

Marta Wojas*

TEST-EXPERT Marta Wojas, Puławy

Wpływ czynników ludzkich na wiarygodność wyników badań nieniszczących

The impact of human factors on the reliability of non-destructive test results

ABSTRACT

NDT is usually a special process. The effects of special processes are highly dependent on the control of their processes and the skills of the operators. Operators, as humans, are prone to errors that have a negative impact on the reliability of NDT. It is necessary the knowledge of types of errors committed by the operators and their causes, which will help to improve this reliability.

Most information of this knowledge, including the source of errors, are freely available, but often ignored by the NDT community. Knowledge about the so-called human factors affecting the reliability of the NDT results have been built up over the years, and this paper is a collection of information from this field based on bibliographic data and own experience.

Keywords: reliability, uncertainty, competence, human factor

STRESZCZENIE

Badania nieniszczące zalicza się zwykle do procesów specjalnych. Efekty procesów specjalnych zależą w bardzo dużym stopniu od kontroli ich przebiegu oraz umiejętności operatorów. Operatorzy zaś, jak ludzie, mają skłonności do popełniania błędów mających negatywny wpływ na wiarygodność NDT. Konieczna jest wiedza o rodzajach błędów popełnianych przez operatorów i ich przyczynach, która pozwoli na poprawę tej wiarygodności. Choć większość informacji, w tym źródła błędów, są łatwe do pozyskania, to jednak częstokroć są ignorowane przez środowisko NDT. Wiedza na temat tzw. czynników ludzkich mających wpływ na wiarygodność wyników w NDT była budowana przez lata, a artykuł niniejszy stanowi zbiór informacji z tego zakresu na podstawie danych literaturowych i własnego doświadczenia.

Słowa kluczowe: wiarygodność, niepewność, kompetencje, czynnik ludzki

1. Wprowadzenie

Co wykrywamy metodami nieniszczącymi? Niedoskonałości, nieciągłości, wady? Rozważmy różnice pomiędzy powyższymi pojęciami. Każde odchylenie od stanu idealnego obiektu stanowi niedoskonałość. Może to być przerwanie fizycznej ciągłości w materiale, nazywane nieciągłością lub odchylenia zewnętrzne, np. wymiarowe. Jeśli przyjrzylibyśmy, że każda niedoskonałość jest wadą i stanowi, że wyrób jest "wadliwy", to nawet najmniejsze przemieszczenie kryształów w metalowej strukturze mogłoby być interpretowane jako "wada". Niewiele wyrobów, a może żadne, nie byłyby użyteczne, gdyby przyjęć taką definicję wady. Zatem należy brać pod uwagę pewne praktyczne względy. Wada jest niezgodnością z pewnymi przyjętymi wymaganiami wartościami parametrów określających dany wyrób. Jest ona często definiowana jako odstępstwo od przyjętych wymagań. W przypadku wyrobów badanych metodami nieniszczącymi mamy do czynienia z wadami fizycznymi. Kodeks cywilny w art. 5561 [1] podaje, że „wada fizyczna polega na niezgodności rzeczy sprzedanej z umową.

W szczególności rzecz sprzedana jest niezgodna z umową, jeżeli:

- 1) nie ma właściwości, które rzecz tego rodzaju powinna mieć ze względu na cel w umowie oznaczony albo wynikający z okoliczności lub przeznaczenia;
- 2) nie ma właściwości, o których istnieniu sprzedawca zapewnił kupującego, w tym przedstawiając próbkę

lub wzór;

- 3) nie nadaje się do celu, o którym kupujący poinformował sprzedawcę przy zawarciu umowy, a sprzedawca nie zgłosił zastrzeżenia co do takiego jej przeznaczenia;
- 4) została kupującemu wydana w stanie niezupełnym.”

