



ANALIZA CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW W ZAKŁADACH PRODUKCYJNYCH O NISKIM STOPNIU AUTOMATYZACJI – STUDIUM PRZYPADKU

Sławomir Kłos, Tomasz Nalewa

Institute of Mechanical Engineering, University of Zielona Góra, Zielona Góra, Poland

Corresponding author:

Sławomir Kłos

University of Zielona Góra

Faculty of Mechanical Engineering

prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, Poland

phone: (+48) 601 767 692

e-mail: S.Klos@iizp.uz.zgora.pl

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF PROCESSES IN LOW-AUTOMATION PRODUCTION PLANTS – CASE STUDY OF A POLISH AUTOMOTIVE COMPANY

ABSTRACT

Automotive companies require continuous development and demonstration of huge adaptability to market requirements. The level of competition in this sector has created the need to increase productivity, productivity and quality to meet customer requirements. Despite the opportunities offered by automation of production and logistics systems, many companies, especially the automotive industry, still rely on man-made work because of its flexibility and cognitive and motor skills, which machines are unable to perform. It should be pointed out that the multivariability and specificity of production technologies and the time of technological changeovers make a low level of automation or lack thereof the only right alternative. At work, an attempt was made to carry out an analysis of factors affecting the efficiency of low-automation production processes on the example of a polish manufacturing company from the automotive industry.

KEYWORDS

Automotive, efficiency, low degree of automation, manual assembly, productivity.

1. Wprowadzenie

Ręczny montaż zgodnie z koncepcją Industry 4.0. jest coraz częściej zastępowany przez roboty i specyfikę produktów, szczególnie na liniach montażowych. Branża wiązek elektrycznych to określony obszar produkcji, w którym powszechnie do dnia dzisiejszego, wykorzystuje się montaż ręczny. Wyróżnia się produkcję wiązek: ręczną, półautomatyczną oraz w pełni automatyczną [14]. Rodzaj produkcji w dużym stopniu uzależniony jest od jej wielkości.

Należy wskazać, że proces produkcyjny wiązek elektrycznych jest wysoce pracochłonny, a także podatny na błędy [9]. Dlatego też zdecydowaną zaletą ręcznej pracy na liniach montażowych jest możliwość skorzystania z ludzkiego rozumowania i zapewnienie elastyczności w dostosowywaniu się do wahań wielkości produkcji, asortymentu produktów i skróconych cykli życia produktów [5]. Jest to szczególnie ważny aspekt dla branży motoryzacyjnej, gdyż rosnąca złożoność konstrukcji nowoczesnych pojazdów spowodowana jest przez stosowanie coraz większej liczby części elektrycznych [7]. Czynniki te sprawiają, że nie można zautomatyzować procesu wytwarzania wiązek elektrycznych w sposób efektywny i niskoinwestycyjny. Optymalizacja wytwarzania wiązek elektrycznych w branży mo-

toryzacyjnej ma szczególne znaczenia dla producentów i klientów. Wynika to przede wszystkim z rosnącej elektryfikacji części samochodowych oraz znaczenia wiązek przewodów, które już teraz są najdroższymi pojedynczymi elementami elektrycznymi w pojazdach [6].

Zakłady produkcyjne charakteryzujące się przeważającym udziałem prac manualnych w procesach produkcji działają pod dużą presją czasu, wymagań jakościowych i koniecznością wzrostu wydajności przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów wytwarzania. Dodatkowo zakłócenia stochastyczne oraz cykliczne zapotrzebowanie skutkuje nierównoważonym wykorzystaniem zdolności produkcyjnych. Planowanie pracy i kontrola produkcji stały się ważniejsze niż kiedykolwiek dla sukcesu firm, a skuteczne i wydajne planowanie produkcji stanowi główny element budowania przewagi konkurencyjnej. W tym celu poszukuje się rozwiązań, które pozwolą na optymalizację procesów produkcyjnych poprzez wzrost ich efektywności.

Celem analizy było określenie oraz wskazanie zależności występujących pomiędzy czynnikami wpływającymi na efektywność procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie produkcyjnym z branży automotive o niskim poziomie automatyzacji. Badania przeprowadzono w przedsiębiorstwie produkującym wiązki elektrycz-

ne dla branży automotive, gdzie procesy oparte były w większości na montażu ręcznym.

2. Niski poziom automatyzacji w zakładach produkcyjnych

Inżynierowie produkcji stale dążą do zwiększenia wydajności poprzez wykorzystanie różnej techniki montażu i podejścia procesowego. Nowoczesne procesy produkcyjne realizowane są z wykorzystaniem skomplikowanych automatów, jednak wybrane procesy montażowe oraz produkcyjne wymagające ciągłych zmian w większości produkcji są wykonywane ręcznie przez pracowników z minimalnym poziomem automatyzacji.

Analizując zarządzanie przedsiębiorstwami wytwarzającymi asortyment produktów o niestandardowym wytwarzaniu i wariantowości należy wspomnieć o kilku ważnych kwestiach.

Rynek wymaga dużej dywersyfikacji produktów od producentów, krótkich terminów dostaw i niskich cen wytworzenia. To wyraźny popyt na procesy o niskich kosztach (wysokiej produktywności), efektywnym przepływie informacji i zwiększonej innowacyjności w podejściu do sposobu produkcji.

Typowe zadania planowania w montażu niestandardowym to harmonogramowanie produktów i pracowników, określanie najbardziej zaadaptowanych linii i stanowisk montażowych.

Charakterystyka montażu może obejmować dużą różnorodność produktów (warianty produktu) i inny czas pracy (czas montażu, ilość montażu, operacje i różny czas ich trwania). Produkty o dłuższym czasie montażu na linii produkcyjnej spowalniają poprzednią operację montażu.

Trudny proces montażu spowodowany indywidualnym podejściem do małych lub pojedynczych serii produkcyjnych może prowadzić do obniżenia wydajności pracy.

Na cenę produktu największy wpływ ma aktualne zapotrzebowanie rynku na produkt oraz znajdująca się na nim konkurencja i producenci.

Zakłady produkcyjne powinny projektować swoje procesy tak, aby opierały się konkurencji i miały wpływ na tempo produkcji [16]. W ten sposób są w stanie w szybkim tempie zareagować na konieczność wdrożenia zmian w harmonogramie produkcji, tym samym sprostać wymaganiom klienta.

Mimo postępującej automatyzacji i informatyzacji procesów wytwarzania udział człowieka w procesie montażu jest wciąż znaczący. W niektórych procesach udział ten jest nawet dominujący. Popyt na produkcję spersonalizowaną pod indywidualne zamówienie przekłada się na większą różnorodność produktów. Wielowariantowość i specyfika technologii produkcji oraz czas przebrojeń technologicznych sprawia, że niski poziom automatyzacji lub jej brak staje się jedyną słuszną alternatywą [4, 14]. Pracownik dostosowuje się do niewielkich zmian w zadaniach montażowych jednocześnie kontrolując proces montażu [2].

Rosnąca złożoność procesów wciąż stanowi duże wyzwanie dla branży produkcyjnej. Przejawia się to w produktach, procesach produkcyjnych oraz strukturze przedsiębiorstwa. Niemi i in. [10] wskazują, że pracownicy odpowiedzialni za montaż mają kluczowy wpływ na wydajności w zakładzie oraz stanowią główne źródło generowania kosztów pracy. Problematycznym tematem w zakładach produkcyjnych opartych przede wszystkim na pracach montażowych ręcznych pozostaje zapotrzebowanie na pracowników. Występują duże wahania zapotrzebowania kadrowego, które uzależnione są od liczby, częstotliwości i wielkości otrzymywanych zleceń produkcyjnych. Niestabilny harmonogram zleceń sprawia, że dla niektórych produktów może być niższy lub wyższy od poziomu wynikającego z postawionych założeń czasów zadanych. Duże znaczenie w kontekście obsady pracowniczej w zakładzie o niskim poziomie automatyzacji i pracy manualnej ma także wydajność pracowników oraz ich zdolność adaptacji do procesów. Zróżnicowanie wydajności produkcji występuje przy rosnącej trudności zadań. Rotacja pracowników na linii montażowej jest widocznym źródłem jej zmienności i może prowadzić do powstania strat produkcyjnych.

