



ANALIZA POROWATOŚCI NA USZCZELNIENIU MECHANICZNYM I IDENTYFIKACJA ŹRÓDŁA NIEZGODNOŚCI

Dominika SIWIEC - Andrzej PACANA

ANALYSIS OF POROSITY ON MECHANICAL SEALER AND IDENTIFICATION THE ROOT OF THE INCOMPATIBILITY



ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS '2020

STRESZCZENIE

technik przetestowano dla problemu porowatości wykrytej badaniami NDT na uszczelnieniu. Wykorzystywanie wybranych technik zarządzania jakością jest jednym z podstawowych działań w ramach doskonalenia produktu. Wynika to ze skuteczności stosowania tych technik, które dobrane w odpowiedni sposób, umożliwiają zidentyfikowanie przyczyn powstania problemu. Z kolei, w przypadku wspomnianego produktu pozwalają, np. na zidentyfikowanie źródła niezgodności. W ramach identyfikowania niezgodności, istotnym jest wykorzystanie często praktykowanych badań nieniszczących (NDT). Jednak badania te, mimo, że umożliwiają wykryć niezgodność produktu, to nie wskazują jakie jest źródło jej powstania. Problem ten został również zaobserwowany w przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym zlokalizowanym na Podkarpaciu. W przedsiębiorstwie dokonywano kontroli NDT, jednak kontrole te nie były rozszerzane o dodatkowe narzędzia, które to pozwalałyby poprawić jakość produktu, m. in. w ramach powstających niezgodności. Jednym z takich problemów, była stosunkowo często powstająca niezgodność na uszczelnieniu mechanicznym. Niezgodnością tą była porowatość. Dlatego też, uznano, że efektywnym jest zaproponowanie połączenia wybranych technik z procesem badań nieniszczących. Uznano, że połączenie to umożliwi w efektywny sposób wykryć niezgodność, a kolejno wskazać na źródło jej powstania. Z kolei działania te przyczynią się do procesu ciągłego doskonalenia przedsiębiorstwa, a tym samym zapewnienia wymaganej jakości produktu. Dlatego, celem artykułu jest zaproponowanie wykorzystania technik zarządzania jakością z połączonych z badaniami NDT w ramach zidentyfikowania niezgodności i wykrycia źródła jej powstania. Technikami tymi była burza mózgów, diagram Ishikawy i metoda 5Why. Proponowane połączenie mechanicznym ze stali 410. Wykazano, że źródłem porowatości była nieodpowiednia organizacja technikami zarządzania jakością w celu identyfikacji niezgodności i źródła jej powstania. miejsca pracy. Dlatego też, potwierdzono efektywność proponowanego połączenia badań NDT z wybranymi. Proponowane narzędzie może być praktykowane do analizy innego rodzaju niezgodności produktów.

SŁOWA KLUCZOWE: inżynieria mechaniczna, uszczelnienie mechaniczne, inżynieria produkcji, techniki zarządzania jakością, niezgodność produktu

ABSTRACT

Using the selected quality management techniques is one of the basic actions as part of improving the product. It is resulting from effectiveness using these techniques, which selected in the right way allows identifying the causes of the problem arises. In turn, in the case of mentioned the product is allowed, for example, to identify the root of incompatibility. As part of identifying the incompatibility



is important to use frequently practiced the non-destructive tests (NDT). Although these researches, despite that allows identifying the incompatibility of the product, it doesn't indicate which is the root of their occurring. This problem was also observed in the production and service enterprise localized in Podkarpacie. In the enterprise, the NDT controls were made but were not expanded about additional tools, which will allow improving the product quality, among others as part of arising non-conformities. There was a relatively frequent inconsistency on the mechanical seal. This incompatibility was porosity. Therefore, it was considered that it is effective to propose the connections to the selected techniques with the process of non-destructive research. In turn, these actions contribute to the still improvement process of the enterprise and thus ensuring the required product quality. Therefore, the aim of the article is to propose using the quality management techniques connected with the NDT as part of identify the incompatibilities and identify the root of their occurring. These techniques were the brainstorming, Ishikawa diagram, and 5Why method. Proposed connected the techniques were tested for the problem of porosity identified by NDT research on the mechanical sealer from 410 steel. It was shown that the root of the porosity was the inadequate organization of the workplace. Therefore, it was confirmed of effectiveness the proposed connection of the NDT research with selected quality management techniques in order to identify the incompatibility and root of their occurring. Proposed tools can be practice to analyze other types of incompatibilities of products.

