

IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW UTRZYMANIA RUCHU ISTOTNYCH DLA ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Małgorzata JASIULEWICZ - KACZMAREK

Streszczenie: Na przestrzeni lat, wraz z procesem produkcyjnym utrzymanie ruchu (UR) ewoluowało od funkcji reaktywnej do podejścia współczesnego w ramach, którego uważany jest za proces, który powinien być zarządzany w zrównoważonej perspektywie. Celem artykułu jest identyfikacja czynników UR istotnych dla rozwoju zrównoważonych procesów produkcyjnych.

Słowa kluczowe: zrównoważona produkcja, utrzymanie ruchu, Triple Bottom Line

1. Wprowadzenie

Zrównoważona produkcja (ZP) jest jednym z celów zrównoważonego rozwoju (Sustainable Development Goals - SDG) ustanowionych przez ONZ w 2015 roku. Według [15] ZP odnosi się do zestawu rozwiązań technicznych i organizacyjnych przyczyniających się do opracowywania i wdrażania innowacyjnych metod, praktyk i technologii w obszarze produkcji, w celu rozwiązania problemów związanych ogólnosiątkowym niedoborem surowców, ograniczenia obciążeń środowiskowych, umożliwienia ekologicznego cyklu życia wyrobów, zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom i społeczności. Według [27] istotną funkcję we wspieraniu zrównoważonych praktyk produkcyjnych należy przypisać procesom utrzymania ruchu (UR).

Na przestrzeni lat, wraz z procesem produkcyjnym utrzymanie ruchu ewoluowało od funkcji reaktywnej, poprzez prewencyjną, szczupłą (Lean Maintenance), zieloną (Green Maintenance), do podejścia współczesnego w ramach, którego uważany jest za proces, który powinien być zarządzany w zrównoważonej perspektywie [19, 20]. Pomimo, iż w literaturze podkreślana jest wielokrotnie rola utrzymania ruchu w realizacji zrównoważonych celów produkcyjnych, np. [11, 15, 27, 44], to nadal nie ma kompleksowych badań teoretycznych jak i empirycznych w tym zakresie.

Celem artykułu jest: 1) wskazanie na podstawie badań literaturowych czynników UR istotnych dla rozwoju zrównoważonych procesów produkcyjnych, 2) przedstawienie wyników badań przeprowadzonych w przedsiębiorstwach dotyczących postrzegania ważności zidentyfikowanych czynników UR.

2. Badania literaturowe

Problem identyfikacji czynników utrzymania ruchu mających wpływ na rozwój zrównoważonej produkcji dotyczy dwóch obszarów badań literaturowych. Pierwszy obszar badań obejmuje swoim zakresem tematykę ZP, w tym definicje, cele, strategie realizacji oraz praktyki stosowane w przedsiębiorstwach. Natomiast drugi obszar badań obejmuje swoim zakresem utrzymanie ruchu, w tym definicję, cele, strategie obsługowe, miary i

wskaźniki oceny wyników i systemy wspomagające realizację procesów UR. Oba obszary powiązane są poprzez obiekt techniczny (maszynę, urządzenie), który w odniesieniu do produkcji pełni funkcję środka umożliwiającego osiągnięcie celu działania, natomiast dla utrzymania ruchu jest on przedmiotem działania.

Termin „Zrównoważona produkcja” został wprowadzony na Konferencji ONZ w Rio de Janeiro w 1992 r. Jest on definiowany na wiele sposobów, w zależności od autora i kierunku prowadzonych przez niego badań. Część autorów definiuje ZP, jako strategię lub podejście, podczas gdy inni, jako paradygmat lub system (brak jednoznacznej definicji zrównoważonej produkcji podkreślane jest w literaturze między innymi przez: [17, 23]. W większości z ponad stu przeanalizowanych artykułów (baza WoS i Scopus) autorzy przyjmują definicję zaproponowaną przez amerykański Departament Handlu "tworzenie produktów wykorzystujących procesy, które minimalizują negatywny wpływ na środowisko, oszczędzają energię i zasoby naturalne, są bezpieczne dla pracowników, społeczności i konsumentów i są opłacalne ekonomicznie". Definicja ta, podkreśla aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne działalności przedsiębiorstw (idea Triple Bottom Line (TBL)) oraz wskazuje sześć głównych elementów koncepcji: wykorzystanie energii i materiałów (zasoby), środowisko naturalne, sprawiedliwość społeczną i rozwój społeczności, efektywność ekonomiczną, pracowników i produkty [46]. Celem zrównoważonej produkcji jest osiągnięcie równowagi między wymiarami środowiskowym, społecznym, technicznym i ekonomicznym realizowanych procesów (rys. 1) tak, aby zaspokoić wymagania stron zainteresowanych [12] i osiągnąć przewagę konkurencyjną [17, 38].



