

ZASTOSOWANIE KART KONTROLNYCH SHEWARTA DLA POTRZEB OCENY JAKOŚCI I DOSKONALENIA WYKONANIA PUNKTÓW LUTOWNICZYCH

Anna ZIMOLĄG

Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, Zabrze; ania.zimolag@interia.pl,
ORCID: 0000-0002-1568-5212

Streszczenie: W niniejszym artykule podjęto problematykę możliwości wykorzystania kart kontrolnych Shewarta do badania i sterowania procesem produkcyjnym. W szczególności skupiono się na opracowaniu i weryfikacji sposobu zastosowania kart kontrolnych Shewarta do oceny i doskonalenia wykonania punktów lutowniczych. Zaprezentowano zaproponowane etapy analizy, a także porównano wybrane parametry oceny jakości wykonania punktów lutowniczych przed wdrożeniem zmian udoskonalających proces, jak i po ich implementacji.

Słowa kluczowe: karta \bar{x} -R, punkty lutownicze, analiza Pareto, diagram Ishikawy.

APPLICATION OF SHEWART'S CONTROL CARDS TO QUALITY ASSESSMENT AND IMPROVING THE EXECUTION OF SOLDERING POINTS

Abstract: This article engaged the possibility of using Shewart's control charts for testing and controlling the production process. In particular this article was focused on developing and verifying the using of Shewart's control charts to evaluate and improve the execution of soldering points. It was presented offered steps of the analysis and selected parameters of the quality evaluation of the soldering points were compared before the implementation of the improvements improving the process, as well as after their implementation.

Keywords: \bar{x} -R card, soldering points, Pareto's analysis, Ishikava's diagram.

Wstęp

Głównym celem procesu produkcyjnego jest wytwarzanie wyrobów gotowych. Z każdym procesem produkcyjnym wiąże się ściśle tworzenie wadliwych, jak i dobrych jednostek. Występuje zatem konieczność zapewnienia wysokiej jakości wyrobów i powtarzalności w procesie produkcyjnym przy jednoczesnej minimalizacji kosztów produkcji. Jedną z metod analizy procesu produkcyjnego jest zastosowanie statystycznej kontroli procesu (SPC). Metoda ta ma głównie na celu rozpoznawanie stanów alarmujących procesu, przeciwdziałanie którym zapewni przedsiębiorstwu ochronę przed nadmiernymi stratami finansowymi i czasowymi (Czabak-Górska, 2017).

Idea kart kontrolnych opiera się na analizie procesu w czasie rzeczywistym oraz jego graficznego przedstawienia, co służy przede wszystkim monitorowaniu, regulacji oraz gromadzeniu usystematyzowanej wiedzy na temat procesu. Karta taka pozwala osobie nadzorującej, na podstawie stanu nadzorowanej cechy śledzić proces oraz ocenić czy ewentualne wahania miary statystycznej, obranej do badania, są na tyle znaczne, że mogą świadczyć o deregulacji procesu (Czabak-Górska, 2017). Skuteczność stosowania kart kontrolnych opiera się głównie na właściwym doborze karty do analizowanego procesu. Istotne jest to o tyle, że niewłaściwie dobrana karta może skutkować błędnymi dedukcjami osoby nadzorującej, co wpływa na końcowy efekt wdrażanych działań o charakterze doraźnym czy prewencyjnym w celu wyeliminowania deregulacji, fałszywie wskazanych czy też nie podejmowaniu działań po błędnym wnioskowaniu o braku deregulacji w procesie.

W ramach realizowanych działań udoskonalających proces lutowania dokonano próby zastosowania kart kontrolnych Shewharta, jako narzędzia uniwersalnego, pozwalającego na sterowanie procesem lutowania. W celu kompleksowej oceny jakości punktów lutowniczych, kluczowych z punktu widzenia niezawodności i funkcjonalności wyrobu podjęto próbę wyznaczenia oraz zinterpretowania wskaźników: położenia wartości średniej rozkładu parametru oraz rozrzutu parametru. Na podstawie kart Shewharta zaproponowano a następnie zbadano skuteczność wdrożonych działań udoskonalających.

1. Karty kontrolne Shewharta

W inżynierii jakości istotnym aspektem jest analiza stabilności procesu wytwórczego i jego nadzorowanie (monitorowanie, diagnozowanie i regulacja). Narzędziem wykorzystywanym w tym celu są karty kontrolne. Norma ISO 8258+AC1 przedstawia sposób korzystania z kart kontrolnych, na potrzeby sterowania procesem produkcyjnym. Norma ta ogranicza się jednak

zakresem tematycznym do kart systemu Shewharta, jako metody statystycznego sterowania procesem.

Stosowanie kart kontrolnych wymaga pobierania próbek w określonych w miarę regularnych odstępach, zdefiniowanych w kategoriach czasowych lub ilościowych. Każdy podzbiór jest opisywany jedną lub większą liczbą właściwości takich jak średnia z próby \bar{X} , rozstęp R czy odchylenie standardowe s . Jednakże stosuje się w praktyce opisywanie własności, przez co najmniej dwie właściwości, czyniąc ten opis za bardziej kompleksowy (Chorfas, 1960, s. 269-270, Obalski, 1955, s. 109). Karta kontrolna Shewharta jest przedstawiona, jako wartość danej własności podzbioru w funkcji numeru podzbioru. W trakcie określania statystycznego uregulowania bądź rozregulowania procesu wartością odniesienia jest na ogół wartość średnia rozważanej danej lub wartość nominalna, określana na podstawie długoterminowych obserwacji właściwości, określanych przez specyfikację wyrobu lub też na podstawie doświadczeń z przeszłości bądź też bazująca na zakładanych wartościach docelowych wyrobu lub usługi (Hamrol, Mantura, 2002, s. 282-283).