KEYWORDS: *mechanical engineering, mechanical sealer, production engineering, quality management techniques, incompatibility product*

WPROWADZENIE

Dążenie do ciągłego rozwoju przedsiębiorstw, a tym spełnienia wymagań klientów w ramach osiągnięcia wymaganej przez nich jakości produktów nadal jest problematyczne. Wynika to z potrzeby osiągnięcia takiego poziomu jakości produktu, który to spełniły dynamicznie zmieniające się oczekiwania i preferencje klientów [5, 12]. Dodatkowo, znacznym utrudnieniem dla przedsiębiorstw jest podejmowanie efektywnych działań w ramach redukcji lub eliminowania niezgodności produktów. Pomimo, że działania te są wspierane skutecznymi badaniami nieniszczącymi oraz niszczącymi, to ich praktyka ogranicza tylko się do wykrywania niezgodności produktów [3, 9]. Ponieważ badania te, nie wskazują na źródło niezgodności, dlatego też, niemożliwym jest podjęcie działań doskonalących, które to mogłyby zapobiec powstania niezgodności w przyszłości. Z problemem tym boryka się wiele przedsiębiorstw. Do jednych z nich należy wybrane do analizy przedsiębiorstwo produkcyjno-usługowe zlokalizowane na Podkarpaciu.

W przedsiębiorstwie tym prowadzone były m. in. badania NDT. W ramach analiz jednego typu wyrobu, tj. uszczelnienie mechaniczne, wykrywano stosunkowo często jednego rodzaju niezgodność. Niezgodnością tą była porowatość. Pomimo, że niezgodność ta wykrywana była dość często, to nie prowadzono analizujących na celu jej wyeliminowanie. Z tego względu, powstające niezgodności produktów, a w tym porowatość na uszczelnieniach mechanicznych, była jednym ze źródeł marnotrawstwa. Dlatego też, uznano, że efektywnym jest zaproponowanie połączenia wybranych technik zarządzania jakością z procesem badań nieniszczących. Analizie poddano problem porowatości na uszczelnieniu mechanicznym. Przyjęto, że połączenie to umożliwi w efektywny sposób wykryć niezgodność, a kolejno wskazać na źródło jej powstania. Z kolei działania te przyczynią się do procesu ciągłego doskonalenia przedsiębiorstwa, a tym samym zapewnienia wymaganej jakości produktu. Z tego względu, celem artykułu jest zaproponowanie wykorzystania technik zarządzania jakością połączonych z badaniami NDT w ramach zidentyfikowania niezgodności i wykrycia źródła jej powstania. Technikami tymi była burza mózgów, diagram Ishikawy i metoda 5Why, które wykorzystano w sposób sekwencyjny.



PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań było uszczelnienie mechaniczne wykonane ze stali 410, której właściwości chemiczne i mechaniczne przedstawia Tabela 1 oraz Tabela 2. Uszczelnienie mechaniczne zaliczane jest do technik najnowszej generacji, mające zastosowanie np. w pompach wodnych, a także przykładowo do pracy ze związkami chemicznymi, które zawierają cząstki ściernie [14].

Tabela 1. Skład chemiczny stali 410.

Pierwiastek	Węgiel	Mangan	Krzem	Chrom	Nikiel	Siarka	Fosfor
Symbol	C	Mn	Si	Cr	C	S	P
% wagowy	max. 0,15	max. 1.00	max. 1.00	11.50 - 13.50	max. 0.75	max. 0.03	max. 0.04

Źródło: Opracowanie własne [10].

Tabela 2. Właściwości mechaniczne i granica plastyczności stali 410.

HBR	0.2% siła plastyczności (MPa)	Wytrzymałość na rozciąganie (MPa)	Wydłużenie (51 mm)	Hartowanie HRC
82 – 96	205 – 290	450 – 510	20 - 34	38-45

Źródło: Opracowanie własne [10].

Wybór do analizy uszczelnienia mechanicznego uwarunkowany był często identyfikowaną niezgodnością, tj. porowatość, którą identyfikowano badaniami nieniszczącymi. Oprócz tego, źródło powstania tej niezgodności nie było jednoznacznie wskazane, przez co nie podejmowano odpowiednich działań, które mogłyby przyczynić się do osiągnięcia wymaganej jakości produktu.