Rys. 1 Główne wymiary zrównoważonej produkcji

Realizacja tak postawionego celu wymaga opracowania adekwatnych strategii, wprowadzenia ich do codziennych praktyk przedsiębiorstwa oraz pomiaru wyników ich skuteczności. Analizując literaturę dotyczącą paradygmatu ZP można wskazać cztery elementy istotne z punktu widzenia budowania strategii zrównoważonej produkcji: idea TBL, cykl życia wyrobu (obowiązki poszczególnych firm nie są ograniczone do tych etapów cyklu życia, w których są bezpośrednio zaangażowane), interesariusze i zarządzanie łańcuchem dostaw [11, 15, 37, 46]. Budowane na tych czterech filarach strategie przedsiębiorstw były impulsem powstania szeregu działań (praktyk) podejmowanych przez przedsiębiorstwa produkcyjne, począwszy od stosowania różnych technologii neutralizacji i utylizacji zanieczyszczeń, aż do mocno zintegrowane systemy produkcyjnych, które wspierają współpracę pomiędzy różnymi obszarami funkcjonalnymi przedsiębiorstwa. Generalnie rozwój zrównoważonych praktyk produkcyjnych można zaobserwować na

trzech poziomach: produktu, procesu i systemu. Na poziomie produktu tradycyjna koncepcja 3R (Reduce, Reuse, Recycle) została przekształcona w bardziej zrównoważone podejście 6R (**Reduce, Reuse, Recycle, Recover, Redesign, Remanufacture**), czego efektem jest zmiana paradygmatu z pojedynczego cyklu życia wyrobu na wiele cykli życia [22]. Na poziomie procesu podjęto działania na rzecz optymalizacji procesów technologicznych i lepszego planowania procesów produkcji w celu zmniejszenia zużycia zasobów, powstawania odpadów i zagrożeń związanych ze środowiskiem pracy i samą pracą. Natomiast na poziomie systemu działania ewoluują w kierunku zarządzania łańcuchem dostaw, lepszej współpracy pomiędzy przedsiębiorstwem a klientami, itd.

Analizując literaturę zauważalny jest w ciągu ostatnich kilku lat wzrost liczby badań koncentrujących się na nowym paradygmacie zrównoważonej produkcji. Według [15] badania ZP powinny być one prowadzone w pięciu obszarach: zrównoważonych technologii, zarządzania zasobami, zrównoważonego cyklu życia produktu i systemu produkcyjnego, zrównoważonego produktu i produkcji i zrównoważonego biznesu, a ich celem powinien być rozwój zrównoważonych procesów produkcyjnych, wspierających je innowacyjnych technologii oraz dostarczenie nowych narzędzi oceny ekonomicznych, środowiskowych i społecznych skutków procesów produkcyjnych. W tym kontekście wg. [11, 15, 19, 20, 27], procesy utrzymania ruchu, niezbędne do zapewnienia dostępności, niezawodności maszyn i urządzeń oraz bezpieczeństwa procesów, ich realizatorów i środowiska, mogą stać się jednym z głównych filarów rozwoju zrównoważonej produkcji.

