

Analiza nowoczesności i efektywności pracy wybranego stanowiska produkcyjnego

Analysis of the modernity and work effectiveness of the selected production station

Artur Pietryga¹

¹student, członek koła naukowego „Promotor Jakości”, Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, e-mail: art1978@o2.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest ocena nowoczesności i efektywności wybranego stanowiska roboczego w przedsiębiorstwie zajmującym się nakładaniem laminatu szklano-żywicznego na rury przesyłowe – stanowiska do nakładania laminatu szklano-żywicznego. W artykule wykorzystano metodę ABC technologii oraz wskaźnik Całkowitej Efektywności Wyposażenia Produkcyjnego (OEE) dla realizacji celu badawczego. W celu dokładnej identyfikacji poziomu nowoczesności dokonano analizy trzech głównych podzespołów badanego stanowiska pracy przy użyciu metody ABC technologii. Wykorzystana analiza Pareto-Lorenza pozwoliła na określenie ogólnego poziomu nowoczesności badanego stanowiska. Za pomocą wskaźnika OEE określono poziom efektywności wykorzystania badanego stanowiska pracy. Wykazano, że jeden podzespół stanowiska roboczego w postaci wanny nawojowej jest pozbawiony automatyzacji i jest głównym źródłem problemów całej linii produkcyjnej: odpowiada przede wszystkim za niejednorodność nakładanej powłoki, zwiększenie zużycia surowców oraz powstawanie dużej ilości odpadów produkcyjnych. Ustalono, że wymiana wanny nawojowej na w pełni zautomatyzowaną pozwoli na wyeliminowanie głównych przyczyn problemu, a także pozwoli w dużym stopniu na zwiększenie efektywności wykorzystania badanego stanowiska roboczego.

Abstract: The aim of the article is to assess the modernity and efficiency of a selected workstation in a company dealing with the application of glass-resin laminate on transmission pipes - the workstation for applying glass-resin laminate. In the article, the ABC technology method and the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator for the realization of the research goal is used. In order to identify accurately the level of the machine modernity, the three main subassemblies of the analysed workstation were analysed using the ABC technology method. The Pareto-Lorenz analysis allowed determining the general level of modernity. The OEE indicator was used to determine the effectiveness level of the analysed workstation. It has been shown that one subassembly of the workstation in the form of a winding tank is devoid of automation and is the main source of problems for the entire production line: it is primarily responsible for the non-uniformity of the coating applied, increasing the consumption of raw materials and the generation of a large amount of production waste. It was found that the replacement of the winding tank with a fully automatic one will allow eliminating the main causes of the problem, and will allow increasing the effectiveness of using the tested workstation largely.

Słowa kluczowe: nowoczesność maszyny, efektywność pracy maszyny, metoda ABC technologii, wskaźnik OEE

Key words: machine modernity, machine work effectiveness, ABC technology method, OEE indicator

1. Wstęp

System produkcyjny jest nieodłącznym elementem każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego, za pomocą którego realizuje ono działalność produkcyjną. Celem każdego systemu produkcyjnego jest wysoka jakość, nowoczesność, produktywność, efektywność i skuteczność [10].

Nowoczesność systemu produkcyjnego i jego zasobów technicznych stanowi ważną składową jego rozwoju [12]. Nowoczesność a nowość to nie to samo. Nowoczesność jest wynikiem postępującego rozwoju, rozwoju nauki i techniki, a przedmiot nowy nie zawsze równa się pojęciu nowoczesny [5]. W odniesieniu do systemów technicznych nowoczesność definiuje się jako wyższy stopień spełnienia wymagań, przy uwzględnieniu najnowszych osiągnięć oraz doświadczeń w procesach projektowania, konstruowania, pro-

dukcji i eksploatacji [5]. Nowoczesność jest związana i odpowiednio utożsamiana z pojęciem jakości, albowiem nowoczesna maszyna wiąże się zazwyczaj z wysoką jakością wykonania [5]. Bardzo ważna jest ocena nowoczesności zasobów produkcyjnych, co stanowi punkt wyjścia do podjęcia działań mających na celu poprawę konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku [9].