METODA

Metodę, którą wykorzystano w celu zidentyfikowania niezgodności (tj. porowatość) oraz wskazania źródła jej powstania na uszczelnieniu mechanicznym stanowiły wybrane techniki zarządzania jakością połączone z badaniami nieniszczącymi (NDT), tj. metodą fluorescencyjną (FPI). Technikami zarządzania jakością, które uznano za zasadne zastosować były: burza mózgów, diagram Ishikawy oraz metoda 5Why. Wybór tych technik uwarunkowany był ich efektywnością do identyfikacji przyczyn problemu, w tym przyczyny źródłowej [1, 7, 13]. Jednak warunkiem ich efektywności jest stosowanie ich w odpowiedni, sekwencyjny sposób [6]. Natomiast wybór badań nieniszczących wynikał z ich skuteczności i popularności wykorzystania do identyfikacji niezgodności na produktach w sposób bezinwazyjny [4]. Z kolei, dobór połączenia proponowanych technik zarządzania jakością z metodą fluorescencyjną uwarunkowany był materiałem, z którego wyprodukowany był analizowany produkt (uszczelnienie mechaniczne wyprodukowane ze stali 410). Wybrano metodę fluorescencyjną, ponieważ ma zastosowanie do materiałów ferromagnetycznych, nieferromagnetycznych, jak i niemetalicznych (np. ceramicznych) [16], a więc była zasadną dla tego typu wyrobu ze stali 410.

Dlatego też, proponowaną metodę przedstawiono w ramach identyfikacji niezgodności badaniami NDT, po których wykryto niezgodność, a źródło powstania tej niezgodności jest nieznane. Procedurę tę przedstawiono w 5 głównych etapach.

Etap 1. Identyfikacja niezgodności

W ramach identyfikacji niezgodności produktu przyjęto zastosowanie, np. badań nieniszczących (NDT). Jak wspomniano, do analizy porowatości na uszczelnieniu mechanicznym ze stali 410 zasadnym było zastosowanie metody fluorescencyjnej. Po wykryciu niezgodności należy zrealizować kolejne etapy procedury rozpoczynając od etapu 2.

Etap 2. Określenie celu.



Jako etap drugi przyjęto określenie celu. W analizowanym przypadku, celem było zidentyfikowanie źródła niezgodności (porowatości) na uszczelnieniu mechanicznym wykonanym ze stali 410.

Etap 3. Powołanie zespołu ekspertów.

Etap trzeci to powołanie zespołu ekspertów do analizy problemu. Dobór członków zespołu powinien obejmować zakres ich wiedzy, jak i kreatywności w ramach efektywnej analizy problemu [6, 15]. Ponieważ celem było wykrycie źródła porowatości na uszczelnieniu mechanicznym, skład zespołu stanowił kierownik badań NDT wybranego do analizy przedsiębiorstwa, który posiada wiedzę na temat ewentualnych niezgodności produktu, jak i autorzy artykułu.

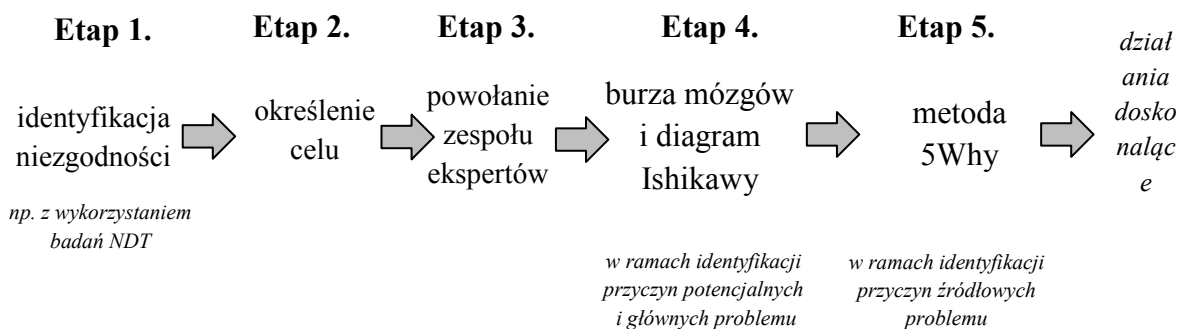
Etap 4. Burza mózgów i diagram Ishikawy.