Według normy EN 13306: 2010 utrzymanie ruchu to „kombinacja wszelkich działań technicznych, administracyjnych i kierowniczych podczas cyklu życia obiektu, mających na celu utrzymanie lub przywrócenie stanu, w którym obiekt może wykonywać obowiązujące funkcje”. Z perspektywy przedsiębiorstwa oznacza to, iż działania UR powinny być ukierunkowane między innymi na: zapewnienie wymaganego poziomu niezawodności i dostępności maszyn i urządzeń oraz ich wydajności, optymalne wykorzystanie zainwestowanego kapitału, zapewnienie wymaganego poziomu bezpieczeństwa użytkownikom i prowadzącym obsługę techniczne, monitorowanie środowiskowych aspektów pracy maszyn i procesów obsługowych, modernizacje zapewniające efektywność ekonomiczną eksploatowanych obiektów, współpracę z dostawcami maszyn, części zamiennych i usług, systematyczne podnoszenie kompetencji pracowników służb technicznych, itd. Zatem wybór odpowiedniej kombinacji strategii obsługowych dla każdego z obiektów technicznych (korekcyjnej, prewencyjnej, prognostycznej), musi uwzględniać nie tylko czynniki ekonomiczne i techniczne, ale również środowiskowe i bezpieczeństwa oraz ich relacje ze strategią biznesową przedsiębiorstwa. W konsekwencji w literaturze podkreślane jest znaczenie aspektów zarządczych w utrzymaniu ruchu. Zarządzanie UR dotyczy wielu zagadnień zarówno wewnętrznych przedsiębiorstwa jak i zewnętrznych. Generalnie można je podzielić na trzy grupy: zagadnienia techniczne (inżynierskie, technologiczne, itd.); zagadnienia zarządcze (z różnych perspektyw – producenta, klienta, serwisanta); zagadnienia komercyjne (ekonomiczne, prawne, marketingowe, itd.). Tak szeroki zakres zagadnień powoduje, iż decyzje utrzymania ruchu powinny być podejmowane z perspektywy strategicznej przedsiębiorstwa, przy uwzględnieniu wymagań coraz liczniejszej grupy interesariuszy utrzymania ruchu [10].

Ponieważ podstawową zasadą zarządzania jest pomiar wyników, zatem zapewnienie sprawnego funkcjonowania utrzymania ruchu wymaga określenia działań operacyjnych i mechanizmów monitorujących zgodność pomiędzy wynikami a przyjętymi celami. Przez wielu autorów pomiar wyników UR określany jest, jako stosunkowo trudny do przeprowadzenia [16]. Przyczyn tego stanu rzeczy należy upatrywać po pierwsze

w konieczności pozyskania danych z wielu obszarów przedsiębiorstwa, po drugie w konieczności ich analizy i interpretacji, a więc ich wykorzystania w procesach decyzyjnych. W odniesieniu do pierwszego problemu rozwiązaniem są zaawansowane narzędzia ICT, natomiast rozwiązań w drugim obszarze można poszukiwać w metodach sztucznej inteligencji, pozwalających zautomatyzować działania oraz pozyskać wiedzę z danych (Data Mining). Ta druga grupa działań obecnie jest związana z koncepcją Big Data, czyli ich dostosowaniem do analizy dużego strumienia danych [30].

Nowe technologie ICT wprowadzają również zmiany dla producentów maszyn. Producenci i sprzedawcy maszyn uzupełniają swoją ofertę o oprogramowanie i usługi analizy danych. Według danych Niemieckiego Stowarzyszenia Producentów Maszyn i Urządzeń (VDMA) pomiędzy 1970 a 2010 rokiem ilość dostarczanego wraz z maszynami oprogramowania wzrosła o 45% [43]. Patrząc z tej perspektywy, w najbliższym czasie producenci maszyn wykorzystując np. IoT oraz Big Data będą mogli tworzyć wartość dodaną poprzez wirtualne sieci w chmurze, które będą nieustannie gromadzić, agregować i modelować dane, aby następnie przewidywać awarie i wprowadzać działania w celu ograniczenia ich wpływu.