3. Badanie zależności czynników wpływających na efektywność procesów produkcyjnych w analizowanym przedsiębiorstwie

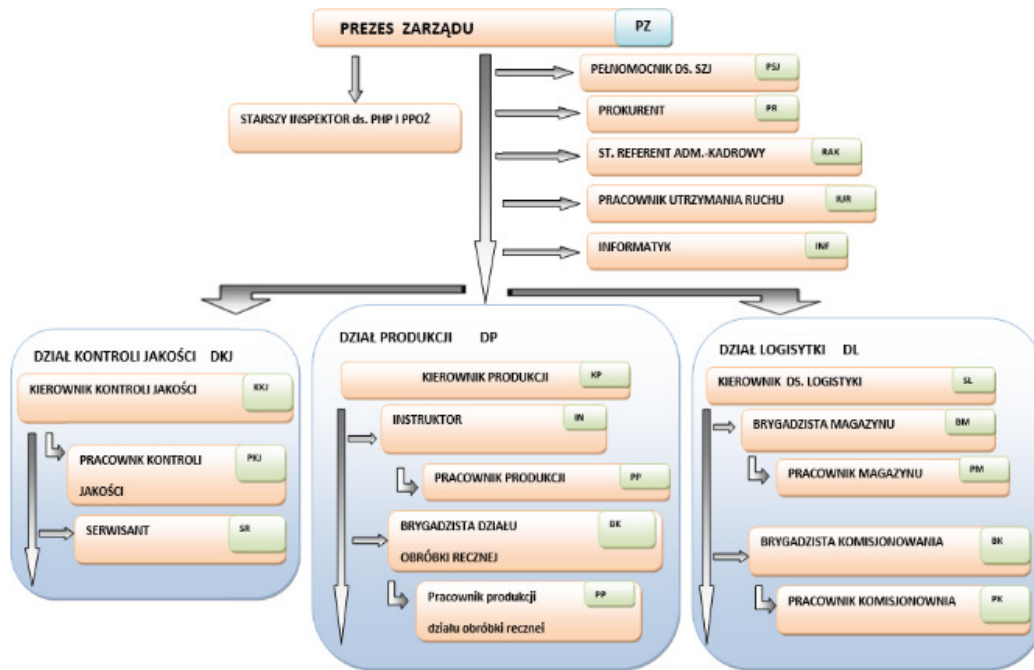
Przeprowadzone badania opierały się na autentycznych danych produkcyjnych z okresu 8 lat, a także na złożonych sytuacjach produkcyjnych i planistycznych związanych nową produkcją. Autorzy zaproponowali rozwiązanie w postaci modelu matematycznego, które pozwala na prognozowanie i symulację scenariuszy na podstawie zgromadzonych danych z 8 lat funkcjonowania zakładu.

Badany zakład od 2009 zaczął wprowadzać działania wskazane w normie ISO 9001, aby docelowo otrzymać certyfikację specyfikacji dla branży motoryzacyjnej IATF 16949.

3.1. Charakterystyka badanego zakładu produkcyjnego

Badania zostały przeprowadzone w latach 2008–2015 w zakładzie produkującym wiązki elektryczne dla branży automotive. Zakład zatrudniał średnio 400 osób, z czego 95% personelu stanowiły kobiety. Schemat organizacyjny badanego przedsiębiorstwa przedstawiono na rysunku 1.

Badany zakład opierał zatrudnienie nowych pracowników na zasadzie praktycznej nauki nowo zatrudnionych, nie zaś na posiadanych przez nich kwalifikacjach czy doświadczeniu. Zakładano, że dzięki licznym szkoleniom oraz nabywaniu praktyki u boku innych pracowników, nowo zatrudniony pracownik jest w stanie nabyć niezbędne umiejętności i wiedzę. Dodatkowo stanowisko pracy wyposażone było w listę czynności, która wskazywała wytwarzanie wiązek krok po kroku.

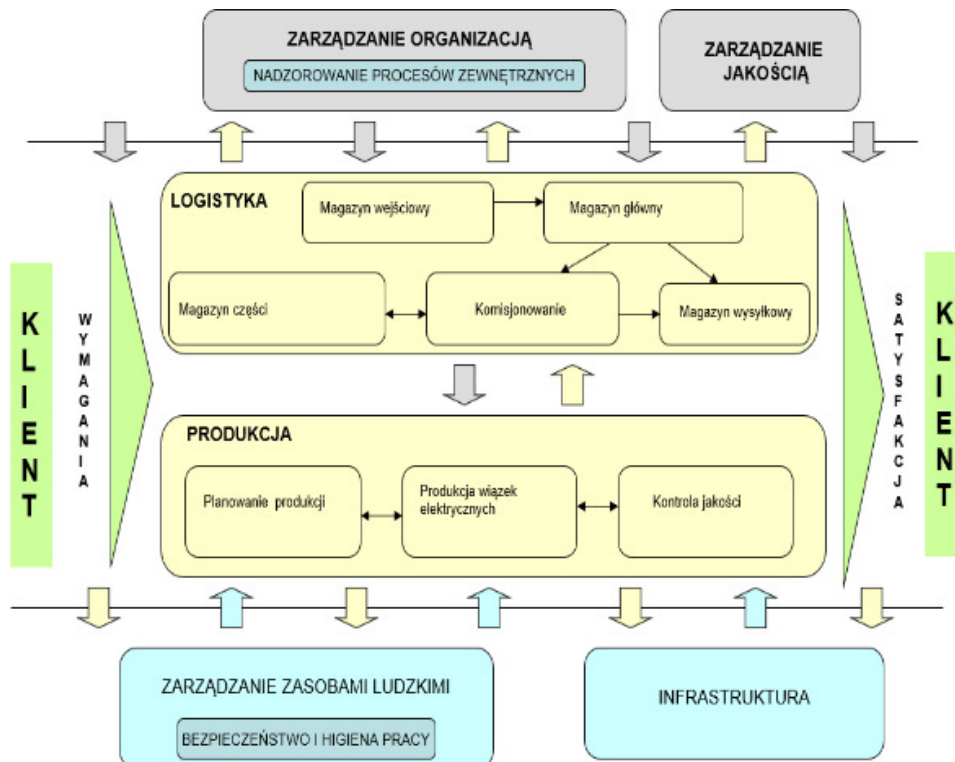


Rys. 1. Schemat organizacyjny badanego przedsiębiorstwa [opracowanie własne].

Całość stanowisk w badanym zakładzie stanowiły stanowiska montażowe oparte na ręcznym wytwarzaniu wiązek, wspomagane jedynie narzędziami pomocniczymi wspomagającymi proces. Na hali produkcyjnej przeważały stanowiska uniwersalne, charakterystyczne dla produkcji małoseryjnych. Produkcje małoseryjne są szczególnie narażone na powstawanie błędów wynikających z pracy ludzkiej, dlatego też przedsiębiorstwo w dużym stopniu przywiązywało wagę do jakości swo-

ich produktów. W związku z tym jak i również dostosowując się do wymogów klienta firma w 2009 roku uzyskała oficjalnie certyfikat zarządzania jakością zgodnie z normą ISO 9001 oraz ISO/TS 16949:2009. Wdrożenie i zastosowanie normy w zdecydowany sposób wpłynęło na poprawę wyników produkcji.

Schemat przebiegu procesów produkcyjnych w badanym zakładzie produkcyjnym obrazuje mapa procesów (rysunek 2).



Rys. 2. Mapa procesów zachodzących w badanym przedsiębiorstwie [opracowanie własne].

Należy podkreślić, że procesy wytwórcze w badanym przedsiębiorstwie charakteryzowały się dużym nakładem pracy ludzkiej, szczególnie w takich obszarach, jak montaż.