Kolejny etap to opracowanie diagramu Ishikawy w ramach przeprowadzonej burzy mózgów (BM) wśród członków zespołu dobranej w etapie 3. Techniki te wykorzystywane są do wygenerowania możliwie największej liczby przyczyn potencjalnych problemu (burza mózgów) [6], jak i uporządkowania oraz zwizualizowania ich w sposób uporządkowany, tj. według kategorii Ishikawy (diagram Ishikawy) [11, 13]. W celu opracowania diagramu Ishikawy, nazywanego też diagramem przyczynowo-skutkowym [7, 8], początkowo definiuje się problem. W tym przypadku problemem była porowatość na uszczelnieniu mechanicznym. Kolejno, w ramach opracowania diagramu Ishikawy niezbędnym jest wybranie kategorii Ishikawy, które będą wykorzystywane do analizy problemu. Podstawowymi kategoriami Ishikawy są: człowiek, metoda, maszyna, materiał, zarządzanie oraz środowisko [7, 2]. Dlatego też kategorie te przyjęto zastosować do analizy problemu porowatości na uszczelnieniu mechanicznym. Do każdej kategorii podczas moderowanej burzy mózgów przyporządkowywano przyczyny potencjalne problemu. Kolejno, zespół ekspertów wspomagając się techniką wielokrotnego głosowania, wskazuje przyczyny główne problemu. Po wskazaniu przyczyn głównych problemu realizowany jest kolejny etap.

Etap 5. Metoda 5Why.

W etapie piątym, w ramach zidentyfikowania źródła problemu (np. analizowanej porowatości na uszczelnieniu mechanicznym) proponuje się zastosowanie metody 5Why. Metoda ta jest nazywana metodą „Why-Why” lub „5xDlaczego?” i ma zastosowanie do wskazania źródła problemu [8]. Dlatego też, początkowo formuluje się problem, gdzie problemem w analizowanym przypadku była porowatość na uszczelnieniu mechanicznym. Kolejno, do wskazanych przyczyn głównych (wybranych w etapie 4) zadaje się pytanie „Why?” i zadaje się je, aż do zdefiniowania przyczyny źródłowej.

Przykład proponowanej sekwencji technik przedstawia Rysunek 1.



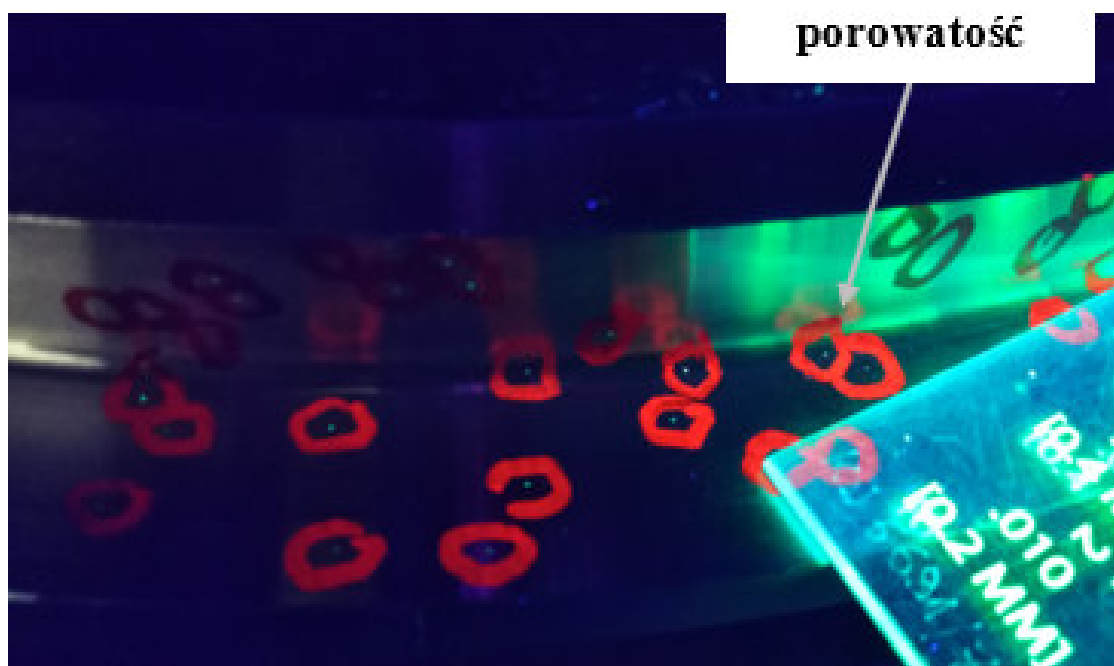


Rysunek 1. Schemat postępowania w ramach identyfikacji źródła niezgodności.
Źródło: Opracowanie własne.