Podsumowując, przedstawiony powyżej literaturowy przegląd aspektów ZP i UR wskazuje, iż utrzymanie ruchu może mieć istotny wpływ na efektywność zrównoważonej produkcji. Biorąc pod uwagę powyższe przeprowadzono syntezę różnych źródeł literaturowych w obszarze zrównoważonej produkcji oraz utrzymania ruchu i zidentyfikowano czynniki UR, które zdaniem autorki mają istotny wpływ na rozwój zrównoważonych procesów produkcyjnych (tab. 1)

Tab. 1 Czynniki UR istotne dla rozwoju zrównoważonych procesów produkcyjnych

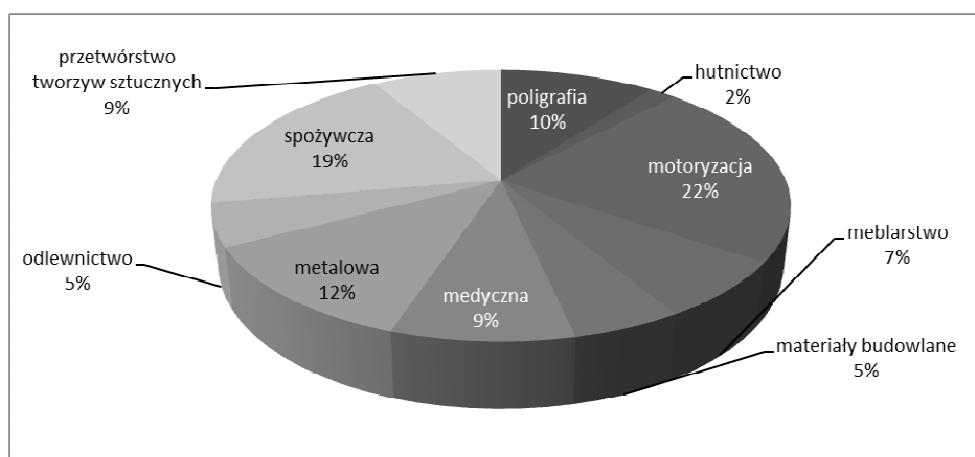
Nr.	Czynnik	Źródła literaturowe
1	Gospodarka częściami zamiennymi i materiałami eksploatacyjnymi	[2], [9], [13], [33], [42]
2	Współpraca z producentami / dostawcami maszyn i urządzeń	[18], [24], [26], [34], [36], [48]
3	Współpraca z dostawcami usług serwisowych	[14], [25]
4	Współpraca UR z działem projektowania i rozwoju wyrobów	[18], [44], [45]
5	Współpraca z działem produkcji i jakości	[7], [28], [31], [32], [39], [47], [48]
6	Współpraca z działem bhp i środowiska	[1], [29], [35], [40], [41]
7	Kompetencje pracowników UR	[21], [36]
8	Stosowanie prewencyjnych i prognostycznych strategii obsługowych	[3], [11], [28], [30], [36]
9	Stosowanie systemów gromadzenia i przetwarzania danych eksploatacyjnych	[5], [6], [8], [36]
10	Modernizacje maszyn i urządzeń	[36], [48], [44]

Identyfikacja tych czynników i określenie ich ważności jest jednym z kroków umożliwiających zbudowanie modelu oceny wartości dostarczanej przez utrzymanie ruchu na rzecz zrównoważonej produkcji. Model taki umożliwi zarządzającym świadome kształtowanie systemu UR i optymalizację działań zgodnie z przyjętą w przedsiębiorstwie polityką zrównoważonego rozwoju. O ile w zakresie projektowania wyrobów i procesów ich realizacji opracowano wiele modeli, metod i wytycznych oceny uwzględniających

wymagania zrównoważonej produkcji, to dla utrzymania ruchu takich systemowych opracowań zarówno ze strony nauki jak i praktyki obecnie nie ma.

3. Badanie postrzegania ważności czynników UR wspierających ZP

Badania dotyczące postrzegania ważności czynników UR wspierających realizację zrównoważonej produkcji przeprowadzono na przełomie 2016 /2017 roku. Ich uczestnikami było 58 przedsiębiorstw produkcyjnych różnych branż (rys. 2).