Efektywność pracy środków produkcji stanowi bardzo ważną składową produktywności systemu produkcyjnego i analizy controllingowej procesu produkcyjnego [6]. Efektywność jest pomiarem, przedstawionym zazwyczaj w postaci procentowej, oczekiwanych wyników do rzeczywistej wielkości produkcji [1]. Jednym z jej kluczowych elementów jest analiza wydajności całego procesu, jak również poszczególnych operacji oraz stanowisk roboczych [6]. Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność analizy wydajności produkcji, jest identyfikacja ograniczeń zasobowych (tzw. wąskich

gardel) oraz uwzględnienie w tej analizie specyfiki organizacji pracy zasobu krytycznego [6].

2. Metodyka badawcza

Celem badań jest analiza i ocena nowoczesności i efektywności pracy stanowiska produkcyjnego laminatu szklano-żywicznego. Podmiotem badań jest przedsiębiorstwo zajmujące się nakładaniem laminatu szklano-żywicznego na rury przesyłowe. Przedmiotem badań jest stanowisko produkcyjne nakładania laminatu szklano-żywicznego.

W celu oceny poziomu nowoczesności badanego stanowiska pracy wykorzystano metodę ABC technologii. Polega ona na ocenie poziomu nowoczesności części maszyn i urządzeń poprzez kategoryzację poszczególnych części podzespołów strategicznych w danej maszynie, bądź urządzeniu [11]. Części dzielone są na 3 kategorie:

- A – podzespoły podstawowe, tj. fundamentalne części maszyny gwarantujące wyrobowi specjalne atrybuty.
- B – podzespoły wspomagające o charakterze ogólnym.
- C – podzespoły poboczne, które nie podlegają działalności innowacyjnej użytkownika, nie mają większego znaczenia przy zakupie nowych maszyn [7].

Ocena poziomów nowoczesności dokonywana jest przy pomocy pięciostopniowej skali Parkera:

- poziom 1 – oznacza proste części; można je wytworzyć za pomocą technik rzemieślniczych, np. fundamenty maszyny,
- poziom 2 – oznacza części, które zostały wytworzone przy pomocy technologii znanych i niezmiennych od wielu lat, np. standardowy system chłodzenia silnika,
- poziom 3 – oznacza części wykonane z zastosowaniem opatentowanej technologii wymagającej posiadania wiedzy technicznej, np. standardowy silnik elektryczny,
- poziom 4 – oznacza części wytworzone z zastosowaniem nowoczesnych technologii rynkowych np. wyświetlanie danych na komputerze pulpitu sterowniczego,
- poziom 5 – oznacza części, które są wynikiem najnowocześniejszych technologii, opatentowane i występujące tylko w tej maszynie [7].

Należy podkreślić, iż zastosowanie powyższej skali daje możliwość uszeregowania nowoczesności pod względem celowości rozwoju oraz inwestowania, a także zadecydowania o konieczności modernizacji maszyn. Nadto, powyższe technologie nie są wzajemnie od siebie odizolowane, a mogą się uzupełniać. Zarazem dzięki zastosowaniu analizy ABC technologii możliwe jest wyłonienie najważniejszych możliwości technologicznych firmy [2].

W celu oceny poziomu efektywności wykorzystania badanego stanowiska pracy wykorzystano wskaźnik OEE. OEE oznacza wskaźnik Całkowitej Efektywności Wyposażenia, który służy do oceny stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń linii produkcyjnej. Wskaźnik OEE wyrażony jest w procentach i maksymalną wartością, jaką mógłby teoretycznie osiągnąć jest wartość 100 [4]. Jeśli firma używa tego wskaźnika, to jest w stanie monitorować wydajność wyposażenia i skutecznie realizować zamówienia swoich klientów. Współczynnik OEE polega na porównaniu aktualnego stanu wyposażenia z sytuacją idealną, która stanowi punkt odniesienia, ale jej występowanie pozostaje w strefie marzeń [4].

Wskaźnik OEE składa się z trzech części składowych, czyli umownie wskaźników cząstkowych, spośród których każdy może pełnić samodzielną rolę wskaźnika dla organizacji:

1. Dostępność (dyspozycyjność wyposażenia), określa wartość procentową albo ułamkową w jakiej urządzenie jest dostępne do realizowania planowej produkcji. Licząc czas dyspozycyjności od całkowitego czasu dostępnego tzw. GOT (ang. *Global Open Time*) należy odjąć tylko przerwy standardowe, tj.

uznanie w organizacji za standard jak np. przerwa śniadaniowa pracowników produkcyjnych. Do kategorii przerw niestandardowych – przestojów zalicza się zatrzymania jakościowe, awarie oraz braki komponentów.