Planowanie produkcji w badanym zakładzie opierało się na przekazywanej przez klienta dokumentacji zlecenia zawierającej tygodniowy plan produkcji oraz listę codziennych priorytetów produkcyjnych. Na podstawie otrzymanej dokumentacji dotyczącej planów produkcyjnych instruktor produkcyjny przyporządkowywał pracowników do określonych zadań i stanowisk pracy. Każdy pracownik na linii otrzymywał karty kontrolne, które zawierały między innymi informację o realizowanym zleceniu oraz o wymaganej liczbie sztuk do wykonania w czasie trwania ośmiogodzinnej zmiany roboczej. Instruktor produkcyjny skanował kod kreskowy w dwugodzinnych odstępach, co pozwalało na stałą kontrolę realizacji planów produkcyjnych (liczby wykonanych elementów) oraz stanów magazynowych komponentów do produkcji.

Karty kontrolne w zakładzie zawierały dane dotyczące:

- numeru modułu wiązki (numer używany przy produkcji wiązek będących podzespołem wiązki końcowej dedykowanej dla danego auta) która ze względu na tajemnicę została usunięta.
- liczby sztuk zleconych oraz wykonanych,
- numeru zlecenia,
- kodu kreskowego modułu wiązki,
- liczby godzin produkcyjnych niezbędnych do wykonania modułów wiązek,
- czasu zadany na wykonanie jednej sztuki,
- ilość sztuk do wykonania na godzinę,
- liczby sztuk do wykonania w czasie ośmiogodzinnej zmiany,
- datę.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową kartę kontrolną stosowaną w badanym zakładzie.

Wielkość zlecenia: 187 ilość odmeldowana: 0

Zlecenie: 4167407

Do wykon.: 135

G-2 [kreskowy] ilość 30 ✓

G-4 [kreskowy] ilość 50 ✓

G-6 [kreskowy] ilość 20 ✓

G-8 [kreskowy] ilość 41 ✓

Qgas: 37.84800000
Sztuk na godzinę: 2
Sztuk na zmianę: 12

11-17 2012-05-02
2012-05-23

Rys. 3. Przykładowa karta kontrolna [opracowanie własne].

Zastosowanie odmeldowań za pomocą karty kontrolnej umożliwiło gromadzenie postępów produkcyjnych

w bazie danych. Takie rozwiązanie pozwalało na stałe monitorowanie i kontrolę realizacji założonych planów produkcyjnych. Dane pozwalały na automatyczne wyliczanie przez system wydajności pracowników, poszczególnych zmian roboczych w bieżącym dniu roboczym oraz w skali tygodnia i miesiąca.

Za operację technologiczną w procesie produkcyjnym uznawano montaż, czyli trwałe połączenie ze sobą poszczególnych elementów wiązek. W skład operacji technologicznych w danym zakładzie wchodziły następujące etapy:

- wybór przewodów,
- zakucie przewodów w kostce elektrycznej,
- izolacja wstępna,
- izolacja elementów pomocniczych i izolacja końcowa.

W przypadku stanowisk zespołowych wytwarzana wiązka przesuwała się pomiędzy stanowiskami na tak zwanej desce montażowej. Były to stanowiska skupione w tak zwanych gniazdach produkcyjnych z obsadą od 4 do 16 osób. Każdy z pracowników wykonywał przypisaną mu zadania montażowe, a także kontrolne.

Ostatni etap produkcji obejmował weryfikację elementów na stole kontrolnym. W przypadku wykrycia niezgodności ze specyfikacją wyrób nie był dopuszczony do dystrybucji. Gdy było to możliwe błąd zostawał naprawiany na bieżąco w trakcie trwania operacji kontrolnej, w przeciwnym wypadku wiązka zostawała zatrzymana w zakładzie w celu usunięcia błędu. Niezgodności wytwarzanych elementów mierzono za pomocą wewnętrznego wskaźnika PPM w przypadku, gdy kontrola zachodziła bezpośrednio w zakładzie produkcyjnym i/bądź PPM zewnętrznym, gdy wyrób sprawdzany był u klienta.

3.2. Klasyfikacja czynników wpływających na efektywność procesów produkcyjnych w analizowanym przedsiębiorstwie

Jako podstawę rozumienia pojęcia efektywności przyjęto definicję Samuelsona i Norddhausa, którzy zdefiniowali efektywność, jako najbardziej skuteczne zastosowanie posiadanych przez społeczeństwo zasobów w procesie zaspokajania braków oraz potrzeb ludzkich [8], wskazując, że efektywność to zdolność do realizacji strategii firmy i osiągnięcia określonych celów poprzez:

- pozytywne wyniki, skuteczność, sprawność, umiejętność,
- klucz do wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstwa,
- podstawowy element rozwoju człowieka i organizacji,
- szybkość reakcji na wyzwania i oczekiwania rynku,
- zdolność do realizacji strategii i osiągnięcia założonych celów,
- narzędzie pomiaru skuteczności organizacji,
- wydajność, funkcjonalność,
- proces rozwoju, interakcyjny, obejmujący zjawiska wewnątrz i na zewnątrz organizacji.

Tabela 1
Struktura analizowanych wskaźników [opracowanie własne].

Nazwa	Opis miernika	Jednostka
Produktywność	$(T_{zn}+T_n)/(T_{wn})100\%$	[%]
Wydażność	$(T_{zn})/(T_{wn})100\%$	[%]
PPM wewnętrzne	Liczba niezgodnych wyrobów wykrytych w firmie produkcyjnej w przeliczeniu na milion wyprodukowanych sztuk w ciągu miesiąca	[szt.]
PPM zewnętrzne	Liczba niezgodnych wyrobów wykrytych przez klienta w przeliczeniu na milion wyprodukowanych sztuk w ciągu miesiąca	[szt.]
KZJ Koszty zlej jakości	Liczba minut poświęconych na sortowanie oraz naprawę wadliwych modułów w ciągu miesiąca	[min]
Liczba reklamacji	Średnia liczba reklamacji otrzymanych od klienta w ciągu miesiąca	[szt.]
Absencja pracowników	Średnia liczba nieobecnych pracowników w ciągu miesiąca	[osoba]

Efektywność organizacji może być obniżana przez występujące w procesach pracy zakłócenia. Analiza zakłóceń w przepływach logistycznych przedsiębiorstwa produkcyjnego wymaga zastosowania odpowiednich narzędzi analitycznych. Pozwoli to na ich identyfikację oraz co ważne, określenie źródła ich występowania [1, 12]. Badanie efektywności procesów montażu polega na porównaniu założonych parametrów do wykonanych podczas procesu produkcji. Można by więc posłużyć się następującym wzorem w celu jej określenia:

$$E = e/n,$$

gdzie E – efektywność, e – efekty, n – nakłady.

Efektywność jest zatem pomiarem, przedstawionym zazwyczaj w postaci procentowej, oczekiwanych wyników do rzeczywistej wielkości produkcji [17].

Do celów badawczych w pracy przyjęto następujące czynniki wpływające na efektywność procesów:

- 1) wydażność, która jest „miernikiem określającym stopień wykorzystania danego urządzenia. Ogólniej ujmując, wydażność jest miarą wykorzystania zasobów systemu produkcyjnego (przedsiębiorstwa) [11]”;
- 2) produktywność, która stanowi stosunek wielkości produkcji wytworzonej i sprzedanej (dostarczonej do klienta) w rozpatrywanym okresie do ilości wykorzystywanych i/lub zużytych w tym okresie zasobów wejściowych [8];
- 3) ppm, czyli miara jakości, wskazująca liczbę części niezgodnych na milion. Wskaźnik ten jest odpowiednikiem frakcji niezgodności i stanowi sumę wskaźników cząstkowych ppm_{wm} oraz ppm_{wk} ;
- 4) liczbę reklamacji, jednakże pojęcie reklamacji jako takiej wg Kodeksu Cywilnego oraz Ustawy o szczególnych warunkach sprzedaży konsumenckiej z dnia 27 lipca 2002 roku nie miało zastosowania w zakładzie będącym przedmiotem analizy. Aspekty dotyczące bardziej wadliwej produkcji niż reklamacji regulowało porozumienie jakościowe ściśle określające procedury podczas wystąpienia takiej okoliczności.
- 5) koszty zlej jakości, rozumiane jako nakłady poniesione na podjęcie działań ukierunkowanych na uzyskanie odpowiedniej jakości wyrobów gotowych, można podzielić na związane z zapobieganiem zlej jakości

i jej kontrolą (pomiarem) oraz wynikające z produkcji wyrobów o niewłaściwej jakości (koszty występowania braków wewnętrznych i zewnętrznych, obsługi reklamacji i gwarancji), które określa się jako koszty zlej jakości;

- 6) absencja pracowników, rozumiana jako każde niestawienie się do pracy lub wyjście z pracy wcześniej, w której planowo pracownik powinien przebywać na swoim stanowisku [3].