Po przeprowadzonej procedurze i zidentyfikowaniu źródła niezgodności, możliwym jest wskazanie odpowiednich działań mających na celu eliminację lub redukcję problemu.

WYNIKI

W przedsiębiorstwie produkcyjno-usługowym, w którym przeprowadzono badania nieniszczące, zidentyfikowano stosunkowo często powtarzającą się niezgodność na uszczelnieniach mechanicznych wykonanych np. ze stali 410. Niezgodnością tą była porowatość, którą wykryto badaniami fluorescencyjnymi (FPI). Przykład niezgodności przedstawia Rysunek 2.

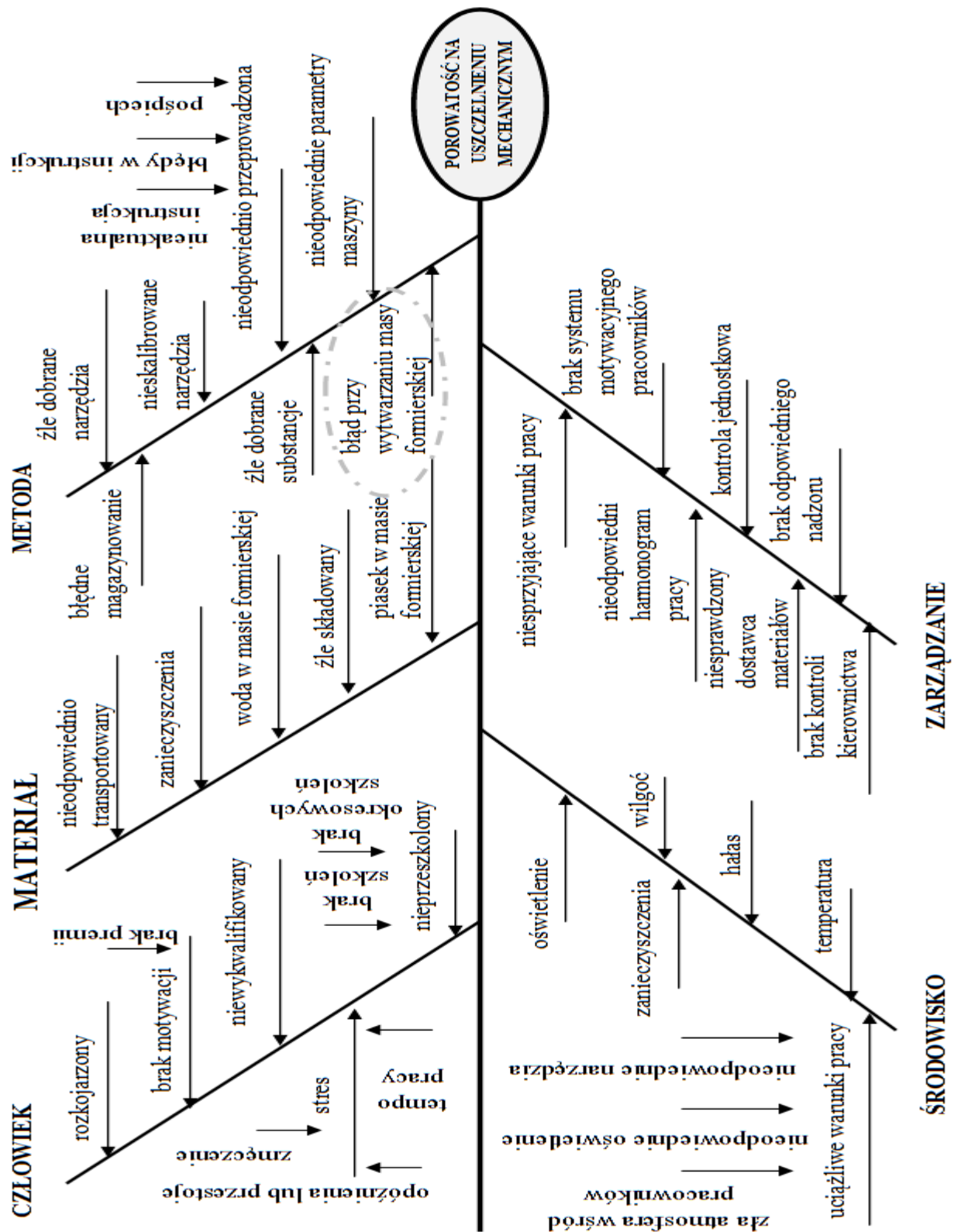


Rysunek 2. Przykład porowatości na uszczelnieniu mechanicznym – kontrola fluorescencyjna.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie niepublikowanych materiałów przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego zlokalizowanego na Podkarpaciu.

W celu zidentyfikowania źródła niezgodności (porowatości) na uszczelnieniu mechanicznym wykonanym ze stali 410, zastosowano proponowaną sekwencję technik, tj. burza mózgów, diagram Ishikawy i metoda 5Why. Powołany zespół ekspertów w składzie kierownik kontroli NDT i autorzy artykułu, w ramach moderowanej burzy mózgów opracowali diagram Ishikawy, którego rezultat przedstawia Rysunek 3.