Rys. 2. Przedsiębiorstwa uczestniczące w badaniu

Badanie przeprowadzono metodą wywiadu z kierownikami działów utrzymania ruchu. W celu zebrania informacji opracowana została ankieta. Pierwsza część ankiety zawierała pytania dotyczące przedsiębiorstwa, natomiast druga dotyczyła badań właściwych. Kierownicy działów UR zostali poproszeni o określenie stopnia ważności 10 przedstawionych w poprzednim rozdziale czynników w skali od 1 do 5, gdzie 1 oznaczała – bardzo mały ważny natomiast 5 bardzo ważny. Pozyskany z przedsiębiorstw zbiór danych poddano ocenie statystycznej i uszeregowano czynniki od najbardziej do najmniej ważnych (tab. 2).

Przeprowadzone badania wskazują, iż czynnikami, które w największym stopniu mogą wspierać realizację zrównoważonych procesów produkcyjnych jest stosowanie prewencyjnych i prognostycznych strategii obsługowych oraz stosowanie systemów gromadzenia i przetwarzania danych. Aby jednak, na podstawie przeprowadzonego badania można było formułować sądy ogólne konieczne jest zapewnienie na odpowiednio wysokim poziomie zgodności wystawionych przez ekspertów ocen. W sytuacji, gdy mamy do czynienia z więcej niż dwoma szeregami rangowymi, to najczęściej stosowanym miernikiem oceny zgodności preferencji jest wskaźnik konkordancji *W* Kendalla (*concordance coefficient*), zwany współczynnikiem zgodności uporządkowań wielokrotnych [4]. Otrzymany w badaniu typ uporządkowania jest uporządkowaniem słabym. Wynika to z faktu, iż eksperci poproszeni zostali o ocenę 10 czynników w skali od 1 do 5, a zatem naturalnym był fakt związania części czynników tą samą rangą. Biorąc pod uwagę powyższe, w pomiarze zgodności współczynnikiem konkordancji, konieczne jest zastosowanie metody rang uśrednionych (tab. 3).

Tab. 2. Postrzeganie ważności czynników UR przez przedsiębiorstwa

Czynniki	Średnia ocena	Odchylenie standardowe	Pozycja wg. ważności
1 – gospodarka częściami zamiennymi i materiałami eksploatacyjnymi	4,36	0,609	6
2 – współpraca z producentami / dostawcami maszyn i urządzeń	3,86	0,629	9
3 – współpraca z dostawcami usług serwisowych	4,61	0,525	5
4 – współpraca z działem projektowania i rozwoju wyrobów	2,78	0,852	10
5 – współpraca z działem produkcji i jakości	4,64	0,482	3
6 – współpraca z działem bhp i środowiska	4,34	0,63	7
7 – kompetencje pracowników działu UR	4,63	0,61	4
8 – stosowanie prewencyjnych i predykcyjnych strategii obsługowych	4,86	0,345	1
9 – stosowanie systemów gromadzenia i przetwarzania danych eksploatacyjnych	4,81	0,434	2
10 – modernizacje maszyn i urządzeń	3,93	0,61	8

Tab. 3. Metoda rang uśrednionych

$W = \frac{S}{S_{\max} - m\bar{R}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j - \frac{m(n+1)}{2})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m\bar{R}}$	$T = \sum_{i=1}^m T_i$	$T_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^k (t_j^3 - t_j)$
<p>m – liczba ekspertów n – liczba czynników ocenianych przez ekspertów S – suma kwadratów odchyłeń poszczególnych sum R_j od średniej arytmetycznej od średniej arytmetycznej sum rang dla wszystkich n czynników \bar{R} k – liczba grup posiadających tę samą rangę (j=1, 2, ..., k) w i-tym szeregu t_j – liczba identycznych wiązań w grupie</p>		

Źródło: na podstawie [4]