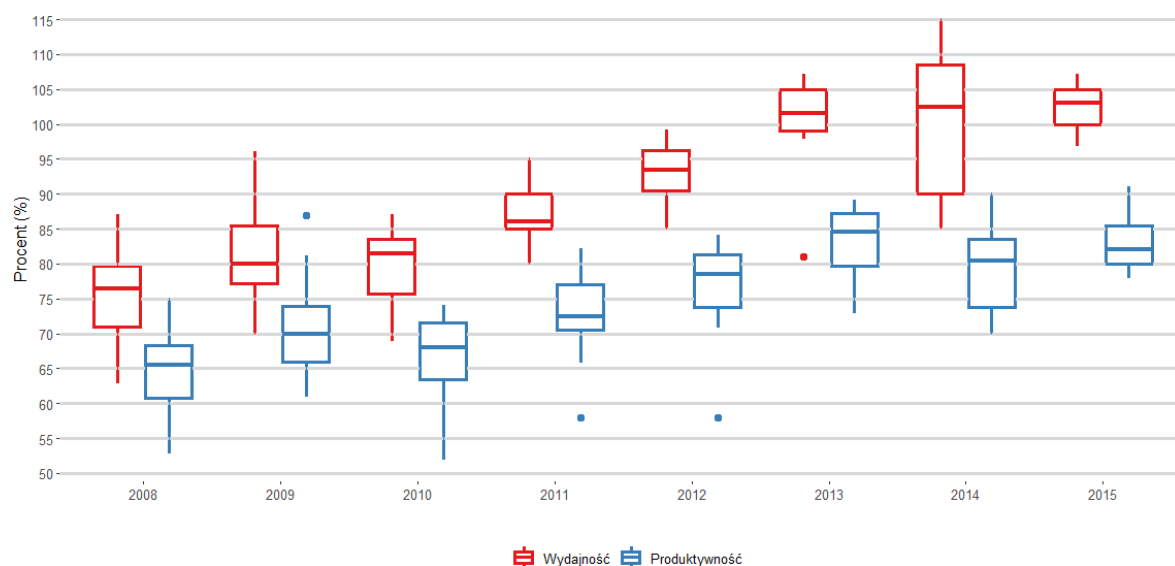
Strukturę przyjętych w pracy wskaźników przedstawiono w tabeli 1. Ze względu na specyfikę firm produkcyjnych w szczególności pod kątem wielkości przedsiębiorstwa, a także branży w jakiej działa, nomenklatura biznesowa może się różnić.

W przeciwieństwie do zautomatyzowanych procesów produkcyjnych, w badanym zakładzie brakowało narzędzi do monitorowania zależności czynników wpływających na efektywność procesu produkcji.

3.3. Dynamika badanych zjawisk

Na podstawie danych zebranych w badanym okresie opracowano wyniki obrazujące średnie tempo zmian, które określają przeciętny okresowy przyrost procentowy analizowanego zjawiska w określonym przedziale czasowym (rysunek 4). Wyniki otrzymane z rzeczywistych przebiegów procesów pracy w badanym przedsiębiorstwie wskazują, że przez pierwszy rok badań, średnio z miesiąca na miesiąc, produktywność rosła na bardzo niskim poziomie = 0,6%. W drugim roku średnie tempo zmian produktywności utrzymywało się na stałym poziomie, a w roku 2010 produktywność wzrastała z miesiąca na miesiąc średnio o 1,9%. W kolejnych latach produktywność spadała w niewielkim stopniu, jednakże w roku 2015 spadła aż o 2,3%. Analizując otrzymane wyniki należy wziąć pod uwagę duże wahania w produktywności i dynamikę zmian z miesiąca na miesiąc w każdym roku co generowało średnie tempo zmian. Inaczej przedstawiają się średnie tempa zmian dla np. kosztów zlej jakości.

Wzajemna korelacja pomiędzy wydażnością i produktywnością jest zjawiskiem naturalnym wynikającym z zależności danych. Wahania produkcyjne wynikają z niezaplanowanych zmian w przebiegu procesów pracy. Na podstawie rysunku 4 zauważalne jest występowanie



Rys. 4. Procentowa dynamika zmian w badanym okresie [opracowanie własne].

Tabela 2
Średnie tempo zmian w badanym przedsiębiorstwie [opracowanie własne].

Rok	Produktowność	Wydajność	PPM zewnętrzne	PPM wewnętrzne	Koszty zlej jakości	Liczba reklamacji	Absencja pracowników
2008	0.6	0.5	-17.8	8.1	17.8	-9.6	-0.4
2009	0.0	0.1	-8.2	15.0	-5.4	-4.8	4.0
2010	1.9	1.7	-8.6	-7.4	-9.2	-8.9	0.0
2011	-1.0	-0.3	-6.0	3.6	5.3	-5.6	1.8
2012	-0.4	0.7	-0.1	-1.3	-15.9	-9.1	-8.0
2013	-1.2	2.4	7.3	-10.4	-13.3	-4.5	20.8
2014	-1.3	-1.6	1.6	3.3	6.8	-5.4	9.3
2015	-2.3	0.6	-2.3	-12.4	-15.4	-6.9	6.5

skrajnych wartości w momencie uruchamiania produkcji lub w trakcie jej trwania, kiedy osiągnano największą wydajność. Część otrzymanych wartości posiada rozkład symetryczny do mediany, natomiast większość charakteryzuje się rozkładem asymetrycznym z przewagą asymetrii lewostronnej w kierunku spadku wydajności i produktywności.

Następnie w zestawieniu tabelarycznym (tabela 2) przedstawiono zmiany analizowanych czynników w badanym okresie. Średnie tempo zmian określono procentowo.

