanie ultradźwiękowe (PA)



Dr. Inż.

Tadeusz Morawski

1. Wstęp

Zapewnienie jakości konstrukcji spawanych jest procesem złożonym. Wymaga szeregu działań, których liczba wzrasta wraz ze stopniem ważności konstrukcji. Znaczącą rolę w tym procesie odgrywają złącza spawane, które mogą mieć decydujący wpływ na zakres użytkowania i niezawodność konstrukcji. Realizacja najważniejszych działań obejmuje:

- ustalenie warunków eksploatacji konstrukcji (temperatura, rodzaj i wielkość obciążeń, warunki korozyjne, okres eksploatacji itp.) oraz założeń dla rozwiązań konstrukcyjnych (rodzaj połączeń, rodzaj prętów: kształtowniki, rury, pełne pręty itd.);
- kształtowanie elementów konstrukcji, np. wg PN-EN 1993-1-8 [1] decyduje o stanie naprężeń, stopniu ich koncentracji oraz wielkości naprężeń własnych. Te z kolei wpływają na decyzję projektanta o gatunku stali. Błędy popełnione w fazie projektowania są trudne do naprawienia w wytwórni konstrukcji [2, 3]. Żle ukształtowanych elementów i połączeń nie można poprawić nawet przy zastosowaniu najlepszych technologii wytwarzania, składania i kontroli;
- określenie poziomu jakości QL (Quality Level) spoin lub granicznych wymiarów poszczególnych

niezgodności spawalniczych. Zagadnienie to wydaje się proste. Mamy przecież bogaty zestaw norm europejskich z zakresu badań nieniszczących [4-12], a zwłaszcza podstawową PN-EN ISO 5817 [4]. Norma ta ma zastosowanie dla spoin czołowych i pachwinowych o grubości materiału $t \geq 0,5$ mm, które przenoszą obciążenia statyczne, przeważająco stałe oraz wynikające z działania ciśnienia, temperatury czy korozji. Dodatkowo podano zalecenia dla konstrukcji przenoszących obciążenia zmęczeniowe;

- wybór technologii spawania oraz zatrudnienie kompetentnego personelu spawalniczego (spawalnicy, spawacze). Warto w tym miejscu podkreślić rolę inspektorów nadzoru. Stała ich obecność w procesie wytwarzania, a zwłaszcza podczas scalania i montażu elementów konstrukcji zawsze pomaga w utrzymaniu dobrej jakości wykonywanych operacji. Niestety rola nadzoru inwestorskiego nie jest doceniana, zbyt często jego miejsce z placu budowy przenoszone jest do biur i sal konferencyjnych;
- powierzenie montażu konstrukcji wytwórcy lub specjalistycznej firmie, według szczegółowo opracowanej technologii, w której dużą wagę powinna odgrywać kolejność składania elementów wysyłkowych. Najefektywniejszy technicznie i ekonomicznie jest montaż prosto "z kół", dzięki któremu unika się błędów przy składowaniu elementów konstrukcji (deformacje, uszkodzenia) oraz obniża koszty;
- zadbanie o sprawną organizację komórek kontroli technicznej, w tym o docenianie laboratorium zakładowego. Komórki te powinny dysponować personelem o sprawdzonych umiejętnościach, który jest w stanie, między innymi wykonywać badania różnymi metodami

*Autor korespondencyjny. E-mail: level_tmo@onet.pl

NDT oraz przeprowadzać analizę skutków obecności w konstrukcji wykrytych nieprawidłowości.

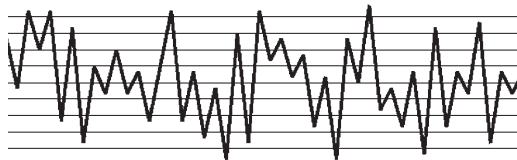
2. Zmienne obciążenia konstrukcji spawanych

Większość konstrukcji stalowych przenosi obciążenia przeważająco stałe. Co to praktycznie oznacza? Kiedy o bezpieczeństwie konstrukcji decyduje wytrzymałość zmęczeniowa? Zmęczenie materiału jest spowodowane działaniem zmiennego w czasie obciążenia, którego przebieg ma zazwyczaj charakter losowy (Rys. 1.), wynikający z warunków pracy konstrukcji. Zalecane jest takie kształtowanie złączy spawanych, aby zmienne obciążenia występowały w powtarzających się wielkościach i częstościach w stałych przedziałach czasu t . Mamy wówczas przypadek zmiennego obciążenia sinusoidalnego, opisanego wzorem (1), które przyjęto za podstawowe do wyznaczania własności materiałów i kształtowania elementów konstrukcji.

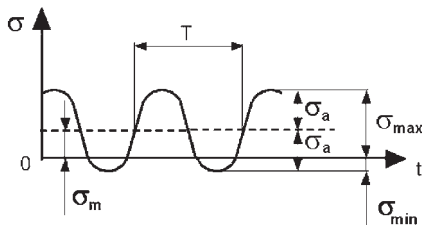
$$\sigma = \sigma_m + \sigma_a \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

gdzie: ω - częstość kołowa zmian naprężenia

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2)$$



Rys. 1. Losowe zmiany obciążenia
Fig. 1. Random load changes



Rys. 2. Zmiany naprężeń $\Delta\sigma$ o amplitudach σ_a
Fig. 2. Stress $\Delta\sigma$ changes with amplitudes σ_a

Konstrukcję spawaną uznaje się za przenoszącą obciążenia przeważająco stałe [13, 18], gdy liczba cykli N zmiany naprężeń $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$, w czasie eksploatacji konstrukcji, nie przekracza dopuszczalnej wartości N_{dop} podanej w Tabl. 1. Jeżeli rozpatrywanej wartości $\Delta\sigma$ nie ma w tablicy to dopuszczalną ilość cykli określa się ze wzoru (3):

$$N_{dop} = \frac{80 \cdot 10^9}{\Delta\sigma} \quad (3)$$

W przypadku, gdy zakres naprężeń $\Delta\sigma$ ulega istotnym zmianom w okresie eksploatacji konstrukcji, należy przeprowadzić obliczenie sprawdzające wg wzoru (4):

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (4)$$

gdzie: n_i - liczba cykli naprężeń $\Delta\sigma$ w badanych okresach „i” eksploatacji konstrukcji, N_i - liczba dopuszczalnych cykli N_{dop} dla $\Delta\sigma$ w okresach „i”.

Przykład obliczeń podano w Tab. 2 dla pięciu okresów użytkowania konstrukcji. Wynik $\frac{n_i}{N_i} = 0,88 < 1$ oznacza,

że konstrukcja jest poddawana obciążeniom przeważająco stałym.

3. Wytrzymałość zmęczeniowa konstrukcji spawanych

Wytrzymałością zmęczeniową nazywamy takie naprężenie σ_{max} dla danego cyklu naprężeń, przy którym złącze nie ulegnie zniszczeniu po osiągnięciu umownej granicznej liczby cykli N_G , (dla stali $N_G = 10 \cdot 10^6$). Wytrzymałość zmęczeniową wyrażają wykresy S-N (Wöhlera) wiążące wielkość naprężeń $\Delta\sigma$ z liczbą cykli N , które przedstawiono w układzie współrzędnych $[\sigma, \log N]$ na Rys. 3. jako ilustrację zależności:

$$N = c / \Delta\sigma^m \quad (5)$$

gdzie: m - współczynnik stopnia nachylenia krzywych S-N, dla stali $m = 3,0$; c - stała przybierająca wartości podane w Tab. 3., w zależności od rodzaju (stopnia nasilenia) karbu w złączu.

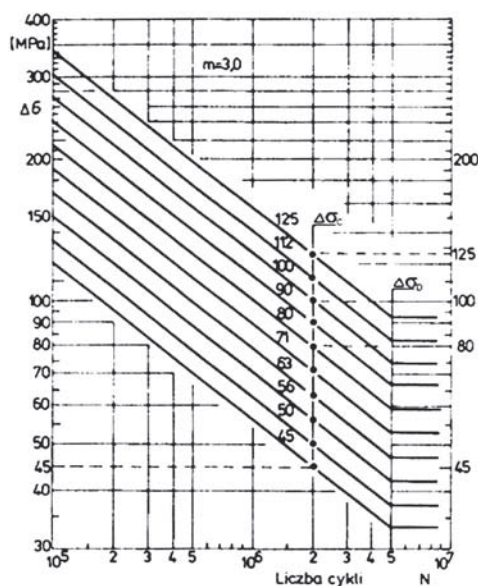
Punkt przecięcia się obydwóch odcinków wykresu wyznacza teoretyczną, graniczną liczbę cykli, która w różnym stopniu może odbiegać od przyjętej bazowej liczby cykli N_G .

Tab. 1. Dopuszczalna liczba cykli N_{dop} naprężeń $\Delta\sigma$ przy obciążeniach przeważająco stałych
Tab. 1. Acceptable number of cycles of N_{dop} stresses $\Delta\sigma$ at predominantly constant loads

L.p.	$\Delta\sigma$ [MPa]	N_{dop} [cykle]
1	200	$10 \cdot 10^3$
2	180	$14 \cdot 10^3$
3	160	$20 \cdot 10^3$
4	140	$30 \cdot 10^3$
5	120	$46 \cdot 10^3$
6	100	$80 \cdot 10^3$
7	80	$160 \cdot 10^3$
8	60	$370 \cdot 10^3$
9	50	$640 \cdot 10^3$
10	40	$1,25 \cdot 10^6$
11	34	$2,5 \cdot 10^6$
12	30	$3,0 \cdot 10^6$
13	20	$10 \cdot 10^6$

Tab. 2. Potwierdzenie przeważająco stałych obciążeń konstrukcji
Tab. 2. Confirmation of predominantly constant structural loads

Okres eksploatacji „i”	n_i	$\Delta\sigma$ [MPa]	N_{dop} [cykle]	n_i/N_{dop}
1	$0,9 \cdot 10^3$	140	$30 \cdot 10^3$	0,03
2	$8 \cdot 10^3$	100	$80 \cdot 10^3$	0,10
3	$74 \cdot 10^3$	60	$370 \cdot 10^3$	0,20
4	$375 \cdot 10^3$	40	$1,25 \cdot 10^6$	0,30
5	$750 \cdot 10^3$	30	$3,0 \cdot 10^6$	0,25
Suma n_i/N_i				0,88 < 1



Rys. 3. Wykres zmęczenia dla stali przy zmiennych naprężeniach normalnych

Fig. 3. Fatigue resistance curves for steel, normal stress

4. Wpływ korbów na jakość spoin

Przyczyną koncentracji naprężeń w obciążonych złączach spawanych są karby. Przeprowadzając badania nieniszczące spoin w procesie wytwarzania, montażu i eksploatacji konstrukcji, mamy do czynienia głównie z korbami geometrycznymi, którymi są niezgodności spawalnicze. Elementy złącza spawanego mogą mieć różne kształty, rodzaj spoin oraz jakość powierzchni. Tak odmiennie ukształtowane złącza są korbami, o większym lub mniejszym wpływie na koncentrację naprężeń. Aktualna klasyfikacja tych korbów opracowana w IIW wymienia następujące ponumerowane typy [1, 14-16,]:

- 100 - Elementy niespawane, Unwelded parts of a component;
- 200 - Złącza doczołowe, obciążenia poprzeczne, But welds, transverse loaded;
- 300 - Ciągłe spoiny podłużne, Longitudinal load-carrying welds;
- 400 - Złącza krzyżowe i typu T, Cruciform joints and/or T-joints;
- 500 - Nieobciążone przyłącza itp., Non-load-carrying attachments;
- 600 - Złącza zakładkowe, Lap joint;
- 700 - Wzmocnienia, Reinforcements;
- 800 - Połączenia kołnierzone, odgałęzienia i dysze, Flanges, branches and nozzles;
- 900 - Złącza rurowe, Tubular joint.

Każdy typ połączenia tworzy zbiór spawanych elementów o takich samych lub podobnych kształtach, które w praktyce wykonywane są odmienną technologią i z inną dokładnością. Są one zaliczane do różnych klas wytrzymałości zmęczeniowej FAT (Tab. 3). Przykłady określonego typu złączy spawanych, wykonanych w różnych klasach FAT, podano w Tab. 4 z zaznaczonymi kierunkami działania obciążeń oraz prawdopodobnym miejscem pojawienia się pęknięcia zmęczeniowego.

Tab. 3. Wartości stałej „c” oraz trwałej wytrzymałości zmęczeniowej $\Delta\sigma_D = \text{const}$ (dla $N = 5 \cdot 10^6$) przy naprężeniach rozciągających i ściskających dla różnego stopnia nasilenia karbu wyrażonego klasą zmęczeniową FAT, tj. wartością $\Delta\sigma_c$ przy liczbie cykli $N = 2 \cdot 10^6$

Tab. 3. Constant „c” and durable fatigue resistance values $\Delta\sigma_D = \text{const}$ (at $N = 5 \cdot 10^6$) for tensile and compressive stresses for different degrees of notch intensity expressed by FAT fatigue class, ie $\Delta\sigma_c$ at $N = 2 \cdot 10^6$

$\Delta\sigma_c$; FAT [MPa]	m = 3,0	
	c	$\Delta\sigma_D$ [MPa]
125	$3,91 \cdot 10^{12}$	92
112	$2,81 \cdot 10^{12}$	82
100	$2,00 \cdot 10^{12}$	74
90	$1,46 \cdot 10^{12}$	66
80	$1,02 \cdot 10^{12}$	59
71	$7,16 \cdot 10^{11}$	52
63	$5,00 \cdot 10^{11}$	46
56	$3,51 \cdot 10^{11}$	41
50	$2,50 \cdot 10^{11}$	37
45	$1,82 \cdot 10^{11}$	33

5. Poziomy jakości spoin w konstrukcjach stalowych

Wykonanie idealnych spoin „bez wad” jest praktycznie nierealne. Dążenie do spełnienia zbyt ostrych poziomów akceptacji niezgodności spawalniczych najczęściej powoduje wycinanie mniej znaczących niezgodności i wprowadzanie innych, często groźniejszych w skutkach, np. mikropęknięć czy przyklejeń. Od ponad pięćdziesięciu lat poszerzana jest wiedza o wpływie niezgodności spawalniczych na wytrzymałość złączy przenoszących różny rodzaj naprężeń. Najbogatsza literatura na ten temat, oparta na badaniach laboratoryjnych i doświadczeniach przemysłowych, publikowana jest w dokumentach Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa IIW (International Institute of Welding) i upowszechniana w normach ISO. Rok temu właśnie w Instytucie padły słowa: „Nothing is perfect. This includes welds and People.” To dr Geoff Booth komentował swój wykład pt.: Lessons from Catastrophic Weld Failures. Dobrą ilustracją zmian przy ocenie jakości spoin są kolejne weryfikacje normy EN-ISO 5817 (EN 25817:1992, EN ISO 5817:2003, 2007, 2014 i planowana na 2017 r.). Wszystkie wersje tej normy stanowiły o poziomach jakości B, C, D według niezgodności spawalniczych. Norma z 2014 r. [4] wprowadza w punkcie 3.9 po raz pierwszy definicję klasy zmęczeniowej FATx (fatigue class). W miejsce symbolu „x” zapisuje się wartość zakresu dwustronnie zmiennych naprężeń $\Delta\sigma^c$ przy $N = 2 \cdot 10^6$ cykli. Źródłowy dokument [14], dla normy [4], podaje podstawowe informacje i zalecenia dotyczące projektowania połączeń spawanych przenoszących zmienne obciążenia oraz procedury oceny przeprowadzanych analiz dla uniknięcia awarii spowodowanych zmęczeniem. Pełny tekst dokumentu jest dostępny w Internecie.

Tab. 4. Wybrane typy elementów spawanych w klasach zmęczenia FAT

Typ nr	Element konstrukcyjny	Charakterystyka złącza t - grubość materiału	FAT [MPa]
211		Spoiny czołowe X lub V, obciążenia poprzeczne, szlifowana, 100% NDT	112
212		Spoina wykonana w hali, NDT, nadlew < 0,1t, przesunięcie < 5% t	90
214		Spoina na usuwanej nietopliwej podkładce. VT, przesunięcie < 10% t	80
215		Spoina na stałej podkładce Przesunięcie liniowe < 10% t	71
216		Spoina jednostronna. NDT Pełny przetop. Przesunięcie < 10% t, Gdy nie ma NDT:	71 36
221		Spoina szlifowana, NDT, zbieżność lub nachylenie: 1:5 1:3 1:2	112 100 90
222		Spawanie w hali. NDT. Zbieżn.: 1:5 1:3 1:2	90 80 72
231		Spoina czołowa elementów (prętów) walcowanych, szlifowana. NDT	80
232		Spoina obwodowa spawana z jednej strony, pełny przetop, NDT grani. Gdy nie ma NDT:	71 36
311		Spoiny wykonane automatycznie bez zatrzymywania. Spawanie z „przystankami”	125 90
313		Wzdłużna spoina czołowa, z obu stron szlifowana równoległe do kierunku obciążenia, NDT	125
322		Ciągła automatyczna dwustronna spoina pachwinowa bez śladów zatrzymywania spawania	100
411		Złącze krzyżowe lub T, spoiny K pełny przetop, szlifowane brzegi. przesunięcie $e < 15\% t$	80
415		Złącze krzyżowe lub T, spoina „na V”, pełny przetop, NDT, $e < 15\% t$ Gdy grani nie jest badana:	71 36
525		Wstawka przyspawana o długości l: l < 150 mm l < 300 mm l > 300 mm	50 45 40

W Aneksie C normy [4] zamieszczono dopuszczalne wymiary nieciągłości dla poziomów jakości spoin obciążonych zmęczeniowo. Poziom jakości D nie ma tu zastosowania, a dla poziomów C i B wprowadzono uzupełniające wymagania. W ten sposób utworzone zostały trzy poziomy jakości: C63, B90 i B125 równoważne klasom zmęczeniowym FAT63 ($36 \leq \Delta\sigma_c < 63$), FAT90 ($63 \leq \Delta\sigma_c < 90$) i FAT125 ($90 \leq \Delta\sigma_c < 125$). Poziom jakości C63 w zasadzie określany jest takimi samymi wymaganiami jak dla spoin o poziomie jakości C (Tab. 1. w PN [4]). Poziom jakości B90 praktycznie jest tożsamy

z wymaganiami dla poziomu B, chociaż ograniczona została długość pęcherzy (2015, 2016) do max 20 mm dla złączy odprężanych, a gniazdo pęcherzy (2013) potraktowano, chyba pomyłkowo, niezgodnie z „filozofią oceny pęcherzy” zawartą w głównej tablicy normy. Filozofia ta polega na rezygnacji z obliczania, w procentach, maksymalnej powierzchni rzutowania pęcherzy (2013, 2014). Ich dopuszczalną wielkość określono wymiarami liniowymi: d - średnica pęcherza, h - szerokość wskazania, szerokość lub wysokość powierzchni pęcherzy, l - długość wskazania (Rys. 5).

Dla osiągnięcia poziomu jakości B125 powierzchnia złącza spawanego nie może być w stanie surowym (as welded). W tym poziomie nie dopuszcza się obecności większości niezgodności spawalniczych, a pozostałym powierzchniowym ograniczono dopuszczalny wymiar, np. nadlew spoiny (502) do max 2 mm, wyciek (504) do max 1 mm. Poziom B125 został wykluczony dla spoin pachwinowych. Pęcherze 2013 i 2014 mają tu podobnie jak dla poziomu B90 błędnie określone wymagania. Błąd ten potwierdzają dane zawarte w najnowszej (publikacja styczeń 2017) normie EN ISO 10675-1: 2016E [8], według której podano w tabeli 5 przykład oceny pęcherzy metodą radiograficzną.

Tab. 5. Ocena pęcherzy wg EN ISO 10675-1: 2016E [8]

Tab. 5. Evaluation of pores according to EN ISO 10675-1: 2016E [8]

przypadek 1 ($D > d_{A2}$) przypadek 2 ($D < d_{A2}$)		przypadek 1 ($D > d_{A2}$) przypadek 2 ($D < d_{A2}$)	
2014 Łańcuch pęcherzy		2013 Gniazdo pęcherzy d_A - średnica obw. pow. porów	
QL D	$h \leq 0,4 s$, max 4 mm $l \leq s$, max 75 mm	$d_A \leq wp$, max 25 mm $L = l_p = 100$ mm	
QL C	$h \leq 0,3 s$, max 3 mm $l \leq s$, max 50 mm	$d_A \leq wp$, max 20 mm $L = l_p = 100$ mm	
QL B	$h \leq 0,2 s$, max 2 mm $l \leq s$, max 25 mm	$d_A \leq wp$, max 15 mm $L = l_p = 100$ mm	

Dla zapewnienia jakości konstrukcji ważny jest racjonalny dobór metod kontroli spoin oraz ustalanie poziomów akceptacji wskazań AL (Acceptance Level) od wykrytych niezgodności. Zasady doboru AL wskazań, wykrytych głównymi metodami NDT, podają normy [6, 8 - 11]. Tylko przy badaniu spoin metodą wizualną ocenia się rzeczywiste wymiary niezgodności powierzchniowych przez ich porównanie z wymiarami granicznymi podanymi w normie [4].

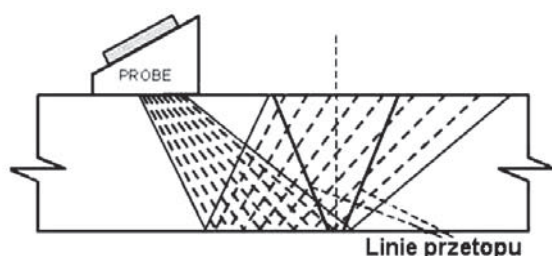
Badania metodami magnetycznymi i penetracyjnymi praktycznie ograniczają się do poszukiwania pęknięć i w tym

zakresie są skutecznym uzupełnieniem badań wizualnych. Wymiary wskazań akceptowanych PT [10] i MT [11] dla poszczególnych poziomów jakości spoin nie uległy zmianie od wielu lat.



Rys. 4. Zbiornik na ciekły etylen: $D = 12140$ mm, $L = 42$ m, ścianki $t = 22,8 \div 25$ mm. Spoiny badane w 100% RT i 100% UT-PA (phased array).

Fig. 4. The tank for liquid ethylene: $D = 12140$ mm, $L = 42$ m, wall $t = 22,8 \div 25$ mm. Welds inspected 100% RT and 100% UT-PA (phased array).



Rys. 5. Wiązka ultradźwiękowa głowicy 2L64-A2 z układem 64 elementów przetwornikowych (PA).