Testowanie istotności statystycznej współczynnika konkordancji polega na postawieniu hipotezy zerowej H_0 : zbieżność opinii ekspertów jest przypadkowa (badane szeregi rangowe nie są ze sobą powiązane) i hipotezy H_1 : zbieżność opinii nie jest przypadkowa, a eksperci są kompetentni. Hipotezę zerową odrzucamy, gdy obliczona wartość χ^2_{α} jest równa lub wyższa niż χ^2_{α} czyli wartości odczytanej z tablic rozkładu chi-kwadrat dla $df = n - 1$ stopni swobody przy danym poziomie istotności α . Wyniki analizy statystycznej dotyczącej zbieżności opinii ekspertów przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wyniki analiz statystycznych dotyczących zbieżności opinii ekspertów

Liczba czynników	Liczba ekspertów	Współczynnik W Kendalla	Wartość χ^2_{α}	Liczba stopni swobody	Poziom istotność i α	Wartość χ^2_{α}
10	58	0,865	24,7177	9	0,05	16,9190

Uzyskane wyniki, wskaźnik $W = 0,865$ oraz $\chi^2 > 16,9190$ wskazują, iż zgodność między opiniami ekspertów jest bardzo dobra ($0,81 \leq W \leq 0,95$) i nie jest przypadkowa. Zatem można formułować ocenę ogólną na temat czynników i ich wag, prowadzić dalsze analizy i wykorzystać je do budowy modeli wspomagających podejmowanie decyzji dotyczących przyszłych kierunków rozwoju utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie.

4. Wnioski

Na przestrzeni lat, utrzymanie ruchu ewoluowało wraz z procesem produkcyjnym od funkcji reaktywnej, poprzez prewencyjną, szczupłą (Lean Maintenance), zieloną (Green Maintenance), do podejścia współczesnego w ramach, którego uważany jest za proces, który powinien być zarządzany w zrównoważonej perspektywie. Biorąc pod uwagę powyższe przeprowadzono syntezę różnych źródeł literaturowych w obszarze zrównoważonej produkcji oraz utrzymania ruchu i zidentyfikowano dziesięć czynników UR, które zdaniem autorki mają istotny wpływ na rozwój zrównoważonych procesów produkcyjnych. Następnie, na podstawie badań przeprowadzonych w przedsiębiorstwach produkcyjnych określono ich ważność. Identyfikacja czynników i określenie ich ważności jest jednym z istotnych kroków umożliwiających zbudowanie modelu oceny wartości dostarczonej przez utrzymanie ruchu na rzecz zrównoważonej produkcji. Model taki umożliwi zarządzającym świadome kształtowanie systemu UR i optymalizację działań zgodnie z przyjętą w przedsiębiorstwie polityką zrównoważonego rozwoju.

Literatura

1. Ajukumar V.N., Gandhi O.P. Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. *Journal of cleaner production*, 2013, 51, pp 34-46
2. Alqahtani A.Y., Gupta S.M.: Warranty and Preventive Maintenance Analysis for Sustainable Reverse Supply Chains, *Journal of Management Science and Engineering* 2(1), 2017, s. 69-94
3. Aboelmaged M.G.: Predicting e-readiness at firm-level: An analysis of technological, organizational and environmental (TOE) effects on e-maintenance readiness in manufacturing firms. *International Journal of Information Management*, 2014, s. 34-639
4. Cabała P.: Zastosowanie współczynnika konkordancji w pomiarze zgodności ocen ekspertów, *Przegląd statystyczny*, R. LVII – ZESZYT 2-3 – 2010
5. Campos J., Prakash O.: Information and communication technologies in condition monitoring and maintenance, in Dolgui, A., Morel, G and Pereira, C.E. (red.) *Information Control Problems in Manufacturing*. Elsevier. Vol. II, 2006, s. 3-8
6. Campos, J. Development in the application of ICT in condition monitoring and maintenance. *Computers in Industry* 60, 2009, s. 1–20
7. Cheng G.O., Zhau B.H., Li L.: Joint optimisation of production rate and preventive maintenance in machining systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 54 (21), 2016, s. 6378-6394