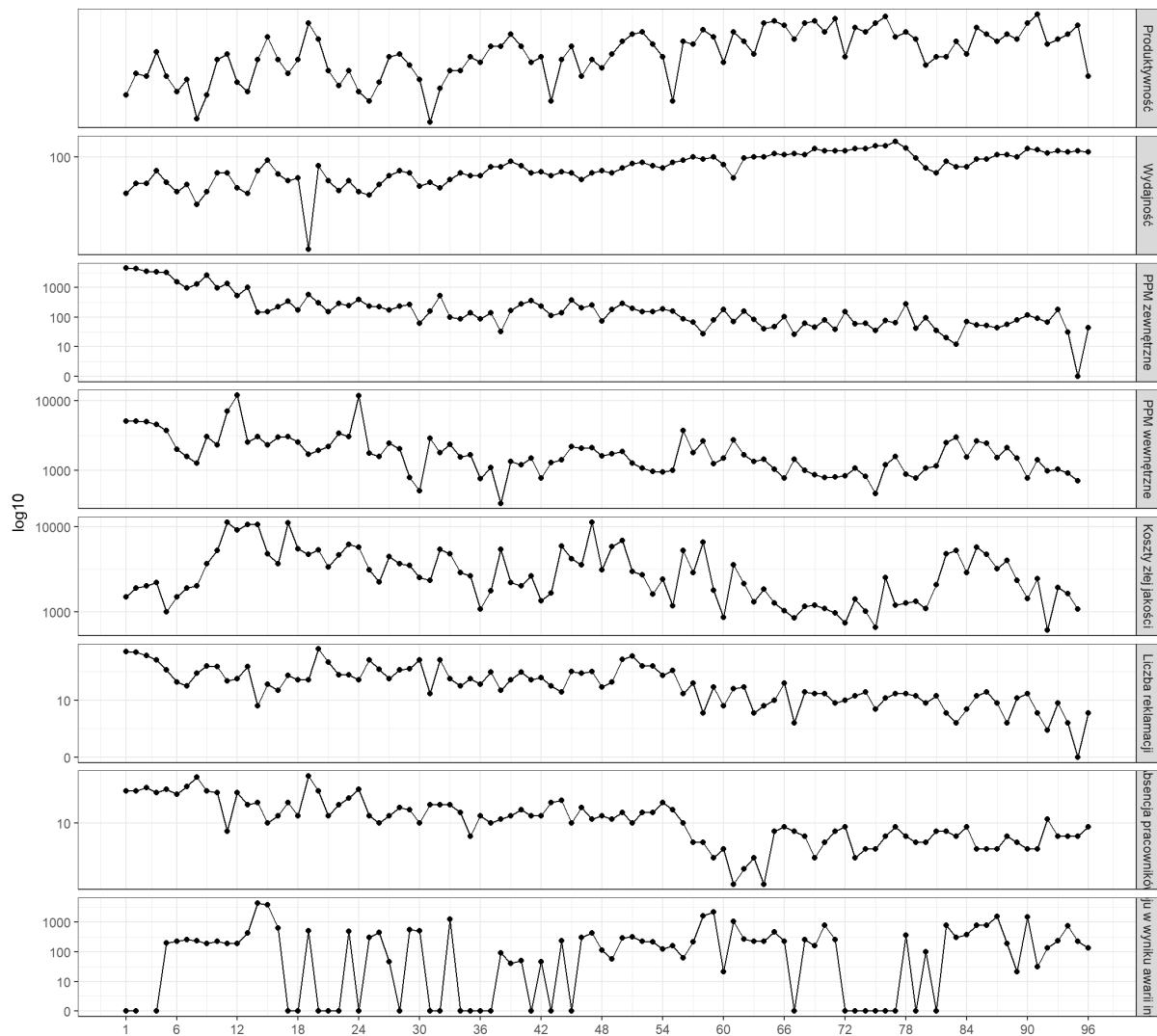
3.4. Analiza korelacji zmiennych

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg wartości analizowanych zmiennych w stosunku do zakładanej średniej z badanego okresu. Oś pozioma przedstawia okres 96 miesięcy (badany okres).

W badanym horyzoncie czasowym w zakładzie występowała tendencja wzrostowa dla wskaźnika produktywności. Każdego roku odnotowano duże wahania produktywności, co związane było z wdrażaniem nowego asortymentu, a także zmian w bieżącej produkcji w badanym zakładzie produkcyjnym. Duże spadki odnotowywano w miesiącach letnich, co było związane z przerwą letnią oraz/lub wstrzymaniem zamówień z powodu braku komponentów potrzebnych do produkcji.

Zauważalna jest tendencja wzrostu wydajności w kolejnych analizowanych latach, nawet w okresach letnich zagrożonych przerwami letnimi. Powtarzalnym miesiącem, w przyjętym horyzoncie czasowym badań, w którym odnotowano największe spadki wydajności w skali roku był grudzień. Widoczna tendencja wzrostu wydajności występuje od 2009 roku, co związane jest z wdrożeniem firmie nowych procedur wymaganych przez normę ISO/TS.

W przypadku KZJ należy zwrócić uwagę na duże wahania i dynamikę kosztów z miesiąca na miesiąc w całym analizowanym okresie spowodowaną zmianami produkcji oraz kosztami związanymi z wprowadzaniem nowych wzorów. Podobnie jak w przypadku wydajności, wpływ na uzyskane wyniki zakładu w zakresie KZJ miała także specyfikacja ISO/TS16949, która skierowana jest w swych działaniach na redukcję odpadów i zapobieganie defektom, które w dużym stopniu wpływają na KZJ. Specyfikacja wymagała od badanego wdrożenia podejścia procesowego do zarządzania jakością, co umożliwiło rozpoznanie istniejącego ryzyka oraz zminimalizowanie jego skutków. Zastosowanie takiego podejścia pozwoliło na zmniejszenie KZJ poprzez monitorowanie i mierzenie skuteczności oraz efektywności procesów, a także poprzez ciągle wdrażanie działań naprawczych i doskonalących.



Rys. 5. Przebieg wartości zmiennych w stosunku do zakładanej średniej z badanego okresu [opracowanie własne].

Na rysunku 7 przedstawiono zależność występującą pomiędzy dwoma kluczowymi wskaźnikami produkcji: produktywnością i wydajnością. Spadek wydajności charakteryzuje się gwałtownym spadkiem produktywności.

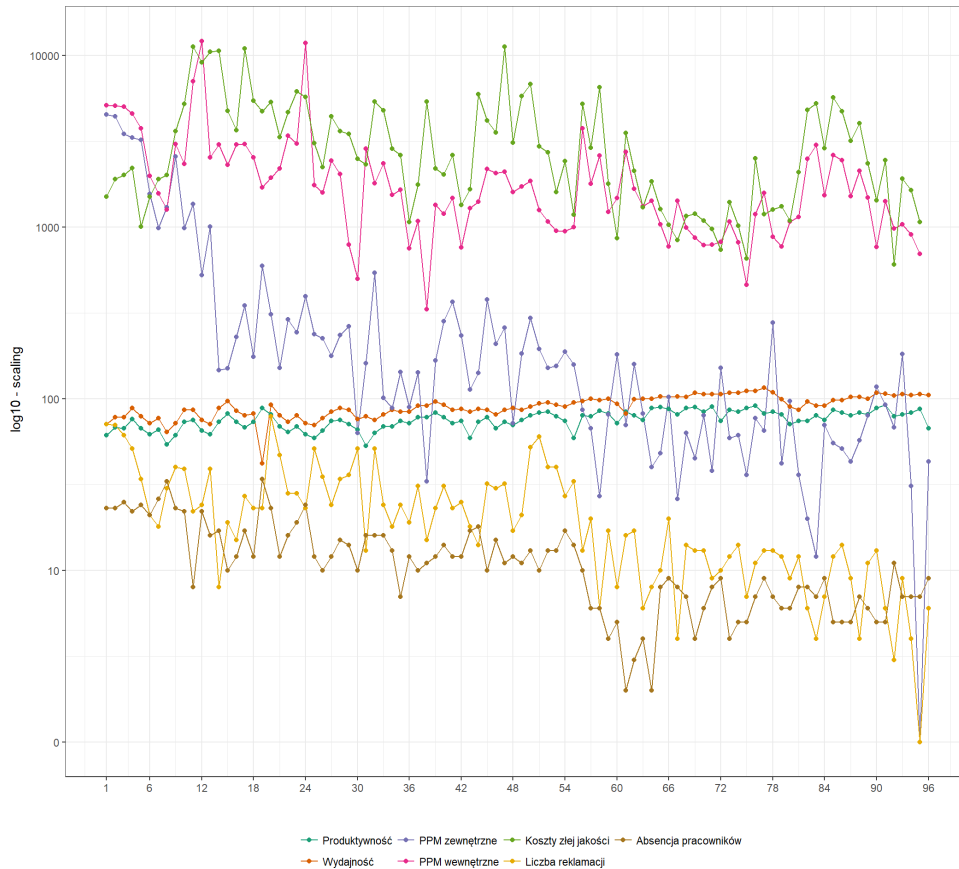
Zestawienie przedstawione na rysunku 8 wskazuje występującą zależność pomiędzy wartościami dla trzech przyjętych czynników: PPM zewnętrzne, liczba reklamacji, absencja pracowników. Należy podkreślić, iż absencje pracownicze stanowią duży koszt dla przedsiębiorstwa, do których wlicza się m.in.: koszty przestoju, straty w produkcji, koszty opóźnień czasowych i koszty jakości (reklamacji). Zależność jakości produkcji od absencji pracowniczej (w analizowanym przypadku liczba reklamacji oraz PPM zewnętrzne) potwierdzają otrzymane wyniki badań.