2. Wydajność (skuteczność osiągnięć), określa zdolność utrzymania przez wyposażenie standardowego tempa pracy. Ważnym aspektem tutaj jest prawidłowe zdefiniowanie czasów cykli dla wyrobów, jego brak powoduje, że w rezultacie obliczeń otrzymamy wartości dalekie od prawdy i fałszujące w efekcie cały wskaźnik OEE.
3. Jakość (poziom wad) to prosty wskaźnik określający ilość sztuk właściwych w stosunku do całej populacji wyprodukowanej [8].

Wzór na wskaźnik OEE to: $OEE = \text{Dostępność} \times \text{Wydajność} \times \text{Jakość} [\%]$ [3].

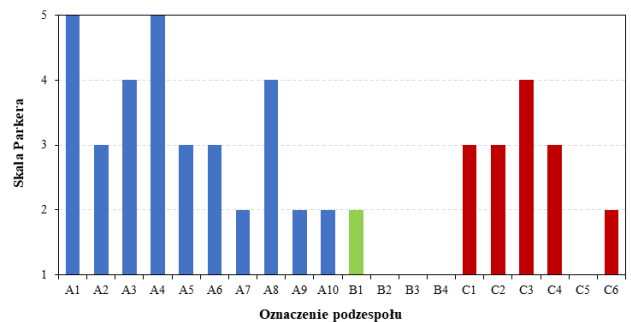
3. Wyniki badań

W badanej firmie dokonano oceny nowoczesności stanowiska roboczego do nakładania laminatu szklano-żywicznego. Stanowisko robocze składa się z trzech niezależnych, ale ściśle współpracujących ze sobą podzespołów:

- pompy do żywicy,
- wanny nawojowej,
- obrotnika do rur.

Z tego też względu ocenie nowoczesności zostały poddane osobno wszystkie trzy podzespoły.

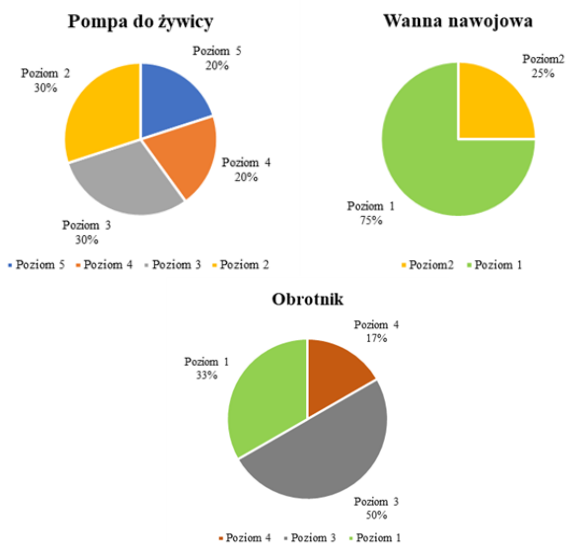
Wynik oceny nowoczesności badanego stanowiska roboczego nakładania laminatu szklano-żywicznego z wykorzystaniem 5-stopniowej skali Parkera przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ocena nowoczesności części podzespołów stanowiska roboczego nakładania laminatu szklano-żywicznego za pomocą skali Parkera

Po przeprowadzeniu analizy podzespołów badanego stanowiska roboczego z wykorzystaniem metody ABC i 5 stopniowej skali Parkera można stwierdzić, że na 20 podzespołów stanowiska tylko dwa z nich przypisane są piątemu poziomowi nowoczesności według skali Parkera. Najwięcej części maszyn znajdują się na poziomie trzecim – 6.

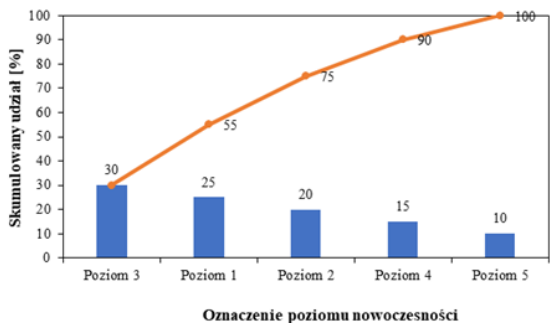
Oporając się na analizie nowoczesności stanowiska roboczego dokonano analizy wyników w ramach poszczególnych kategorii nowoczesności ABC. Strukturę procentową oceny nowoczesności podzespołów badanego stanowiska roboczego według skali Parkera przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Struktura procentowa nowoczesności stanowiska roboczego nakładania laminatu