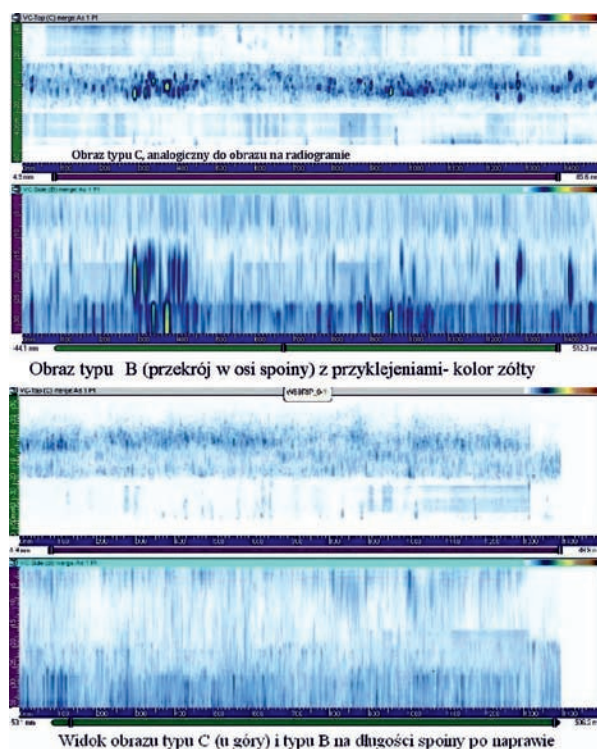
Fig. 5. Ultrasonic beam of the probe 2L64-A2 with array of 64 transducer elements (PA).

Wspomniane wcześniej „usterki” norm [4 i 8] powinny skłaniać personel NDT do dokładniejszej analizy zmian w cyklicznie weryfikowanym normach. Chodzi głównie o zmiany, które mogą wpłynąć na ocenę jakości spoin. W normie ultradźwiękowej [9] zmianie uległy, np. wartości niektórych reflektorów odniesienia dla techniki nr 2, tj. średnicy płaskodennego otworu D_{DSR} . Dla poziomów akceptacji wskazań AL2 i AL3 w spoinach o grubości $8 \leq t < 15$ mm i $15 \leq t < 40$ mm średnice te zwiększono o 0,5 mm, odpowiednio z 1,0 mm do 1,5 mm oraz z 1,5 mm do 2,0 mm. Powierzchnia płaska takiego reflektora powiększyła się znacznie, a zatem przy ustalaniu poziomu odniesienia (wzmocnienia aparatu w dB) otrzymamy impuls o takiej samej wysokości (echo od dna reflektora odniesienia) przy niższym poziomie wzmocnienia. Wszystkie pozostałe parametry badania: poziom oceny, poziom zapisu i poziom akceptacji są funkcją poziomu odniesienia. Nowe wykresy tych poziomów podane w PN [9] są czytelne, ale czy ich stosowanie zapewnia taką samą czułość wykrywania wskazań niezgodności jak w przypadku ustaleń z poprzedniej wersji normy [9]? Podobne pytanie dotyczy wcześniej omówionej zmiany zasad oceny pęcherzy, które upraszczają ocenę obrazu radiograficznego pęcherzy, ale czy ocena jakości spoin jest taka sama? Podczas rutynowych badań przemysłowych najczęściej nie ma czasu na prowadzenia

takich porównań, a brak norm PN w polskiej wersji językowej zniechęca do podobnych analiz.

Ważnym czynnikiem wiarygodności badań NDT jest umiejętność wykorzystania aparatury badawczej, w szczególności tej skomputeryzowanej. Nowoczesna aparatura spowodowała utworzenie nowych technik i oddzielnych metod NDT. W metodzie radiograficznej mamy już klasyczną radiografię błonową (TR-F) i rozbudowaną radiografię cyfrową (RT-DR). Metoda ultradźwiękowa wzbogaciła kontrolę spoin o kolejną komputerową technikę wieloprzetwornikową PA (phased array).

W systemie PA stosowane są głowice ultradźwiękowe z wieloma miniaturowymi przetwornikami, z których każdy niezależnie wysyła i odbiera falę ultradźwiękową z pewnym, elektronicznie sterowanym opóźnieniem (Rys. 5.) Przeszukiwanie wiązką ultradźwiękową wykonuje się, przesuwając głowicę równolegle do osi spoiny (odpada ruch zygzakowy). Przykładem zastosowania techniki PA jest badanie zbiorników na ciekły etylen (Rys. 4.) opisane w publikacji [17, 18]. Rysunek 6 podaje skany spoiny z przyklejeniami i po ich wycięciu. Wielką zaletą jest możliwość obserwacji badanego złącza w postaci wizualizacji, z wykorzystaniem zobrazowania typu B (obraz podłużnego przekroju, ujawnia głębokość położenia wady i jej podłużny wymiar) i typu C (obraz jak na radiogramie, wielkość niezgodności określają barwy, od żółtej do brązowej).



Rys. 6. Skany spoiny z przyklejeniami i po jej naprawie.

Fig. 6. Weld scans with the lack of fusion and after after repair.

6. Podsumowanie

Przyczyny uszkodzeń lub katastrof różnych konstrukcji spawanych dowodzą, że większość z nich wzięła początek od obecnych w złączu niezgodności dwuwymiarowych, które mogą powstać w wyniku procesu spawania, a następnie powiększają się w trakcie eksploatacji konstrukcji aż do osiągnięcia wielkości krytycznej (kruche pęknięcia)

bądź w przypadku przekroczenia granicznej wytrzymałości zmęczeniowej (działanie karbu, pękanie).

Wprowadzenie do PN-EN ISO 5817 granicznych wymiarów niezgodności spawalniczych dla klas wytrzymałości zmęczeniowej stwarza szansę opracowania takiej normy „matki”, która stanie się jedynym źródłem dla norm stanowiących poziomy akceptacji wskazań w badaniu złączy spawanych poszczególnymi metodami NDT, a także będzie podstawowym dokumentem przy opracowywaniu procedur w procesie projektowania, wytwarzania i badania nietypowych konstrukcji stalowych. Nowe normy EN uwzględniają postęp techniki, w tym wymagania dla skomputeryzowanej aparatury NDT oraz możliwości prezentacji 2D i 3D wyników badań. Warto i należy śledzić zmiany wymagań w nowych normach PN, ale także trzeba je publikować w języku polskim.

7. Literatura/References

- [1] PN-EN 1993-1:2006P Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów. Część 1-9: Zmęczenie i in.
- [2] PN-EN 1090-2+A1:2012/Ap1:2014P Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych
- [3] Bródka J., Kozłowski A., Ligocki I., Łaguna J., Ślęczka L.: Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych. Tom 1. Wydawnictwo PWT 2012 i Tom 2. Wydawnictwo DIK 2015
- [4] PN-EN ISO 5817:2014E : Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [5] PN-EN ISO 6520-1:2009P: Spawanie i procesy pokrewne. Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach. Część 1: Spawanie
- [6] PN-EN ISO 17635:2010E: Badania nieniszczące spoin. Zasady ogólne dotyczące metali
- [7] PN-EN ISO 17637:2011E: Badania nieniszczące spoin. Badania wizualne złączy spawanych
- [8] BS-EN ISO 10675-1: 2016E publikacja 31.01.2017 (zastępuje EN ISO 10675-1:2013). PN-EN ISO 10675-1:2013E: Badania nieniszczące spoin. Poziomy akceptacji przy badaniach radiograficznych. Część 1: Stal, nikiel, tytan i ich stopy
- [9] PN-EN ISO 11666:2011P: Badania nieniszczące spoin. Badania ultradźwiękowe złączy spawanych. Poziomy akceptacji
- [10] PN-EN ISO 23277:2015E: Badania nieniszczące spoin. Badania penetracyjne złączy spawanych. Poziomy akceptacji
- [11] PN-EN ISO 23278:2015E: Badania nieniszczące spoin -- Badania magnetyczne proszkowe złączy spawanych. Poziomy akceptacji
- [12] PN-EN ISO 9712:2012P: Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących
- [13] Document IIW XV-521-82: Permissible weld discontinuities static loading
- [14] Document IIW-1823-07ex XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07 December 2008: Recommendations for fatigue design of welded joints and components. This document is a revision of XIII-1539-96 / XV-845-96
- [15] Wichtowski B.: Ocena zmęczenia i doboru stali na konstrukcje stalowych mostów spawanych wg Eurokodu 3, Przegląd Spawalnictwa 12/2009
- [16] Biłous, P. Łagoda, T. Działanie karbu strukturalnego w stalowych złączach spawanych Przegląd Spawalnictwa 12/2008
- [17] F. D. Antonio, G. Carratino, I. Paci Use of NDT computerized ultrasonic method with phased array technique in substitution of radiographic method on butt welds of type C independent tanks. 10 ECNDT w Moskwie 2010
- [18] Morawski T., Zmiany w ustalaniu poziomów jakości złączy spawanych według normy EN ISO 5817: 2014. Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych „Popów 2014”
- [19] Morawski T., Badanie złączy spawanych według aktualnych Polskich Norm. Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych „Popów 2015”

- 1) Prof. zw. dr inż. dr h.c. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 2) Prof. dr hab. inż. Jerzy Nowacki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 3) Dr inż. Przemysław Łopato, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 4) Dr Barbara Grochowalska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 5) Mgr inż. Marek Lipnicki, Koli sp. z o.o.
- 6) Dr hab. inż. Jacek Szelażek, prof. IPPT, IPPT PAN
- 7) Dr inż. Michał Kawiak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 8) Dr inż. Grzegorz Psuj, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

RADIOGRAFIA CYFROWA – WYDANIE STACJONARNE I MOBILNE

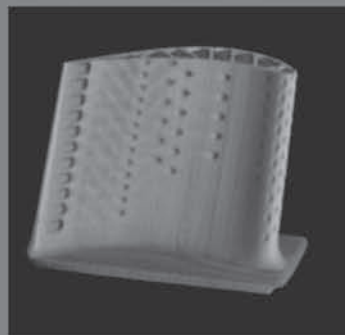
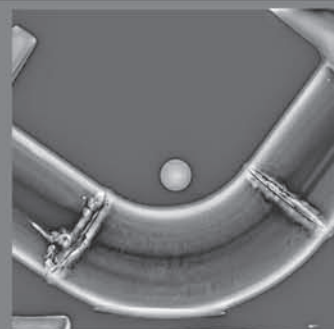
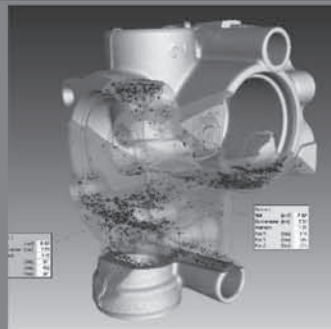
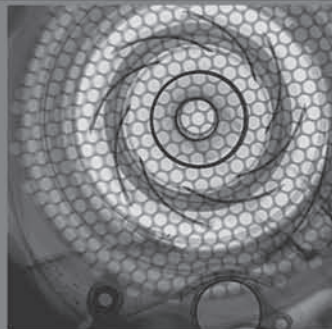
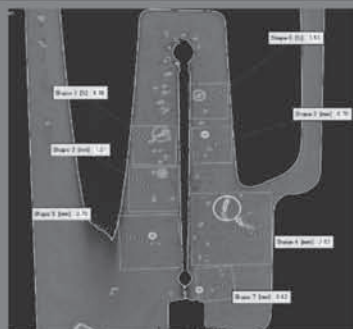
MOTORYZACJA – ODLEWNICTWO – LOTNICTWO – DIAGNOSTYKA



YXLON

Stacjonarne systemy badawcze

- Radioskopia
- Radiografia cyfrowa
- Tomografia komputerowa
- Lampy rentgenowskie
- Rozwiązania dedykowane



YXLON International GmbH

- Lider stacjonarnych systemów przemysłowych 2D
- Najbardziej wydajne systemy badań tomografii komputerowej
- Najlepszy na rynku system filtracji na żywo Y.HDR
- Obrazy referencyjne ASTM do wszystkich materiałów
- Uniwersalny i dopracowany w każdym szczególe
- Niezawodny, precyzyjny i trwały



Aerospace



Shipyards



Oil & Gas



Construction



Railways



Munition

NOVO DR Ltd.

- Największy obszar aktywny do wymiarów obudowy ➤
- Najmobilniejszy system radiografii cyfrowej ➤
- Możliwość pracy do 16h bez zasilania ➤
- Proste i szybkie badania ➤



NOVO

Digital Radiography

Przenośna radiografia cyfrowa

- Ultra lekkie detektory tylko 1,5 kg
- 16 bitowa skala szarości
- Intuicyjny software w języku polskim
- System bezprzewodowy do 400 m
- Dopuszczalne obciążenie do 200 kg



casp system
ADVANCED TECHNOLOGIES



Casp System Sp. z o. o., ul. Puszkina 2, 43-603 Jaworzno
tel.: +48 (32) 614 12 29, faks: +48 (32) 750 56 06
ndt@casp.pl, www.ndt24.pl

Amadeusz Opas, Ryszard Pakos*

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska

Dobór liczby naświetlań w badaniach radiograficznych

Selection of the number of radiographs in radiographic examinations

ABSTRACT

The article defines the importance of analyzing the number of radiographs performed in radiographic studies depending on the geometrical properties of the object and the accepted test method. Considerations were based on the minimum exposure data for one- and two-wall penetration techniques as defined in PN-ISO EN 17636-1 for pipes with a diameter of less than or greater than 100 mm. The rules for selecting the number of exposures were determined.

Keywords: radiography, radiogram quality, dispersion radiation

STRESZCZENIE

W artykule tym określono znaczenie analizy liczby wykonanych radiogramów w badaniach radiograficznych w zależności od właściwości geometrycznych obiektu i przyjętej metody badań. Rozważania przeprowadzono w oparciu o dane dotyczące minimalnej ilości ekspozycji w technikach penetracji jednej i dwóch ścianek zawartych w normie PN-ISO EN 17636-1 dla rur o średnicy mniejszej i przekraczającej 100 mm. Określono zasady doboru liczby ekspozycji.

Słowa kluczowe: badania radiograficzne, jakość radiogramu, promieniowanie rozproszone



Inż.

Amadeusz Opas



Dr Inż.

Ryszard Pakos

1. Wstęp

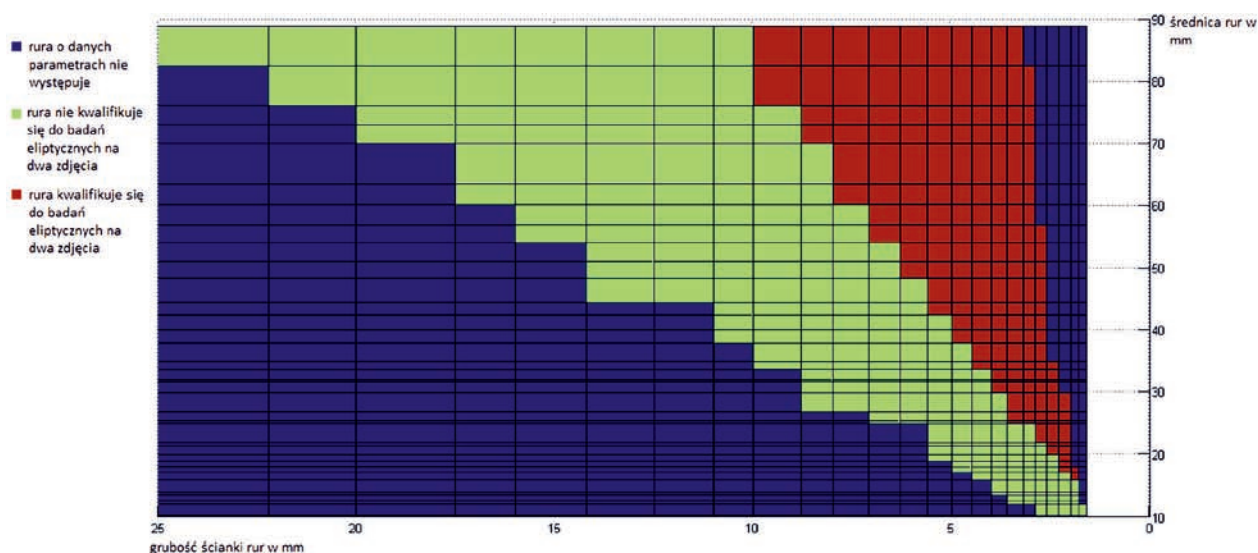
Problematyka doboru liczby ekspozycji w badaniach radiograficznych pozornie wydaje się opracowana i nie budząca wątpliwości merytorycznych. Liczba ekspozycji jest określona normą PN-ISO EN 17636-1 [1], która jednak dopuszcza pewne, nie do końca zdefiniowane, odstępstwa. Brózda J. i Czuchry J. w pracy [2] odnoszą się do tego zagadnienia, rozpatrując je jednak tylko pod względem obszaru pojedynczego naświetlenia oraz doboru odległości źródła do badanego obiektu. Słania J. i Sołtys K. w pracy [3] badają wpływ promieniowania rozproszonego na jakość obrazu na radiogramie. Mackiewicz S. [4] analizuje znaczenie promieniowania rozproszonego i jego roli w badaniach radiograficznych. W literaturze brak jest odniesień dotyczących wpływu metody badań na liczbę ekspozycji, mimo że norma PN-ISO EN 17636-1 dopuszcza odstępstwa od zalecanej przez nią liczby ekspozycji. Dlatego jako cel pracy przyjęto przeanalizowanie zalet oraz wad poszczególnych metod badań rentgenowskich dopuszczonych przez normę PN EN ISO 17636-1, biorąc pod uwagę różne powiązania wielkości geometrycznych badanego elementu.

2. Minimalna ilość ekspozycji

Ustalanie minimalnej ilości ekspozycji przy badaniach

obwodowych złączy doczołowych dokonuje się w oparciu o normę PN-ISO EN 17636-1. Dokument ten, bazujący na teorii oraz praktyce badań, ustala dla rur o średnicach przekraczających 100 mm optymalną liczbę radiogramów ze względu na dokładność i koszty. Technika eliptyczna (podwójna ścianka/podwójne zdjęcie), nie powinna być wykorzystywana dla średnicy zewnętrznej $D_e > 100\text{mm}$ lub grubości ścianki rury $t > 8\text{ mm}$ lub szerokości spoiny $D_e/4$. Dwa przesunięte o 90° zdjęcia są wystarczające, jeżeli $t/D_e < 0,12$, w przeciwnym wypadku wymagane są trzy zdjęcia. Odległość między dwoma rzutami spoiny musi wynosić około jednej szerokości spoiny. Kiedy badanie eliptyczne jest trudne do przeprowadzenia, może być stosowana technika prostopadła [1]. W tym przypadku wymagane są trzy ekspozycje przesunięte po obwodzie o kąt 120° i 60° . Dla ustawienia badania przez dwie ścianki zgodnie z rysunkami 11, 13 i 14 [1], nachylenie wiązki musi być jak najmniejsze i być takie, aby uniknąć nakładania się dwóch obrazów. Pozostałe techniki radiograficzne mogą zostać ustalone przez umawiające się strony, gdy jest to przydatne, np. z takich powodów jak geometria elementu lub różnice w grubości materiału. W celu zmniejszenia czasu ekspozycji odcinków o jednokowej grubości nie należy stosować techniki wielu błon. Dodatkowo, przy tym samym materiale można zastosować kompensację grubości. Podział metod badań rur o średnicach do 100 mm przedstawiono na rysunku 1.

*Autor korespondencyjny. E-mail: ryszard.pakos@zut.edu.pl



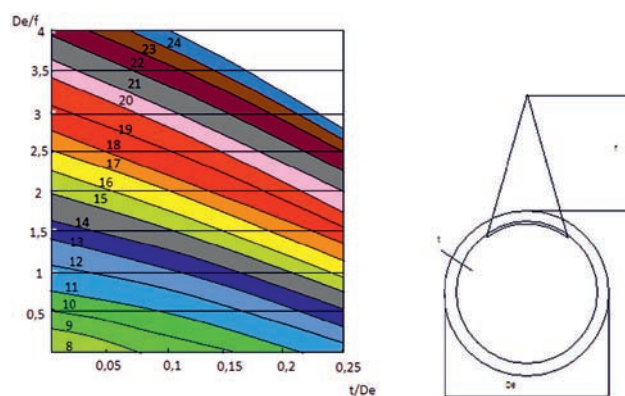
Rys. 1. Podział metod badań dla rur o średnicy do 100 mm.

Fig. 1. Division of test methods for pipes up to 100 mm in diameter.

 Tab. 1. Ilość radiogramów dla metody przez jedną ściankę i $De = 101,6$ mm w zależności od grubości ścianki i ogniskowej.

Tab. 1. Number of radiographs for one-wall test method and diameter 101.6 mm depending on wall thickness and focal length.

t [mm]	t/De	De/f						
		1,02	0,51	0,34	0,25	0,20	0,17	0,15
		f						
		100	200	300	400	500	600	700
3,6	0,035	12	10	9	9	9	9	9
4,0	0,039	12	10	9	9	9	9	9
4,5	0,044	12	10	9	9	9	9	9
5,0	0,049	12	10	9	9	9	9	9
5,6	0,055	12	10	10	9	9	9	9
6,3	0,062	12	10	10	9	9	9	9
7,1	0,070	12	10	10	9	9	9	9
8,0	0,079	12	10	10	10	9	9	9
8,8	0,087	13	11	10	10	9	9	9
10,0	0,098	13	11	10	10	9	9	9
11,0	0,108	13	11	10	10	10	9	9
12,5	0,123	13	11	10	10	10	10	9
14,2	0,140	13	12	11	10	10	10	10
16,0	0,157	14	12	11	11	10	10	10
17,5	0,172	14	12	11	11	11	10	10
20,0	0,197	15	13	12	11	11	11	11
22,2	0,219	15	13	12	12	11	11	11
25,0	0,246	16	14	13	12	12	12	11
28,0	0,276	16	14	13	13	12	12	12



Rys. 2. Zasada doboru ilości ekspozycji dla metody badania przez jedną ściankę, zgodny z normą ISO 17636-1.