Karta kontrolna zbudowana jest z trzech zasadniczych linii: linii centralnej (CL), górnej linii kontrolnej (GLC) oraz dolnej linii kontrolnej (LCL). Górna i dolna granice kontrolne znajdują się w odległości $\pm 3\sigma$ od linii centralnej (trzech odchylen standardowych od wartości średniej), gdzie σ jest to odchylenie standardowe wykreślanej wartości w danym podzbiorze określonej populacji. Granice kontrolne przedstawiają, że ok. 99,7% wartości cechy znajduje się w obrębie granic kontrolnych, przy założeniu, że proces jest statystycznie uregulowany. Można to interpretować w taki sposób, że istnieje ryzyko o wartości 0,3%, czyli trzy punkty z tysiąca mogą wychodzić poza granice kontrolne, przy założeniu uregulowanego procesu. Możliwość wówczas przekroczenia punktu poza granice kontrolne przy wpływie na proces czynnika losowego jest tak mała, że zakłada się, iż konieczne jest wdrożenie działań korygujących, gdy taka sytuacja nastąpi (Sałaciński, 2016, s. 38-39; Iwaszkiewicz, Paszek, 1997, s. 222-223; Wieczorowski, Czyżewski, 1976, s. 16-17).

Często w praktyce zachęca się do wprowadzania linii oddalonych od linii centralnej o odległość 2σ , są to tzw.: „granice ostrzegawcze”. Wówczas pojawienie się punktu w obszarze między granicą ostrzegawczą a linią kontrolną (górną lub dolną) informuje o pojawieniu się w procesie czynników (losowych lub systematycznych), których oddziaływanie może wywołać skutek rozregulowania procesu. Istotne jest tutaj zaznaczenie różnicy odczytu punktów znajdujących się poza granicami ostrzegania w przypadku karty kontrolnej, w której przedstawione są wyniki pomiarów wartości średniej kilkuelementowych próbek a kartą pomiarów, na której wykreślane są wartości pojedynczych pomiarów i sprawdzane jest czy mieszczą się one w granicach wyznaczonych przez konstruktora wyrobu lub klienta (PN-ISO 8258+AC:1993, Karty Kontrolne Shewharta).

Sterowanie procesem za pomocą kart kontrolnych odbywa się w dwojaki sposób. Otóż obserwuje się punkty wychodzące poza obszar ograniczony liniami kontrolnymi, co świadczyć może o rozregulowaniu procesu. W trakcie obserwacji wyników bierze się również pod uwagę

punkty układające się w specyficzne konfiguracje, pomimo, iż żadne z nich nie wykracza poza granice kontrolne, co może sugerować o wpływie czynnika na proces wytwórczy (Hamrol, Mantura, 2002, s. 282-283).

W trakcie sterowania procesem za pomocą kart kontrolnych możliwe jest wystąpienie dwóch rodzajów błędów. Błąd pierwszego rodzaju pojawia się, gdy analizowany proces jest uregulowany a w wyniku oddziaływania czynników losowych poza granicami kontrolnymi pojawia się punkt (wartość analizowanej cechy procesu). Co w rezultacie prowadzi do błędnego wniosku o rozregulowanym procesie oraz do wdrożenia działań, nierzadko kosztownych, których celem jest identyfikacja przyczyn problemu nieistniejącego (rozregulowanego procesu) (Hamrol, Mantura, 2002, s. 282-283; Mazur-Dudzińska, Dudziński, 2015).

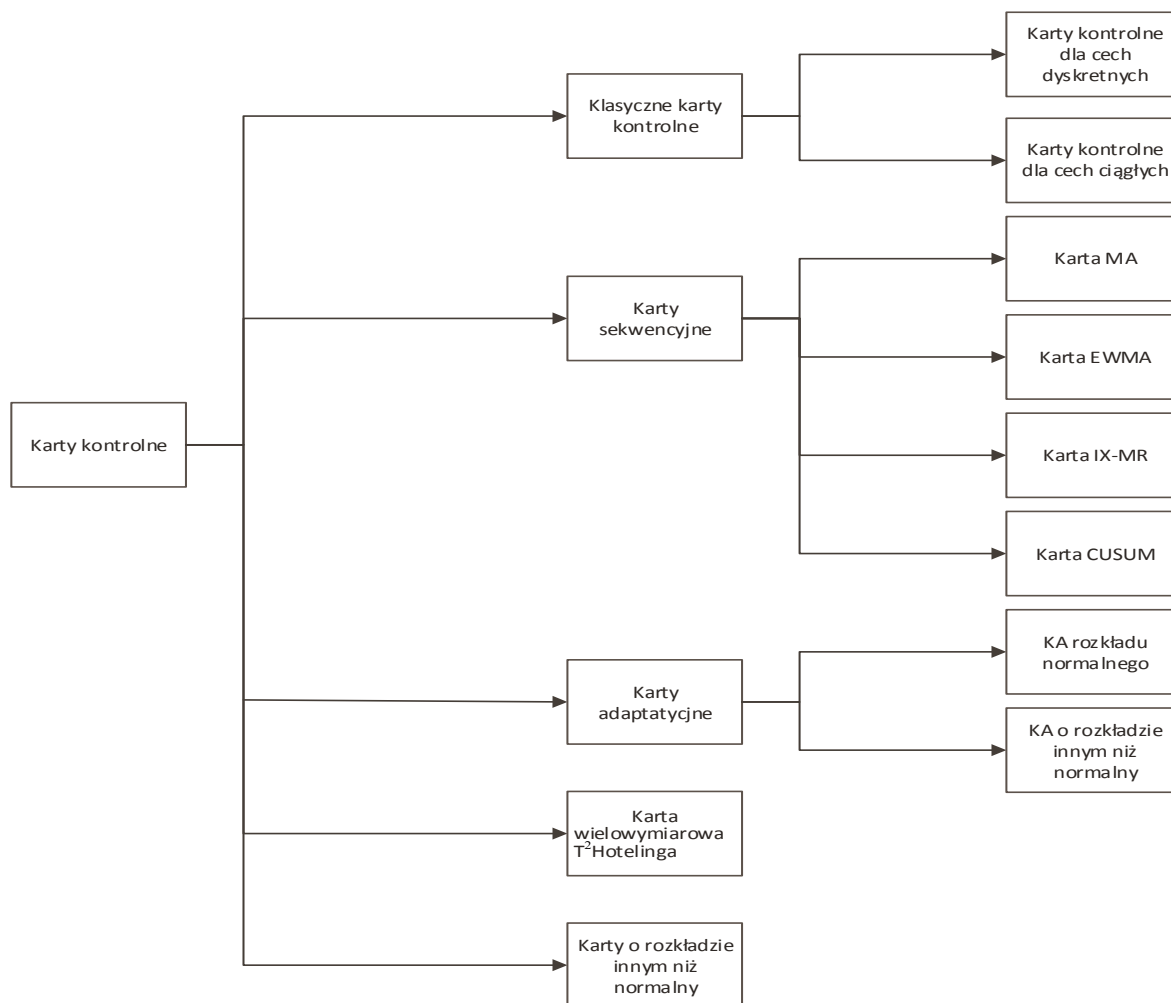
Błąd drugiego rodzaju występuje wtedy, gdy proces nie jest uregulowany, jednakże wygenerowany punkt znajduje się w obszarze pomiędzy granicami kontrolnymi z przyczyn losowych. Wówczas wnioskuje się nieprawidłowo o wyregulowaniu procesu, co powoduje ponoszenie kosztów związanych ze zwiększeniem liczby produkowanych jednostek niezgodnych. Na ryzyko błędu drugiego rodzaju wpływa zarówno szerokość granic kontrolnych, stopień nieuregulowania procesu jak i liczność próbki. Wielkość ryzyka związana z błędem drugiego rodzaju można określić tylko w sposób ogólny (Sałaciński, 2016, s. 38-39, PN-ISO 8258+AC: 1993, Karty Kontrolne Shewharta).