Interpretując każdy główny podzespół maszyny z osobna zauważyć można, że w grupie podzespołu o nazwie „pompa do żywicy”, 30% części tego podzespołu otrzymało ocenę 2. i 3. ze skali Parkera, z kolei 20% otrzymało ocenę 4. i 5. Rozpatrując podzespół typu „wanna nawojowa”, poziom 2. wg skali Parkera uzyskało 25% części tego podzespołu, z kolei poziom 1. - 75% części. W grupie podzespołu typu „obrotnik”, 50% części tego podzespołu oceniono na poziomie 3. wg skali Parkera, 33% na poziomie 1. oraz 17% na poziomie 4.

Wykorzystano diagram Pareto-Lorenza (rys. 3) w celu graficznej prezentacji wyników oceny nowoczesności wg skali Parkera wszystkich podzespołów analizowanego stanowiska roboczego.



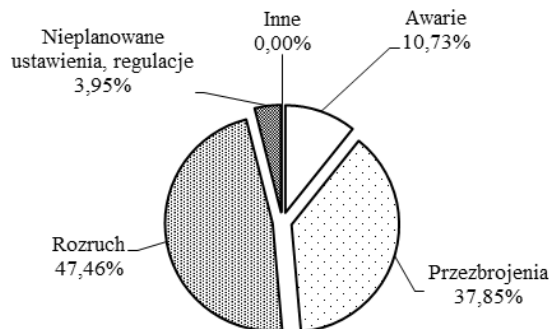
Rys. 3. Diagram Pareto-Lorenza dla uogólnionej oceny poziomu nowoczesności stanowiska roboczego nakładania laminatu

Wykazano, że poziom nowoczesności badanego stanowiska roboczego decyduje o jakości gotowych wyrobów. Przedstawiona analiza Pareto-Lorenza wykazała, że stanowisko robocze oceniono głównie na trzecim poziomie nowoczesności. Z przedstawionej analizy ABC można łatwo zauważyć, że najsłabszym podzespołem maszyny pozbawionym automatyzacji jest wanna nawojowa, której częścią są głównie na pierwszym poziomie nowoczesności. Przedsiębiorstwo powinno przemyśleć wprowadzenie automatyzacji w tym obszarze produkcji. Wprowadzenie nowocześniejszych rozwiązań, które będą bardziej zaawansowane technologicznie pozwoli na polepszenie jakości produkowanych wyrobów, zwiększenie wydajność

produkcji oraz umożliwi zmniejszenie liczby występujących niezgodności. Odpowiednio dobrane i właściwie utrzymane podzespoły maszyny, przyczynią się bowiem do poprawy jakości wytwarzanych produktów.

Przeprowadzono także ocenę warunków eksploatacji badanego stanowiska roboczego do nakładania laminatu szklano-żywicznego za pomocą wskaźnika OEE. Do analizy efektywności pracy wybrano najbardziej intensywny miesiąc produkcji roku 2021 – czerwiec. Firma pracuje w systemie jednozmianowym, po 8 godzin na dobę (40 godzin w tygodniu).

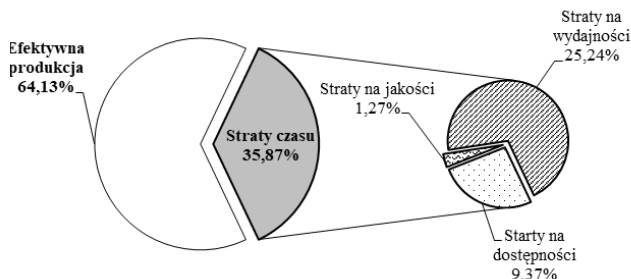
Strukturę strat dostępności badanego stanowiska roboczego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Struktura procentowa strat dostępności maszyny

Z rys. 4 wynika, że prawie połowa strat dostępności stanowiska produkcyjnego związana jest z rozruchem. Spowodowanie jest to szeregiem działań i czynności, takimi jak: uruchomienie kompresora, zamontowaniu rury na obrotniku, włączenie i ustawienie pompy oraz przygotowanie materiałów do produkcji (rozpakowanie maty szklanej, napełnienie zbiorników żywicą), które należy wykonać każdego dnia przed rozpoczęciem produkcji. W przypadku tego typu strat eliminacja jest praktycznie niemożliwa, gdyż firma pracuje w systemie jednozmianowym i na koniec zmiany wszystkie maszyny i urządzenia są wyłączane. Najlepszym sposobem na zminimalizowanie czasu związanego z rozruchem jest dobra organizacja pracowników produkcji, przydzielenie poszczególnym pracownikom konkretnych zadań związanych z uruchomieniem linii produkcyjnej, co redukuje czas uruchomienia do minimum.