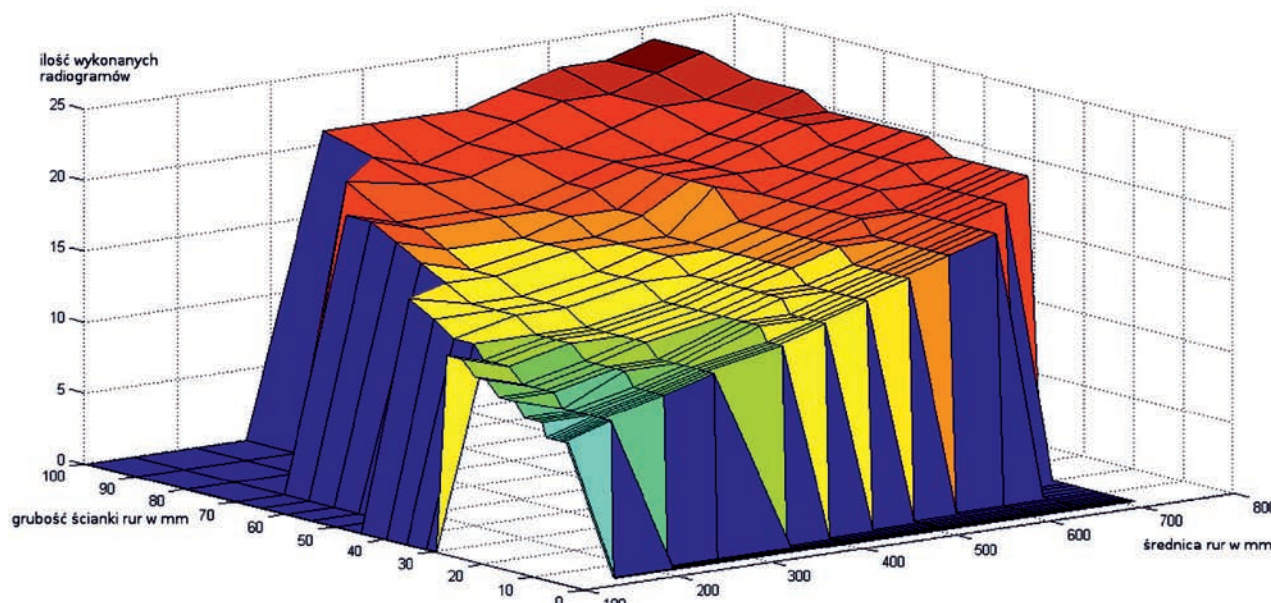
Fig. 2. Principle of the selection of the exposure for the one-wall test method in accordance with ISO 17636-1.

W badaniach rur o średnicy większej od 100 mm norma PN EN ISO 17636-1 zaleca liczbę zdjęć wg 3 metod badań:

- przez jedną ściankę do wewnątrz;
- przez jedną ściankę na zewnątrz (centrycznie);
- przez dwie ścianki.

Metoda badania przez jedną ściankę na zewnątrz daje możliwość zrobienia jednej ekspozycji dla całego badanego złącza. Źródło promieniowania umiejscowione winno być centralnie, dlatego w tym przypadku nie znajdują zastosowania lampy z okienkiem nierównomierne naświetlające błony. Dlatego korzystniejszy jest izotop, który promieniuje równomiernie we wszystkich kierunkach.

W analizie badań techniką normalną przez jedną ściankę posłużono się wykresem doboru minimalnej liczby ekspozycji N dla klasy dokładności B z normy PN-ISO EN 17636-1 (Rys. 2.), z którego wynika, że do wyboru liczby ekspozycji potrzebne są dwa ilorazy - stosunek średnicy rury do ogniskowej wykonanego radiogramu oraz stosunek grubości ścianki do średnicy badanej rury. Pole, w jakim znajduje się punkt powstały po przecięciu się normalnych do wartości podanych na osiach, oznacza liczbę dobranych radiogramów. Dobraną ilość



Rys. 3. Zobrazowanie doboru ilości ekspozycji dla metody badania przez jedną ściankę w zależności od średnicy rury i grubości ścianki rury przy stałej ogniskowej równej 200 mm.

Fig. 3. Visualization of the amount of exposure for the one-wall test method, depending on the pipe diameter and wall thickness of the pipe at 200 mm constant focal length.

radiogramów dla metody badania przez jedną ściankę i średnicy 101,6 i 711 mm w zależności od grubości ścianki i wielkości ogniskowej porównano w tabelach 1 i 2. Zależność liczby radiogramów dla metody badania przez jedną ściankę i średnicy 101,6 mm od grubości ścianki i wielkości ogniskowej zaprezentowano na rysunku 3.

Tab. 2. Ilość radiogramów dla metody badania przez jedną ściankę i $De = 711$ mm w zależności od grubości ścianki i ogniskowej.

Tab. 2. Number of radiographs for the one-wall test method and diameter 711 mm depending on wall thickness and focal length.

t [mm]	t/De	De/f					
		3,56	2,37	1,78	1,42	1,19	1,02
		f					
		200	300	400	500	600	700
25	0,035	21	17	15	13	12	12
28	0,039	21	17	15	13	12	12
30	0,042	21	17	15	13	12	12
36	0,051	21	17	15	14	12	12
40	0,056	21	17	15	14	13	12
45	0,063	22	17	15	14	13	12
50	0,070	22	17	15	14	13	12
55	0,077	22	17	15	14	13	12
60	0,084	22	18	15	14	13	13
65	0,091	22	18	15	14	13	13
70	0,098	23	18	16	14	13	13
80	0,113	23	18	16	14	13	13
90	0,127	24	18	16	15	14	13
100	0,141	24	19	17	15	14	13

Tab. 3. Ilość radiogramów dla metody przez dwie ścianki i średnicy 101,6 mm w zależności od grubości ścianki i wielkości ogniskowej.

Tab. 3. Number of radiographs for the method by two walls and diameter 101.6 mm depending on wall thickness and focal length.

t [mm]	t/De	De/SFD					
		1,00	0,51	0,34	0,25	0,20	0,17
		SFD					
		101,6	200	300	400	500	600
3,6	0,035	4	6	7	7	7	7
4,0	0,039	4	6	7	7	7	7
4,5	0,044	4	6	7	7	7	7
5,0	0,049	4	6	7	7	7	7
5,6	0,055	4	6	7	7	7	8
6,3	0,062	4	6	7	7	7	8
7,1	0,070	4	6	7	7	8	8
8,0	0,079	4	6	7	7	8	8
8,8	0,087	5	7	7	8	8	8
10,0	0,098	5	7	7	8	8	8
11,0	0,108	5	7	7	8	8	8
12,5	0,123	5	7	7	8	8	8
14,2	0,140	5	7	8	8	8	9
16,0	0,157	5	7	8	8	9	9
17,5	0,172	5	7	8	9	9	9
20,0	0,197	5	8	8	9	9	9
22,2	0,219	5	8	9	9	9	10
25,0	0,246	6	8	9	10	10	10
28,0	0,276	6	8	9	10	10	10

Tab. 4. Ilość radiogramów dla metody przez dwie ścianki i średnicy 711mm w zależności od grubości ścianki i wielkości ogniskowej.

Tab. 4. The number of radiographs for the method by the two walls and the diameter of 711mm depending on the wall thickness and focal length.

t [mm]	t/De	De/SFD				
		1,00	0,89	0,79	0,71	0,65
		SFD				
		711	800	900	1000	1100
25	0,035	4	5	5	5	6
28	0,039	4	5	5	5	6
30	0,042	4	5	5	5	6
36	0,051	4	5	5	6	6
40	0,056	4	5	5	6	6
45	0,063	4	5	5	6	6
50	0,070	4	5	5	6	6
55	0,077	4	5	5	6	6
60	0,084	5	5	5	6	6
65	0,091	5	5	5	6	6
70	0,098	5	5	6	6	6
80	0,113	5	5	6	6	6
90	0,127	5	5	6	6	6
100	0,141	5	5	6	6	6

Z porównania powyższych tabel wynika, że dla metody normalnej wraz ze wzrostem średnicy rur wzrasta też ilość dobranych radiogramów. Natomiast oddalenie źródła promieniowania powoduje zmniejszenie wymaganej ilości radiogramów. Metoda przez jedną ściankę do wewnątrz daje zdecydowanie większą ilość ekspozycji, ma jednak niepodważalną zaletę w postaci obsłużenia grubości ścianki do 40mm w przypadku użycia tańszego izotopu selenu 75 czy 200 mm w przypadku użycia lamp z promieniowaniem X w przedziale energii 1MeV do 4MeV.

Analogiczne wyniki analiz doboru ilości ekspozycji radiogramów dla metody przez dwie ścianki zgodny normą PN-ISO EN 17636-1 przedstawiono na rysunku 4 i w tabelach 3 i 4. Podczas analizy tabel zauważyć można, że zwiększenie długości ogniskowej wymaga zwiększenia ilości wykonanych

radiogramów, jednak wzrost średnicy rury wręcz pozwala na zmniejszenie doboru tych zdjęć.

3. Podsumowanie

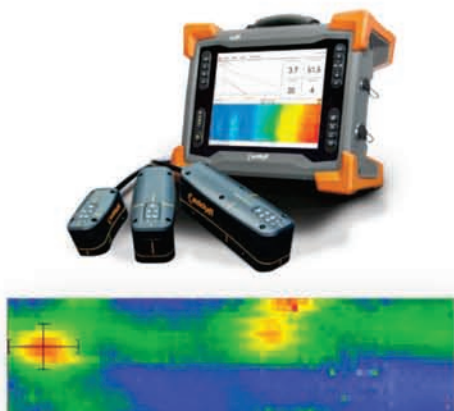
Przy zastosowaniu rur o średnicach znajdujących się w przedziale o mniejszej wymaganej ilości wykonanych radiogramów projektant na początku z pewnością dobrze potrzebnym przepływ oraz obliczy wytrzymałość, jaka musi towarzyszyć temu elementowi, jednak niepotrzebnie zwiększając wybór grubości ścianki, nie tylko podraża koszt zakupu rury, ale również koszt badania, co może mieć duże znaczenie dla dużej liczby złączy spawanych na jednym obiekcie.

Jak wynika z przedstawionych danych, tam gdzie jest to możliwe, sugerowaną techniką badań radiograficznych jest technika przez dwie ścianki z powodu konieczności wykonania mniejszej ilości zdjęć radiograficznych dla identycznych średnic rur oraz grubości ścianek badanej rury niż dla metody normalnej, co spowodowane jest zmniejszeniem wpływu promieniowania rozproszonego przez chociażby drugą ściankę badanej rury. Kolejnym niezaprzeczalnym atutem jest możliwość wykonywania badań na rurociągach nierozłącznych, dzięki umiejscowieniu wszystkich elementów badawczych poza zamkniętą przestrzenią rurociągu. Jedynym argumentem przemawiającym za techniką normalną jest możliwość wykonania szybszego naświetlenia błony niż w poprzednim wypadku oraz możliwość wykorzystania niższych energetycznie źródeł promieniowania dla prześwietlenia tej samej badanej rury o określonej wysokiej grubości ścianki.

4. Literatura/References

- [1] PN- ISO EN 17636-1, Badania nieniszczące spoin, Badanie radiograficzne, Część 1: Techniki promieniowania X i gamma z błoną, PKN Warszawa 2013
- [2] Brózda J., Czuchry J., Kontrola radiograficzna złączy spawanych, Biuro Gamma, 2001
- [3] Słania J., Sołtys K., Wpływ promieniowania rozproszonego na jakość obrazu na radiogramie, Przegląd Spawalnictwa 8/201, 2 35-40
- [4] Mackiewicz S., Promieniowanie rozproszone i jego rola w badaniach radiograficznych, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych IPPT PAN „Popów 2010” 23 – 25 sierpnia 2010, Mat. Konf. 45 – 49

Lyft® – Wykrywanie korozji przez izolację



Lyft®

- ✓ Szybszy od jakiegokolwiek innego systemu PEC
- ✓ Możliwość pracy w trybie skanowania i siatki
- ✓ Prędkość ruchu sondy do 75 mm/s
- ✓ Brak potrzeby oznaczania siatki
- ✓ Blacha izolacyjna ocynkowana, aluminiowa, stalowa
- ✓ Obsługuje grubość ścianki do 64 mm z izolacją do 203 mm

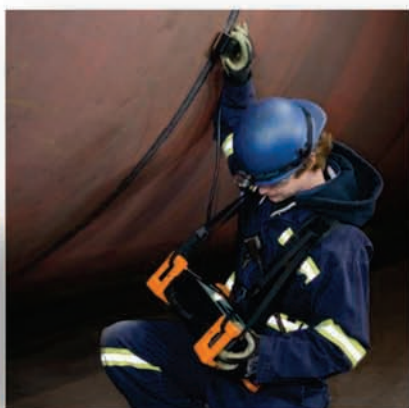
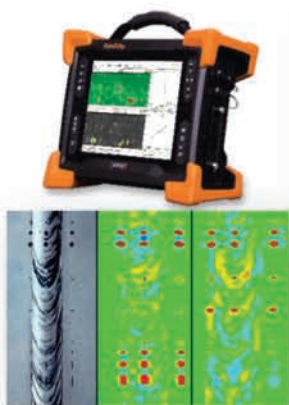
Ectane® 2 – Wszechstronne urządzenie wiroprowdowe

Ectane® 2

- Urządzenie przenośne, zasilanie bateryjne, IP67 ✓
- Obsługiwane techniki: ECT, ECA, RFT, NFT, NFA, MFL, IRIS ✓
- Badanie rur wymienników ciepła, powierzchni oraz spoin ✓
- SmartMUX™ do 256 kanałów ECA ✓
- Wbudowane źródło nasycania oraz napędu sondy ✓
- Ultraszybka sonda oraz zerowanie ✓
- Szeroki zakres częstotliwości ✓
- Zobrazowanie C-Scan przy zastosowaniu sond ECA ✓
- Zaawansowane funkcje filtracji przy badaniu wymienników ✓



Reddy® – Przenośne urządzenie wiroprowdowe w technice ECA



Reddy®

- ✓ Konfiguracja - 32, 64 lub 96 – kanałów ECA
- ✓ Nowoczesny ekran dotykowy z pełnymi możliwościami PC
- ✓ Płynny oraz szybki interfejs badania oraz raportowania
- ✓ Przenośne urządzenie z programem **Magnifi® GO**
- ✓ Katalog podstawowych sond ECA oraz na indywidualne zamówienie
- ✓ Obsługa sondy **Sharck™** z pomiarem wielkości i głębokości wady
- ✓ Sondy elastyczne **I-Flex™**
- ✓ Wzmocniona konstrukcja - spełnia wytyczne normy MIL-STD-810G

Alexander Balitskii^{1*}, Karol Franciszek Abramek², Małgorzata Mrozi², Tomasz Stoeck², Tomasz Osipowicz²¹Karpenko Physicomechanical Institute, Ukrainian National Academy of Science, Lviv, Ukraine²West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

Fuel injection influence at engine start-up moment on diagnostic parameter blow – by phenomenon

Wpływ wtrysku paliwa w fazie rozruchu silnika na parametr diagnostyczny zjawiska przedmuchów gazów

ABSTRACT

The paper presents the diagnostic of exhaust gas scavenging crankcase combustion piston diesel engine SB-3.1 speed boot. In the measurements, the influence of fuel injected into the engine start-up phase of the value of the intensity of exhaust gas scavenging.

Keywords: diagnostics, piston, rings, tightness, blow-by, engine starting

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono diagnostykę przedmuchów gazów do skrzyni korbowej tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym SB-3.1 dla prędkości rozruchu. W pomiarach analizowano wpływ wtryskiwanego paliwa w fazie rozruchu silnika na wartość natężenia przedmuchów gazów.

Słowa kluczowe: diagnostyka, tłok, pierścienie, szczelność, przedmuchi gazów, rozruch silnika



Professor

**Alexander
Balitskii**



DSc., DEng.

**Karol Franciszek
Abramek**



DEng.

**Małgorzata
Mrozi**



DEng.

Tomasz Stoeck



DEng.

**Tomasz
Osipowicz**

1. Introduction

In the initial period, the value of starting the engine crankshaft speed is most important for the boot process. Of course, an important parameter is also the starting time. High temperature engine running smoothly does not pose any major problems (we are talking about the so-called. Easy start). The situation changes starting at low temperatures (eg. During the harsh winter). During the start of the first phase of the starter motor drives the crankshaft with a complete lack of ignitions in the workspace engine cylinders [1-6]. Then, with increasing rotational speed of the shaft and longer start-up time when the temperature increases in the workspace, self fire first appear. At this time, the engine combustion chamber formed corresponding to the creation of conditions for self-ignition of the fuel. At start-up time is mainly affected by temperature in the combustion chamber, which depends on the ambient temperature, rotational speed of the engine crankshaft, the starting dose value, fuel atomization,

the time required for evaporation and mixing of reaction before ignition, combustion chamber shape, the pressure and the size load losses caused by gas blow through the rings into the crankcase engine [11, 13]. The loss of cargo mainly affects the technical condition and parameters of the design and operation of the piston rings and cylinder (PRC) [2, 4, 12, 13].

Excessive consumption of the system results in an increase of exhaust gas scavenging into the crankcase, which in extreme cases can lead to failure to obtain start-up [5, 7, 8, 10]. It is also noted that particularly important effect fuel injection in the engine starting phase of the phenomenon of purge gas through the system PRC was at low temperatures.

2. Experimental procedure

Studies of exhaust gas scavenging crankcase engine performed for the SB-3.1, which is a prototype design one cylinder, four-stroke diesel engine with direct fuel injection into the open combustion chamber in the piston. The cylinder head SB-3.1 is a single cylinder engine section SW-680. Hence, for the construction of

*Autor korespondencyjny. E-mail: balitski@ipm.lviv.ua

SB-3.1 engine parts used SW-680, among others: the piston rings (stroke 146 mm) cylinder liner (cylinder diameter 127 mm), the connecting rod to a bearing, valve, injector, and other.

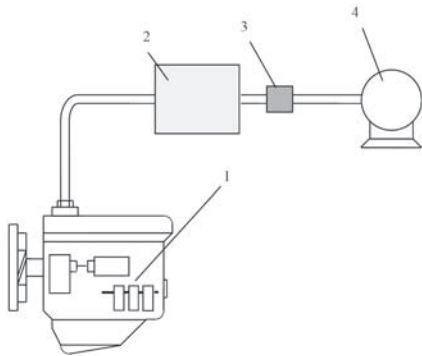


Fig. 1. Schematic of the research station: 1-test engine, 2-expansion tank, 3-gas purification filter, 4-gas meter laboratory.

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1-badany silnik, 2-zbiornik wyrównawczy, 3-filtr oczyszczania przedmuchiwanych gazów, 4-gazomierz laboratoryjny.

Prior to testing the engine was checked for condition. Activities associated with it consisted of an inspection of the strokes of the cylinder, piston rings status, check the compression ratio, valve clearance adjustment (adjusted valve clearance to 0.5 mm), adjust the injection timing (injection timing is set at 26 °C) before ZZ (repayment of external), determine the starting dose. Injection timing adjustment easier applied to the flywheel pitch angle. On the type of injector tester PRW-3 fuel injection pressure checked. The injector was efficient, because the injection pressure was 17 MPa and the quality of fuel atomization is correct. The engine was also equipped with apparatus for measuring the pressure and temperature of oil in the lubrication system.

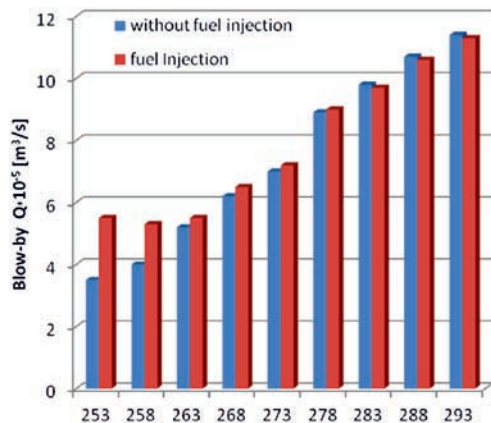


Fig. 2. Effect of fuel injection blow-by gases to the engine crankcase SB-3.1 depending on the ambient temperature.

Rys. 2. Wpływ wtrysku paliwa na przedmuchy gazów do skrzyni korbowej silnika SB-3.1 w zależności od temperatury otoczenia.

Shown in Fig. 1 was used for measuring the position of the measurement of exhaust gas scavenging into crankcase. This phenomenon results from a blow leaks occurring between the piston rings and cylinder sleeve (PRC system). A measuring instrument (4) is combined with the test engine crankcase (1) by means of a rubber hose inserted in place of the lubricating oil filler. While the engine is produced in the crankcase pressure, which causes the gas flow to the reservoir (2), a solid steel chips to

eliminate pulsation and preliminary purification of exhaust gases from oil mist. Then the gases pass through a fine filter (3) and enter the laboratory meter (4). Measurement station permitted to register basic work parameters of engine, eg. temperature and pressure of lubricating oil, gas pressure in the crankcase, etc. The engine speed was measured by digital tachometer. In order to stabilize the temperature measurements, the engine was placed in a low-temperature chamber, which is located at the Department of Motor Vehicles Operation West Pomeranian University of Technology in Szczecin. Before performing the next test engine temperature was stabilized for at least 18 hours.

3. Test results

The test results of exhaust gas scavenging into the crankcase carried out on the engine SB-3.1 is shown in Fig. 2. The tests were carried out for temperatures of 253 K (-20 °C) to 293 K (20 °C) at 5 degrees. The starting time t as shown in Fig. 3 is the arithmetic mean of five measurements.

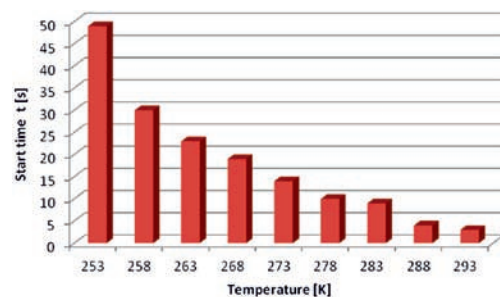


Fig. 3. Effect of temperature on motor starting time

Rys. 3. Wpływ temperatury otoczenia na czas rozruchu silnika

On issues related to the difficult start at low temperatures is affected, in addition to general technical condition of the engine, the temperature in the combustion chamber, which mainly depends on the ambient temperature, the speed of the crankshaft of the engine (at boot time decreased as a result of larger resistances start) and values load losses caused by gas blow through the rings into the crankcase.

Fig. 2 shows the time curve of exhaust gas scavenging the crankcase depending on the temperature and the fuel injection start. Worth of note is the fact that the value of purge gas during start-up is significantly dependent on temperature start-up, despite the low rotational speed of the crankshaft. It can be seen that the higher the temperature, the purge is larger.

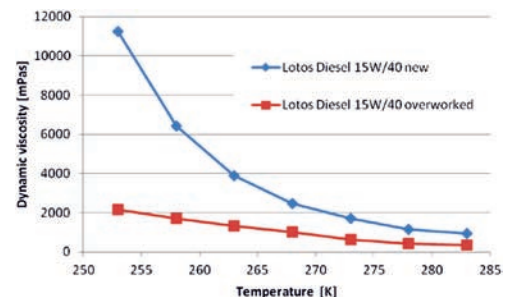


Fig. 4. Change the dynamic viscosity of the oil Lotos Diesel 15W / 40 new and overworked

Rys. 4. Zmiana lepkości dynamicznej oleju Lotos Diesel 15W/40 nowego i przepracowanego

Also has a significant impact fuel injection into the workspace. Changes in the amount of loss of working medium through the piston rings are dependent on the oil viscosity changes depending on the starting temperature, but also on the "dilution" caused by the injected fuel. In Fig. 4 it can be seen that the lower the temperature a few tens of degrees can cause a several fold increase in the viscosity of the oil, which affects the stability of the oil film and its better sealing properties. This in turn has a positive effect on the tightness of the workspace and smaller blow. In Fig. 2 it can be noted also a great influence on the fuel injection purge phenomenon, particularly at low temperature starting. Fuel injected at low temperatures for small start-up speed of the engine crankshaft will "wash" the oil film. This phenomenon increases the purge.