W tym miejscu należy podkreślić, jak istotne w sensie prawnym ma powszechne używanie pojęcia wady. Nie każda wykryta niedoskonałość jest wadą. Bardzo istotne jest każdorazowe ustalenie kryteriów akceptacji, czyli wartości powyżej których niedoskonałość należy zakwalifikować jako wadę. Używanie pojęcia "wada" ma konotacje prawne, w szczególności, gdy jest związane z zagadnieniami odpowiedzialności za wyrób. Należy więc używać terminu „wada” z największą ostrożnością. Wśród wad można wyróżnić:

- 1) wadę istotną, czyli taką, która nie pozwala na wykorzystanie produktu lub też utrudnia jego wykorzystanie
- 2) wadę mało istotną, która posiada względnie niewielki wpływ na to jak będzie funkcjonował dany produkt i nie zmniejsza znacząco możliwości użytkowania wyrobu
- 3) wadę krytyczną, która może doprowadzić do pojawienia się warunków, w których użytkowanie było by niebezpieczne albo zmniejszyć możliwości konkretnych funkcji wyrobu

Jest jeszcze jedna istotna sprawa. Różnica między pojęciami wada a niezgodność. Przedstawiono to na przykładzie:

- 1) jeśli przyjęć np. blachę walcowaną stosowaną do budowy urządzeń ciśnieniowych, to musi ona spełnić wymagania kryterialne, jakie określono np. w normie

*Autor korespondencyjny. E-mail: kontakt@test-expert.pl

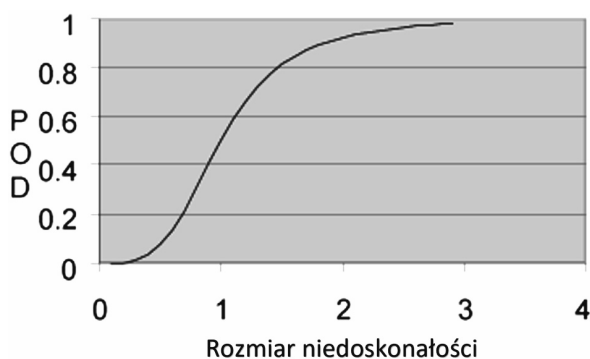
zharmonizowanej z dyrektywą PED dla materiałów stosowanych do budowy takich urządzeń, a występujące w blasze „niedoskonałości” będą wadami, jeśli przekroczą pewne wartości kryterialne pod względem rodzaju, położenia, orientacji i wielkości.

- 2) jeśli ta sama blacha walcowana nie ma określonego z góry zastosowania, a więc nie ustalono kryterium tej oceny, to występujące w niej „niedoskonałości” są „niezgodnościami” w stosunku do ogólnie przyjętych wymagań i dobrej praktyki inżynierskiej.

Każdorazowo, przed przystąpieniem do badania obiektu metodami nieniszczącymi konieczne jest ustalenie, jaki jest cel badania: wykrycie niedoskonałości czy wykrycie wad.

2. Co ma wpływ na wiarygodność wyniku ndt?

Wyróżnić można szereg czynników mających wpływ na wiarygodność wyniku NDT, która wiąże się bezpośrednio z prawdopodobieństwem wykrycia niedoskonałości metodą NDT, do których należą m.in.: rodzaj, położenie, orientacja i wielkość samej niedoskonałości, stosowana metoda / technika badania, czułość stosowanej metody / techniki, czynnik ludzki.



Rys. 1. Krzywa POD
Fig. 1. POD curve

Do ceny wiarygodności systemu badań nieniszczących przyjęto następujące podejście [3]: przed przystąpieniem do badania obiektu konieczne jest określenie rzeczywistego poziomu wymagań bezpieczeństwa. Następnie należy wskazać wszystkie istotne parametry wpływające na bezpieczeństwo. Pozwala to na ocenę jakościową sposobu obniżenia ryzyka lub ilościową za pomocą prawdopodobieństwa wykrywania (POD). POD pozwala oszacować minimalny rozmiar niedoskonałości, który będzie niezawodnie wykrywalny daną techniką NDT. Najczęściej używanym narzędziem do opisu POD jest krzywa POD. Rysunek 1 ilustruje modelową krzywą POD jako zależność prawdopodobieństwa wykrycia od rozmiaru niedoskonałości. Niekiedy podejmowane są próby tworzenia integralnego „volume POD” na podstawie pojedynczych POD, co stanowi zbiór danych dla danego obiektu. Jest to istotną zaletą dla użytkownika obiektu [2].