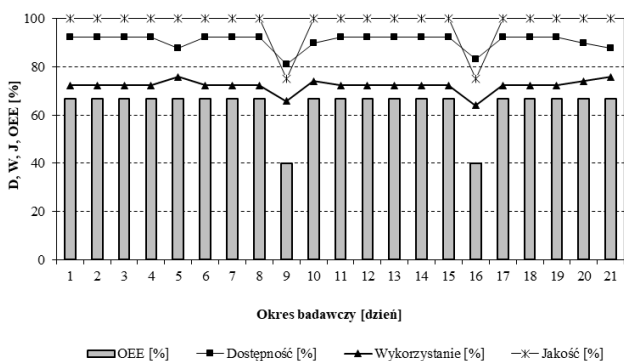
Strukturę strat czasu stanowiska na tle efektywnej produkcji przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Struktura strat czasu na tle efektywności produkcji

Straty czasu stanowią 35,87% czasu efektywnej produkcji, z czego najwięcej strat związanych jest ze stratami na wydajności (25,24%), kolejno stratami na dostępności - 9,37% oraz stratami na jakości, które wyniosły 1,27%.

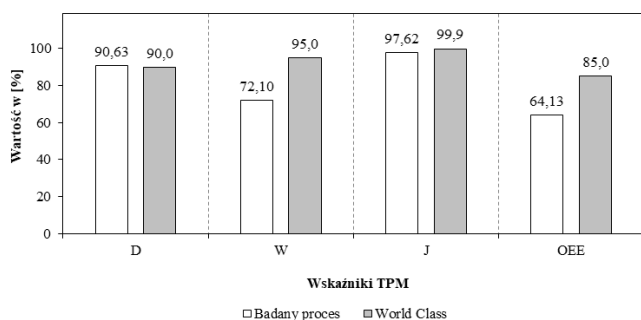
Rozkład wskaźników TPM dla badanego stanowiska w przyjętym okresie badawczym oraz wynikową wartość wskaźnika OEE przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Rozkład wartości wskaźników TPM w analizowanym okresie badawczym oraz wynikowa wartość wskaźnika OEE

Z analizy rys. 6 wynika, że największy wpływ na niski wskaźnik OEE w dniu 9 i 16 miały straty związane z wykorzystaniem. Natomiast najmniejszy wpływ na końcowy wynik wskaźnika OEE miały straty związane z jakością.

Dla badanego stanowiska produkcyjnego w całym okresie badawczym dokonano podsumowania poszczególnych wartości wskaźników TPM. Otrzymane wyniki zostały porównane z wskaźnikami TPM dla światowego poziomu. Porównanie przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Porównanie wartości wskaźników TPM dla badanego procesu z wartościami poziomu światowego (World Class OEE)

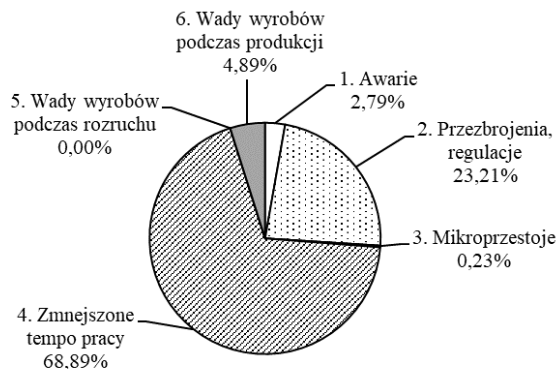
Przedstawione wyniki wartości wskaźników TPM pokazują, że wskaźnik dostępności na poziomie 90,63% oznacza, że proces produkcji laminatu szklano-żywicznego przebiegał bez większych nieplanowanych przestojów. Biorąc pod uwagę wskaźnik wykorzystania, który kształtuje się na poziomie 72,1% można zauważyć, że linia produkcyjna wykorzystywana jest w 72,1%. Wskaźnik jakości wynosi 97,62%, co oznacza, że jakość produkowanych wyrobów jest na wysokim poziomie.