The tightness of the band PRC has a direct impact on the value of the load losses. It can be seen in Fig. 4 that, with the lowering of the ambient temperature increases the dynamic viscosity of the oil (especially in the initial start-up phase), which reduces the rotational speed of the engine during startup. The increase in viscosity of the oil reduces the amount of exhaust gas blow-by. This is a beneficial relationship for a cold engine start, as this facilitates the start. It should be noted that the measurements were performed for the actual conditions of the boot, and a slight change in the speed of the engine crankshaft was caused by a reduction in the starting temperature. Reduced temperature affected the increase in the viscosity of lubricating oil, but also a decrease in battery capacity and the deterioration process of creating a combustible mixture (reducing the pressure and temperature of the end of the compression stroke, worse fuel atomization due to a decrease in the speed of the injection pump). This prolongs the time required to obtain necessary starting the engine, as shown in Fig. 3.

It could be notice in presented researches that using blow – by phenomena to analyzing technical condition piston – cylinder linear system huge influence on starting up has injection fuel. In engine construction, where hydrogen is using as the fuel it could have mainly influence on blow – by value. It could make a mistake by reading diagnostic parameter (blow – by) and put wrong results of technical condition assessment in.

4. Summary

Made a big impact studies confirm the fuel injection in the initial start-up phase of the value of exhaust gas scavenging into the crankcase. You can unequivocally state that in the initial start-up period unburned fuel will wash the oil film from the cylinder liner, resulting in deterioration of the labyrinth sealing ring assembly on the plunger. This in turn reveals an increase in the value of blow-by crankcase gases. Clear demonstration of the impact of fuel injected to the thickness of the oil film between the ring and cylinder liner in the initial phase of starting the engine can be determined based on the measurements, eg. Oil film resistance using inductive meter, which was not investigated in this work.

During the measurements also noted that in the initial period of starting the engine, if it does not work for a certain period of time (approximately 3 weeks for Lotus mineral lubricating oil 15W / 40) immediately after starting the flow of exhaust gas

scavenging repeatedly reaches a higher value than the average for a given ambient temperature. After a few or several cycles of the engine (depending on ambient temperature), the intensity decreased to purge the average value achieved on average. This means that in the initial start-up period, there was no oil film on the cylinder and takes away the PRC system worked without a layer of oil. Some researchers [2, 9] believe that in the initial period of operation of the engine on the cylinder strokes creates a still oil film. Only after some time, the oil film is achieved when there is mobility and hydrodynamic lubrication. In the subsequent period of operation of the engine can be seen the effect of vibration on the piston rings oil film, which loses its stability and there are large variations in the thickness. However, the lubrication system stabilizes PRC and despite further engine operation does not change its character.

Changes in the amount of loss of working medium through the piston rings are dependent on the oil viscosity changes depending on the starting temperature. Lowering the temperature by tens of degrees can cause a several fold increase in the viscosity of the oil, which affects the stability and quality of the oil film (better sealing properties of the oil film), and this has a positive effect on the tightness of the working space and a smaller value of lost load the workspace in the form blow-by gases into the crankcase.

5. References/Literatura

- [1] Drożdż P., Widmo rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym jako kryterium oceny warunków użytkowania samochodu. Polskie Naukowo – Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Warszawa 2009. ISBN 978-83-911726-6-7
- [2] Kaźmierczak A., Tarcie i zużycie zespołu tłok-pierścienie-cylinder, Oficyna Wydawnicza PWroc., Wrocław 2005.
- [3] Kozaczewski W., Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004. ISBN 83-206-1533-X
- [4] Merksiz J., Tomaszewski F., Ignatow O., Trwałość i diagnostyka węzła tłokowego silnika spalinowego. Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1995.
- [5] Mysłowski J., Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym. WNT. Warszawa 1996. ISBN 83-204-2050-4
- [6] Mysłowski J., Mysłowski J., Tendencje rozwojowe silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, Wydawnictwo Autobusy, Radom 2006. ISBN 83-920826-8-0
- [7] Niewczas A., Trwałość zespołu tłok-pierścienie-cylinder silnika spalinowego, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998. ISBN 83-204-2267-1
- [8] Pszczółkowski J., Charakterystyki rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym. Stowarzyszenie Edukacyjne Pedagogów Praktyków Cogito. Warszawa 2004. ISBN 83-910909-6-5
- [9] Serdecki W., Wpływ pierścieni uszczelniających na kształtowanie filmu olejowego na gładzi tulei cylindrowej silnika spalinowego, WPP, Poznań 1990.
- [10] Serdecki W., Badania współpracy elementów układu tłokowo-cylindrowego silnika spalinowego, WPP, Poznań 2002.
- [11] Abramek K. F., Experimental examination of load losses in the form of exhaust gas scavenging into crankcase. Combustion Engines, SC No. 1/2009, pp. 30-34.
- [12] Abramek, K. F., Effect of phenomenon of piston sealing rings vibrations on tightness of PRC unit, Journal of Polish CIMAC, Vol. 2, No 1. (2007).
- [13] Balitskii A. I., Abramek K. F., Stoeck T., Osipowicz T., Diagnostic of degradation of the lock seal ring by the loss of combustion engine working gases. Materials Science. Vol. 50. No. 1, pp. 156-159 (2014)

Alexander Balitskii^{1*}, Ihor Ripey², Vasyl Garda², Jacek Eliaz³

¹Karpenko Physicomechanical Institute, Ukrainian National Academy of Science, Lviv, Ukraine

²Halremenergo PJSC "DTEK Zakhidenergo", Lviv, Ukraine

³West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

Application of technical diagnostic parameters for evaluation of serviceability forcible power plants high temperature pipelines

Zastosowanie parametrów diagnostyki technicznej do oceny zdolności do pracy wysoko-temperaturowych rurociągów elektrowni ciepłych

ABSTRACT

Technical diagnostic parameters that are used to assess operability of high temperature pipelines thermal power plants has considered. It was found the sensitivity of these parameters to assess the metal degradation in the steam during a long operation. It has been propose the approaches to assess the residual life of steam pipelines, taking into account parameters that are structurally vulnerable to degradation of metal.

Keywords: reliability, technical diagnosis, pipeline, structure, damage, serviceability

STRESZCZENIE

Analizie poddano parametry diagnostyki technicznej stosowane w ocenie zdolności do pracy wysokotemperaturowych rurociągów elektrowni ciepłych. Określono przydatność tych parametrów do oceny stanu degradacji metali stosowanych w wysokotemperaturowych rurociągach, w warunkach długotrwałego, eksploatacyjnego oddziaływania pary wysokotemperaturowej. Zaproponowano sposób oceny tzw. resztkowego czasu eksploatacji parociągów, oparty o parametry diagnostyki technicznej pozwalające na określenie tzw. strukturalnej podatności na uszkodzenia, prowadzące do degradacji metalu wskutek oddziaływania wysokotemperaturowej pary technologicznej.

Słowa kluczowe: niezawodność, diagnostyka techniczna, rurociąg, struktura, zniszczenie materiału, zdolność do eksploatacji



Professor

Alexander Balitskii



PhD.

Ihor Ripey



Mgr

Vasyl Garda



Professor

Jacek Eliaz

1. Introduction

The resource of high temperature pipelines forcible power plants (FPP) depends on the temperature-power parameters operation and amounts to $(75 \dots 300) \cdot 10^3$ hours. Up for the present time, the most of FPP steam pipelines fulfilled certain period. So, it is important the assessment of metal state and determine the possibility of their further exploitation. High-power plants pipelines made from heat-resistant steels (12Cr1MoV and 15Cr1Mo1V), which should ensure their

reliable operation at high temperature-power conditions ($T=545^\circ\text{C}$, $p=10\dots 22$ MPa) for a determined period [1, 2].

Operating experience and damage of pipelines indicate that bends the least reliable of their constituents.

This is due to a structurally-technological features production and dynamic changes in the structure and properties, the operational impact on the geometric dimensions, redistribution of stresses etc. Accordingly park resource bends of steam pipelines amounts to 75.0 ... 87.5% of direct resource of pipes and welds.

*Autor korespondencyjny. E-mail: balitski@ipm.lviv.ua

2. Materials and experimental procedure

It has been investigated the bends of steam pipelines of fresh pair made from the heat-resistant steel 12Cr1MoV (Tab. 1, 2) after different periods of operation. For laboratory testing specimens has selected as well as from the bends, rejected in the results of flaw detection and the bends with the worst characteristics of permanent deformation creep ovality, hardness or microdamage.

Samples of steam pipelines damaged metal has investigated on static tensile and bending impact at ambient and operating temperatures.

Tab. 1. The chemical composition of steel 12Cr1MoV

Tab. 1. Skład chemiczny stali 12Cr1MoV

C	Si	Mn	Cr	Ni
0.10 ÷ 0.15	0.17 ÷ 0.37	0.40 ÷ 0.70	0.90 ÷ 1.20	≤ 0.25
Mo	V	Cu	S	P
0.25 ÷ 0.35	0.15 ÷ 0.30	≤ 0.20	≤ 0.025	≤ 0.025

Tab. 2. The mechanical properties of steel 12Cr1MoV

Tab. 2. Właściwości mechaniczne stali 12Cr1MoV

Yield Strength, MPa	Tensile Strength, MPa	Elongation, %	Reduction, %	Impact Strength, MJ/m ²
≥ 274	441 ÷ 637	≥ 19	≥ 50	≥ 0,5

3. Results and discussion

3.1 Stress analysis in the steam pipelines

Working stresses due to the pressure of the environment has arise in steam pipelines. They are stretching and called as arising. The tension caused by the weight of construction, thermal movements are interchangeable and can be characterized bending and twisting, changing their size, and sometimes a sign arising first during starting and stopping. These stresses caused by external loads, referred to as equivalent. The reliable operation bends of steam pipelines provided by compliance with the conditions under which, the total value of work stress - reduced and equivalent does not exceed allowable values for this steel grade and temperature operating environment.

3.2 Technical diagnostics parameters

To assess the state of of steam pipelines flaw detection using different methods (visual-optical, magnetic, ultrasonic). These methods reliably detect unacceptable defects (mainly makrosizes), but they are not sensitive to changes in metal degradation during prolonged use.

Is revealed that most of the parameters used in the assessment of energy for steam pipelines (and metal bends particular), are macroscopic or integral. Among them acceptable levels of mechanical characteristics and hardness, deformation permanent and creep speed, ovality.

During the observations of steam pipelines metal has found that in the process of long operation changes the microstructure, characterized by the collapse of the main solid solution, the allocation of excess phases and their coagulation, redistribution and accumulation of mikrodamage [3, 4]. Changes in the structure are accompanied by changes

in the mechanical properties of the metal. Due to [3], the ratio is less scatter values than the ultimate tensile strength at operating temperature. This predefined by that pipes are stronger at room temperature, and the stronger by operating temperature too. Ultimate tensile strength at operating temperature decreases during prolonged operation regardless of the initial of strength. However, strengthened in the initial state softening pipes faster.

According to the test results, the ratio for steel 12Cr1MoV in the initial state is typically 1.28 ... 1.65. During operation it increases, indicating a softening of metal. Analysis of mechanical testing metal samples of steam pipelines that had a different value of permanent deformation was found that metal of steam pipeline with high residual deformation and unsatisfactory structure ratio is higher and amounts to 1.60 ... 1.78. For pipes damaged due to creep, it was more than 1.75 [3] (Fig. 1.).

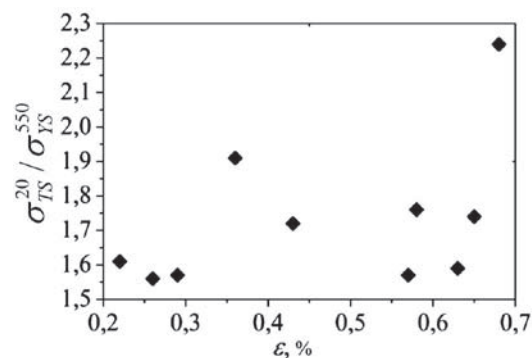


Fig. 1. Dependence $\sigma_{TS}^{20} / \sigma_{TS}^{550}$ of value of residual deformation of pipe-line

Rys. 1. Zależność $\sigma_{TS}^{20} / \sigma_{TS}^{550}$ od wartości pozostałego odkształcenia rurociągu

Great importance for predicting the operability of steam pipelines has a score of resistance to brittle fracture of material. It is traced the cases of anisotropy of metal bends impact toughness with existing crack defects. In this case the impact strength of samples transverse orientation was an order of magnitude smaller than the impact strength of samples longitudinal orientation. Clearly expressed anisotropy at room temperature indicates the presence of submicroscopic and microscopic pores. In this case the impact strength in transverse samples significantly reduced, while at the longitudinal changes slightly. It is related to nucleation and the location of microdefects [5, 7].

As a result of prolonged use of steam pipelines metal the impact toughness at room temperature usually decreases (Fig. 2a) due to aging, a shift transition of brittleness temperature to the area of positive temperatures even higher than room, as well as the development of microdamage and steel hydrogenation [6-8]. At the same time by the operating temperature it changes a little (Fig. 2b). So after a long operating time resistance to brittle fracture is higher than at room temperature (Fig. 2.). We should not discard the impact of heating and shutter steel at 560 ÷ 565°C before testing when metal has adsorbs the residual (mobile) hydrogen. The positive effect of holding in vacuum at elevated temperatures associated with degassing of metal traced previously [8, 9].

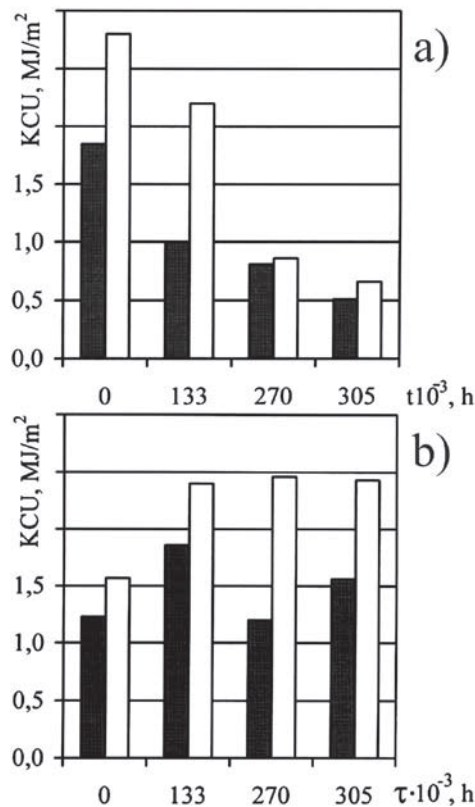


Fig. 2. Histograms of impact toughness KCU at room (a) and service (b) temperature of 12Cr1MoV steel during its exploitation in pipeline: dark columns – transversal specimens, light – longitudinal (metal of direct bend sections was tested).

Rys. 2. Histogramy uderności KCU w temperaturze pokojowej (a) i eksploatacji (b) stali 12Cr1MoV podczas jej pracy w rurociągu: ciemne kolumny – próbki poprzeczne, jasne – próbki podłużne (materiał pobrany bezpośrednio z próbek zginanych)

It has been investigated bend, which up to damage has worked of 285786 hours and has moved through 1142 shoot-down. In order to clarify the status of the damaged metal bending and degree of degradation of mechanical properties, microstructure and assessment of different sites microdamage metal bend we cut and studied their part. Ovality ring sample - "reel" was 4.1%. For laboratory research sample has conditionally divided into three sections (I - stretched, II - neutral, III - compressed).

According to the results of tests on static tensile strength (σ_{TS} , σ_{YS}) and plastic (δ_5 , ψ) metal properties all areas has tested due to the requirements for the supply of technical requirements. The lowest strength (σ_{TS}) metal fixed in a neutral area. Characteristics of the material of this section is fairly homogeneous. However, for the ultimate tensile strength area has increases in the direction from the outer to the inner surface of the bend, and from the compressed – to the contrary.

Impact toughness, which is characteristic of the material resistance to brittle fracture, metal top of the stretched area is critically low amounts to 0,26 MJ/m², even taking into account the allowable decrease after prolonged operation (1.5 MJ/m²) is unsatisfactory. At the same time impact toughness metal all other tested areas is satisfactory and increases the thickness of the wall from the outer to the inner surface.

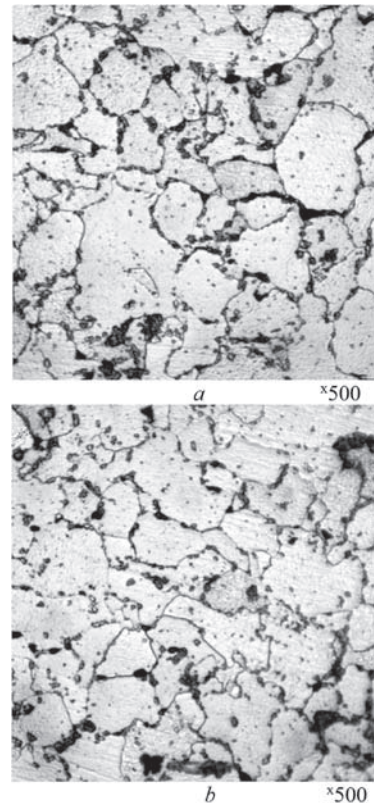


Fig. 3. Microstructure of metal different from zones stretched bending area: - closer to the outer surface; b - closer to the inner surface

Rys. 3. Mikrostruktura materiału w różnych strefach giętej próbki: (a) bliżej powierzchni zewnętrznej; (b) bliżej powierzchni wewnętrznej

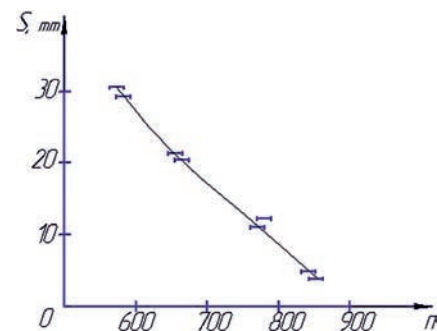


Fig. 4. Distribution of microdamage (n) on the thickness of the bend (S) (counting starts from the outer to the inner surface)

Rys. 4. Rozkład mikropęknięć (n) na grubości próbki giętej (S) (zliczanie rozpoczęto od zewnętrznej do wewnętrznej powierzchni)

Metallographic investigations were performed on the entire section (thickness) bend. Besides magistral cracks in the stretched area of bending cracks has found that generally oriented parallel to macrocrack. Microcracks has distributed in grain boundaries, they traced to ~ 2/3 of wall thickness of the outer surface. Outside of crack microstructure of metal is ferrite-carbide unsatisfactory and shows complete degradation of the metal during the prolonged use. In assessing microdamage determined amount (density) of pores creep in high temperature steam pipeline bending thickness of the samples (Fig.3).

The top of the sample (closer to the outer surface) (Fig. 3a) has demonstrated the number of pores per 1 mm² ~

600, and in the bottom of (closer to the inner surface) (Fig. 3b) - ~ 500.

Results of investigation has show that in all the areas of cross-section bending microdamage micropores the creep has observed throughout the thickness of the bend. In the stretched section of bending microdamage gradually decreases in the direction from the outer to the inner surface.

4. Conclusion

Thus, the criteria by which we must for the first determine the suitability of of steam pipelines to further work is accumulated during operation the microdamage (as absolute size, orientation micropores and their density), the total residual deformation speed of creep, which is integrally reproduce changes in the metal during the operation.

Metallographic control method of microdamage bends should be used with the analysis of the actual stress distribution, which allows to identify the local area with a maximum level of microdamage.

5. References/Literatura

- [1] Praul R Dongre, Vibhav B Rakhunde. Residual life assessment in high temperature zones of power plant components // Int. J. of Mechanical and Production Engineering, Vol. 1, Issue- 2, Aug-2013. – P. 43–49.
- [2] Jiri Janovec, Daniela Polachova, Michal Junek Lifetime Assessment of a Steam Pipeline // Acta Polytechnica. – Vol. 52. – No. 4/2012.– P. 74–79.
- [3] A. Zieliński, J. Dobrzański, T. Jóźwik Assessment of loss in life time of the primary steam pipeline material after long-term service under creep conditions // J. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – V. 54. – Issue, 1. – September, 2012. – P. 67–74.
- [4] Balyts'kyi O.I., Ripey I.V., Protsakh Kh.A. Reliability of steam pipelines of thermal power plants in the course of long-term operation // Materials Science (Springer).– 2006, No 4, vol.42.- P. 421 –424.
- [5] Balyts'kyi O.I., Ripey I.V., Onyshak Ja.D. Variations of impact toughness of 12Kh1MF steel in operating steam pipelines of thermal power plants // Materials Science (Springer).– 2009, vol.45, N 6. p.826-830.
- [6] Ostash O. P., Kondyr A. I., Vol'demarov O. V., Hladysh P. V., Kurechko M. V. Structural microdamageability of steels of the steam pipelines of thermal power plants // Materials Science. – Vol. 45. – No. 3. – 2009. – P. 340–350.
- [7] Foulds J. and Viswanathan R. Small Punch Testing for Determining the Material Toughness of Low Alloy Steel Components in Service // J. of Engineering Materials and Technology. – 1994 – Vol. 116. – N 4, October.– P. 457–464.
- [8] Hong Xu, Xue-Kun Huang, Zhen Yang, Ji-ti Pan Property changes of 12Cr1MoV with 10CrMo910 main steam piping after long-term high-temperature service // Engineering Failure Analysis. – 10 (2003) – P. 245–250.
- [9] Balitskyi O., Ripey I., Elias J. Estimation of metal bends of high temperature pipelines according to hardness measuring results // Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. Collection of Scientific Works – Kharkov. – 2011. – Issue 54. – P. 18-22.

Komitety Organizacyjny Seminarium NBM

Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów

W dniach 15 – 17 marca 2017 roku w Zakopanem odbyło się XXIII Seminarium nt. „Nieniszczące Badania Materiałów” organizowane corocznie przez Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących – Chorzów, oraz Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN – Warszawa.



Otwarcie Seminarium

Komitety naukowy stanowili:

- doc. dr hab. inż. Jacek Szelażek – prof. IPPT;
- dr Sławomir Mackiewicz.

Komitety organizacyjny stanowili:

- mgr inż. Jacek Urbańczyk;
- mgr inż. Ryszard Jawor;
- mgr inż. Dariusz Wojdała;
- mgr Beata Sierszecka.