Spośród czynników wpływających na wiarygodność NDT, czynniki ludzkie są bardzo ważne.

3. Czynniki ludzkie

Badania nieniszczące zalicza się zwykle do procesów

specjalnych. Efekty procesów specjalnych zależą w bardzo dużym stopniu od kontroli ich przebiegu oraz kompetencji operatorów. Operatorzy zaś, jako ludzie, mają skłonności do popełniania błędów mających negatywny wpływ na wiarygodność NDT. Konieczna jest wiedza o rodzajach błędów popełnianych przez operatorów i ich przyczynach, która pozwoli na poprawę tej wiarygodności. Większość informacji z zakresu tej wiedzy, w tym źródła błędów, są łatwe do pozyskania, to jednak częstokroć są ignorowane przez środowisko NDT. Czynniki ludzkie oznaczają znacznie więcej niż kompetencje (tj. wiedza, umiejętności i doświadczenie) lub zmęczenie danej osoby. Jak należy rozumieć pojęcie „czynnik ludzki”? Spośród wielu definicji wybrano definicję, jaką podaje HSE [3]. Są to: czynniki środowiskowe, organizacyjne i zawodowe oraz ludzkie i indywidualne cechy wpływające na zachowanie w pracy lub „Zbiór cech psychicznych i fizycznych osób, ich szkolenie i doświadczenie oraz warunki, w jakich musi działać osoba, która ma na wpływ na zdolność systemu NDT do osiągnięcia zamierzonego celu”.

Na podstawie badań nad wpływem czynnika ludzkiego na wiarygodność wyników NDT, a tym samym na bezpieczeństwo eksploatacji badanych urządzeń [4], stwierdzono, że zależą one od indywidualnych błędów ludzkich w zakresie czynników społecznych i technicznych oraz wewnątrzorganizacyjnych. Czynniki te są związane z:


- 1) cechami indywidualnymi: osobowością, wiedza, umiejętnościami, doświadczeniem, umiejętnością podejmowania decyzji, motywacją
- 2) zadaniami: trudnością, technologią, automatyzacją, obciążeniem pracą
- 3) pracą w zespole: pracą zespołową, zasadą „czterech oczu”
- 4) warunkami środowiskowymi: temperaturą, hałasem, promieniowaniem, presją czasu, przerwami w pracy,
- 5) organizacją pracy: motywacją do pracy, informacją zwrotną, szkoleniem, normami / procedurami, kulturą organizacyjną, presją organizacyjną, odpowiedzialnością.

Na rysunku 2 wyspecyfikowano czynniki wpływające na wiarygodność NDT

3.1 Cechy indywidualne operatora

Uważność. Operator może wpływać na niezawodność badania poprzez kompetencje, osobisty charakter, stan i postawę, ich kompetencje i motywację. W początkach lat 90. przeprowadzono eksperyment i porównano wyniki wykrywania niedoskonałości metodą UT przez operatorów w warunkach laboratoryjnych i symulowanym środowiskiem przemysłowym [5].

Wyniki wykazały znaczne różnice w zdolności wykrywania z dnia na dzień, a nawet od rana do popołudnia. Różnice te powstały głównie ze względu na różnice w liniach skanowania i sprzężenia głowica – powierzchnia obiektu. Utrata uwagi spowodowała pominięcie wskazania lub inspektor „zgubił” linię skanowania, co dotyczyło pierwszych pięciu dni. Po dwudniowej przerwie wznowiono badania zwiększając czułość badania. Efekt zmęczenia nadal był widoczny, ale prawdopodobieństwo wykrycia wzrosło. W 2000 r.