W sterowaniu za pomocą kart kontrolnych Shewharta uwzględniony jest tylko błąd pierwszego rodzaju, którego wartość wynosi 0,3% (dla granic 3σ). Koszty generowane w ramach zaistniałego błędu drugiego rodzaju są niemalże niemożliwe do określenia. Pierwotnie Shewhart zaznaczył praktyczność użyteczności kart kontrolnych, jako źródła informacji o odchodzeniu od stanu „uregulowania”, jednakże nie przywiązywał wagi do interpretacji probalistycznej. Według podejścia Shewharta, gdy punkt znajduje się poza granicami kontrolnymi lub też seria wartości tworzy pewne konfiguracje, można stwierdzić, iż proces nie jest statystycznie uregulowany, co daje podstawę do wdrożenia działań, w celu zidentyfikowania przyczyny wyznaczalnej. Niekiedy zdarza się, iż niemożliwe jest zidentyfikowanie przyczyn wyznaczalnych błędu pierwszego rodzaju. Wówczas stwierdza się, że punkt znajdujący się poza obszarem linii kontrolnych, wynika z zadziałania czynnika losowego, powodującego przesunięcie punktu poza linie kontrolne, choć proces jest uznany za statystycznie uregulowany (PN-ISO 8258+AC: 1993, Karty Kontrolne Shewharta, Wieczorowski, Czyżewski, 1976, s. 17; Hamrol, 2015, s. 316-321).

Wdrożenie systemu sterowania za pomocą kart kontrolnych Shewharata wiąże się z wcześniejszym zaimplementowaniem działań, których celem jest uregulowanie procesu. Istotne jest to, gdyż zdecydowana większość procesów jest od początku nieuregulowana.

2. Typy kart kontrolnych

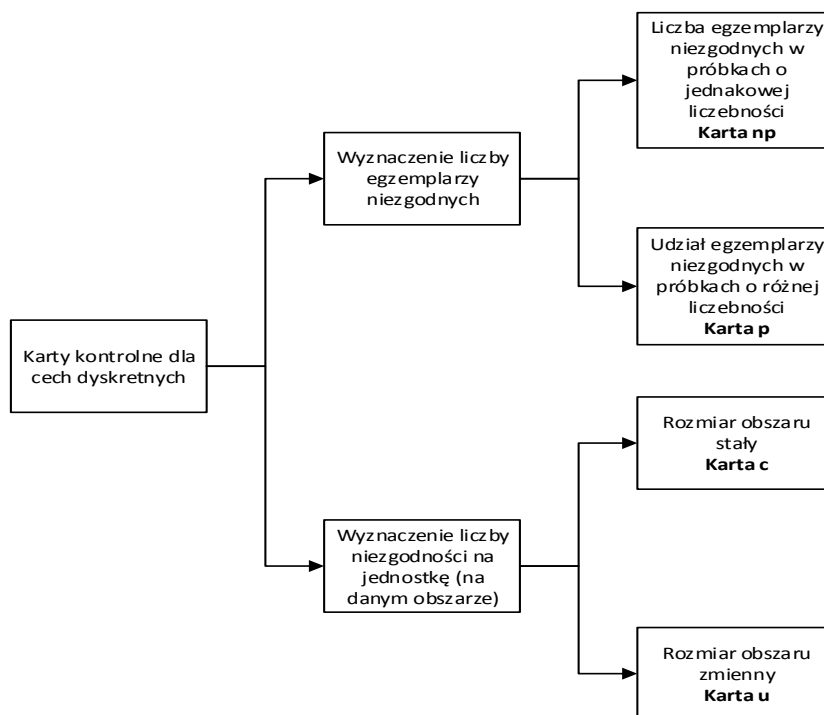
Wybór kart kontrolnych podyktowany jest charakterem rozpatrywanej cechy i rodzajem rozkładu, któremu owa cecha podlega (PN-ISO 8258+AC: 1993, Karty Kontrolne Shewharta). Cechy w ogólnym przypadku dzielimy na ciągłe i dyskretne. Cechy dyskretne to na ogół te, które można zliczyć np.: liczba wad, liczba skaz na jednostce powierzchni rozpatrywanego materiału itp. Cechy ciągłe mogą przybierać wartości dowolne z przedziałów, uzależnione rozdzielczością przyrządu pomiarowego (Sałaciński, 2016, s. 48; Obalski, 1955, s. 107-108). Podział kart kontrolnych ze względu na charakter rozpatrywanej cechy i rodzaj rozkładu przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Podział kart kontrolnych ze względu na rodzaj rozpatrywanej cechy i rodzaj rozkładu. Źródło: Sałaciński, 2016.