8. Daily J., Peterson J.: Predictive Maintenance: How Big Data Analysis Can Improve Maintenance. w: Richter K., Walther J. (red.) Supply Chain Integration Challenges in Commercial Aerospace. Springer, Cham, 2017
9. Dombrowski, U., Schulze, S., Weckenborg, S.: Life Cycle Costing as a Tool for effective Spare Parts Management. w: Proceedings of the 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Cairo, Egypt, 2009, s. 478–483
10. Drożyner P., Jasiulewicz-Kaczmarek M.: Maintenance Stakeholders from OEE perspective –case study, Economics & Management Innovations (ICEMI), 1(1), 2017, s. 397–400, <https://www.topicsoneconom-bizmanagment.com/images/ICEMI/ICEMI133.pdf>
11. Emmanouilidis, Ch. Pistofidis, P.: Machinery self- awareness with wireless sensor networks: a means to sustainable operation. Proceedings of the 2nd workshop ‘Maintenance for Sustainable Manufacturing’, 12 May 2010, Verona, Italy, pp. 43-50. (pre-print of the original published by Poliscript) http://www.ipet.gr/~chrisem/Files/CE_M4SM_2010a.pdf
12. Flammer C.: Corporate social responsibility and shareholder reaction: the environmental awareness of investors. Acad Manag J 56(3), 2013, s. 758–781
13. Franciosi C., Lambiase A., Miranda S., Sustainable Maintenance: a Periodic Preventive Maintenance Model with Sustainable Spare Parts Management, IFAC PapersOnLine 50-1, 2017, s. 13692–13697
14. Fathi M., Holland A., Abramovici M., Neubach M.: Advanced Condition Monitoring Services in Product Lifecycle Management, w: 2007 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, 2007, s. 245–250
15. Garetti M, Taisch M.: Sustainable manufacturing: trends and research challenges. Prod Plan Control 23(2-3), 2012, s. 83–104
16. Garg A., Deshmukh S.G.: Designing Balanced Scorecard for Multi Echelon Repair Inventory Systems, Journal of Modelling in Management 7(1), 2012, s. 59–96.
17. Garretson I.C., Mani M., Leong S., Lyons K.W., Haapala K.H.: Terminology to support manufacturing process characterization and assessment for sustainable production, Journal of Cleaner Production 139 2016, s. 986-1000
18. Godichaud M., Tchangani A., Pérès F., Iung B.: Sustainable management of end-of-life systems, Production Planning and Control vol. 23 (2-3), 2012, s. 216-236
19. Iung B., Levrat E.: Advanced maintenance services for promoting sustainability. Procedia CIRP 22, 2014, s. 15-22.
20. Jasiulewicz-Kaczmarek M.: Sustainability: orientation in maintenance management— theoretical background, w: EcoProduction and Logistics 2013, s. 117-134, Springer Berlin Heidelberg.
21. Jasiulewicz-Kaczmarek M., Saniuk A.: Human factor in Sustainable Manufacturing, w: M. Antona, C. Stephanidis (red), Universal Access in Human-Computer Interaction. Access to the Human Environment and Culture, LNCS Vol. 9178 , 2015, s. 444 – 455
22. Jayal A.D., Badurdeen F, Dillon O.W.Jr, Jawahir I.S.: Sustainable manufacturing: Modelling and optimization challenges at the product, process and system levers. CIRP Journal Of Manufacturing Science and Technology 2(3), 2010, s. 144-152
23. Jawahir I.S., Bradley R .: Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing, Procedia CIRP Vol. 40, 2016, s. 103-108
24. Lambert A.J.D., Gupta S.M.: Disassembly modelling for assembly, maintenance, reuse, and recycling. Boca Raton, FL: CRC Press 2005