CECHY INDYWIDUALNE Osobowość Szkolenie Umiejętności Doświadczenie Podejmowanie decyzji Motywacja		WARUNKI ŚRODOWISKOWE Temperatura Hałas Promieniowanie Presja czasu Przerwy
ZADANIE Trudność Technologia Automatyzacja Obciążenie pracą		
ZESPÓŁ Praca grupowa Reduntancja (zasada czterech oczu)		

Rys. 2. Czynniki mające wpływ na wiarygodność wyników NDT
Fig. 2. Factors affecting the reliability of NDT results

uniwersytet Cambridge badał wpływ zmęczenia na pracę osób oceniających jakość obiektów na podstawie radiogramów. Stwierdzono, że po 30 minutach pracy w wyniku zmęczenia oczu pogarszała się wykrywalność.

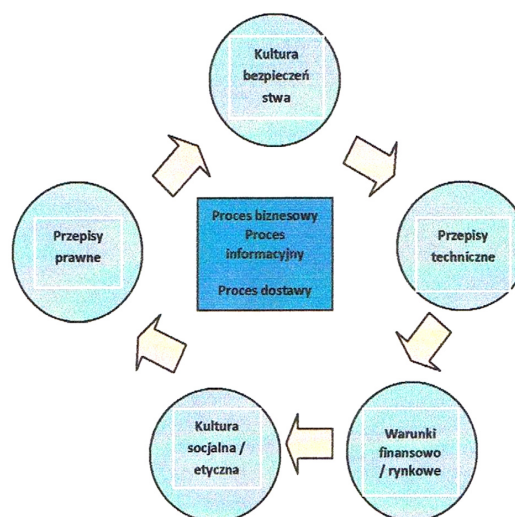
Kompetencje. Przez wiele lat w wielu popularnych badaniach nieniszczących wykonywano wiele badań porównawczych w trybie „round robin” w celu porównania wykrywania niedoskonałości przez operatorów wykonujących NDT, posiadających potwierdzone kompetencje wg takich samych wymagań (norm) przez różne jednostki kwalifikujące / certyfikujące. Stwierdzono różnice w wykrywalności, zwłaszcza w trudniejszych przypadkach, charakterystycznych dla konkretnych wyrobów. Sposobami na poprawę sytuacji okazały się odpowiednie szkolenia specjalistyczne, stanowiskowe oraz poprawa procedur badawczych, dostosowanych do konkretnych wyrobów i najczęściej spodziewanych niedoskonałości [5].

Działania takie poprawiły dwukrotnie częstość wykrywania skomplikowanych niedoskonałości o złożonej geometrii. W przypadku niedoskonałości mniejszych, o prostszej geometrii, poprawa była mniejsza. Podobne stwierdzenia uzyskano podczas PT techniką fluorescencyjną w lotnictwie [6]. Szkolenie, aby było skuteczne, powinno dotyczyć postępowania w kolejnych etapach: przygotowania obiektu, rodzaju spodziewanych niedoskonałości, dostępu, badania, decyzji, reakcji na sytuację. Obserwacje projektu opisanego w [2] wskazują, jak poprawić skuteczność szkolenia. Operatorzy powinni zrozumieć metodologię, a w szczególności trzymać się zasad:

- 1) przeglądaj procedury i uzyskuj wyjaśnienia,
- 2) „kiedy zdecydowałeś się na metodologię, trzymaj się jej”;
- 3) oceniaj wszystkie zarejestrowane wskazania,
- 4) sporządź szczegółowy raport,

Zalecano, aby skupiać się na identyfikacji i rozwijaniu u operatorów mechaniczne rozumowania, co pozwala uzyskać zdolność stosowania określonych zasad do nowych sytuacji [2].