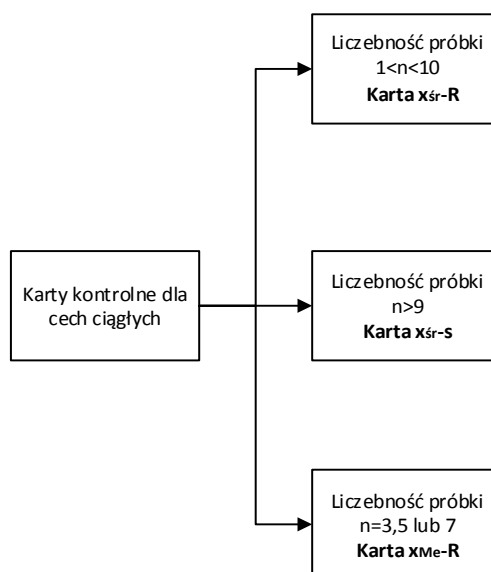
W klasycznym podziale kart kontrolnych wyróżnia się karty kontrolne dla cech dyskretnych i ciągłych. Szczegółowy podział kart kontrolnych dla cech dyskretnych przedstawiono na rysunku 2. Wybór karty kontrolnej dla badanej cechy o przebiegu dyskretnym opiera się głównie na wyznaczeniu liczby egzemplarzy niezgodnych lub wyznaczeniu liczby niezgodności na pewną obraną jednostkę np. liczba niezgodności występująca na obranej

powierzchni materiału. W przypadku cech o przebiegu dyskretnym, dla których wyznacza się liczbę egzemplarzy niezgodnych, istotna jest również niezmiennosc próbki tj. czy liczebność jest stała czy zmienna. W przypadku kart kontrolnych, dla których rozpatrywana jest liczba niezgodności przypadająca na jednostkę istotna jest zmienność powierzchni analizowanego obszaru (Hamrol, Mantura, 2002, s. 277-278; Wieczorowski, Czyżewski, 1976, s. 19).



Rysunek 2. Podział kart kontrolnych dla cech dyskretnych. Źródło: Sałaciński, 2016.

Dla cech ciągłych dokonuje się podziału kart ze względu na liczebność analizowanej próbki. Rodzaje kart kontrolnych ze względu na liczebność próbki dla cech ciągłych przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Podział kart kontrolnych dla cech ciągłych. Źródło: Sałaciński, 2016.

Wybór karty kontrolnej dla potrzeb sterowania jakością procesu wytwórczego jest stosunkowo prosty, gdy określony zostanie uprzednio charakter cechy i jej rozkład. Karta sterowania procesem (karta kontrolna) służy przede wszystkim do monitorowania wartości określonej cechy procesu, w celu jak najszybszego wychwycenia odstępstw badanej cechy i tym samym uniknięcia powstawania dalszych wadliwych wyrobów (Hamrol, Mantura, 2002; s. 291-292; Wieczorowski, Czyżewski, 1976, s. 19).

W trakcie prowadzenia karty kontrolnej istotne jest liczebność próbek jak i częstotliwość ich pobierania. W przypadku wdrażania karty po raz pierwszy istotne jest by częstotliwość pobierania próbek była większa niż w trakcie prowadzenia karty. Zbyt częste pobieranie próbek zbyt liczebnych, wiąże się z poniesieniem wysokich kosztów, dlatego ważne jest, aby liczba pobieranych próbek jak i częstotliwość była tak zoptymalizowana, by koszt prowadzenia karty nie był zbyt wysoki (Hamrol, Mantura, 2002; s. 292-293; Grant, 1972, s. 43; Hamrol, 2015, s. 321-324).

Z prowadzeniem karty regulacji wiąże się również konieczność archiwizowania danych dotyczących przyczyn utraty stabilizacji procesu. Budowanie swego rodzaju „historii” procesu wytwórczego pozwala na zapobieganie powstawaniu niektórym skutkom, poprzez identyfikację najczęstszych przyczyn i ich symptomów oraz wcześniejsze reagowanie na nie (Grant, 1972, s. 42).

3. Ocena jakości wykonania punktów lutowniczych w parownikach za pomocą kart kontrolnych

Konieczność dokonania oceny jakości wykonania punktów lutowniczych wynikała z częstych reklamacji parowników, w który stwierdzono wyciek substancji chłodzącej w trakcie regularnej ich eksploatacji.

Dokonując oceny zgodności wykonania punktów lutowniczych posłużono się metodą Six Sigma. Badania w ramach etapu *Measure* wykonano za pomocą pakietu statystycznego *STATISTICA*, wyposażonym w moduł analizy kart kontrolnych i moduł analizy zdolności produkcyjnych, określanych za pomocą odpowiednich współczynników.

Do wykonania analizy konieczne było przeprowadzenie pomiarów punktów lutowniczych w badanym przedsiębiorstwie. W tym też celu opracowano instrukcję pozyskiwania parowników bezpośrednio z linii produkcyjnej i z „hasioka” (kontener ze składowanymi parownikami, podlegającymi złomowaniu). Badanie jakości wykonanych punktów lutowniczych wykonywano przez 8 tygodni, zabierając z linii produkcyjnej po jednym parowniku z dowolnie wybranego wcześniej zamówienia.

Pierwszym etapem przygotowującym do realizacji oceny jakości punktów lutowniczych było przygotowanie instrukcji, mającej na celu poinformowanie pracowników działu

planowania o konieczności uzupełnienia zamówienia, powiększając jego wielkość o 1 sztukę. Następnie w ramach realizacji konkretnego zamówienia pracownicy działu Collaudo zobowiązani byli wezwać pracownika biura jakości, którego zadaniem było odłożenie parownika do testów, a następnie za pośrednictwem pracownika działu planowania skorygowanie wielkości zamówienia w systemie.