25. Lee J., Ardakani H.D., Yang S., Bagheri B.: Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation, *Procedia CIRP* 38, 2015, s. 3 – 7
26. Lejon E. Jeppsson P.: Integrating use phase information and virtual product representation to support Functional Products, *Procedia CIRP* 38, 2015, s. 204 – 209
27. Liyanage J. P., Badurdeen F.: Strategies for integrating maintenance for sustainable manufacturing. w: *Engineering Asset Lifecycle Management* , 2010, s. 308-315). Springer London.
28. Lindström J., Larsson H., Jonsson M.: Towards intelligent and sustainable production: combining and integrating online predictive maintenance and continuous quality control, *Procedia CIRP* 63, 2017, s. 443 – 448
29. Liyanage J.P.: Operations and maintenance performance in production and manufacturing assets, *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 18(3), 2007, s. 304-14
30. Patwardhan A., Verma A.K., Kumar U.: A Survey on Predictive Maintenance Through Big Data. w: Kumar U., Ahmadi A., Verma A., Varde P. (red.) *Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety*. LNME Springer, Cham, 2016, s. 437-445
31. Lu B., Zhou X., Li Y.: Joint modeling of preventive maintenance and quality improvement for deteriorating single-machine manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* 91, 2016, s.188–196
32. Nourelfath M., Nahas N., Ben-Daya M.: Integrated preventive maintenance and production decisions for imperfect processes. *Reliability Engineering & System Safety* 148, 2016, s. 21–31
33. Miroux, F.Y.J.: How to get a sustainable maintenance spare parts management (praca magisterska), Eindhoven University of Technology, 2012, <https://pure.tue.nl/ws/files/47035981/732960-1.pdf>
34. Meier H., Roy R., Seliger G.: Industrial Product-Service Systems – IPS², *CIRP Annals Manufacturing Technology* 2008, s.1-24
35. Mwanza B.G., Mbohwa C.: Safety in Maintenance: An Improvement Framework, *Procedia Manufacturing* 8, 2017, s. 657 – 664
36. Roy R., Stark R., Tracht K., Takata S., Mori M., (2016), Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65, s. 667–688
37. Rosen M., Kishawy H., Sustainable Manufacturing and Design: Concepts, Practices and Needs. *Sustainability* 4, 2012, s. 154–174
38. Rusinko C.A.: Green Manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes. *IEEE Trans Eng Manag* 54(3), 2007, s. 445–454
39. Rødseth H., Schjølberg P., Marhaug A.: Deep digital maintenance, *Advances in Manufacturing*_5, 2017, s. 299–310
40. Raouf, A.S.I.: Productivity enhancement using safety and maintenance integration. An overview, *Kybernetes*, Vol. 33(7), 2004, s. 1116-26
41. Savino M., Macchi M., Mazza A.: Investigating the impact of social sustainability within maintenance operations: An action research in heavy industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 21, 2015, s. 310-331

42. Schulze S., Weckenborg S.: Improving Forecasts for a Higher Sustainability in Spare Parts Logistics. In: Seliger G. (red.) Sustainable Manufacturing. Springer, Berlin, Heidelberg 2012, s. 243-247
43. Inteligentne maszyny potrzebują inteligentnej inżynierii Autor: Siemens 2016 <https://www.magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Inteligentne-maszyny-potrzebuja-inteligentnej-inzynierii,7240,1>
44. Takata S., Kimura F., van Houten F.J.A.M., Westkämper E., Shpitalni M., Ceglarek D., Jay Lee J., Maintenance: Changing role in life cycle management. Annals of the CIRP, 53 (2), 2004, s. 643–656
45. Teymourian K., Seneviratne A.M.N.D.B., Galar D., 2016, Ergonomics Contribution in Maintainability, w: D. Galar & D. Seneviratne (red.) Proceedings of MPMM 2016, s. 180-186
46. Veleva V., Ellenbecker M.: Indicators of sustainable production: framework and methodology Journal of Cleaner Production 9, 2001, s. 519–549
47. Wang WY.: Optimum production and inspection modeling with minimal repair and rework considerations. Applied Mathematical Modelling 37, 2013, s. 1618–1626
48. Zhang Y., Ren S., Liu Y., Si S., A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products, Journal of Cleaner Production 142, s. 626 - 641

Dr inż. Małgorzata JASIULEWICZ-KACZMAREK
 Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości
 Politechnika Poznańska
 Poznań, ul. Plac Marii Skłodowskiej – Curie 5
 tel./fax: (0-61) 665 33 74
 e-mail: malgorzata.jasiulewicz-kaczmarek@put.poznan.pl