Na rysunku 9 przedstawiono zestawienie zależności dla: produktywności, wydajności, KZJ, liczby reklamacji oraz absencji pracowników. Widoczna jest silna zależność pomiędzy produktywnością oraz KZJ, co związane było ze wzrostem poziomu eliminacji strat w zakładzie poprzez wdrożenie działań zgodnych ze specyfikacją ISO/TS. Jak wspomniano także powyżej,

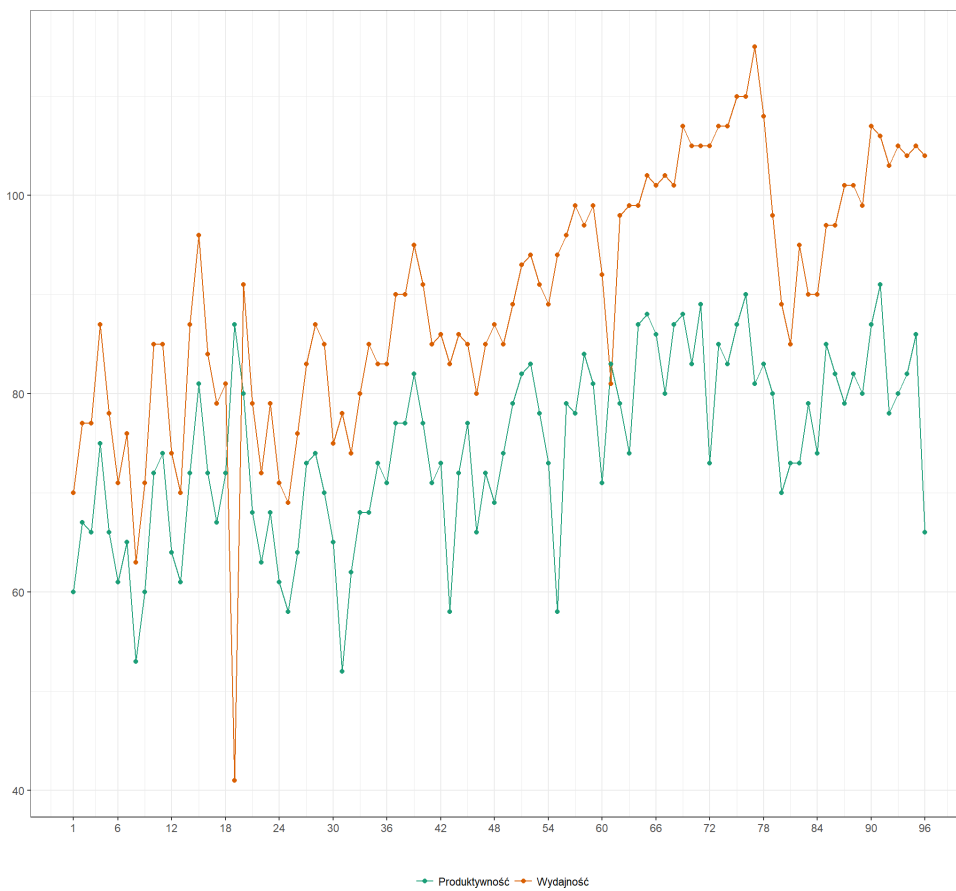
spadek absencji silnie wpływał na poprawę wskaźnika KZJ, tym samym zwiększając poziom produktywności. Spadek absencji pracowników był także równoznaczny z większą liczbą realnie przepracowanych godzin w zakładzie, co pozytywnie wpływało na realizację planów produkcyjnych i wskaźnik produktywności.

Na podstawie otrzymanych danych z ośmiu kolejnych lat (2008–2015) sporządzono główne parametry statystyki opisowej, pozwalające na zobrazowanie czynników podjętych analizie.

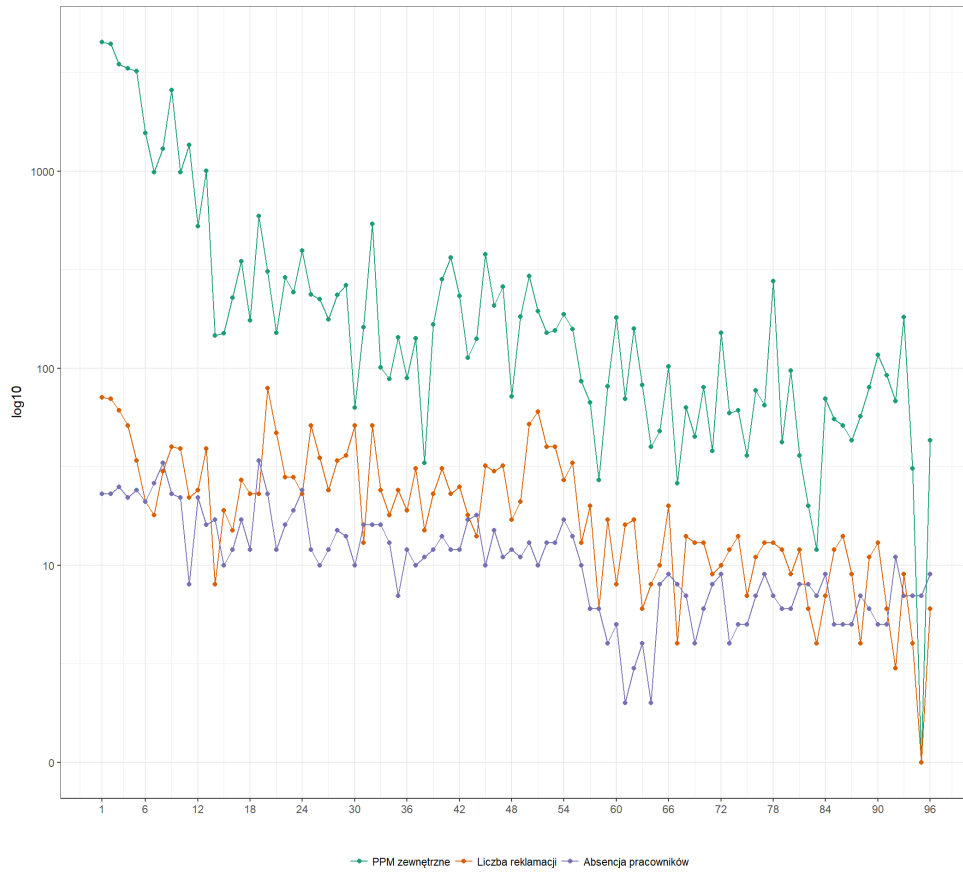
Były to badania statystyczne częściowe oparte na wybranej próbie o zakresie czasowym ośmiu lat produkcji. Analizowane jednostki statystyczne wykazywały własności cech mierzalnych o wartościach skokowych (dyskretnych), ponieważ przyjmowały skończony, czyli przeliczalny zbiór wartości. Poprzez grupowanie materiału powstał szereg statystyczno-czasowy okresów, zawierający informacje o rozmiarach danego zjawiska w poszczególnych miesiącach oraz latach. W modelu nie są uwzględnione pomiary z ostatniego okresu (grudzień 2015) ze względu na braki wartości pomiarowych niektórych zmiennych.