Osobowość. Przeprowadzono testy [2], które wykazały że lepsze wyniki operatora związane były z niższymi ocenami w skali osobowości mierzonymi ostrożnością i oryginalnością myślenia. Nie jest łatwo wpływać na świadomość, ale możliwe jest postępowanie zmierzające do eliminowania w miarę możliwości negatywnego wpływu na wiarygodność badania poprzez rozwijanie świadomości. Ważne jest rozwijanie w operatorach samoświadomości, aby mogli rozpoznać, kiedy postępują nierozważnie i kiedy jako jednostki stosują procedury, które nie są zgodne z odpowiednimi przepisami / wymaganiami.



Rys. 3. Łańcuch komunikacyjny w NDT
Fig. 3. NDT communication chain

3.2 Zadanie

W praktyce NDT często wykonuje się w trudnych warunkach, które mogą obejmować wysoką temperaturę i wilgotność, słabe oświetlenie, wysoki poziom hałasu, trudny dostęp i trudne przestrzenie robocze, naciski czasowe i narażenie

na ekstremalne warunki pogodowe oraz promieniowanie. W pracy Dickens'a i Bray'a [7] sugeruje się, że im zadanie jest bardziej złożone, tym czynniki środowiskowe bardziej obniżają wiarygodność.

Stwierdzono również, że długotrwała praca w typowym środowisku przemysłowym może powodować zmęczenie i demotywację, które mogą znacznie obniżyć wiarygodność [2]. Efekty wpływające niekorzystnie na wiarygodność wyników wzrastają w hałasie i wysokiej lub niskiej temperaturze oraz w warunkach ograniczeń czasowych [6]. Pisemna procedura to kolejne źródło ewentualnych błędów, jeśli nie zawiera ona informacji, jak najlepiej komunikować się w sprawach istotnych dla operatora. Wykazano, że brak komunikacji lub niewłaściwa komunikacja może mieć znaczny wpływ na poziom błędów [6]. Zarejestrowano również, że operatorzy nie czytają w pełni procedury i mogą stosować tylko ich część [2]. Pisemne procedury powinny być przeglądane i weryfikowane w miarę potrzeby, a wszelkie zmiany komunikowane operatorom. Kolejnym czynnikiem będącym źródłem błędów jest automatyzacja, która może być niewłaściwie obsługiwana lub niewykorzystywana [8]. Niewłaściwe użycie ma miejsce, gdy operatorzy bezkrytycznie przyjmują, że system działa prawidłowo nawet wtedy, gdy jest niewłaściwy. Niekiedy system automatyczny jest ignorowany, nawet jeśli jest poprawny, a operator zmienia np. poprawnie zidentyfikowany rozmiar niedoskonałości [9].

3.3 Organizacja pracy

Operatorzy często wykonują czynności, które nie dotyczą bezpośrednio wykonania badania, tzn. wykrywania niedoskonałości. Pracodawcy często oprócz wykonania badania i sporządzenia protokołu, zlecają operatorom takie czynności, jak zaplanowanie badania, opracowanie pisemnej procedury / instrukcji badania, dobór odpowiedniego wyposażenia do badań i techniki badania oraz zapewnienie lub samodzielne przygotowanie powierzchni do badania i dostępu do obszaru badania. Wynika to z braku wiedzy osób zarządzających badaniami o wymaganiach i najlepszych praktyk w NDT. Najłatwiej dostępnym źródłem informacji dla pracodawców operatorów NDT jest norma PN EN IO 9712:2012, która jednoznacznie określa obowiązki pracodawcy oraz kompetencje operatorów w zależności od stopnia kwalifikacji [10]. Nie każdy stopień może wykonywać wszystkie ww. czynności. Przeprowadzono ankietę wśród firm NDT, [2], z której wynikało, że 21% respondentów powoływało się na normę ISO 9001 z 2015 roku [11] jako standard określający w art. 7.1.4 zagadnienia społeczne, psychologiczne i czynniki fizyczne. Pracując ściślej zgodnie z ISO 9001 lub innymi podobnymi normami, można uzyskać poprawę wiarygodności NDT.