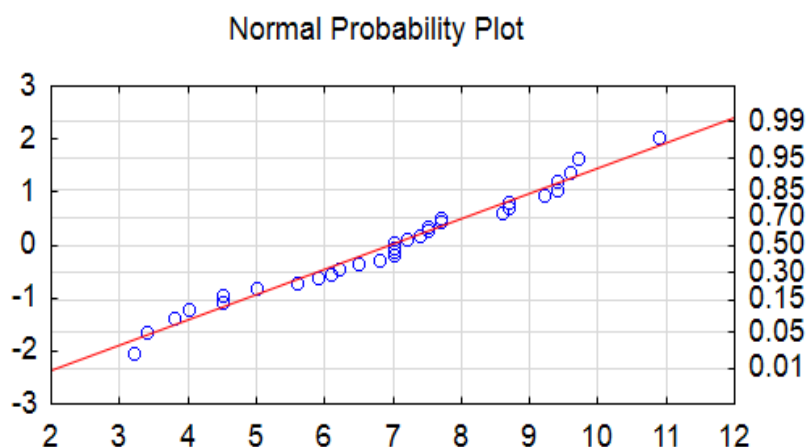
W ramach realizowanych testów w odłożonym do testów parowniku najpierw odcinano testatę wraz z kolankami i elementami raccorderyjnymi a następnie dokonywano pomiaru geometrii.

Po zidentyfikowaniu geometrii, opisywano kolanka i elementy raccorderyjne a następnie powyjmowano je i rozcinano prostopadle do płaszczyzny otworów. Ostatnim etapem było pomierzenie punktów lutowniczych, w ramach których wyznaczano głębokość kolanka, głębokość wykonanych lutów oraz na tej podstawie wyliczono procent wypełnienia kolanka lutem. W taki sposób zebrane dane stały się podstawą do analizy jakości wykonania punktów lutowniczych.

3.1. Zastosowanie kart kontrolnych dla potrzeb oceny stabilności procesu lutowania

Dla potrzeb analizy wykonano pomiar 32 punktów lutowniczych w dwóch parownikach, dla których wykonano pomiar głębokości kolanka, głębokości lutu a następnie wyliczono procent wypełnienia lutem. Wyniki te były podstawą do przeprowadzenia dalszych badań. W ramach badanych punktów lutowniczych wyznaczono procent wypełnienia kielicha jako stosunek głębokości lutu do głębokości kolanka.

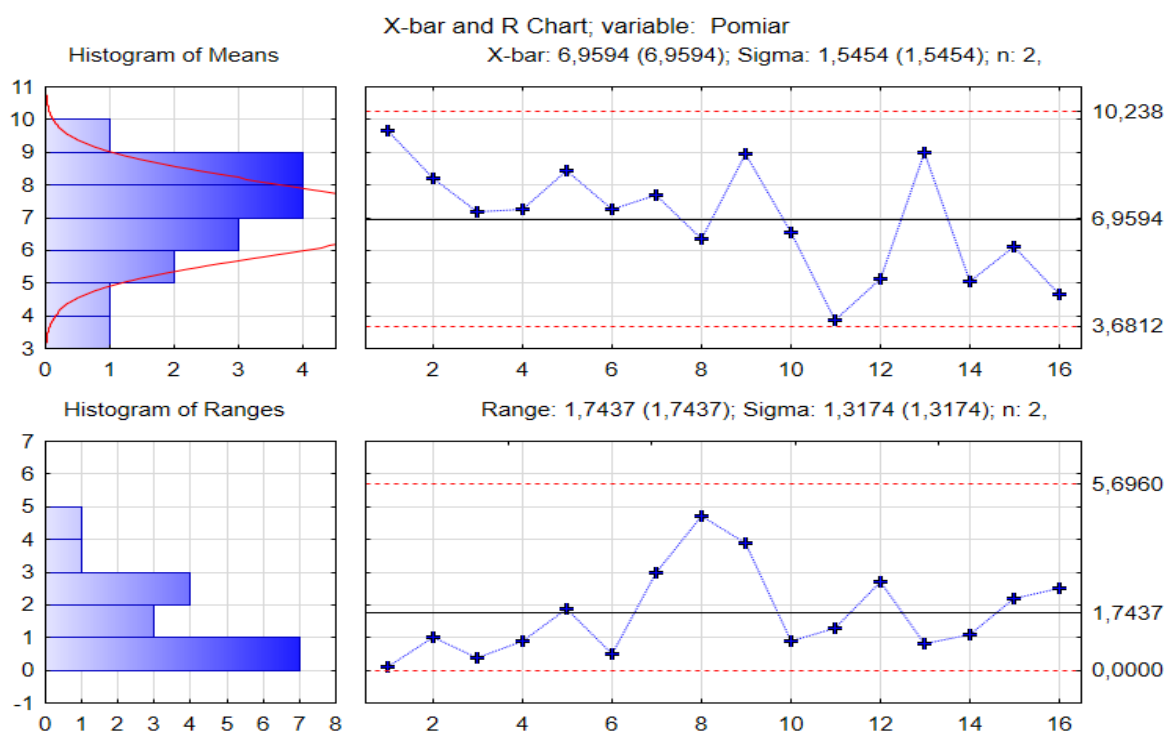
Do wykonania karty kontrolnej posłużono się danymi dotyczącymi głębokości lutu. Początkowo zbadano czy badana cecha (głębokość lutu) ma rozkład normalny lub zbliżony do normalnego. W tym też celu za pomocą pakietu statystycznego *STATISTICA* utworzono tzw. wykres dopasowania do rozkładu normalnego cechy głębokość lutu, który przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Wykres dopasowania do rozkładu normalnego cechy głębokość lutu. Źródło: opracowanie własne.

Jeżeli punkty skupiają się wokół linii prostej to rozkład uznaje się za normalny. W analizowanym przypadku reprezentowane dane mają rozkład normalny (Gaussa).

Kolejnym krokiem analizy punktów lutowniczych było zbudowanie karty kontrolnej. W tym też celu stwierdzono, iż proces lutowania będzie kontrolowany za pomocą karty \bar{x} -R. Na rysunku 5 przedstawiono opracowaną kartę kontrolną dla analizowanego procesu, zaznaczono takie wielkości jak: dolna granica kontrolna (symbolicznie oznaczana GLK), wartość średnia w przypadku wykresu x-średnia i R oraz górna granica kontrolna (symbolicznie oznaczana jako DLK). W przypadku wykresu rozstępu oznaczono dodatkowo linię centralną rozstępu o wartości 1,7437 (karta R rysunku 5).



Rysunek 5. Karta \bar{x} -R dla wyników pomiaru głębokości lutu. Źródło: opracowanie własne.