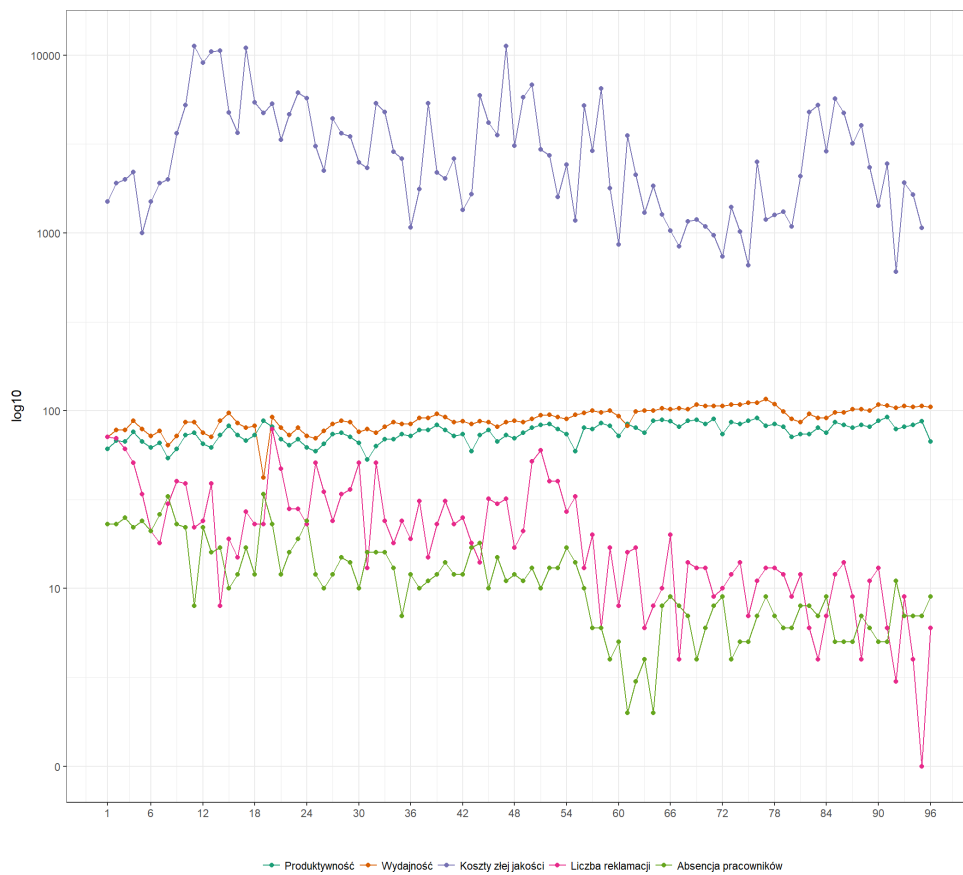
Rys. 6. Obrazowe zestawienie analizowanych czynników wg skali logarytmicznej [opracowanie własne].



Rys. 7. Obrazowe zestawienie zależności Produktywność–Wydajność [opracowanie własne].



Rys. 8. Obrazowe zestawienie zależności PPM zewnętrzne, Liczba reklamacji, Absencja pracowników [opracowanie własne].



Rys. 9. Obrazowe zestawienie zależności: Produktywność, Wydajność, Koszty złej jakości, Liczba reklamacji, Absencja pracowników [opracowanie własne].

4. Analiza wyników

Analizę czynników wpływających na efektywność procesów produkcji wykonano na podstawie badanych parametrów w oparciu o dane z przyjętego horyzontu czasowego. Na podstawie zestawienia danych dla czynników objętych analizą określono przedziały zależności dla poszczególnych parametrów: wydajność, produktywność, absencja pracowników, PPM, koszty złej jakości, liczba reklamacji, absencja pracowników.

Analizując produktywność można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od 65,2% w 2008 roku do 83,1% w 2013 roku. Mediana dla produktywności miała najniższą wartość 65,5% w roku 2008 a najwyższą 84,5% w 2013 roku. Rozstęp między wartościami wahał się między 53–75% w roku 2008 do 78–91% w roku 2015. Wynikało to ze zmiennej produkcji, która była przyczyną spadku produktywności wzrastającej wraz z czasem.

Przechodząc do analizy wskaźnika wydajności można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od 76,2% w 2008 roku do 102,3% w 2015 roku. Wzrost wydajności w kolejnych analizowanych latach związany był z nabywaniem przez personel doświadczenia w toku realizacji procesów produkcyjnych.

Analizując wartość PPM zewnętrznych można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od 2353,5 w 2008 roku do 69,6 w 2015 roku. Spadek wartości PPM zewnętrznych był ściśle związany ze wzrostem wiedzy i doświadczenia w stosowaniu wewnętrznej kontroli jakości. Wdrożony wewnętrzny system kontroli jakości w badanym przedsiębiorstwie pozwolił na eliminację błędów w produktach wysyłanych do odbiorcy poprzez usunięcie wykrytej nieprawidłowości w toku kontroli oraz usprawnił proces kontroli.

Analizując uzyskane wartości dla wskaźnika PPM wewnętrznych można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od 4405,3 w 2008 roku do 1217,7 w 2013 roku. Spadki i wzrosty wartości PPM wewnętrznych były wynikiem wdrażania nowych procesów produkcyjnych, co wpłynęło na liczbę błędów pracowników podczas uczenia się. Podobnie jak w przypadku PPM zewnętrznych, zastosowanie wewnętrznego systemu kontroli jakości pozwoliło na zapewnienie wyższej jakości produktów wysyłanych do odbiorcy poprzez naprawę ewentualnych błędów wykrytych na etapie kontroli wewnętrznej.

Analizując koszty złej jakości liczone w minutach można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od wartości najwyższej 6319,2 w 2009 roku do 2118,2 w 2014 roku. Badane wartości wynikały z czasu potrzebnego na usunięcie usterek i były zależne od złożoności produkcji. W badanym zakładzie produkcyjnych, wraz z wdrożeniem specyfikacji ISO/TS 16949, zaczęto stosować nowoczesne narzędzia planowania jakości, które w znacznym stopniu ograniczyły występowanie błędów na różnych etapach produkcyjnych.

Analizując wartości liczby reklamacji można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w gra-

nicach od 21,7 w 2008 roku do 4,8 w 2013 roku. Spadki i wzrosty ilości reklamacji były wynikiem (podobnie jak w przypadku PPM) wdrażania nowych procesów produkcyjnych, które generowały błędy pracowników podczas uczenia się. Zastosowanie wewnętrznego systemu kontroli jakości eliminowało powstawanie błędów w produktach wysyłanych do odbiorcy poprzez wykrywanie uchybień i usterek na etapie kontroli wewnętrznej. Nierozłącznym elementem kontroli procesów w badanym zakładzie było także podejście Six Sigma, którego celem była minimalizacja odchylenia procesów przy jednoczesnym zagwarantowaniu ich zdolności. Zakładano, że tylko procesy spełniające określone kryteria odbiorowe są w stanie zapewnić wysoką i powtarzalną jakość produkowanych wyrobów. Wskazane działania pozwoliły na znaczny spadek zgłoszonych reklamacji.

Analizując absencje pracowników liczone w osobach można zauważyć, iż w badanych latach średnia wahała się w granicach od wartości najwyższej 21,7 w 2009 roku do 4,8 w 2013 roku. Badane wartości wynikały z wielu czynników, również losowych związanych z życiem prywatnym dotyczących frekwencji na stanowiskach produkcji.

Na podstawie zgromadzonych danych i przeprowadzonych analiz stwierdzono, że dominującym i najbardziej korzystnym okresem produktywności dla badanego zakładu produkcyjnego był rok 2015. Najlepsze wyniki w zakresie wydajności zakład uzyskał w 2015 roku. W rozważeniach wyboru najlepszego okresu dla PPM zewnętrznych i wewnętrznych nie wskazano jednego, uniwersalnego okresu, ponieważ zmieniał się w zależności od liczby nowych uruchomień produkcji oraz zmian w procesach produkcyjnych. Najmniejsze wartości otrzymano w latach 2014–2015, gdy produkcja była na ustabilizowanym poziomie. Rozważając wybór najlepszego zestawienia danych dla kosztów złej produkcji, a co się z tym wiąże ilości reklamacji wewnętrznych i zewnętrznych, należy zauważyć, iż nie można ustalić jednego uniwersalnego okresu. Wartości zmieniały się, podobnie jak w przypadku PPM, w zależności od ilości nowych uruchomień i zmian w procesach produkcyjnych. Najmniejsze wartości uzyskano w latach 2014–2015, co mogło być związane z nabytym doświadczeniem pracowników oraz stabilną produkcją.

Badany zakład pracy musiał sprostać następującym wyzwaniom, które znacząco wpływały na efektywność procesów produkcyjnych:

- krótkie terminy realizacji zleceń,
- brak jednorodnych zleceń,
- wprowadzanie nowych modeli oraz rozwiązań konstrukcyjnych, wielowariantowość produktów,
- sezonowość zleceń,
- synchronizacja podejścia „just in time” z innymi procesami przedsiębiorstwa,
- utrzymanie najwyższej jakości produktów wymaganej przez klientów.