3.4 Czynniki ludzkie i organizacja

W pracy [2] zidentyfikowano trzy procesy niemające charakteru NDT, biorących udział w relacjach pomiędzy dostawcą i odbiorcą NDT. Są to: proces biznesowy, proces informacyjny i dostawy NDT, jak przedstawiono na rysunku 3. Wszystkie trzy procesy mają wpływ na operatora i wiarygodność badania. Rysunek 3 przedstawia łańcuch

komunikacyjny pomiędzy dostawcą – wykonawcą i stopniem III i operatorem - a klientem NDT. Łańcuch ten powinien być starannie zaprojektowany.

4. Podsumowanie

- 1) Określenie niezawodności badania NDT wymaga znajomości wymagań dotyczących bezpieczeństwa eksploatacji i ekonomiki.
- 2) Należy wziąć pod uwagę jakościowe i ilościowe znaczenie każdego z wymagań.
- 3) Wykorzystuje się krzywe POD oraz procesy wspomagające POD.
- 4) Bardzo istotne jest uwzględnianie czynników ludzkich i organizacyjnych na wiarygodność NDT.
- 5) Czynniki ludzkie powinny być głęboko badane w aspektach psychologii pracy w celu zoptymalizowania warunków pracy, szkolenia specjalistycznego, procedur badawczych i działań przygotowawczych.
- 6) Zadaniem pozyskania szczegółowej wiedzy o wpływie czynników ludzkich na wyniki konkretnego badania jest zminimalizowanie różnic pomiędzy modelową niezawodnością a niezawodnością w warunkach terenowych.

5. Literatura/References

- [1] Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. - Kodeks cywilny (Dz. U. z 1964 r. Nr 16, poz. 93)
- [2] C. Müller, M. Bertovic, D. Kanzler, T. Heckel, M. Rosenthal, R. Holstein, U. Ronneteg, J. Pitkänen, "Assessment of the Reliability of NDE: A Novel Insight on Influencing Factors on POD and Human Factors in an organizational Context", in 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), Prague, October 6-10, 2014.
- [3] "Reducing error and influencing behaviour. Human Factors and Ergonomics. HSE Books", [Online]. Available: <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg48.htm>. [Accessed: 22- Feb- 2016]
- [4] R. Holstein, "Organizational Practice Of NDT In Service Inspection Companies", in 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), Prague, October 6-10, 2014.
- [5] R. Murgatroyd, G. Worrall, S. Crutzen, "Lessons Learned from the PISC III Study of the Influence of Human Factors on Inspection Reliability", in 6th European Conference on Non-Destructive Testing, Nice, 1994.
- [6] C. Dury, "Aging Aircraft Fleets: Structural and Other Subsystem Aspects", RTO AVT Lecture Series held in Sofia, Bulgaria, November 13-16, 2000, published in RTO EN-015/AVT-053, Research and Technology Organization, March 2001.
- [7] J. Dickens, D. Bray, "Human Performance Considerations in Non-destructive Testing", *Materials Evaluation*, vol. 52, no. 9, pp. 1033-1041, 1994.
- [8] M. Bertovic, "Human Factors in Non-Destructive Testing (NDT): Risks and Challenges of Mechanised NDT", Ph.D. dissertation, Technische Universität Berlin, 2015. Available: <https://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/7129>. [Accessed: 26- Feb- 2016]
- [9] R. Parasuraman, V. Riley, "Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse", *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 39, no. 2, pp. 230-253, 1997. DOI 10.1518/001872097778543886
- [10] PN-EN ISO 9712:2012, Badania nieniszczące – Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących.
- [11] PN-EN ISO 9001:2015, Systemy zarządzania jakością – Wymagania.