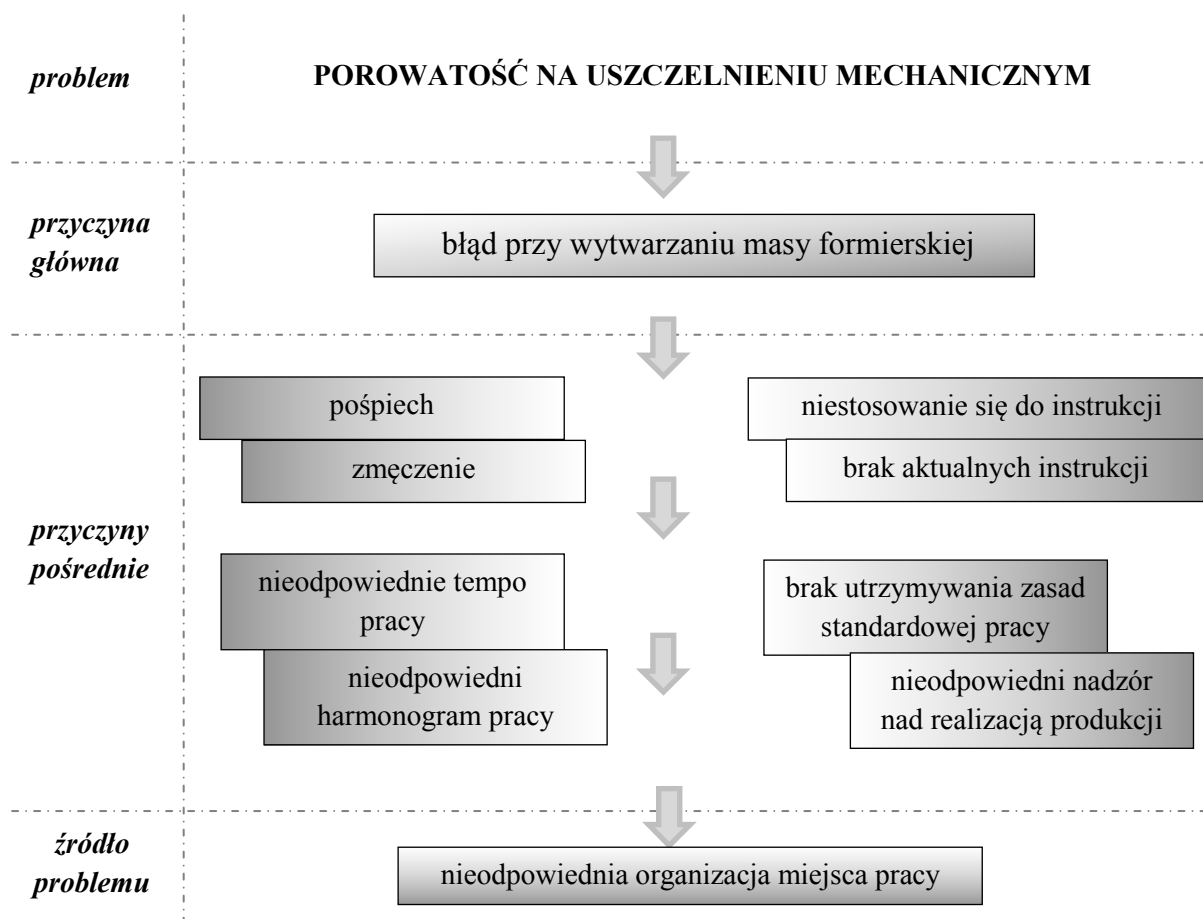


Rysunek 3. Diagram Ishikawy dla problemu porowatości na uszczelnieniu mechanicznym.
Źródło: Opracowanie własne.





Spośród przyczyn potencjalnych ukazanych na diagramie Ishikawy, zespół ekspertów w ramach wielokrotnego głosowania, wybrał przyczynę główną problemu. Był to błąd przy wytwarzaniu masy formierskiej. Dlatego też, dla tych dwóch przyczyn głównych przeprowadzono analizę z wykorzystaniem metody 5Why. Proces analizy problemu porowatości na uszczelnieniu mechanicznym przedstawia Rysunek 4.



Rysunek 4. Metoda 5Why do identyfikacji przyczyny źródłowej porowatości na uszczelnieniu mechanicznym.

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza wykazała, że przyczyną źródłową skupiska porowatości na uszczelnieniu mechanicznym jest nieodpowiednia organizacja miejsca pracy. W ramach wyeliminowania lub redukcji tego problemu zalecane jest podjęcie działań usprawniających, np. przeorganizowanie miejsca pracy tak, aby ewentualne zanieczyszczenia jak piasek nie dostały się do masy formierskiej.

WNIOSKI

Dążenie do ciągłego doskonalenia przedsiębiorstwa w ramach kontroli produktów i poprawy ich jakości jest głównym z celów przedsiębiorstw. Cele te realizowane są za pośrednictwem wykorzystywanych instrumentów oraz narzędzi, które to umożliwiają dokonywanie sprawnej kontroli jakości produktów, a tym samym wspomagają proces identyfikacji źródła ewentualnie wykrytych niezgodności. W przypadku przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowego zlokalizowanego na Podkarpaciu, które wybrano do analizy, prowadzono takie działania. Dotyczyły one między innymi kontroli jakości produktów badaniami nieniszczącymi (NDT). Za pomocą tych technik identyfikowano niezgodności produktów, jednak techniki te nie wskazywały jaka jest przyczyna