Przeprowadzona analiza wyznaczonych czynników umożliwiła zweryfikowanie problemów związanych

z efektywnością, a także opracowanie działań naprawczych i wspomagających pracę badanego zakładu produkcyjnego. Wyniki badań wskazują, że w organizacji występowały duże wahania wartości poszczególnych parametrów w okresie letnim oraz na przełomie roku (grudzień-styczeń) w porównaniu do reszty roku. Są to okresy o wzmożonej absencji i zmniejszonej wydajności pracy, co związane jest w dużym stopniu z czasem urlopowym oraz okresem świątecznym w którym następował znaczny spadek zleceń ze względu na przerwy i przestoje Fabryk. Wskazane okresy mają duży wpływ na uzyskany w badanych latach wskaźnik efektywności, a także na jakość wyrobu gotowego.

Opracowano także model matematyczny, gdzie jako modelowaną zmienną zależność wyznaczono wydajność badanego przedsiębiorstwa w miesiącu, natomiast za zmienne objaśniające przyjęto: wydajność przedsiębiorstwa w miesiącu poprzednim, produktywność przedsiębiorstwa w okresie bieżącym, PPM wewnętrzne przedsiębiorstwa w miesiącu, liczba reklamacji przedsiębiorstwa w miesiącu. Wyniki wskazują, że wszystkie przyjęte predyktory wydajności przedsiębiorstwa w miesiącu statystycznie istotnie wpływają na wydajność firmy. Zastosowanie modelu w praktyce stanowi narzędzie monitorujące oraz doradcze w zakresie wprowadzania nowych produktów czy też modyfikacji istniejących linii.

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza w zakładzie produkcyjnym z branży automotive pozwala na postawienie następujących wniosków:

- Wdrożenie działań zawartych w normie ISO/TS mocno przyczyniło się do zmiany wskaźników jakościowych, a w szczególności PPM zewnętrznych oraz wewnętrznych. Wdrożone zmiany wynikające z wymagań zawartych w specyfikacji przyczyniły się do spadku wielkości tych wskaźników.
- Zmiany organizacyjne stanowisk pracy oraz podniesienie kompetencji personelu zapewniły lepsze warunki pracy oraz komfort pracy, co pośrednio wpłynęło na spadek absencji pracowników.
- wdrożenie wymagań normy ISO/TS dot. jakości bezpośrednio wpłynęło na jakość produkowanych wyrobów, wskutek czego nastąpił znaczny spadek ilości wadliwych wiązek. Efekty wdrożenia tych wymagań najlepiej obrazują wyniki otrzymane w każdym kolejnym roku po listopadzie 2010 roku uzyskane dla wskaźników: PPM zewnętrznych oraz PPM wewnętrznych.
- Pomimo wahań wartości wskaźników kosztów złej jakości oraz liczby reklamacji przyjęły one tendencje spadkową.
- Czas „uczenia się” pracowników nowej produkcji charakteryzował się spadkiem produktywności i wydajności firmy. W związku ze stałymi kosztami funkcjonowania, a obniżonym przychodem w tym czasie, zakład wynegocjował wielokrotny faktor zapłaty za

minutę obowiązujący w ustalonym czasie z Dostawcą.

- Nierównomierny popyt w znacznym stopniu utrudniał zarządzanie i planowanie zatrudnienia oraz utrzymanie stałego składu personelu w czasie znacznego spadku zamówień. Niewykorzystane zasoby ludzkie i finansowe wpływały negatywnie na wydajność zakładu, a także generowały duże koszty dla zakładu. Nierównomierne zapotrzebowanie klientów (stochastyczne, zapotrzebowanie, zmienne ilości zamówień) powodowało również niesynchronizowaną produkcję.
- Główną przyczyną generowania błędów w zakresie PPM oraz wskaźnika kosztów złej jakości produkcji była wielowariantowość produkcji w badanym zakładzie.

Podsumowując, zauważalne jest, że w okresach wprowadzania nowej produkcji lub modyfikowania poprzedniej wystąpiły największe wahania wskaźników spowodowane m.in.: przezbrojeniem stanowisk oraz koniecznością nauki przez pracowników na podstawie częściowo zmienionych instrukcji montażu. Znacząca jest tu także występująca rutyna i przyzwyczajenia pracowników na linii produkcyjnej. Wieloletnie doświadczenie w branży autorów pracy pozwala na stwierdzenie, że znacznie większą liczbę PPM wewnętrznych generuje częściowo zmieniony moduł niż całkowicie nowa produkcja. Przeprowadzona analiza okresów oraz wielkości wahań wskaźników może stanowić podstawę do określania możliwych zmian występujących w procesie produkcyjnym, co znacząco przekłada się na wielkość kosztów przedsiębiorstwa.

Niniejsze opracowanie może posłużyć jako podstawa do dalszych badań i zastosowania opracowanego modelu matematycznego do analizy w zakładach o niskim poziomie automatyzacji do zwiększenia kontroli zależności występujących w procesach montażowych. Systemy produkcyjne i montażowe muszą być rekonfigurowane, a fabryka wraz z infrastrukturą techniczną, w tym z budynkiem, powinny być przekształcalne wraz ze zmianą profilu, asortymentu oraz ilości produkcji.

Literatura

- [1] Basova Y., Ivanov V. Kotliar A., *Ensuring the economic efficiency of enterprises by multi-criteria selection of the optimal manufacturing process*, MPER, 11, 1, 52–61, 2020.
- [2] Barnes W L., Dagli C.H., Qin R., Song Y., Xub R., *Enabling Flexibility through Forming and Evolving Systems of Systems*, PCS, 114, 19–27, 2017.
- [3] Cascio W.F., *Kalkulacja kosztów zasobów ludzkich*, Oficyna Ekonomiczna – Dom Wydawniczy ABC, Kraków, 2001.
- [4] Chengc T.C.E., Dominguez-Pery C., Lamb H.K.S., Lyonsb A., Uma J., *Product variety management and supply chain performance. A capability perspective on their relationships and competitiveness implications*,

- International Journal of Production Economics, 187, 15–26, 2017.
- [5] Folgado R., Pecas P., Henriques E., *Mapping workers' performance to analyse workers heterogeneity under different workflow policies*, Journal of Manufacturing Systems, 36, 27–34, 2015.
- [6] Franke J., *Effizienzsteigerung in der Bordnetz-Wertschöpfungskette Durch Automatisierung*, Schlanke Organisation und Industrie 4.0-Ansätze, 2018.
- [7] Heisler P., Steinmetz P., Yoo I.S., Franke J., *Automation of the Cable-Routing-Process within the Automated Production of Wiring Systems*, AMM, 871, 186–192, 2017.
- [8] Kosieradzka A., *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*, Wyd. C.H. Beck, Warszawa, 2012.
- [9] Nguyen H.G., Kuhn M., Franke J., *Manufacturing automation for automotive wiring harnesses*, Procedia CIRP, 97, 379–384, 2020.
- [10] Niemi E., Peltokorpi J., *Effects of group size and learning on manual assembly performance: an experimental study*, International Journal of Production Research, 2018.
- [11] Pająk E., Klimkiewicz M., Kosieradzka A., *Zarządzanie produkcją i usługami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2014.
- [12] Pieleś S., *Analiza zakłóceń w przepływach logistycznych przedsiębiorstwa produkcyjnego-studium przypadku*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie, s. 379–394, 2015.
- [13] Samuelson P.A., Nordhaus W.D., *Ekonomia tom 2*, PWN, Warszawa, 1999.
- [14] Sanders N.R., Wan X., *The Negative Impact of Product Variety: Forecast Bias, Inventory Levels, and the Role of Vertical Integration*, International Journal of Production Economics, s. 123–131, 2017.
- [15] Tilindis J., Kleiza V., *The effect of learning factors due to low volume order fluctuations in the automotive wiring harness production*, Procedia CIRP, 19, 129–134, 2014.
- [16] Townsend V., Urbanic J., *A Case Study Measuring the Impact of a Participatory Design*, Procedia Manufacturing, 1, 134–145, 2015.
- [17] APICS Dictionary, 2004, 11th Edition, American Production and Inventory Control Society, Inc., Falls Church, VA.