Seminarium stanowiło forum wymiany doświadczeń specjalistów z dziedziny badań nieniszczących.



Wystawa aparatury i sprzętu NDT

W seminarium wzięło udział 107 osób (w tym 3 osoby z Włoch i 1 osoba z Niemiec). W trakcie seminarium ogłoszono 13 referatów.

Podczas seminarium zorganizowano wystawę aparatury, sprzętu i usług w dziedzinie badań nieniszczących, w której

brało udział 8 wystawców.

W drugim dniu seminarium odbyły się, cieszące się bardzo dużym zainteresowaniem, warsztaty z radiografii cyfrowej prowadzone przez dr. Sławomira Mackiewicza, dr. inż. Marka Śliwowskiego oraz mgr. Krzysztofa Goździckiego.



Warsztaty radiografii cyfrowej

Uczestnicy warsztatów mogli samodzielnie dokonywać oceny cyfrowych radiogramów przedstawionych w zaimplementowanym programie komputerowym.

Na uroczystej kolacji wręczono nagrodę za wybitne osiągnięcia z dziedziny badań nieniszczących. Laureatem nagrody, wybranym przez Kapitułę, został dr inż. Marek Śliwowski.



Wręczenie nagrody za wybitne osiągnięcia
doktorowi Markowi Śliwowskiemu

Uczestnicy opuszczali Zakopane z nadzieją spotkania się na kolejnym XXIV Seminarium nt. „Nieniszczące Badania Materiałów”.

Zapraszamy do Zakopanego za rok. Kolejne Seminarium odbędzie się w dniach 14 – 16 marca 2018 roku.

Sławomir Mackiewicz*

IPPT PAN, Warszawa

Detektory promieniowania stosowane w cyfrowej radiografii bezpośredniej

Radiation detectors used in Digital Direct Radiography

ABSTRACT

The article describes the basics of radiation detectors used in direct digital radiography - DR. Various types of flat panel detectors (FPD) have been characterized for their usefulness in non-destructive testing. The indirect panels based on the a-Si matrix with TFT transistors, which are currently the most useful option for non-destructive testing, are discussed in more detail. The most important parameters of flat panel detectors have been analyzed in the aspect of their applications for the examination of welded joints and other products tested so far by traditional radiographic method.

Keywords: digital radiography, flat panel detectors, direct radiography DR

STRESZCZENIE

W artykule opisano podstawy działania detektorów promieniowania stosowanych w cyfrowej radiografii bezpośredniej - DR. Scharakteryzowano różne rodzaje paneli płaskich pod kątem ich przydatności w obszarze badań nieniszczących. W sposób bardziej szczegółowy omówiono panele płaskie z przemianą pośrednią oparte na matrycy a-Si z tranzystorami TFT, które wykazują obecnie największą przydatność do zastosowań w badaniach nieniszczących. Przeanalizowano najważniejsze parametry paneli płaskich w aspekcie ich zastosowań do badań złączy spawanych oraz innych wyrobów i elementów badanych dotychczas tradycyjną metodą radiograficzną.

Słowa kluczowe: radiografia cyfrowa, panele płaskie, radiografia bezpośrednia DR



Dr

Sławomir Mackiewicz

1. Wstęp

Pierwszą techniką radiografii cyfrowej, wdrożoną do badań nieniszczących w drugiej połowie lat 90-tych, była radiografia CR (Computed Radiography) bazująca na pamięciowych płytach luminoforowych [1]. Jest to technika najbardziej zbliżona do tradycyjnej radiografii błonowej stąd też, jest często traktowana jako najszybsza i najłatwiejsza droga wdrożenia radiografii cyfrowej w badaniach nieniszczących [2]. Niestety, w naszym kraju, radiografia CR została dotychczas wdrożona w minimalnym zakresie i nie spowodowała cyfrowej rewolucji w przemysłowych badaniach radiograficznych. Można wskazać na kilka czynników mających wpływ na taki stan rzeczy:

- brak dostatecznej wiedzy na temat radiografii cyfrowej w polskim środowisku badań nieniszczących oraz obawa przed wprowadzaniem nowych, słabo poznanych metod opartych na technice komputerowej;
- brak specjalistycznych norm precyzujących zasady stosowania radiografii cyfrowej do badań typowych obiektów badanych dotychczas metodą radiografii błonowej;
- stosunkowo wysoki koszt systemów radiografii cyfrowej.

*Autor korespondencyjny. E-mail: smackiew@ippt.gov.pl

Wydaje się, że w chwili obecnej, przynajmniej dwie pierwsze bariery rozwoju radiografii cyfrowej w Polsce zostały zredukowane. Na krajowych konferencjach i seminariach badań nieniszczących prezentowano w ostatnich latach szereg referatów na temat różnych aspektów radiografii cyfrowej [1,2,3,6,8] zaś wielu polskich specjalistów uczestniczyło w kursach radiografii cyfrowej organizowanych przez ośrodki zagraniczne. Również zakres unormowania badań technikami radiografii cyfrowej uległ w ostatnim czasie znacznemu poszerzeniu [8,9,10]. W szczególności należy wymienić tutaj normę PN-EN ISO 17636-2 określającą zasady badań złączy spawanych technikami radiografii cyfrowej.

W krajach wysoko uprzemysłowionych, obserwujemy obecnie drugi etap rewolucji cyfrowej w radiografii przemysłowej polegający na coraz szerszym wykorzystaniu paneli płaskich jako podstawowych detektorów promieniowania. Technika bazująca na wykorzystaniu paneli płaskich nazywana jest techniką cyfrowej radiografii bezpośredniej (Direct Digital Radiography) [3,4,5,6] i oznaczana skrótem DDR lub DR. Systemy DR są stosowane w badaniach medycznych od kilkunastu lat, jednak specyfika badań nieniszczących powodowała, że dopiero w ostatnim okresie panele płaskie zaczęły być szerzej stosowane w badaniach przemysłowych. Kluczowe było opracowanie paneli płaskich z przemianą pośrednią wykorzystujących jako ekran scyntylacyjny monokrystaliczny jodek cezu (CsI:Tl) o strukturze igłowej [5,6,7,8]. Technologia ta umożliwiła skonstruowanie paneli płaskich z pogrubionymi warstwami scyntylacyjnymi o akceptowalnej rozdzielczości przestrzennej. Powiększona grubość warstwy scyntylatora jest konieczna w przypadku detekcji wysokoenergetycznego promieniowania pochodzącego ze

źródeł izotopowych lub lamp rentgenowskich o napięciach powyżej 200 kV. Drugim kluczowym osiągnięciem umożliwiającym wykorzystanie paneli płaskich w badaniach nieniszczących było skonstruowanie matryc światłoczułych na bazie amorficznego krzemu (a-Si) z tranzystorami TTL o wymiarach piksela rzędu $100 \div 130 \mu\text{m}$. Podniosło to rozdzielczość przestrzenną paneli płaskich do wartości akceptowalnych w badaniach nieniszczących [3]. Ważnym praktycznym udogodnieniem wprowadzonym w ostatnich latach jest również możliwość sterowania panelem w sposób bezprzewodowy za pośrednictwem połączenia Wi-Fi. Ułatwia to prowadzenie badań w warunkach terenowych gdzie unika się konieczności prowadzenia kabli połączeniowych pomiędzy stanowiskiem operatora a panelem oraz eliminuje ryzyko ich zerwania lub uszkodzenia.

W porównaniu z radiografią CR radiografia DR na panelach płaskich ma kilka istotnych zalet takich jak:

- brak konieczności stosowania stosunkowo drogich i wrażliwych na uszkodzenia płyt IP jako pośredniego nośnika obrazu radiograficznego - redukuje się w ten sposób bieżące koszty eksploatacji oraz eliminuje z cyklu pracy czasochłonny etap odczytu obrazu z nośnika pośredniego;
- możliwość natychmiastowego obejrzenia wykonanego radiogramu na ekranie komputera co pozwala na jego szybką ocenę lub ewentualne powtórzenie w przypadku niespełnienia wymagań jakościowych;
- wielokrotnie krótsze czasy ekspozycji wymagane dla uzyskania określonego SNR niż w przypadku płyt IP lub klasycznych błon;
- bezproblemowe uzyskiwanie radiogramów o wysokich wartościach znormalizowanego SNR (140 i powyżej) co stanowi częsty problem w przypadku stosowania systemów CR.

Najważniejszym ograniczeniem paneli płaskich jest nieemożność ich dopasowywania do krzywizny badanego elementu. Może to prowadzić do geometrycznych zniekształceń obrazu prześwietlanego obiektu oraz utrudniać operowanie panelem w warunkach ograniczonego dostępu. Obecnie produkowane panele płaskie charakteryzują się również nieco gorszą rozdzielczością przestrzenną SRb niż dostępne systemy CR lub systemy błonowe. Należy jednak podkreślić, że gorsza rozdzielczość przestrzenna paneli płaskich może być skompensowana przez podwyższenie wartości SNR. W wyniku właściwego zastosowania reguł kompensacji efektywna wykrywalność drobnych nieciągłości może być lepsza niż na radiogramach CR lub radiogramach błonowych.

Celem niniejszego referatu jest opis budowy i działania różnych typów paneli płaskich oraz przedyskutowanie ich podstawowych parametrów z punktu widzenia zastosowań w badaniach nieniszczących. Należy podkreślić, że prawidłowe wdrożenie techniki DR rozpoczyna się na etapie właściwego doboru parametrów oraz opcji panelu w odniesieniu do zakresu badań wykonywanych przez określone laboratorium. Niewłaściwy dobór panelu skutkować może niemożnością spełnienia określonych wymagań jakościowych lub też stratami ekonomicznymi wynikającymi z przedwczesnego zużycia lub uszkodzenia panelu.

2. Podstawowe rodzaje paneli płaskich

Detektory promieniowania określane mianem paneli płaskich FPD (Flat Panel Detectors) można podzielić na dwa podstawowe rodzaje: panele z detekcją bezpośrednią oraz panele z przemianą pośrednią.

W panelach z detekcją bezpośrednią fotony promieniowania rentgenowskiego padają bezpośrednio na matrycę detektora i generują w jej fotodiodach lub fotorezystorach pary ładunków elektrycznych elektron-dziura, które są następnie rozdzielane w polu elektrycznym fotoelementu i gromadzone na jego elektrodach. Po określonym czasie naświetlania, zwanym czasem ramki, ładunki te odczytywane są przez elektronikę panelu, wzmacniane i zamieniane na formę cyfrową. W rezultacie tego procesu, odczytany z matrycy detektora rozkład ładunków elektrycznych tworzy obraz cyfrowy możliwy do wyświetlenia na ekranie komputera. Z punktu widzenia zastosowań w badaniach nieniszczących podstawową wadą obecnie produkowanych paneli z detekcją bezpośrednią jest fakt, że ich fotodiody lub fotorezystory w niewielkim stopniu pochłaniają promieniowanie rentgenowskie (lub gamma) o energiach typowych dla badań nieniszczących. Najlepsze produkowane obecnie panele bezpośrednie, oparte na fotorezystorach z amorficznego selenu (a-Se), mogą być wykorzystane do detekcji promieniowania rentgenowskiego w zakresie poniżej 150 kV. Dopiero wprowadzenie na rynek paneli bezpośrednich wykorzystujących detektory półprzewodnikowe wykonane z materiałów o dużej liczbie atomowej (np. CdTe, HgI₂, PbI₂) może spowodować, że staną się one bardziej przydatne w obszarze badań nieniszczących. Na obecnym etapie zastosowanie paneli bezpośrednich w NDT musi być ograniczone do badań wykonywanych źródłami niskoenergetycznymi, takich jak prześwietlanie elektronicznych obwodów drukowanych czy innych drobnych elementów wykonanych z materiałów o niskiej liczbie atomowej.

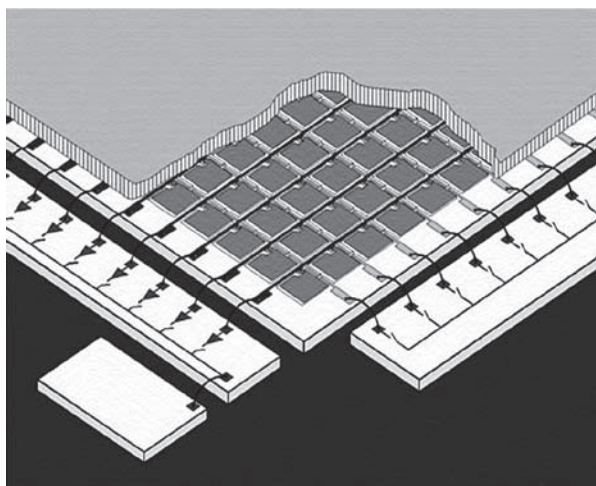
zupełnie nowym rodzajem paneli płaskich są tzw. panele PCD (Photon Counting Detectors) zliczające fotony promieniowania padające na poszczególne piksele detektora [3] nie zaś sumujące ich energie. Co istotne, panele takie mogą jednocześnie zliczać fotony w różnych przedziałach energetycznych. Pozwala to np. odseparować niskoenergetyczne promieniowanie rozproszone, które jest przyczyną obniżania kontrastu i rozdzielczości obrazu w tradycyjnej radiografii. Dzięki selektywnej rejestracji fotonów prześwietlane obiekty mogą być zobrazowane w różnych przedziałach energii promieniowania, co umożliwia dokładniejszą analizę ich składu i struktury wewnętrznej. Sелеktywne zliczanie fotonów na poziomie pikseli możliwe jest dzięki zastosowaniu w ich strukturze układów CMOS o dużej skali integracji realizujących te złożone funkcje. Obecność złożonych układów elektronicznych w strukturze pikseli powoduje jednak zwiększenie ich wrażliwości na uszkodzenie przez promieniowanie jonizujące oraz nieuchronne skrócenie czasu eksploatacji.

Panele PCD są obecnie na etapie badań laboratoryjnych i nie należy spodziewać się ich komercjalizacji w najbliższym czasie. Dotyczy to zwłaszcza zastosowań w badaniach nieniszczących, w których wykorzystuje się promieniowanie

o znacznie wyższych energiach niż w zastosowaniach medycznych, pod kątem których konstruowane są nowe typy paneli.

3. Panele płaskie z przemianą pośrednią

Podstawowe znaczenie w badaniach nieniszczących mają obecnie klasyczne panele płaskie z przemianą pośrednią, które zostaną poniżej omówione w sposób bardziej szczegółowy. Ogólny schemat panelu płaskiego z przemianą pośrednią pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Budowa panelu płaskiego z przemianą pośrednią. Ekran scyntylacyjny znajduje się nad matrycą pikseli rejestrujących fotony optyczne wytworzone w scyntylatorze wskutek oddziaływania promieniowania jonizującego.

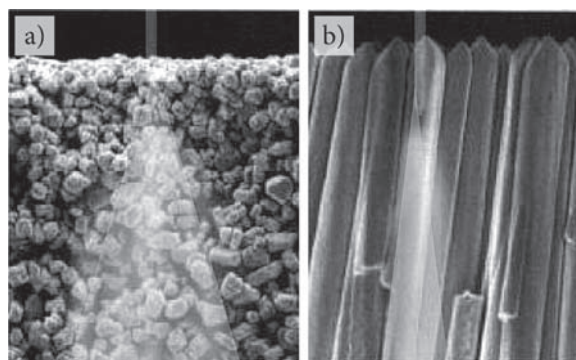
Fig. 1. Construction of indirect flat panel detector. The scintillation screen is located above the pixel array recording optical photons produced in the scintillator layer due to the effects of ionizing radiation.

Panel tego typu składa się z dwóch podstawowych elementów funkcjonalnych: ekranu scyntylacyjnego, którego zadaniem jest przetwarzanie padającego promieniowania rentgenowskiego w promieniowanie widzialne oraz matrycy złożonej z wielu światłoczułych pikseli, której zadaniem jest przetworzenie obrazu widzialnego, wytworzonego na ekranie scyntylacyjnym, w rozkład ładunków elektrycznych na elementach światłoczułych pikseli. Rozkład ten jest następnie odczytywany przez elektronikę panelu i przetwarzany na obraz cyfrowy zapisywany w pamięci komputera.

Ekran scyntylacyjny musi zapewnić odpowiednią czułość systemu detekcyjnego na padające promieniowanie. Oznacza to, że powinien on absorbować możliwie wysoki procent padających fotonów promieniowania rentgenowskiego i efektywnie zamieniać ich energię na emitowane wtórnie fotony optyczne. Ekrany scyntylacyjne opracowane na potrzeby zastosowań medycznych wykonane były z polikrystalicznego $Gd_2O_2S:Tb$ (w skrócie GOS) i charakteryzowały się dobrą czułością na promieniowanie o energiach poniżej 100 keV. W zakresie energii typowym dla badań nieniszczących ich czułość była jednak zdecydowanie niewystarczająca. Podwyższenie czułości tego rodzaju ekranów przez proste zwiększenie ich grubości nie było dobrym rozwiązaniem ponieważ wzrost grubości ekranu powoduje nieuchronne

pogorszenie jego rozdzielczości przestrzennej. Wynika to z silnego rozpraszania fotonów optycznych w polikrystalicznej strukturze scyntylatora, co schematycznie pokazano na rys. 2a.

Skutecznym rozwiązaniem problemu okazało się opracowanie nowego typu ekranów scyntylacyjnych wykonanych z wydłużonych monokryształów $CsI:Tl$ (jodku cezu domieszkowanego talem) o strukturze igłowej (Rys. 2b.). Kryształy $CsI:Tl$ mają podobne właściwości scyntylacyjne jak kryształy $Gd_2O_2S:Tb$ (emitują średnio 54 fotony optyczne na każdy 1 keV zabiorowanej energii) jednak pozwalają na wytwarzanie grubych ekranów scyntylacyjnych, w których wydłużone monokryształy stanowią falowody optyczne prowadzące wytworzone fotony bezpośrednio do powierzchni matrycy światłoczułej nie pozwalając na ich rozpraszanie w kierunku poprzecznym. Zaletą strukturyzowanego $CsI:Tl$ w stosunku do polikrystalicznych materiałów scyntylacyjnych jest również to, że słabiej absorbuje fotony scyntylacyjne wytworzone w głębi ekranu nie pochłaniając ich przy przechodzeniu granic ziaren lub w fazie wiążącej wypełniającej przestrzeń pomiędzy ziarnami.



Rys. 2. Rozpraszanie fotonów scyntylacyjnych w warstwie scyntylatora o strukturze : a) polikrystalicznej, b) igłowej.

Fig. 2. Scattering of scintillation photons in the scintillator layer made of: a) polycrystals, b) needle like crystals.

Fotony optyczne wytworzone w ekranie scyntylacyjnym rejestrowane są przez elementy światłoczułe matrycy detektora (Rys. 1.). Matryce nowoczesnych paneli składają się z wielu milionów pikseli, z których każdy zawiera fotodiode oraz dodatkowe elementy sterujące wykonane w technologii półprzewodnikowej.

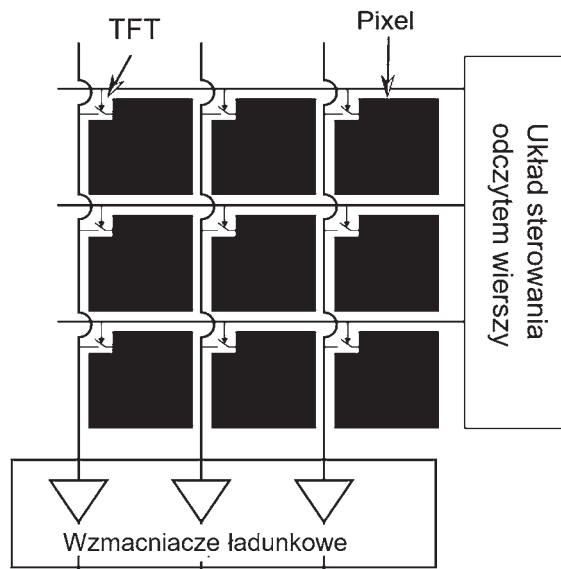
Najstarszym i najbardziej rozpowszechnionym typem matryc stosowanych w panelach płaskich są matryce oparte na amorficznym krzemie (a-Si) z tranzystorami TFT. Schemat budowy takiej matrycy pokazano na rys. 3.

Podstawowym elementem strukturalnym matrycy a-Si jest pojedynczy piksel, którego przekrój pokazano na rys. 4.

Aktywnym elementem piksela jest fotodiode typu p-i-n wykonana z amorficznego krzemu (a-Si). Przerwa energetyczna tego półprzewodnika ($1,5 \div 1,6$ eV) dokładnie odpowiada maksimum widma promieniowania scyntylacyjnego emitowanego przez kryształy scyntylatora $CsI:Tl$ (długość fali $\lambda = 550$ nm). Oznacza to, że fotony scyntylacyjne będą w takiej fotodiodzie niemal całkowicie absorbowane i zamieniane na pary ładunków elektrycznych e-h.

Fotodiode a-Si zajmuje od 35% do 85% powierzchni

piksela w zależności od konstrukcji matrycy. Czym większa relatywna powierzchnia fotodiody względem całkowitej powierzchni piksela (tzw. fill factor) tym większa sprawność panelu w przetwarzaniu obrazu radiograficznego na obraz cyfrowy. Niestety, wraz ze zmniejszaniem się rozmiarów piksela (czyli podwyższaniem rozdzielczości matrycy) coraz trudniej uzyskać wysoką wartość współczynnika wypełnienia. Oznacza to, że ograniczenia technologiczne powodują konieczność zachowania kompromisu pomiędzy wysoką rozdzielczością przestrzenną a czułością panelu na promieniowanie. W obecnym stanie techniki minimalny rozmiar piksela matryc a-Si, nie powodujący jeszcze nadmiernego spadku współczynnika wypełnienia, wynosi 100 – 130 μm .



Rys. 3. Podstawowy schemat budowy matrycy a-Si z układem linii sterujących (poziomych), linii sygnałowych (pionowych) oraz zespołem wzmacniaczy ładunkowych.

Fig. 3. Basic layout of the a-Si matrix with control lines (horizontal), signal lines (vertical) and multiple charge amplifiers.