Analizując kartę \bar{x} -R można stwierdzić, iż analizowany proces jest stabilny. Jednakże obserwuje się również wpływ pewnego nieoznaczonego czynnika, który powoduje powstawanie trendu malejącego na karcie kontrolnej \bar{x} , w przypadku pierwszych czterech analizowanych punktów. Oznacza to, że na proces działa lub zadziałał jednorazowy czynnik specjalny, powodując rozregulowanie procesu.

W ramach realizacji następnego kroku analizy Six Sigma wyznaczono wielkości współczynników zdolności procesu wskaźnika rozrzutu parametru głębokość lutu C_p i wskaźnika położenia wartości średniej rozkładu parametru C_{pk} . Ich wartość to $C_p = 0,4308$ oraz $C_{pk} = 0,4308$. Zgodnie z metodyką Six Sigma takie wartości nie są satysfakcjonujące, gdyż te wartości świadczą o wysokim prawdopodobieństwie wyprodukowania wadliwej sztuki wyrobu.

W ramach zainicjowania działań udoskonalających powołano zespół, którego zadaniem było zidentyfikowanie przyczyn niskiej zdolności procesu, ocena wpływu każdej z wymienionych przyczyn na proces lutowania, oraz próba eliminacji przyczyn uznanych przez kierownictwo za najbardziej istotne.

W celu udoskonalenia jakości punktów lutowniczych zaproponowano kierownictwu zmiany, które skupiły się na eliminacji przyczyn najważniejszych, zaimplementowano je, po czym ponownie zbadano proces lutowania, wykorzystując w tym celu karty kontrolne.

3.2. Identyfikacja przyczyn niskiej stabilności procesu lutowania

W celu znalezienia przyczyn braku regularności procesu lutowania zebrano zespół, składający się z kierownika produkcji, kierownika działu jakości oraz pracowników działu lutowania. W ramach spotkania przy wykorzystaniu diagramu Ishikawy podjęto próbę wyłonienia przyczyn nieszczelności parowników. Dla ułatwienia najpierw wyznaczono kategorie przyczyn, przyjmując w tym celu koncepcje 5M a następnie objaśniono wszystkim znaczenie poszczególnych „M” oraz zakres przyczyn w każdej z kategorii.

W trakcie spotkania spisywano spostrzeżenia każdego z uczestników, dobierając jednocześnie odpowiednią kategorię do przyczyny. Diagram Ishikawy zawierający możliwe przyczyny nieszczelności parowników przedstawiono na rysunku 6.

W ramach zidentyfikowanych przyczyn w kategorii „Człowiek” wyselekcjonowano następujące zagadnienia: dokładność wykonania punktów lutowniczych wynikająca z predyspozycji pracowników, duża rotacja pracowników oraz brak doświadczenia pracowników ze stażem pracy dłuższym niż 6 miesięcy, wysoka niedokładność wykonywanej pracy, monotoność pracy i znużenie pracowników oraz brak systemu motywacyjnego, zachęającego pracowników do większego przykładania się do jakości wykonywanej pracy. Co więcej, istotną przyczyną zidentyfikowaną w ramach kategorii „Człowiek” był brak możliwości sprawdzenia szczelności parownika przez pracownika Collaudo (próba szczelności) w przypadku mikronieszczelności.

W ramach kategorii „Metoda” wyróżniono przyczyny odnoszące się do sposobu wykonania punktów lutowniczych. Przyczynami tymi są: zbyt długie podgrzewanie części lutowanych, nierównomierne podgrzewanie punktów na całym obwodzie, zbędne ręczne rozkielichowywanie i wpychanie kolanek na stanowisku lutowania.

W ramach kategorii „Maszyna” zidentyfikowano następujące przyczyny: rozkalibrowanie maszyny mandrynującej, poprzedzającej proces lutowania, zbyt duża głębokość kielichowania oraz niska precyzja wykonania punktu lutowniczego na etapie lutowania.

W kategorii „Materiał” wyodrębniono takie przyczyny jak: brak jednorodności dostawców miedzi, różnice w składzie materiałów lutowanych oraz brak możliwości sprawdzenia składu materiału lutowanego w każdej z zamówionych partii, co w efekcie prowadzi do zmiennych warunków fizykochemicznych przeprowadzanego procesu.

W kategorii „Zarządzanie” zidentyfikowano przyczyny takie jak: brak praktycznych szkoleń wewnątrzzakładowych, niejasno sprecyzowana różnica pomiędzy lutem poprawnie wykonanym i błędnym, brak możliwości weryfikowania przez kierownictwo pracowników odpowiedzialnych za nieszczelność punktów lutowniczych oraz utrzymywanie systemu premiowania opartego na wydajności (zależy od liczby wykonanych parowników), a nie od ich jakości.



Rysunek 6. Diagram przyczyn nieszczelności parowników. Źródło: opracowanie własne.

3.3. Klasyfikacja przyczyn nieszczelności parowników

W ramach współpracy z kierownictwem oraz własnych obserwacji przeprowadzono ważoną analizę Pareto-Lorentza dla przyczyn nieszczelności parowników. W ramach zidentyfikowanych przyczyn, na podstawie obserwacji określono częstość występowania danej przyczyny, po czym utworzono skalę ocen dla częstotliwości występowania danej przyczyny. Skalę tę przedstawiono w tabeli 1.

Tablica 1.

Skala oceny częstości wystąpienia poszczególnych przyczyn nieszczelności parowników

Ocena	Opis
10	więcej niż raz na 1 dzień
9	1 raz/dzień
8	4-6 razy w tygodniu
7	2-3 razy w tygodniu
6	4 razy w miesiącu
5	2-3 razy w miesiącu
4	1 raz/miesiąc
3	2-5 razy/ pół roku
2	1-2 razy/rok
1	rzadziej niż 1 raz/rok

Źródło: opracowanie własne.

Następnie dla potrzeb przeprowadzenia analizy Pareto-Lorentza do poszczególnych przyczyn przypisano wagę, obrazującą łatwość redukcji danej przyczyny, określonej z punktu widzenia kierownictwa wyższego szczebla.