źródła problemu. Dodatkowo, problematycznym okazał się jeden typ produktu, na którym stosunkowo często identyfikowano jednego rodzaju niezgodność, tj. porowatość. Produktem tym było uszczelnienie mechaniczne wykonane ze stali 410. Dlatego też, celem artykułu było zaproponowanie wykorzystania technik zarządzania jakością z połączonych z badaniami NDT w ramach zidentyfikowania niezgodności i wykrycia źródła jej powstania. Technikami tymi były: burza mózgów, diagram Ishikawy i metoda 5Why. Początkowo, dla zidentyfikowanej niezgodności (porowatości), którą wykryto metodą fluorescencyjną (FPI), zespół ekspertów (w składzie: kierownik badań NDT oraz autorzy artykułu) opracował diagram Ishikawy. Diagram ten utworzono z uwzględnieniem podstawowych kategorii Ishikawy, tj.: człowiek, metoda, maszyna, materiał, zarządzanie i środowisko. W ramach moderowanej burzy mózgów wśród członków zespołu ekspertów uzupełniono diagram o przyczyny potencjalne. Z kolei za pomocą techniki wielokrotnego głosowania wybrana została przyczyna główna. Przyczyną tą był błąd przy wytwarzaniu masy formierskiej. Dlatego, z uwzględnieniem tej przyczyny głównej przeprowadzono analizę problemu z wykorzystaniem metody 5Why. Po analizie wykazano, że przyczyną źródłową porowatości na uszczelnieniu mechanicznym jest nieodpowiednia organizacja miejsca pracy. Aby wyeliminować albo zredukować występowanie tego problemu w przyszłości niezbędnym jest podjęcie adekwatnych działań doskonalących, jak przykładowo: przeorganizowanie miejsca pracy tak, aby ewentualne zanieczyszczenia jak piasek nie dostały się do masy formierskiej. Wywnioskowano, że zastosowanie proponowanej sekwencji technik po badaniach nieniszczących (metoda FPI) przyniosło oczekiwany rezultat, tj. wykryto niezgodność, a kolejno źródło jej powstania. Dzięki czemu możliwym jest podjęcie odpowiednich działań zaradczych, co wpisuje się w idee ciągłego rozwoju przedsiębiorstwa. Uznano, że połączenie wybranych technik zarządzania jakością z procesem badań nieniszczących może być realizowane w ramach analizy innego rodzaju niezgodności, jak i w ramach analiz problemów na innego typu produktów.