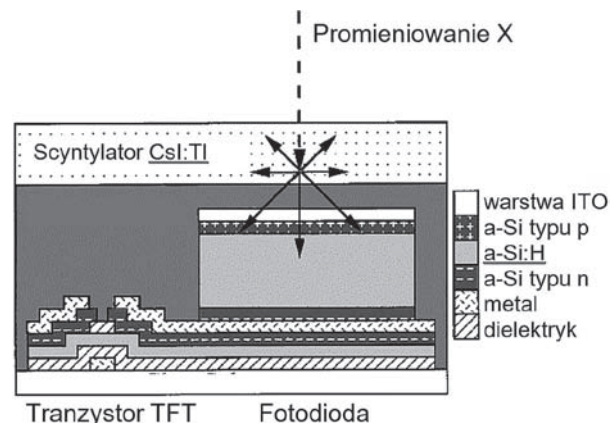
Aby umożliwić swobodne przenikanie fotonów optycznych do wnętrza fotodiody, jej górna elektroda wykonana jest z przezroczystego przewodnika ITO (tlenek cyny indy). Fotony optyczne absorbowane w środkowej, niedomieszkowanej warstwie fotodiody wytwarzają pary swobodnych nośników elektron-dziura (e-h). Ponieważ fotodioda jest spolaryzowana zaporowo ładunki te rozdzielane są w polu elektrycznym i gromadzą się na jej elektrodach. Czym więcej fotonów optycznych pochłonie fotodioda podczas ekspozycji, tym więcej ładunku elektrycznego zgromadzi się na jej elektrodach. Po zakończeniu ekspozycji rozkład ładunków elektrycznych zgromadzonych na fotodiodach stanowi radiograficzny obraz utajony.

W tym miejscu należy zauważyć, że nie cały ładunek elektryczny wygenerowany w objętości fotodiody jest gromadzony na jej elektrodach. Część wygenerowanych elektronów i dziur zostaje wychwycona w pułapkach energetycznych związanych z defektami punktowymi półprzewodnika a-Si i nie dociera do elektrod fotodiody w czasie bieżącego cyklu pracy. Ładunki te mogą być jednak uwalniane w kolejnych cyklach pracy systemu (odczytach ramki) powodując efekt

opóźnionego obrazu (image lag) widoczny w przypadku dynamicznego trybu pracy panelu.

Drugim podstawowym elementem składowym piksela jest cienkowarstwowy tranzystor polowy TFT. Źródło tego tranzystora połączone jest z elektrodą n fotodiody, natomiast dren z linią danych matrycy podłączoną do wzmacniacza ładunkowego (Rys. 3.). Bramka tranzystora TFT połączona jest z linią sterowania, za pomocą której układ sterowania odczytem ramki przełącza tranzystory TFT w stan przewodzenia. Tranzystory TFT pełnią w opisanym układzie funkcję miniaturowych przełączników łączących elektrody fotodiod z elektroniką odczytującą panelu. Umożliwiają one szybkie przełączanie wielkiej liczby pikseli za pomocą stosunkowo małych mocy dzięki czemu matryca a-Si nie nagrzewa się podczas pracy a cały panel może być zasilany z akumulatorów przez stosunkowo długi okres czasu.

Podczas ekspozycji wszystkie tranzystory TFT matrycy są rozwarpte umożliwiając gromadzenie się ładunków elektrycznych na fotodiodach pikseli. W rezultacie, po zakończeniu ekspozycji, uzyskujemy radiograficzny obraz utajony w postaci rozkładu ładunków na fotodiodach matrycy. Obraz ten jest odczytywany przez elektronikę panelu w następujący sposób.



Rys. 4. Schematyczny przekrój pojedynczego piksela matrycy a-Si.

Fig. 4. Schematic cross section of a single pixel of the a-Si matrix.

Układ sterowania odczytem ramki przełącza napięcie kolejnych linii sterujących tak, aby wprowadzić tranzystory TFT podłączone do danej linii (wiersza matrycy) w stan przewodzenia. Po zwarciu przełączników TFT danej linii ładunki zgromadzone na jej fotodiodach przepływają za pośrednictwem linii sygnałowych do odpowiednich wejść wielokanałowego wzmacniacza ładunkowego (patrz rys. 3). Wzmacniacze ładunkowe wytwarzają na swoich wyjściach napięcia proporcjonalne do ładunku, który wpłynął na ich wejścia. Napięcia te są następnie multipleksowane i poddawane digitalizacji za pomocą przetworników ADC. W ten sposób odczytywany jest obraz z pojedynczego wiersza pikseli matrycy. Po jego odczycie tranzystory odczytanej linii są zamykane, natomiast w stan przewodzenia wprowadzane są tranzystory kolejnej linii matrycy i następuje odczyt jej obrazu utajonego. W ten sposób, linia po linii, dokonywany jest odczyt wszystkich linii matrycy czyli tzw. ramki obrazu.

Obraz odczytany przez panel przesyłany jest do pamięci komputera sterującego w formie cyfrowej. Głębina bitowa obrazu cyfrowego rejestrowanego przez aktualnie produkowane typy paneli wynosi od 12 do 16 bitów.

Po zakończeniu odczytu ramki obrazu panel gotowy jest do ponownego naświetlenia i odczytu. Daje to możliwość wielokrotnego powtarzania odczytów obrazu z częstotliwością dochodzącą do kilkudziesięciu ramek na sekundę i prezentowania go na ekranie komputera w czasie rzeczywistym. Ten tryb pracy panelu, nazywany trybem fluoroskopowym, wykorzystywany jest często w badaniach medycznych. Można go jednak wykorzystać także w standardowych badaniach radiograficznych wykonując kilka lub kilkanaście kolejnych odczytów ramki w czasie jednej ekspozycji a następnie uśredniając odczytane obrazy. Dzięki takiemu zabiegowi można uzyskać radiogramy cyfrowe o wysokich wartościach SNR bez wchodzenia w obszar nieliniowości panelu, który w zależności od jego konstrukcji i parametrów pracy, zaczyna się przy wartościach GV wynoszących od 60% do 90% zakresu dynamiki panelu.

Przedstawiony powyżej opis matrycy światłoczułej dotyczy klasycznych, najczęściej wykorzystywanych matryc a-Si z tranzystorami TFT. Cechą charakterystyczną tych matryc jest to, że ich piksele są pasywne tj. jedynie gromadzą ładunki elektryczne, nie wzmacniając ich jednak przed przesłaniem do elektroniki odczytującej panelu. Rozwiązanie takie skutkuje obniżeniem stosunku sygnału do szumu oraz powoduje znaczące spowolnienie procesu odczytu ramki obrazu z matrycy panelu.

W związku z wymienionymi ograniczeniami w najnowszych konstrukcjach paneli płaskich zastosowano matryce CMOS, które charakteryzują się tym, że ich piksele zawierają własne, aktywne układy elektroniczne zbudowane w technologii CMOS. Układy te wzmacniają sygnał piksela jeszcze przed przesłaniem go do zewnętrznej elektroniki panelu. Poprawia to stosunek sygnału do szumu – SNR oraz przyspiesza proces odczytu ramki obrazu.

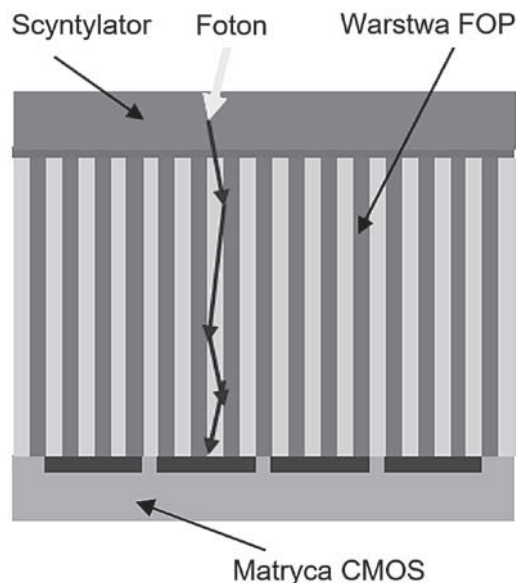
Te niewątpliwe zalety paneli płaskich z matrycami CMOS są jednak okupione ich zwiększoną wrażliwością na promieniowanie. W celu ochrony przed promieniowaniem matryce CMOS osłonięte są dodatkową warstwą FOP (Fiber Optic Plate) wykonaną ze światłowodów i umieszczoną pomiędzy ekranem scyntylacyjnym a powierzchnią matrycy światłoczułej (Rys. 5.).

Ochrona matrycy CMOS za pomocą warstwy FOP jest skuteczna jedynie w zakresie niższych energii promieniowania. Przykładowo, dla paneli Dexela 1512NDT producent dopuszcza maksymalne napięcie lamp rentgenowskich 160 kV, natomiast dla modeli Dexela 2315NDT oraz 2923NDT napięcia do 225 kV. Paneli takich nie powinno się stosować przy wyższych napięciach lamp rentgenowskich lub ze źródłami promieniowania typu Ir-192 czy Co-60.

4. Dobór parametrów panelu do przewidywanych zastosowań

Przedstawiony opis budowy i działania paneli płaskich daje podstawę do zrozumienia ich podstawowych parametrów funkcjonalnych, co jest warunkiem prawidłowego

doboru panelu do określonych zastosowań. Proces optymalnego wyboru rodzaju, typu oraz opcji panelu jest złożonym zagadnieniem, obejmującym zarówno zagadnienia techniczne, jak też aspekty organizacyjne i ekonomiczne dotyczące pracy konkretnego laboratorium. Poniżej przedyskutowano najważniejsze aspekty techniczne, które powinny być uwzględnione przy wyborze typu panelu. Z uwagi na przewidywaną skalę potencjalnych zastosowań główną uwagę skoncentrowano na wdrożeniu paneli płaskich do radiograficznych badań złączy spawanych. W tym przypadku punktem wyjścia przy analizie parametrów paneli mogą być wymagania normy PN-EN ISO 17636-2 [12].



Rys. 5. Schematyczny przekrój panelu płaskiego z matrycą typu CMOS.

Fig. 5. Schematic cross section of a CMOS flat panel.

4.1 Rodzaj panelu

Z przedstawionego opisu wynika, że podstawowym kryterium przy wyborze rodzaju panelu (panel bezpośredni czy z przemianą pośrednią, matryca TTL czy matryca CMOS) musi być zakres energii promieniowania, jaki będzie stosowany podczas badań.

Panele bezpośrednie (na bazie a-Se) mogą być efektywnie wykorzystywane w zakresie napięć lamp rentgenowskich poniżej 150 kV. Ich główną zaletą jest wysoka rozdzielczość przestrzenna sięgająca 50 μm . Zastosowanie tego typu detektorów w badaniach nieniszczących może obejmować prześwietlenia obwodów drukowanych lub badania drobnych elementów wykonanych z materiałów o niskiej liczbie atomowej.

W zdecydowanej większości zastosowań w obszarze badań nieniszczących optymalne będą jednak panele płaskie z przemianą pośrednią ze standardowymi matrycami a-Si opartymi na tranzystorach TTL lub z matrycami CMOS z aktywnymi pikselami.

Podstawowymi zaletami paneli płaskich z nowoczesnymi matrycami CMOS są: zwiększona szybkość odczytywania obrazu radiograficznego (liczba ramek na sekundę) oraz lepszy SNR przy małej ekspozycji. Zalety te mogą być bardzo

istotne np. w zautomatyzowanych badaniach na linii produkcyjnej lub też w badaniach dynamicznych, w których analizuje się działanie ruchomych elementów prześwietlanego mechanizmu. W bardziej typowych zastosowaniach w obszarze badań nieniszczących wspomniane zalety matryc CMOS nie będą decydujące, natomiast dużym problemem może się stać ich relatywnie niska odporność na promieniowanie. Oznacza to, że w wielu przypadkach lepszym rozwiązaniem będzie wybór konwencjonalnego panelu płaskiego ze standardową matrycą TTL.

4.2 Rodzaj scyntylatora

W przypadku panelu z przemianą pośrednią kluczowe znaczenie ma rodzaj oraz grubość warstwy materiału scyntylacyjnego. Jedynie stosunkowo grube (500 – 1000 μm) ekrany scyntylacyjne wykonane z monokrystalicznego CsI:Tl umożliwią skuteczną detekcję promieniowania ze źródeł izotopowych (Se-75, Ir-192, Co-60) oraz lamp rentgenowskich o napięciach rzędu 300 kV. Tańsze opcje paneli z ekranami scyntylacyjnymi wykonanymi z GOS można rozważyć w przypadku systematycznego stosowania niższych energii promieniowania (rzędu 200 kV) lub też do prowadzenia badań niewymagających wysokiej rozdzielczości przestrzennej, w których zwiększona grubość polikrystalicznego scyntylatora GOS nie będzie stanowił problemu. Przykładem tego rodzaju badań są np. pomiary ubytków korozyjnych rurociągów czy prześwietlenia odlewów ogólnego przeznaczenia.

4.3 Rozmiar piksela

Jednym z podstawowych parametrów panelu płaskiego jest rozmiar piksela zdefiniowany jako odległość między środkami sąsiadujących pikseli (pixel pitch).

Rozmiary pikseli produkowanych obecnie paneli płaskich zawierają się w granicach od 50 do 250 μm . Z wielkością piksela wiąże się podstawowa rozdzielczość przestrzenna detektora - SRb zdefiniowana w normach badań radiograficznych [10,11,12] jako jeden z podstawowych parametrów systemu badawczego. Wartość SRb wyznaczana jest z normowych testów systemu badawczego wykonywanych za pomocą wskaźnika typu duplex. Z reguły jest ona zbliżona do rozmiarów piksela testowanego panelu płaskiego.

W przypadku badań złączy spawanych należy przeanalizować wymagania normy [12] dotyczące podstawowej rozdzielczości przestrzennej systemu i na tej podstawie określić wymagany rozmiar piksela panelu płaskiego. Rozpatrzmy szczegółowe wymagania tej normy dla technik klasy B przytoczone w tabeli 1.

Przyjmijmy dla przykładu, że panel płaski ma rozmiar piksela równy 100 μm (0,10 mm). Odnosząc się bezpośrednio do tabeli 1 możemy odczytać, że panel taki można stosować do badań złączy spawanych pod warunkiem, że prześwietlana grubość materiału będzie większa od 12 mm. Jednak norma EN ISO 17636-2 daje możliwość zastosowania drugiej zasady kompensacji CP II, która mówi, że jeśli nie można osiągnąć wymaganej rozdzielczości przestrzennej systemu SRb to w celu skompensowania tego braku można odpowiednio podwyższyć SNR radiogramu cyfrowego. Podwyższony SNR

musi zapewnić uwidocznienie jednego dodatkowego pręcika wskaźnika IQI dla każdej brakującej pary pręcików wskaźnika typu duplex. Zasadę kompensacji CP II można zastosować dla maksymalnie dwóch par brakujących pręcików.

Tab. 1. Maksymalne dopuszczalne podstawowe rozdzielczości przestrzenne SRb systemu badawczego dla technik klasy B normy EN ISO 17636-2.

Tab. 1. Maximum acceptable basic spatial resolutions SRb of the test system for class B techniques according to EN ISO 17636-2.

Prześwietlana grubość materiału ^a , mm	Nr wskaźnika typu duplex maksymalna nieostrość (ISO 19232-6) ^b , mm	Maksymalna dopuszczalna podstawowa rozdzielczość przestrzenna SR ^b , mm
$w \leq 1,5$	D 13+ 0,08	0,04
$1,5 < w \leq 4$	D 13 0,10	0,05
$4 < w \leq 8$	D 12 0,125	0,063
$8 < w \leq 12$	D 11 0,16	0,08
$12 < w \leq 40$	D 10 0,20	0,10
$40 < w \leq 120$	D 9 0,26	0,13
$120 < w \leq 200$	D 8 0,32	0,16
$w > 200$	D 7 0,40	0,20

^aDla technik prześwietlania przez dwie ścianki, z oceną jednej, zamiast w należy stosować grubość nominalną pojedynczej ścianki – t.

^bPodane wartości wskaźników IQI dotyczą technik kontaktowych. Dla technik projekcyjnych z geometrycznym powiększeniem odczyt IQI należy wykonać na radiogramie referencyjnym

^cWartość D 13+ jest osiągnięta gdy para pręcików D 13 jest rozdzielona dołkiem intensywności między pręcikami głębszym niż 20% intensywności maksymalnej

Stosując zasadę CP II w rozpatrywanym przypadku widoczne jest, że panel o 100 μm rozmiarze piksela można zastosować do badań złączy spawanych w klasie B dla prześwietlanych grubości materiału powyżej 4 mm. Warunkiem tego jest jednak uzyskanie odpowiednio zwiększonej liczby widocznych na radiogramie pręcików IQI. Można to osiągnąć przez zwiększenie SNR radiogramu oraz optymalizację innych parametrów techniki radiograficznej (np. zmniejszenie nieostrości geometrycznej, ograniczenie promieniowania rozproszonego).

4.4 Zakres energii i odporność na promieniowanie

Panele płaskie są z założenia wystawiane na bezpośrednie oddziaływanie promieniowania jonizującego i tym samym narażone na uszkodzenia powodowane przez to promieniowanie. Najbardziej wrażliwymi elementami panelu są jego układy elektroniczne. Z tego względu większość elektroniki panelu (układy zasilające, układy sterowania odczytem ramki, wzmacniacze ładunkowe, multipleksery, przetworniki ADC) umieszczana jest poza obszarem matrycy światłoczułej, tak aby można je było zabezpieczyć dodatkowymi osłonami blokującymi promieniowanie. Jednak sama matryca, z zasady nie może być chroniona przed promieniowaniem, ponieważ

ma je rejestrować w możliwie najbardziej efektywny sposób. Oznacza to, że elementy elektroniczne wchodzące w skład matrycy będą stopniowo akumulować duże dawki promieniowania i podlegać procesom degradacji. Jak wynika z przeprowadzonych badań [13] najbardziej narażonymi na degradację elementami klasycznej matrycy a-Si są cienkowarstwowe tranzystory TFT sterujące odczytem ładunku z poszczególnych pikseli. Najważniejszym przejawem ich uszkodzenia są, wzrastające wraz z akumulowaną dawką, prądy upływu (leakage currents) w stanie wyłączenia tranzystora. Oznacza to, że ładunek elektryczny gromadzony na fotodiodach podczas ekspozycji, zamiast być całkowicie zablokowany aż do momentu odczytu ramki, „wycieka” z piksela w sposób niekontrolowany. Powoduje to stopniowy spadek czułości panelu (ładunki które „wyciekają” wskutek „nieszczelności” tranzystorów TFT trzeba uzupełniać przez przedłużanie czasu ekspozycji) jak również wzrost poziomu szumów. Z punktu widzenia użytkownika oznacza to, że SNR uzyskiwanych radiogramów ulega stopniowemu pogorszeniu pomimo stosowania tych samych ekspozycji. W sytuacji, gdy uszkodzenia poszczególnych pikseli przekroczą określone przez producenta granice, oprogramowanie sterujące panelu wyłączy te piksele całkowicie. Poziomy sygnał dla takich pikseli uzyskiwane są programowo poprzez uśrednianie sygnału odczytywanego z sąsiadujących pikseli. Oczywiście procedura programowej korekcji uszkodzonych pikseli ma swoje granice.

Poziom zabezpieczenia przed promieniowaniem różnych typów paneli jest bardzo zróżnicowany. Jest on pośrednio określany przez producentów za pomocą dwóch parametrów: zakresu energii (energy range) oraz odporności na promieniowanie (radiation hardness).

Zakres energii promieniowania (energy range) podawany w specyfikacji panelu nie powinien być przekraczany podczas jego użytkowania ze względu na ryzyko przedwczesnego uszkodzenia panelu spowodowanego napromieniowaniem. Może to spowodować także utratę gwarancji dawanej przez producenta.

Odporność na promieniowanie (radiation hardness) jest parametrem, który określa maksymalną skumulowaną dawkę promieniowania jaką dany panel może pochłonąć podczas normalnej eksploatacji. Przykładowo, dla paneli firmy Varian serii PaxScan, producent podaje wartość 1 MRad czyli 10 kGy. Ze względu na podobną strukturę elementów półprzewodnikowych różnych typów matryc TFT wartość ta może być traktowana jako typowa dla klasycznych paneli z tego rodzaju matrycą.

Dla paneli z matrycami CMOS producenci nie podają parametru odporności na promieniowanie, jednak z dostępnych danych literaturowych [14] wynika, że matryce CMOS wykazują gwałtowny wzrost prądów upływu już przy skumulowanych dawkach rzędu 700 Gy.

4.5 Rozmiary matrycy

Rozmiary matryc dostępnych komercyjnie paneli płaskich zawierają w granicach od 13 x 8 cm (1024 x 640 pikseli) do 41 x 41 cm (4096 x 4096 pikseli). Rozmiary aktywnej części matrycy panelu należy dobrać pod kątem przewidywanych

zastosowań. Nie zawsze największa matryca jest najlepszym rozwiązaniem. Np. do badań złączy spawanych rurociągów wystarczający może być panel o wymiarach 15 x 15 cm współpracujący ze skanerem automatycznie przemieszczającym panel wzdłuż spoiny w celu szybkiego wykonania kilku czy kilkunastu ekspozycji wymaganych dla prześwietlenia całego obwodu. Zbyt duże rozmiary panelu, oprócz zwiększonych kosztów, mogą utrudniać praktyczne operowanie panelem w warunkach ograniczonego dostępu, spowalniać działanie panelu oraz powodować zwiększony pobór energii elektrycznej i związaną z tym konieczność częstego ładowania akumulatorów. Duże rozmiary matrycy panelu mogą być jednak konieczne w przypadku prześwietlania obiektów o większych rozmiarach i złożonym kształcie.

4.6 Możliwości regulowania parametrów pracy panelu

Przy wyborze typu panelu płaskiego należy zwrócić uwagę na możliwości sterowania określonymi parametrami jego pracy.

Ważnym parametrem panelu jest minimalny czas ramki (integration time), który określa minimalny czas ekspozycji, po którym obraz może zostać odczytany. Czas ten determinuje szybkość pracy panelu (frame rate) i ma szczególne znaczenie w przypadku stosowania panelu w modzie fluoroskopowym do dynamicznej obserwacji badanych obiektów. Z punktu widzenia zastosowań typowo radiograficznych minimalny czas ramki nie jest parametrem krytycznym jednak panel powinien umożliwiać nastawianie czasów ramki w możliwie szerokim zakresie.

Ważnym aspektem sterowania pracą panelu jest możliwość zmiany jego wzmocnienia (gain). Jest to szczególnie istotne w przypadku stosowania panelu do badań obiektów o różnej grubości oraz przy zmieniających się wymaganiach odnośnie SNR. Panel musi zapewniać możliwość efektywnej pracy (tj. uzyskiwania odpowiednio dużych wartości GV przy rozsądnych czasach ekspozycji) zarówno przy małych jak i dużych mocach dawki. Parametr wzmocnienia panelu utożsamiany jest często z pojemnością piksela wyrażaną w pF. Różne wartości pojemności odpowiadają różnym wzmocnieniom panelu, przy czym zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna: t.j. im większa pojemność piksela, tym mniejsze wzmocnienie jego sygnału.