Dla zadań redukujących przyczyny nieszczelności po najniższym koszcie (działania wprowadzone w ciągu 1 tygodnia roboczego, przy wielkości kosztów poniżej 5 tys. zł) przypisano wagę 5. Waga 4 przypisana została do przyczyn, w których nastąpiła konieczność zwiększenia wielkości poniesionych kosztów (5-7,5 tys. zł) lub czasu wprowadzenia 1-2 tygodni roboczych. Przyczyny, do których przypisano wagę 3, wymagały nakładów 7,5-10 tys. zł lub czas trwania wdrożenia czynności redukujących trwały 2-3 tygodni. Waga 2 przypisywana była do przyczyn, które wymagały nakładu o wielkości 10-12,5 tys. zł lub czas wprowadzania trwał 3-4 tygodnie. Waga 1 przypisywana była do przyczyn, których redukcja wiązała się z poniesieniem kosztu powyżej 12,5 tys. zł lub też czas wdrożenia czynności redukujących trwał powyżej 1 miesiąca.

Utworzone zestawienie przyczyn z wyliczonymi wartościami częstości wystąpienia i przypisanymi wagami oraz wyznaczonym iloczynem stopnia skali częstości wystąpienia oraz wagi przedstawiono w tabeli 2.

Tablica 2.

Zestawienie przyczyn nieszczelności parowników z wyliczonymi wartościami iloczynu częstości wystąpienia i wagi

Przyczyna	Częstość wystąpienia	Waga	Iloczyn	Grupa
Monotonność pracy	10	5	50	A
Brak motywacji pracowników	9	5	45	A
Dokładność uwarunkowana predyspozycjami pracownika	9	5	45	A
Zbędne ręczne rozkielichowywanie	9	4	36	A
Brak doświadczenia pracowników	7	5	35	A
Duża rotacja pracowników	6	5	30	A
Zbyt wysoka temperatura materiału wykorzystywanego do lutowania	7	4	28	A
Niedokładność wykonania	5	5	25	A
Nierównomierne podgrzewanie materiału	6	4	24	A
Niska precyzja wykonania	7	3	21	A
Brak możliwości zauważenia nieszczelności na Collaudo w przypadku mikrouszkodzeń	4	5	20	A
Ręczne wpychanie kolanek	5	4	20	A
Niewykalibrowanie maszyny mandrynującej	6	3	18	A
Zbyt duża głębokość rozkielichowywania	6	3	18	B
Brak możliwości oceny składu materiału lutowanego każdej zamówionej partii	9	2	18	B
Zbyt długie podgrzewanie części lutowanych	4	4	16	B
Brak jednorodności dostawców miedzi	8	2	16	B
System premiowania zależny od ilości wykonanych parowników nie od ich jakości	10	1	10	B
Niejasno sprecyzowana różnica pomiędzy lutem poprawnie wykonanym a błędnym	10	1	10	C
Różnice w składzie materiałów lutowanych	5	2	10	C
Brak możliwości weryfikowania przez kierownictwo osób odpowiedzialnych za nieszczelność punktów lutowniczych	8	1	8	C
Brak praktycznych szkoleń wewnątrzzakładowych	6	1	6	C

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych zawartych w tabeli 3 dokonano wyliczenia wartości procentowej poszczególnych iloczynów a następnie wartości skumulowanej, po czym przypisano każdej przyczynie grupę (A, B lub C).

Na podstawie tabeli 2 opracowano wykres Pareto-Lorentza dla poszczególnych przyczyn nieszczelności parowników.

Zgodnie z koncepcją Pareto istotne jest, by w pierwszej kolejności eliminować przyczyny, należące do kategorii A analizowanego problemu (tabela 2). W ramach działań udoskonalających w pierwszej kolejności skupiono się, zatem na takich przyczynach jak: monotonność pracy, brak motywacji, weryfikacja predyspozycji pracowników do wykonywanej pracy, duża rotacja pracowników, niepotrzebne rozkielichowywanie rurek, zbyt wysoka temperatura ogrzewania rurek i ich nierównomierne ogrzewanie, ręczne wpychanie kolanek do kielichów, niska precyzja wykonania, niemożność zauważenia przez pracownika działu Collaudo mikronieszczelności oraz niewykalibrowanie maszyny mandrynującej.

W stosunku do wymienionych przyczyn nieszczelności wprowadzono działania udoskonalające, eliminujące częściowo lub w pełni daną przyczynę.

4. Propozycja rozwiązań udoskonalających jakość wykonania punktów lutowniczych

Punktem wyjścia do eliminacji zidentyfikowanych przyczyn nieszczelności parowników była najpierw ich kategoryzacja, czego dokonano wykonując ważoną analizę Pareto. Analiza ta powstała w uzgodnieniu z naczelnym kierownictwem badanego przedsiębiorstwa, którego głównym zadaniem było utworzenie wag poszczególnych przyczyn. W celu poprawy jakości wykonania punktów lutowniczych wdrożono działania mające na celu zminimalizowanie wpływu najistotniejszych przyczyn nieszczelności parowników, które należały do grupy A (zgodnie z analizą Pareto). Zgodnie z ideą analizy Pareto uzasadnione jest skupienie się na przyczynach grupy A, gdyż to one generują 80% skutków.

W badanym przedsiębiorstwie w trakcie rozpatrywania reklamacji przedstawia się klientowi tylko i wyłącznie działania korygujące, które z jego punktu widzenia są niewystarczające do chęci ciągłej współpracy. Idea wdrożenia działań prewencyjnych dotyczących jakości parowników, w tym też zapewnienia ich szczelności, zaproponowana została z inicjatywy kierownictwa.

4.1. Propozycja zmian udoskonalających jakość wykonania punktów lutowniczych

W celu poprawy jakości wykonania punktów lutowniczych zaproponowano zmiany, mające na celu eliminację wpływu poszczególnych najistotniejszych przyczyn nieszczelności parowników, należących do grupy A. Zaproponowane zmiany ostatecznie zostały zaaprobowane przez kierownictwo przedsiębiorstwa, a następnie wdrożone. Wdrożenie zmian zainicjowano wraz z końcem sierpnia. Zestawienie zaproponowanych i zaaprobowanych zmian dla przyczyn grupy A przedstawiono w tabeli 3.