Porównując wskaźniki TPM stanowiska produkcyjnego nakładania laminatu szklano-żywicznego ze wskaźnikami dla światowego poziomu, można stwierdzić, że w przypadku wskaźnika dostępności na poziomie 90,63% przekroczona została standardowa wartość (+0,63%). W przypadku wskaźnika jakości osiągnięta wartość jest nieznacznie poniżej światowego poziomu (-2,28%). Najgorzej kształtuje się wskaźnik wydajności, który jest na poziomie 72,1% i jest niższy od światowego standardu o 22,9%. Uzyskany wynik wskaźnika OEE na poziomie 64,13% w porównaniu do wyniku światowego jest niższy o 20,87%.

Bardzo istotną rolę w ocenie efektywności pracy maszyn czy linii technologicznych odgrywa analiza sześciu głównych strat, do których zalicza się takie straty, jak:

- awarie,
- przebrojenia i regulacje,
- mikroprzestoje,
- zmniejszone tempo pracy,
- wady wyrobów podczas rozruchu,
- wady wyrobów podczas produkcji.

Na wykresie kołowym (rys. 8) przedstawiono procentowy udział sześciu głównych strat czasu wg OEE dla badanego stanowiska roboczego.



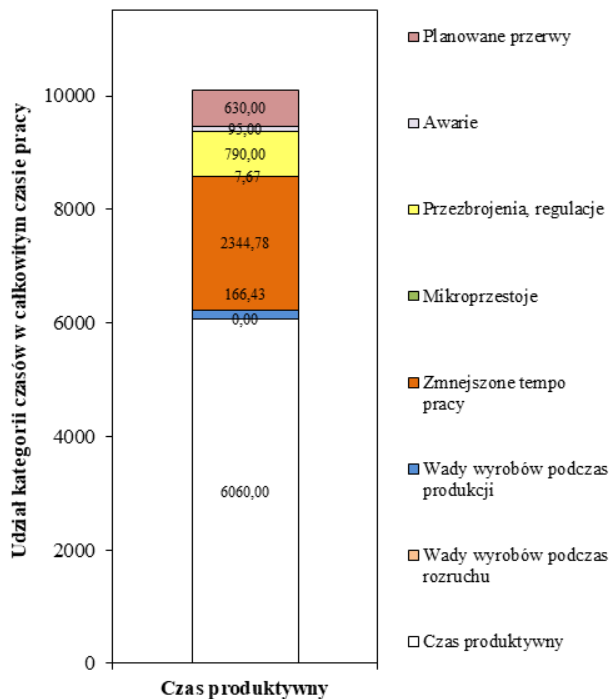
Rys. 8. Udział procentowy sześciu głównych strat czasu według OEE badanego stanowiska roboczego

W tabeli 1 przedstawiono wyniki kalkulacji 6 głównych strat czasu dla badanego stanowiska produkcyjnego.

Tabela 1. Wynik kalkulacji 6 głównych strat czasu dla badanego stanowiska produkcyjnego

Kategorie 6 głównych strat czasu	Czas w min
1. Awarie	2,79
2. Przebrojenia, regulacje	23,21
3. Mikroprzestoje	0,23
4. Zmniejszone tempo pracy	68,89
5. Wady wyrobów podczas rozruchu	0,00
6. Wady wyrobów podczas produkcji	4,89
Model produktywności	Czas w min
Czas produktywny	6060,00
Wady wyrobów podczas rozruchu	0,00
Wady wyrobów podczas produkcji	166,43
Zmniejszone tempo pracy	2344,78
Mikroprzestoje	7,67
Przebrojenia, regulacje	790,00
Awarie	95,00
Planowane przerwy	630,00
Suma = Czas Zamówiony	10093,89

Model sześciu głównych strat czasu dla badanego stanowiska produkcyjnego – wynik analizy podsumowującej strat czasu na tle czasu produktywnego, przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Model 6 głównych strat czasu badanego stanowiska produkcyjnego