Kolejnym ważnym aspektem sterowania parametrami panelu jest opcja wirtualnego grupowania pikseli (pixel binning) czyli, realizowanego sprzętowo, sumowania sygnału z kilku przylegających pikseli i dalszego traktowania tej sumy jak sygnału pochodzącego z jednego wirtualnego piksela. W ten sposób można efektywnie obniżyć rozdzielczość panelu (np. grupując piksele w blokach 2x2), uzyskując w zamian wzrost SNR, dynamiki zobrazowania oraz szybkości pracy panelu. Opcja taka może być przydatna np. przy badaniach elementów o zmiennej grubości i złożonym kształcie, niewymagających jednak najwyższych rozdzielczości przestrzennych.

4.7 Oprogramowanie panelu

Przy zakupie panelu należy zwrócić baczną uwagę na możliwości programu sterującego pracą panelu oraz analizą

i obróbką radiogramów cyfrowych. Programy takie często pochodzą z zastosowań medycznych i nie zawsze posiadają wszystkie funkcjonalności wymagane w badaniach nieniszczących. Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość wyznaczania znormalizowanego SNR radiogramu zgodnie z wymaganiami normy EN ISO 17636-2 [12] a także możliwość wyznaczenia podstawowej rozdzielczości przestrzennej SRb systemu na podstawie profilu wartości GV wzdłuż wskaźnika typu duplex.

5. Zakończenie

W artykule opisano podstawy działania detektorów promieniowania stosowanych w cyfrowej radiografii bezpośredniej - DR. Scharakteryzowano różne rodzaje paneli płaskich pod kątem ich przydatności do zastosowań w obszarze badań nieniszczących. W sposób bardziej szczegółowy omówiono panele płaskie z przemianą pośrednią oparte na matrycy a-Si z tranzystorami TFT, które wykazują największą przydatność do zastosowań w badaniach nieniszczących.

Technika radiografii cyfrowej z wykorzystaniem paneli płaskich posiada szereg istotnych zalet zarówno w porównaniu z tradycyjną radiografią błonową jak i ze starszą techniką cyfrową CR wykorzystującą luminoforowe płyty obrazowe. W szczególności nie wymaga ona stosowania nośników pośrednich oraz umożliwia natychmiastowe oglądanie wykonanych radiogramów na ekranie komputera. Pozwala to znacząco podnieść efektywność badań radiograficznych zarówno w wymiarze techniczno-organizacyjnym jak i ekonomicznym.

Prawidłowe wdrożenie radiografii DR w laboratorium badań nieniszczących nie jest zadaniem prostym i wymaga dobrego przygotowania merytorycznego już na etapie zakupów sprzętu. Różnorodność detektorów cyfrowych dostępnych na rynku niesie ryzyko zakupu panelu niedopasowanego do faktycznych potrzeb i przewidywanych zastosowań. Przy wyborze panelu istotne znaczenie ma nie tylko rozdzielczość i rozmiar jego matrycy, ale także szereg innych, mniej eksploatowanych parametrów takich, jak rodzaj scyntylatora, zakres energii promieniowania czy też maksymalna dopuszczalna dawka skumulowana.

6. Literatura/References

- [1] S. Mackiewicz, Radiografia cyfrowa na pamięciowych luminoforowych płytach obrazowych – Podstawy fizyczne., Materiały XX Seminarium „Nieniszczące Badania Materiałów”, Zakopane 12-14 marca 2014.
- [2] P. Descheper, Zastosowania radiografii komputerowej w badaniach nieniszczących, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych – Popów 2005
- [3] S. Mackiewicz, Badania złączy spawanych technikami radiografii cyfrowej w świetle wymagań normy EN ISO 17636-2, KKBR – Popów 2013
- [4] U. Evert, Progress in Digital Industrial Radiology. Part I: Radiographic Techniques – Film Replacement and Backscatter Imaging., Badania Nieniszczące i Diagnostyka Techniczna, Nr 1-2/2016.
- [5] J.H. Sieverdsen, L.K. Antonuk, Y.El-Mophri, J. Yorkston, W. Huang and J.M. Boudry, J.A. Cunningham, Empirical and theoretical investigation of the noise performance of indirect detection, active matrix flat-panel imagers (AMFPIs) for diagnostic radiography., Med. Phys. 24(10), January 1997.
- [6] J.H. Sieverdsen and D.A. Jaffray, Aghost story: Spatio-temporal response characteristics of an indirect-detection flat-panel imager., Med. Phys. 26(8), August 1999.
- [7] S. Mackiewicz, Panele płaskie z przemianą pośrednią oraz możliwości ich wykorzystania w badaniach nieniszczących, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych – Popów 2016
- [8] V. V. Nagarkar, T.K. Gupta, S.R. Miller, Y. Klugerman, M.R. Squillante, G. Entine., Structured CsI(Tl) scintillators for X-ray imaging applications, IEEE T. Nucl. Sci. 45 492, 1998.
- [9] S. Mackiewicz, Ocena jakości radiogramów komputerowych – aspekty praktyczne i metodologiczne, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych – Stary Młyn 2012
- [10] PN-EN 14784-1 Badania nieniszczące – Radiografia przemysłowa z użyciem pamięciowych luminoforowych płyt obrazowych Część 1: Klasyfikacja systemów.
- [11] PN-EN 14784-2 Badania nieniszczące – Radiografia przemysłowa z użyciem pamięciowych luminoforowych płyt obrazowych Część 2: Ogólne zasady radiograficznych badań materiałów metalowych za pomocą promieniowania X i gamma.
- [12] PN-EN ISO 17636-2 Badania nieniszczące spoin – Badanie radiograficzne Część 2: Techniki promieniowania X i gamma z detektorami cyfrowymi.
- [13] J.M. Boudry and L.E. Antonuk, Radiation damage of amorphous silicon, thin-film, field-effect transistors., Med. Phys. 23 (5), May 1996.
- [14] M. Esposito T. Anaxagoras O. Diaz K. Wells and N. M. Allinson, Radiation Hardness of a Large Area CMOS Active Pixel Sensor for Bio-medical applications., Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2012 IEEE.

Aleksandra Sytlak, Bogusław Olech

Redakcja Biuletynu PTBNiDT, SIMP

Medal im. Pana Profesora Zdzisława Pawłowskiego

U honorowanie najwyższych zasług dla Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP

Po wielu latach intensywnych działań i prac organizacyjnych mających na celu tworzenie podstaw, a następnie i integrację środowiska w ramach Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP, przyszedł czas na podziękowanie tym wszystkim, którzy przysłużyli się w największym stopniu do obecnego stanu środowiska związanego z działalnością PTBNiDT.

Niewątpliwie wyjątkową osobą w dziejach Towarzystwa jest Pan Profesor Zdzisław Pawłowski. Był twórcą nowoczesnych badań nieniszczących w Polsce, wybitnym naukowcem, założycielem i wieloletnim Prezesem Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP, a także inicjatorem Krajowych Konferencji Badań Nieniszczących.



Pan Profesor Zdzisław Pawłowski

W uznaniu jego zasług, po śmierci Pana Profesora, w szerszym środowisku PTBNiDT zrodził się pomysł nadania ustanowionej wcześniej nagrodzie dla najmłodszego autora referatu przedstawianego na Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących imienia Pana Profesora. W kolejnych latach, wzorując się na doświadczeniach Sekcji Spawalniczej nagradzającej swoich wybitnych przedstawicieli medalem im. inż. Stanisława Olszewskiego, pojawił się pomysł, by ustanowić również medal im. Profesora Zdzisława Pawłowskiego. Cieszy zatem fakt, iż starania te doczekały się realizacji. Na posiedzeniu w dniu. 15.09.2016r. Zarząd PTBNiDT SIMP

ustanowił medal im. Profesora Zdzisława Pawłowskiego. Nadawany jest przez Zarząd Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP (PTBNiDT SIMP). Jest wyrazem najwyższego uznania za zasługi w zakresie nieniszczących badań materiałowych i diagnostycznych urządzeń i konstrukcji.

Przyznawany jest za działalność, która w istotny sposób przyczyniła się do rozwoju badań nieniszczących i diagnostyki technicznej, a w szczególności za: prace naukowo-badawcze, konstrukcyjne i technologiczne, wdrożeniowe, patentowe i racjonalizatorskie oraz za działalność dydaktyczno-szkoleniową, normalizacyjną, a także popularyzację myśli technicznej i inżynierskiej w kraju i na świecie.

Profesor Jan Deputat

Prof. dr hab. Julian Deputat urodził się 8 stycznia 1935 r. w Żyrzynie. W 1952 r. ukończył Państwowe Liceum i Gimnazjum im. Księcia Adama Czartoryskiego w Puławach. W latach 1952-1957 studiował na Uniwersytecie Warszawskim – Wydział Matematyczno-Fizyczny. 26 czerwca 1957 r. uzyskał dyplom ukończenia studiów wyższych stopnia magisterskiego w zakresie fizyki. W 1965 r. uzyskał stopień naukowy doktora za pracę pt. „Tłumienie ultradźwięków i zjawisko fotomechaniczne w kryształach NaCl”. W 1989 r. otrzymał stopień naukowy dr hab. nauk technicznych w zakresie inżynierii materiałowej za pracę habilitacyjną pt. „Własności i wykorzystanie zjawiska elastoakustycznego do pomiaru naprężeń własnych”.

W 1993 r. otrzymał tytuł naukowy profesora nauk technicznych nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej.

Od 01.09.1957 r. był asystentem w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (kierownik prof. Włodzimierz Ścisłowski), a w roku 1959 wraz z Katedrą Fizyki został przeniesiony do Politechniki Warszawskiej.

Hodował monokryształy i badał naturę defektów punktowych powstających w idealnej sieci kryształu w wyniku działania promieniowania jonizującego.

W latach 1963- 2005 pracował w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, pełniąc funkcję starszego asystenta, adiunkta, docenta i profesora - Kierownika Pracowni Ultradźwiękowej Badań Materiałów. Był członkiem Rady Naukowej IPPT PAN. Współpracował z wieloma

ośrodkami badawczymi w kraju i za granicą. Był ekspertem badań nieniszczących Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, członkiem grup roboczych do spraw badań nieniszczących Międzynarodowego Instytutu Kolejowego. Był inicjatorem seminarium badań nieniszczących w Zakopanem i przez 15 lat prowadził te spotkania.



Pan Profesor Julian Deputat

Prace naukowe prof. Juliana Deputata obejmowały badania:

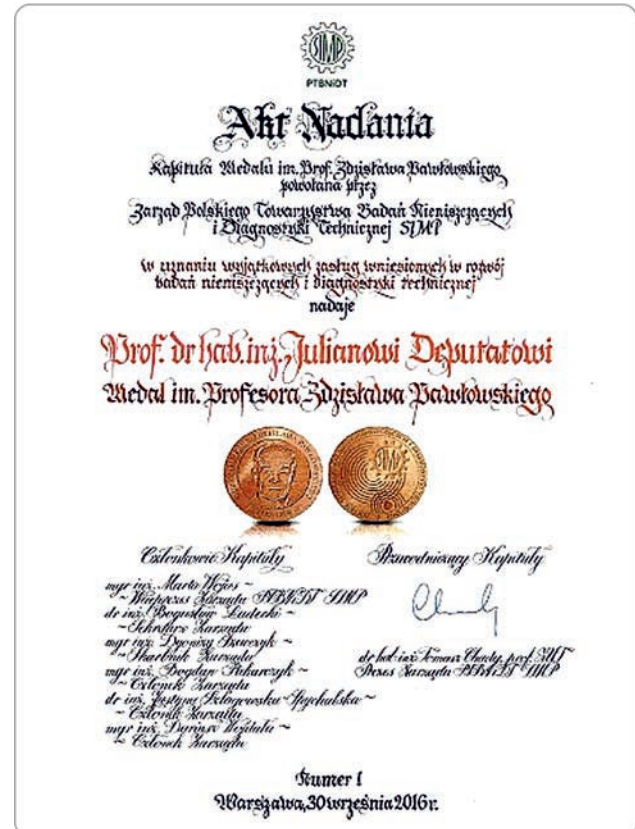
- propagacji fal ultradźwiękowych w materiałach konstrukcyjnych i ich oddziaływanie z elementami struktury;
- mechanizmów prowadzących do tłumienia i zmian prędkości fal, a w szczególności oddziaływanie fal z dyslokacjami i defektami punktowymi powstającymi podczas odkształcenia sprężystego i plastycznego;
- wykorzystania wyników badań do opracowania i wdrożenia nieniszczących sposobów wykrywania i oceny nieciągłości oraz badania własności i stanu materiałów w elementach konstrukcji.



Medal imienia Profesora Pawłowskiego

Przykładami powstałych w Pracowni Ultradźwiękowych Badań Materiałów IPPT PAN wdrożonych rozwiązań mogą

być ultradźwiękowe pomiary spawalniczych naprężeń własnych, kontrola podłużnych naprężeń własnych w szynach kolejowych w produkcji i w torze (aparaty Debro), kontrola obwodowych naprężeń własnych w wieńcach monoblokowych kół kolejowych (aparaty DeBii) czy naprężeń własnych w odkuwkach wałów. Prof. Julian Deputat jest autorem 140 publikacji i 11 patentów.



Dyplom z aktem nadania medalu Pawłowskiego Profesorowi Julianowi Deputatowi

W czasie pracy w IPPT PAN prof. Julian Deputat otrzymał wiele nagród, wyróżnień i odznaczeń:

- 1972 r. – nagroda (zespołowa) Ministra Szkolnictwa Wyższego i Techniki za opracowanie i wdrożenie do produkcji defektoskopu ultradźwiękowego typ 510 łącznie z wyposażeniem;
- 1973-1987 r. – siedem nagród Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN za wyróżniające się wyniki prac badawczych i wykorzystanie wyników badań w przemyśle;
- 1977 r. – nagroda (zespołowa) Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych za prace badawcze i wdrożeniowe z dziedziny badań nieniszczących złączy spawanych w konstrukcjach stalowych za pomocą metody ultradźwiękowej;
- 1979 r. – nagroda Sekretarza Naukowego PAN za opracowanie metody i urządzenia do pomiarów krytycznego kąta odbicia fal ultradźwiękowych;
- 1982 r. – nagroda „Mistrz Techniki Warszawa” za refraktometr ultradźwiękowy (wspólnie z mgr inż. Andrzejem Brokowskim);

- 1983 r. – wyróżnienie Ministra Obrony Narodowej za opracowanie metody wykrywania wad w łuskach naboju artyleryjskich i wdrożenie metody oraz medal za zasługi dla obronności;
- 1983 r. – nagroda Sekretarza Naukowego PAN za kierowanie zespołem i udział w pracy pt.: „Opracowanie metody i urządzenia do ultradźwiękowych badań naprężeń”;
- 1983 r. – wyróżnienie w konkursie prof. Marka Kwieka za „Ultradźwiękowe badania złożonych stanów naprężeń”;
- 1985 r. – Proklamacja Prezydenta 11 Światowej Konferencji Badań Nieniszczących (11 WCNDT) Las Vegas, uznająca wagę wkładu w rozwój badań nieniszczących;
- 1986 r. – nagroda (zespołowa) w konkursie „Mistrz Techniki Warszawa” za defektoskop ultradźwiękowy typ 510;
- 1988 r. – Złoty Krzyż Zasługi;
- 1989 r. – nagroda Sekretarza Naukowego PAN za kierowanie zespołem i udział w pracy „Ultradźwiękowy miernik naprężeń DeBro20”;
- 1989 r. – uznanie za wkład w organizację wyprawy arktycznej Instytutu Geofizyki PAN;
- 1991 r. – nagroda w konkursie „Mistrz Techniki Warszawa” za ultradźwiękowy miernik naprężeń „DeBro”;
- 2002 r. – Certyfikat Urzędu Dozoru Technicznego nr 0001 potwierdzający kompetencje trzeciego stopnia badań ultradźwiękowych (UT-3);
- 2002 r. – Krzyż Kawalerski Odrodzenia Polski;
- 2009 r. – Zasłużony dla Dozoru Technicznego;
- 2009 r. – Złota głowica ultradźwiękowa.

Profesor Julian Deputat to wieloletni działacz SIMP. Jego legitymacja to nr 40343 wystawiona 30.09.1963 r. Działał w Sekcji Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących (PTBNiDT SIMP). Wygłosił wiele referatów na konferencjach międzynarodowych i krajowych. Był dyplomowanym rzeczoznawcą badań nieniszczących SIMP. W latach 1972-1973 był przedstawicielem SIMP w Międzynarodowym Komitecie Badań Nieniszczących, pełnił funkcję vice prezydenta tego Komitetu i 7. Światowego Kongresu Badań Nieniszczących w Warszawie.

Za działalność stowarzyszeniową otrzymał:

- 1973-1987 – pięć dyplomów, wyróżnień i nagród SIMP za rozwój badań nieniszczących oraz wkład w szkolenia przemysłowego personelu ultradźwiękowych badań materiałów;
- 1975 r. – Złotą odznakę SIMP i Srebrną NOT;
- 1987 r. – doroczną nagrodę od Komisji ds. Nagród SIMP za osiągnięcia w dziedzinie badań nieniszczących;
- 1994 r. – tytuł „Wicemistrza Techniki Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT” Warszawa i Złotą Odznakę Honorową NOT.

Prof. Julian Deputat dał się poznać jako wybitny wykładowca na kursach specjalistycznych i szkoleniowiec z zakresu badań nieniszczących. Jest również bardzo lubianym kolegą i cenionym specjalistą. Współpraca z Nim daje satysfakcję i pewność otrzymania pomocy w rozwiązywaniu trudnych zagadnień.

„W uznaniu wyjątkowych zasług wniesionych w rozwój badań nieniszczących i diagnostyki technicznej” w roku 2016 prof. Julian Deputat został wyróżniony przez Zarząd Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP (PTBNiDT SIMP) „Medalem im Prof. Pawłowskiego” – nr 1.

Grzegorz Psuj

Redakcja Biuletynu PTBNiDT, SIMP

Konferencje NDT

Wraz z początkiem roku zaczyna się czas intensywnej pracy związany z kolejnymi edycjami cyklicznych wydarzeń i konferencji. Nie inaczej jest w tym roku, w którym zaplanowanych jest wiele przedsięwzięć międzynarodowych i krajowych. Oczywiście tradycyjnie już zachęcamy do uczestnictwa w krajowej Konferencji Badań Nieniszczących, której 46. Edycja odbędzie się w Starachowicach. Szczegółowe informacje można znaleźć tradycyjnie na stronie Konferencji: kkbn.pl. Mamy nadzieję, że wielu członków i sympatyków Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących będzie aktywnie uczestniczyło w tych wydarzeniach. Poniżej zamieszczamy krótką listę wybranych Konferencji. Zapraszamy do podzielenia się później swoimi obserwacjami i odczuciami.

Zapraszamy do udziału w Krajowej Konferencji Badań Radiograficznych „Stary Młyn 2017”, która odbędzie się w dniach od 4 (poniedziałek) do 6 września 2017 roku w Ośrodku Konferencyjnym „Stary Młyn”, 98-430 Bolesławiec k. Wieruszowa, ul. Młyńska 11. Konferencja ma charakter szkoleniowy oraz stanowi forum dla personelu związanego z zapewnianiem jakości materiałów, wyrobów i konstrukcji spawanych, dla personelu laboratoriów, kontroli technicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej (IOR). Szczegółowe informacje dostępne są na stronie: www.ndt-system.com.pl.



18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM) 2017 odbędzie się w Chamonix Mont Blanc we Francji. Sympozjum koncentruje się na zastosowaniach elektromagnetyzmu i mechaniki z naciskiem na promowanie nowych rozwiązań bazujących na obu tych podstawowych dziedzinach nauk inżynierskich. 17 lutego 2017 roku mija termin nadsyłania streszczeń. Szczegółowe informacje można znaleźć na stronie: www.isem2017.org.



XXII International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation
Saclay, France, September 6-8, 2017

W 2017 roku odbędzie również kolejna edycja warsztatów badań nieniszczących metodami elektromagnetycznymi ENDE'17 („Warsztaty badań nieniszczących metodami

elektromagnetycznymi” International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation). Tym razem warsztaty zorganizowane zostaną w CEA SACLAY DIGITEO LABS w Saclay (Francja) w dniach 6-8 września 2017r. Szczegółowe informacje znaleźć można na stronie: www.ende2017.fr.

W dniach 13-16 czerwca 2017 w ILEC Conference Centre w Londynie w Wielkiej Brytanii odbędzie się Światowy Kongres Monitorowania Stanu (WCCM). Szczegółowe informacje dotyczące organizacji tego wydarzenia znajdują się na stronie Kongresu: www.wc-cm.org.

Zapraszamy na XXI Rosyjską Konferencję Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej, która odbędzie się w dniach 28 lutego - 2 marca 2017 roku w Moskwie: conf.ronktd.ru/en/.

Zapraszamy również na Międzynarodową Konferencję QNDE: Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. Tym razem Konferencja odbędzie się w Utah Valley Convention Center W USA w dniach 16-21 lipca 2017 roku. Szczegóły znaleźć można na stronie: www.qndeprograms.org

W tym roku w Wiedniu w dniach 6-8 czerwca odbędzie się 8. edycja Międzynarodowej Konferencji Certyfikacji i Standaryzacji w Badaniach Nieniszczących (International Conference on Certification and Standardization in NDT). Szczegółowe informacje dostępne są na stronie Konferencji pod adresem: www.oegfzp.at.



12th ECNDT
GOTHENBURG·SWEDEN·2018

Już dziś zachęcamy do aktywnego uczestnictwa wszystkich członków i sympatyków PTBNiDT SIMP w zbliżającej się kolejnej edycji Europejskiej Konferencji Badań Nieniszczących. To jedno z najważniejszych wydarzeń dla naszego środowiska, odbywające się w cyklu czteroletnim, tym razem zorganizowane będzie w Göteborgu w Szwecji przez Stowarzyszenia ze Szwecji, Norwegii, Finlandii i Danii. Szczegółowe informacje są dostępne na stronie: www.ecndt2018.com.

Kazimierz Łasiewicki

SIMP, Polska

Sesja Jubileuszowa z okazji 90-lecia SIMP



sekretarz generalny

Kazimierz Łasiewicki

Uroczysta sesja z okazji 90-lecia SIMP odbyła się 25 listopada 2016 r. w sali „A” Warszawskiego Domu Technika NOT. Patronat nad obchodami objął Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej Andrzej Duda.