LITERATURA

- [1] Knop K., Analiza problemów w systemie zarządzania produkcją w wybranym przedsiębiorstwie. *QualityProductionImprovement*, 2(9), 2018, s. 125 – 135.
- [2] Kowalska M., Paździor M., Zastosowanie diagramu Ishikawy jako narzędzia doskonalenia jakości produktów spożywczych. *Postępy techniki przetwórstwa spożywczego*, 1, 2015, s. 136-139.
- [3] Krzysztofik J., ManajW., Zastosowanie badań nieniszczących w technice lotniczej. *Prace Instytutu Lotnictwa*, 2(211), 2011, s. 120-129.
- [4] Onoszko K., Metody stosowane w badaniach nieniszczących. *IAPGoś*, 4a, 2012, s. 11-14.
- [5] Pacana A., Siwiec D., Bednarova L. Method of Choice: A Fluorescent Penetrant Taking into Account Sustainability Criteria. *Sustainability*, 12(14), 5854, 2020, s. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12145854>
- [6] Pacana A., Czerwińska K., Siwiec D. Narzędzia i wybrane metody zarządzania jakością. Teoria i praktyka. *Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakości i Produkcji*, 2018, Częstochowa.
- [7] Pacana A., Siwiec D., Bednarova L., Hajduova Z., Wybrane metody zarządzania jakością stosowane do oceny druku etykiet, *Przemysł Chemiczny*, 1, 2019, DOI: 10.15199/62.2019.1.17.
- [8] Poloczek Ł., Kiełbus A., Dybowski B., Zastosowanie diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy w diagnostyce wad odlewów. http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2017/T2/t2_370.pdf (dostęp: 14.10.2020 r.)
- [9] Shipway N. J., Huthwaite P., Lowe M.J.S., Barden T.J. Performance Based Modifications of Random Forest to Perform Automated Defect Detection for Fluorescent Penetrant Inspection. *J. Nondestruct. Eval.*, 38, 2019, s. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10921-019-0574-9>
- [10] Skład chemiczny, właściwości mechaniczne i granica plastyczności stali 410. <https://www.upmet.com/products/stainless-steel/410> (dostęp: 14.10.2020 r.)



- [11] Szczęśniak B., Zasadzień M., Wapienik Ł., Zastosowanie analizy Pareto oraz diagramu Ishikawy do analizy przyczyn odrzutów w procesie produkcji silników elektrycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i zarządzanie, z. 63a, 2012, s. 125 – 147.
- [12] Szkiel A., Orientacja na klienta w wymaganiach normy ISO 9001:2015. Marketing i Zarządzanie, 3(44), 2016, s. 83-93. DOI: 10.18276/miz.2016.44-07
- [13] Ulewicz, U. Quality Control System in Production of the Castings from Spheroid Cast Iron. Metallurgy, 42(1), 2003, 61-63.
- [14] Uszczelnienie mechaniczne. <https://www.anga.com.pl/katalog/specjalne> (dostęp: 14.10.2020 r.)
- [15] Wolniak R., Skotnicka-Zasadzień B., Zarządzanie jakością dla inżynierów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [16] Zientek P., Metody badań nieniszczących wybranych elementów konstrukcji turbozespołu małej mocy. Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, 3(111), 2016, s. 115-120.

CONTACT ADDRESS

Dominika SIWIEC

Rzeszow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, Rzeszow, Poland; d.siwiec@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-6663-6621

Andrzej PACANA

Rzeszow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, Rzeszow, Poland; app@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0003-1121-6352

Correspondence author: app@prz.edu.pl

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.