Z przedstawionego rys. 9 wynika, że największe straty czasowe na badanym stanowisku produkcyjnym powoduje zmniejszone tempo pracy. Podsumowując otrzymane wyniki sześciu strat głównych największym problemem przedsiębiorstwa jest zmniejszone tempo pracy badanego stanowiska roboczego, które stanowi aż 68,89% wszystkich strat. Wynika to przede wszystkim z obecnego rozwiązania technologicznego, które wymaga dużego nakładu pracy ręcznej operatorów sterujących procesem produkcyjnym. Kolejną dużą stratą są przebrojenia, które wynoszą 23,21%, a związane są głównie z niejednorodną długością rur dostarczanych na produkcję, w konsekwencji czego dane stanowisko produkcyjne należy przystosować do każdej długości rury. Straty czasowe w postaci awarii, mikroprzestoju, czy wad wyrobów podczas produkcji nie stanowią dużych strat czasowych i tym samym dużego problemu dla firmy.

4. Podsumowanie i wnioski

Celem badań była analiza nowoczesności i efektywności pracy stanowiska produkcyjnego dla produkcji laminatu szklano-żywicznego. Do przeprowadzenia analizy i oceny nowoczesności i efektywności badanego stanowiska wykorzystano takie metody, jak: metoda ABC technologii i współczynnik OEE. Przeprowadzone badania oraz analizy pozwoliły na zrealizowanie celu badań.

Z dokonanych analiz i ocen stanowiska roboczego dla produkcji laminatu szklano-żywicznego wynika, że podzespoły stanowiska roboczego w postaci pompy do żywicy oraz obrotnika całkowicie spełniają swoje zadanie i nie ma potrzeby ingerować w ich unowocześnianie. Natomiast w odniesieniu do podzespołu wanny nawojowej niewątpliwie wymagane jest wprowadzenie unowocześnienia. Efektywność pracy stanowiska do nakładania powłoki laminatu ściśle związana jest z jego automatyzacją. Aktualnie proces realizowany jest głównie w oparciu o sterowanie ręczne, co utrudnia jego nadzór i wpływa na brak powtarzalności produktu. W celu automatyzacji tego obszaru produkcji wymagane jest zastosowanie w pełni

zautomatyzowanej wanny nawojowej, tak, aby rola operatora sprowadzała się tylko do wprowadzania danych oraz kontroli przebiegu procesu produkcyjnego. Dodatkowo wana nawojowa musiałaby być tak zaprojektowana, aby można było zamontować dwie rolki maty szklanej, co znacznie skróciłoby przestoje obrotnika podczas zmiany rolek. Wprowadzenie takich zmian na tym stanowisku pracy z pewnością będzie czasochłonne i kosztochłonne. Wprowadzenie takich zmian spowoduje z pewnością początkowy opór pracowników, który należy przezwyciężyć.

Literatura

- [1] Antosz K., Pacyna A., *Wskaźnikowa ocena efektywności funkcjonowania maszyn na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa – studium przypadku*, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, 2016
- [2] Borkowski S., Selejda J., Salamon S.: *Efektywność eksploatacji maszyn i urządzeń*. Wyd. Wydział Zarządzania Politechniki Częstochowskiej Częstochowa 2006
- [3] Borkowski S., Ulewicz R., *Instrumenty doskonalenia procesów produkcyjnych*, PTM, Warszawa 2009.
- [4] Brzeziński A., *OEE sposób na zwiększenie efektywności produkcji*, Wydawnictwo Wiedza i Praktyka, Warszawa 2013.
- [5] Francik S. *Metoda oceny nowoczesności techniczno-konstrukcyjnej ciągników rolniczych wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe cz. I: założenia metody*, Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Inżynieria Rolnicza 9(118)/2009.
- [6] Koliński A., *Przegląd metod i technik oceny efektywności procesu produkcyjnego*, Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu, Poznań 2011.
- [7] Konstanciak M.: *Analysis of technological strategies on the example of the production of the tramway wheels*. Archives of Materials Science and Engineering, vol. 57, 2012, no. 2, pp. 69-74
- [8] Kubik S., *OEE dla operatorów: całkowita efektywność wyposażenia*, Wyd. ProdPublishing, Wrocław 2015
- [9] Marciniak M., *Elementy automatyzacji we współczesnych procesach wytwarzania*, Wyd. OWPW, Warszawa 2007.
- [10] Pawlak N., *Metodyka projektowania szczupłych jednostek produkcyjnych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Poznań 2017,
- [11] Ulewicz R., (red.), *Narzędzia jakości w praktyce. Poradnik dla biznesu*, Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakości i Produkcji, Częstochowa 2018.
- [12] Zawadzka L., *Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.