Sesję poprowadził prof. Jan Pilarczyk – członek Zarządu Głównego SIMP i przewodniczący Rady SIMP, który po przekazaniu krótkiej informacji o uroczystości powitał przybyłych gości oraz uczestników Sesji w liczbie ok. 270 osób. W pierwszej kolejności przywitał przedstawiciela Prezydenta RP – prof. dr hab. inż. Artura Świergiela – koordynatora Sekcji „Nauka, innowacje” Narodowej Rady Rozwoju, a następnie:

- członków Komitetu Honorowego obchodów 90-lecia i osoby ich reprezentujące:
 - Panią Jadwigę Paradę – Dyrektora Departamentu Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego w MEN, reprezentującą Panią Annę Zalewską – Minister Edukacji Narodowej;
 - Panią Jolantę Kochańską – Zastępcę Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego reprezentującą Pana Tomasza Schweitzera – Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego;
 - Pana Roberta Chudziaka – Kierownika Wydziału Materiałowo-Technologicznego w Departamencie Koordynacji i Inspekcji UDT, reprezentującego Pana Andrzeja Ziółkowskiego Prezesa UDT;
 - Pana dr. inż. Stanisława Kozioła – Kierownika Działu Projektowania w Instytucie Technologii

Eksplotacji, reprezentującego Pana prof. Adama Mazurkiewicza – Dyrektora Instytutu Technologii Eksplotacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu;

- Pana dr. hab. inż. Tomasza Babulę – Dyrektora Instytutu Mechaniki Precyzyjnej;
- Pana dr. inż. Adama Pietrasa – Dyrektora Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach;
- Pana prof. Witolda Wiśniowskiego – Dyrektora Instytutu Lotnictwa w Warszawie;
- Pana dr. hab. Stefana Góralczyka – Dyrektora Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie;
- Pana prof. Andrzeja Żyłukę – Zastępcę Dyrektora Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, reprezentującego Pana prof. Ryszarda Szczepanika – Dyrektora Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych;
- Panią Ewę Mańkiewicz-Cudny – Prezes NOT;
- Pana prof. Pawła Sorokę – koordynatora Polskiego Lobby Przemysłowego;
- Pana Zygmunta Mierzejewskiego – Przewodniczącego Zarządu Krajowego Związku Zawodowego Inżynierów i Techników;
- prezesów i sekretarzy generalnych stowarzyszeń naukowo-technicznych, członków FSNT-NOT:
 - Pana Andrzeja Gołaszewskiego – Prezesa Honorowego – Seniora Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP,
 - Panią Annę Staniszewską – Sekretarz Generalną Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa,
 - Pana Jacka Kucińskiego – Sekretarza Generalnego Stowarzyszenia Elektryków Polskich;
- prezesów oraz pracowników firm i zakładów przemysłowych współpracujących z SIMP, w tym uczestniczących w konkursie na Najlepsze Osiągnięcie Techniczne 2015 Roku:
 - Pana Wiesława Czarnackiego – Prezesa Fabryki Kabli ELPAR Sp. z o.o. w Parczewie;
 - Pana Jacka Kucharewicza – Prezesa Firmy Metal-Fach Sp. z o.o. w Sokółce;
 - Pana Jacka Kaźmierczaka z Firmy REMA S.A. w Reszlu;
 - Pana Zygmunta Kołka z Firmy Plasticon Poland S.A. w Toruniu;
 - Panów Tomasza Staniszewskiego i Sławomira Lechowskiego z Fabryki Armatur JAFAR S.A. w Jaśle;
 - Pana Sebastiana Predela z Firmy Hydro-Vacuum S.A. w Grudziądzu;
 - Pana Zbigniewa Buklewskiego z Firmy ZUT

UNIMASZ Sp. z o.o. w Olsztynie;

- Pana Romana Czarnotę z Firmy CATIGO w Olsztynie;
- przedstawicieli uczelni technicznych, którzy pełnią lub pełnili w SIMP różnego rodzaju funkcje statutowe:
 - Panią prof. Daniełę Żuk z Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku;
 - Pana prof. Stanisława Adamczaka z Politechniki Świętokrzyskiej;
 - Panów mgr. inż. Andrzeja Bielańskiego i dr. inż. Henryka Chrostowskiego z Politechniki Wrocławskiej;
 - Panów prof. Tomasza Chadego i Jerzego Nowackiego z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie;
 - Panów prof. Tomasza Chmielewskiego i Macieja Szafarczyka z Politechniki Warszawskiej;
 - Panów prof. Andrzeja Gołabczaka i mgr inż. Stanisława Sucharzewskiego z Politechniki Łódzkiej;
 - Pana dr. inż. Jerzego Ickiewicza z Politechniki Białostockiej;
 - Pana prof. Mieczysława Poniewskiego z Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku;
 - Pana prof. Michała Styp-Rekowskiego z Bydgoskiej Szkoły Wyższej;
 - Pana prof. Czesława Waszkiewicz z Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie;
 - Pana mgr. inż. Kazimierza Zawisłaka z Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Na zakończenie tej części Sesji Jubileuszowej jej prowadzący powitał:

- Członków Honorowych SIMP, członków: Zarządu Głównego SIMP, Głównej Komisji Rewizyjnej SIMP i Głównego Sądu Koleżeńskiego SIMP;
- prezesów Oddziałów, sekcji i towarzystw naukowo-technicznych SIMP;
- dyrektorów jednostek działalności gospodarczej SIMP i firm franchisingowych;
- redaktorów naczelnych czasopism naukowo-technicznych SIMP oraz Panią Ewę Mańkiewicz-Cudny – redaktor naczelną „Przeglądu Technicznego”, który w dniu 18 listopada 2016 r. obchodził 150-lecie swojej działalności;
- wieloletnich pracowników i działaczy Stowarzyszenia.

Następnie zgodnie z wcześniejszym uzgodnieniami prof. Jan Pilarczyk udzielił głosu:

- prof. Arturowi Świergielowi, który złożył gratulacje i życzenia z okazji 90-lecia Stowarzyszenia oraz przekazał list Prezydenta RP Andrzeja Dudy;
- Pani Jadwidze Paradzie, która również złożyła gratulacje i życzenia oraz odczytała list Pani Anny Zalewskiej – Minister Edukacji Narodowej.

Powyższe wystąpienia uczestnicy nagrodzili brawami.

Miłym akcentem uroczystości było wręczenie odznak stowarzyszeniowych, w tym Członkostwa Honorowego. Ta część Sesji rozpoczęła się odczytaniem uchwały Nadzwyczajnego Walnego Zjazdu Delegatów przez kol. Janusza Mytko – przewodniczącego Zjazdu, zgodnie z którą „Z okazji 90-lecia



Profesor Artur Świergiel

SIMP, na podstawie § 27 ust. 3 statutu SIMP, w wyniku przeprowadzonego głosowania korespondencyjnego nadaje się Członkostwo Honorowe SIMP niżej wymienionym kol.:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1) Andrzej Bielański | (O/Wrocław) |
| 2) Krystyna Karlak | (O/Częstochowa) |
| 3) Zdzisław Kozdrach | (O/Radom) |
| 4) Jerzy Macek | (O/Olsztyn) |
| 5) Julian Marszałek | (O/Lublin) |
| 6) Jan Porada | (O/Rzeszów) |
| 7) Jan Pudło | (O/Starachowice) |
| 8) Andrzej Rysiowski | (O/Kalisz) |
| 9) Mieczysław Staniucha | (O/Łódź) |
| 10) Stanisław Sucharzewski | (O/Łódź) |
| 11) Lesław Świętochowski | (O/Tarnów”. |



Aktu dekoracji dokonali koledzy Janusz Mytko z prezesem SIMP Piotrem Janickim. Następnie prof. Jan Pilarczyk poprosił o wręczenie Złotej Odznaki Honorowej NOT kol. Andrzejowi Gskowi z Oddziału SIMP w Białymstoku. Wręczenia dokonali: Pani Ewa Mańkiewicz-Cudny – prezes NOT i Pan Stefan Góralczyk – wiceprezes NOT.

Kolejną grupą wyróżnionych były osoby odznaczone Odznaką im. Henryka Mierzejewskiego, Odznaką „Zasłużony Senior SIMP” i Złotą Honorową Odznaką SIMP. Informację o decyzji Zarządu Głównego SIMP przekazał kol. Dariusz Raczkowski – przewodniczący Komisji ds. Odznak

i Wyróżnień SIMP.

Decyzją Zarządu Głównego SIMP wyróżnieni zostali:
Odznaką im. Henryka Mierzejewskiego:

- 1) Grażyna Królak (O/Olsztyn)
- 2) Elżbieta Ciborowska (O/Olsztyn)
- 3) Tomasz Babul (O/Warszawa)
- 4) Tadeusz Czuby (O/Białystok)
- 5) Jerzy Ickiewicz (O/Białystok)
- 6) Józef Jarecki (O/Skierniewice)
- 7) Wiesław Krzymień (O/Warszawa)
- 8) Waldemar Sówka (O/Koszalin)
- 9) Henryk Zawistowski (O/Biała Podlaska)



Odznaką „Zasłużony Senior SIMP” : Jan Pyś, Zdzisław Świąćki i Tadeusz Turek (O/Warszawa) oraz Andrzej Woźniacki (O/Wrocław).



Złotą Honorową Odznaką SIMP – Tadeusz Kochanowski – sekretarz Oddziału SIMP w Białej Podlaskiej.

Aktu dekoracji wymienionymi odznakami dokonał kol. Piotr Janicki – prezes SIMP w towarzystwie kol. Kazimierza Łasiewickiego – sekretarza generalnego SIMP.

W imieniu odznaczonych podziękowanie złożył kol. Lesław Świętochowski – prezes Oddziału SIMP w Tarnowie, wyróżniony członkostwem honorowym.

Na zakończenie tej części Sesji prezes SIMP Piotr Janicki złożył podziękowanie dyrektorowi Zespołu Ośrodków Kwalifikacji Jakości Wyrobów SIMPTTEST w Katowicach kol. Franciszkowi Tronicowi za długoletnią współpracę, wręczając okolicznościową plakietkę.



Kluczową częścią programu uroczystości był obszerny referat poświęcony 90-letniej działalności Stowarzyszenia wygłoszony przez prezesa SIMP – kol. Piotra Janickiego, wysoko oceniony przez uczestników Sesji.

Następnie miały miejsce wystąpienia okolicznościowe:

- Pani Ewy Mańkiewicz-Cudny – prezes NOT,
- Pana prof. Tomasza Chadego – prezesa PTBNiDT SIMP i zastępcy Redaktora Naczelnego czasopisma „Badania Nieniszczące i Diagnostyka”,
- Pani Jolanty Kochańskiej – zastępcy prezesa PKN,
- Pana Zygmunta Mierzejewskiego – przewodniczącego ZK ZZiIT
- Pana Roberta Chudzika – przedstawiciela UDT,
- Pana prof. dr hab. inż. Marka Dobosza – redaktora statystycznego czasopisma „Mechanik”,
- Pana Pawła Soroki – koordynatora PLP,
- Pana Jerzego Rożka – prezesa Warszawskiego Domu Technika NOT Sp. z o.o. ,
- Pana Józefa H. Rudzińskiego – prezesa Sekcji MUZ SIMP.

Wpłynęło także wiele listów gratulacyjnych, m.in. od:

- Pana Jarosława Gowina – Wicepremiera oraz Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego,
- Pana Macieja Bando – Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki,
- Pana prof. Adama Mazurkiewicza – Dyrektora Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu,
- Pana prof. dr hab. inż. Józefa Dubińskiego – Prezesa Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa,
- Pana Piotra Szymczaka – Prezesa Stowarzyszenia Elektryków Polskich,
- Pana Tadeusza Franaszka – Prezesa Stowarzyszenia Technicznego Odlewników Polskich,
- Pana prof. Janusza Szpytko – Prezesa Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego w Polsce.

Po zakończeniu wystąpień okolicznościowych oraz odczytaniu listów gratulacyjnych ogłoszona została przerwa, podczas której uczestnicy Sesji zostali poczęstowani tortem i lampką szampana, a prezes SIMP Piotr Janicki wniósł toast.

W trakcie Uroczystości w imieniu PTBNiDT SIMP głos zabral Prezes Tomasz Chady. Podczas swojego wystąpienia odczytał list gratulacyjny Redaktora Naczelnego czasopiśma *Badania Nieniszczące i Diagnostyka* Kolegi Jerzego Nowackiego, który nie mógł osobiście wziąć udziału w Uroczystościach.



Ostatnim punktem programu Sesji było wręczenie wyróżnień IX edycji konkursu na „Najlepsze osiągnięcie techniczne 2015 roku”. Do omówienia wyników tej edycji konkursu prof. Jan Pilarczyk poprosił kolejno kol. Janusza Gradowskiego – przewodniczącego Komisji Konkursowej, który przedstawił ogólną informację, a następnie kol. Jerzego Macka – wiceprzewodniczącego tej Komisji, który zapoznał zebranych ze szczegółowymi wynikami. Wyniki konkursu były prezentowane wg poszczególnych kategorii:

- prace naukowo-badawcze:
 - 1 miejsce: Politechnika Wrocławska za osiągnięcie pn. „Mechatroniczny pojazd gąsienicowy nowej generacji o adaptacyjnej mobilności do serwisowania ciągów linowych i transportu specjalnego”;
 - 2 miejsce: Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu we współpracy z Instytutem Lotnictwa w Warszawie za osiągnięcie pn. „Działo pneumatyczne DPZ-250”;
 - Wyróżnienie: Fabryka Kabli ELPAR w Parczewie za osiągnięcie pn. „Optymalizacja procesu produkcji kabli z funkcją podtrzymywania napięcia z nowych kompozycji polimerowych”;
 - Wyróżnienie: Instytut Spawalnictwa w Gliwicach za osiągnięcie pn. „Forma odlewnicza i sposób chłodzenia formy odlewniczej zwłaszcza do wytwarzania prętów i płytek z materiałów metalowych”;
- prace wdrożone w przemyśle:
 - 1 miejsce: Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie za osiągnięcie pn. „Fluidalne stanowisko do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej części lotniczych”;
 - 2 miejsce: Firma REMA S.A. w Reszlu za osiągnięcie pn. „Pilarka tarczowa poprzeczna typ DMDK-50AP z automatycznym podawaniem”;
 - 2 miejsce: Firma Plasticon Poland w Toruniu za osiągnięcie pn. „Zbiornik z kompozytu poliestrowo-szklanego o średnicy 12 m i pojemności 1.000 m³ do stężonego kwasu solnego”;

- Wyróżnienie: Fabryka Armatur w Jasle za osiągnięcie pn. „Wdrożenie zrobotyzowanego dwustanowiskowego stanowiska spawalniczego” oraz „Zmniejszenie zużycia energii poprzez zastosowanie wysokosprawnych sprężarek z falownikami”;
- Wyróżnienie: Firma REMA S.A. w Reszlu za osiągnięcie pn. „Pilarka tarczowa poprzeczna typ DMDK-50C”;
- Wyróżnienie: Firma MALOW Sp. z o.o. w Suwałkach za osiągnięcie pn. „Zestaw młodzieżowy mebli metalowych”;
- Wyróżnienie: Firma Hydro-Vacuum S.A. w Grudziądzu za osiągnięcie pn. „Pompy do ścierek zawierających elementy ściernie i mineralne”.
- prace wdrożone w rolnictwie, gospodarce żywnościowej i ochronie środowiska:
 - 2 miejsce: ZUT UNIMASZ SP. z o.o. w Olsztynie za osiągnięcie pn. „Linia sortowania mięsa”;
 - 3 miejsce: Inż. Roman Czarnota z Olsztyna za osiągnięcie pn. „Odśnieżarka ręczna SNOW BITE ONE”;
 - Wyróżnienie: ZUT UNIMASZ SP. z o.o. w Olsztynie za osiągnięcie pn. „Linia pakowania zbiorczego”;
 - Wyróżnienie: Firma SaMASZ Sp. z o.o. w Białymstoku za osiągnięcie pn. „Przetrzęsacz 10-cio karuzelowy typ P10-1100”;
 - Wyróżnienie: Firma Metal-Fach Sp. z o.o. w Sokółce za osiągnięcie pn. „Rozrzutnik typu tandem N272/3 VIKING”;
- prace zgłoszone przez średnie szkoły techniczne:
 - Wyróżnienie: Zespół Szkół Mechaniczno-Energetycznych w Olsztynie za osiągnięcie pn. „Utworzenie pracowni programowania i obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC)”.

Następnie zaproszono przedstawicieli uczelni, instytutów naukowo-badawczych i firm po odbiór dyplomów i statuetek, które wręczał prezes SIMP Piotr Janicki w towarzystwie sekretarza generalnego SIMP. Po dokonaniu wręczenia nagród prof. Jan Pilarczyk poprosił o zaprezentowanie najlepszych prac konkursowych, tj.

- I miejsce w kategorii: prace naukowo-badawcze: prof. Piotr Dudziński – Politechnika Wrocławska, „Mechatroniczny pojazd gąsienicowy nowej generacji o adaptacyjnej mobilności do serwisowania ciągów linowych i transportu specjalnego”;
- I miejsce w kategorii: prace wdrożone w przemyśle: mgr inż. Sylwester Jończyk - Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, „Fluidalne stanowisko do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej części lotniczych”;
- III miejsce w kategorii: prace wdrożone w rolnictwie gospodarce żywnościowej i ochronie środowiska, inż. Roman Czarnota – Firma CATIGO w Olsztynie, „Odśnieżarka ręczna SNOW BITE ONE”.

Wszyscy uczestnicy sesji otrzymali medal okolicznościowy oraz „Księgę inżynierów i techników mechaników polskich obejmującą lata 1961-2010” wydaną z okazji 90-lecia SIMP.

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 zarówno w wersji drukowanej jak i w elektronicznej w internecie. 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 jednoszpaltowego 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 wypełnionym drukiem „Zgłoszenie publikacji” dostępnym na naszej stronie [www: www.bnid.pl](http://www.bnid.pl).

OGŁOSZENIA I ARTYKUŁY PROMOCYJNE

Ogłoszenia i artykuły promocyjne w kwartalniku „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” – czasopiśmie ogólnopolskim dostępnym w formie drukowanej 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: www.ptbnidt.pl](http://www.ptbnidt.pl).

PRENUMERATA

Wydania dostępne w prenumeracie: 1–2/2017 (kwiecień); 3/2017 (wrzesień/październik); 4/2017 (grudzień):

- **prenumerata instytucjonalna:** Kolporter spółka z ograniczoną odpowiedzialnością s.k.; infolinia: 0801 40 40 44;
- **prenumerata indywidualna:** RUCH S.A.; telefon kontaktowy: 22 693 70 00, 801 800 803; e-mail do zamawiania prenumeraty: prenumerata@ruch.com.pl; (numer konta jest generowany dla każdego klienta indywidualnie po złożeniu zamówienia).



teleskop.com.pl



montel.info.pl



teleyard.com.pl



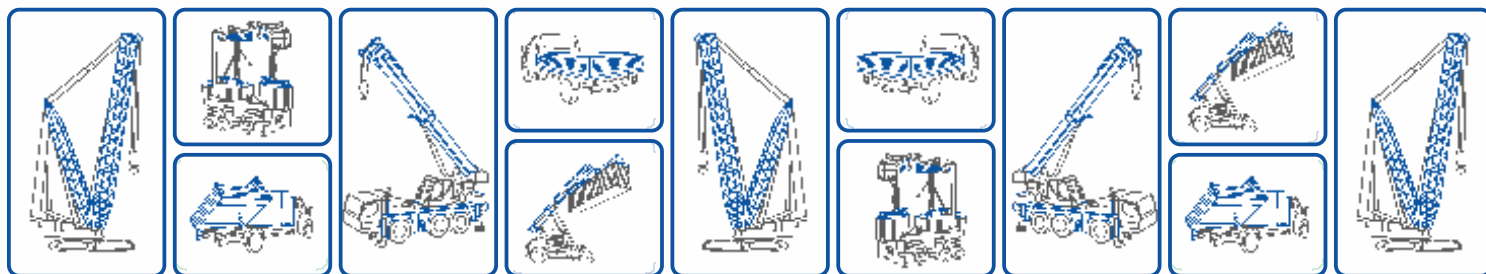
henschel-automotive.com.pl

W skład Holdingu Telemond wchodzi cztery Spółki: Teleskop, Montel, Teleyard i Henschel Engineering Automotive. Jesteśmy specjalistami w zakresie przetwarzania wysokowytrzymałych drobnosiarnistych stali konstrukcyjnych. W naszych zakładach realizujemy usługi między innymi w zakresie realizacji wszystkich powszechnie stosowanych procedur spawalniczych, cięcia blach i rur, obróbki mechanicznej, lakierowania i montażu. Wykonujemy konstrukcje stalowe, zarówno jako pojedyncze elementy jak i złożone moduły dla najważniejszych producentów z branży motoryzacyjnej i maszyn budowlanych. Od wielu lat darzą nas zaufaniem tacy klienci jak np. Liebherr oraz Volkswagen. W zakresie realizacji projektów oferujemy pełen zakres usług. Zajmujemy się zakupem, wykonaniem, a także logistyką, montażem i zapewnieniem jakości.



Spółka Holdingu Firma Teleskop jest największym pracodawcą w Kostrzynie nad Odrą zatrudniając ponad 600 pracowników. W naszych osiemnastu halach produkcyjno-montażowych wytwarzamy od podstaw sprzęt transportowy, konstrukcje spawane ze stali o wysokiej wytrzymałości dla czołowych producentów dźwigów oraz podzespoły dla producentów z sektora kolejowego. Specjalizujemy się również w produkcji wysięgników teleskopowych, chwytaków kontenerowych i podzespołów urządzeń dźwigowych.

Najmłodszą ze spółek córek Holdingu jest Firma Teleyard, która produkuje konstrukcje spawane wykonane ze stali o wysokiej wytrzymałości i odporności na ścieranie, kierując swoją ofertą przede wszystkim w stronę sektora offshore systemów kontenerowych. Teleyard wykonuje także specjalne projekty w zakresie produkcji o dużych wymiarach i ciężarze. Spółka wybudowała w 2015 roku fabrykę w Szczecinie, która specjalizuje się w wielkogabarytowych konstrukcjach stalowych. Powstają w niej między innymi części dźwigów, chwytaków, specjalistyczne wyposażenie pogłębiarek.

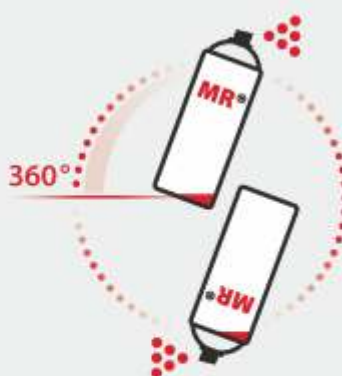


PENETRANTY CZERWONE DLA WIELU ZASTOSOWAŃ



DOSTĘPNE RÓWNIEŻ
PRODUKTY
FLUORESCENCYJE

- ✓ Dobra zmywalność na chropowatych powierzchniach
- ✓ Zmywalne wodą
- ✓ Przyjazne dla użytkownika
- ✓ Biologicznie degradowalne
- ✓ Na bazie rozpuszcznika i wody



ZALETY AEROSOLI MR[®]

- ✓ **360°** Wypust w każdym położeniu
- ✓ **100%** Całkowite wypróżnienie puszek