Tablica 3.

Zestawienie przyczyn grupy A oraz rozwiązań udoskonalających

Przyczyna	Rozwiązanie udoskonalające
Monotonność pracy	Wprowadzenie zamiast dwóch 10- minutowych i jednej 20-minutowej przerwy jedną 15-minutową i pięć 5-minutowych przerw równomiernie rozłożonych w trakcie pracy.
Brak motywacji pracowników	Wprowadzenie systemu premiowania opartego na wydajności, jak i jakości wykonania.
Dokładność uwarunkowana predyspozycjami pracownika	Rozplanowywanie pracowników w taki sposób, by bardziej doświadczeni pracowali na stanowisku lutowania.
Zbędne ręczne rozkielichowywanie	Szkolenia pracowników obsługujących maszynę mandrynującą.
Brak doświadczenia pracowników	Rozplanowywanie pracowników w taki sposób, by Ci bardziej doświadczeni pracowali na stanowisku lutowania/ Szkolenia pracowników nowoprzybyłych.
Duża rotacja pracowników	Szkolenia dla pracowników, zakończone testami wewnątrzzakładowymi.
Zbyt wysoka temperatura materiału wykorzystywanego do lutowania	Skrócenie czasu nagrzewania materiału do lutowania

cd. tabeli 3.

Niedokładność wykonania	Szkolenia dla pracowników, zakończone testami wewnątrzzakładowymi.
Nierównomierne podgrzewanie materiału	Szkolenia dla pracowników, zakończone testami wewnątrzzakładowymi.
Niska precyzja wykonania	Szkolenia dla pracowników, zakończone testami wewnątrzzakładowymi.
Brak możliwości zauważenia nieszczelności na Collaudo w przypadku mikrouszkodzeń	Zwiększenie ciśnienia testowania parowników.
Ręczne wypychanie kolanek	Zastosowanie przyrządu do wkładania kolanek z regulacją wystawiania kolanek nad testatą.
Niewykalibrowanie maszyny mandrynującej	Szkolenia pracowników obsługujących maszynę mandrynującą.

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione w tabeli 5 działania udoskonalające mają charakter prewencyjny. Okres wdrażania poszczególnych działań wahał się od 1 tygodnia do 2 miesięcy. Działania, takie jak: zastosowanie częstszych i krótszych przerw w trakcie pracy oraz rozplanowywanie pracowników w taki sposób, by bardziej doświadczeni pracowali na stanowisku lutowania, trwało około 1 tygodnia. Z kolei część szkoleń z zakresu kalibracji maszyny mandrynującej czy sposobu wykonywania punktów lutowniczych, obejmująca pracowników ze stażem pracy ponad 1 miesiąc, trwała około 3-4 tygodnie. W przypadku pracowników ze stażem pracy krótszym niż 1 miesiąc większość prowadzonych szkoleń trwała 2 miesiące. Wszystkie szkolenia zakończone były testami wewnątrzzakładowymi, realizowanymi w trakcie normalnej pracy.

Po dwóch miesiącach od zakończenia wdrażania pierwszego cyklu działań udoskonalających o charakterze prewencyjnym przystąpiono ponownie do oceny jakości wykonania punktów lutowniczych.

5. Ocena jakości wykonania punktów lutowniczych po wdrożonych udoskonaleniach

W ramach realizacji ponownej oceny jakości wykonania punktów lutowniczych pobrano próbkę parowników o geometrii 07G2125 losowo wybranych z linii produkcyjnej i z „hasioka”. Analizie poddano 34 punkty lutownicze, obejmujące polutowane kolanka. W tabeli 4 przedstawiono punkty lutownicze, wraz z określoną głębokością lutu, głębokością kolanka oraz wyznaczonym jako iloczyn pierwszego parametru i drugiego procentu wypełnienia.

Tablica 4a.*Zestawienie punktów lutowniczych po wdrożonych działaniach udoskonalających*

Numer punktu lutowniczego	Głębokość kolanka [mm]	Głębokość lutu [mm]	Procent wypełnienia [%]
1	5,1	5,1	100
2	6,2	5,8	94
3	5,6	4,4	79
4	3,8	3,8	100
5	5,5	5,5	100
6	6,2	5,8	94
7	3,8	3,8	100

Tablica 4b.*Zestawienie punktów lutowniczych po wdrożonych działaniach udoskonalających*

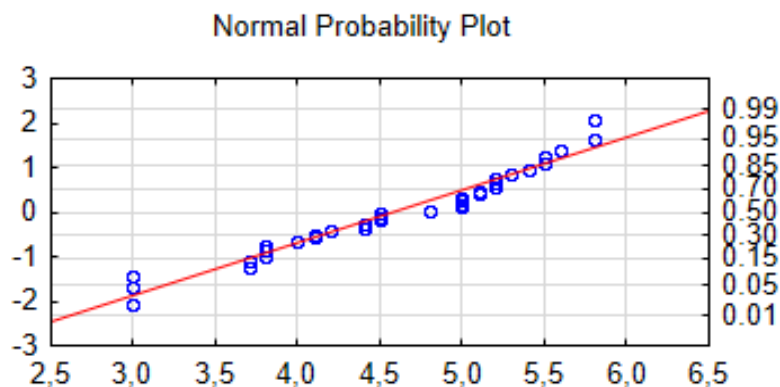
8	2,5	3	120
9	5	4	80
10	5,3	5	94
11	4,1	4,1	100
12	5,6	4,5	80
13	5,3	4,8	91
14	4,6	3,8	83
15	5,1	5,1	100
16	5,5	5	91
17	5	4,1	82
18	5,4	5,4	100
19	5	3,7	74
20	5,3	4,2	79
21	5,2	5,2	100
22	5,2	5,2	100
23	4,4	4,4	100
24	5	4,5	90
25	5,5	5,5	100
26	6,2	5	81
27	5,3	5,3	100
28	5,3	4,5	85
29	5	3	60
30	5,7	5	88
31	5,6	5,6	100
32	6	5,2	87
33	3	3	100
34	3,7	3,7	100

Źródło: opracowanie własne.

W celu dokonania analizy punktów lutowniczych parowników pobranych bezpośrednio z linii produkcyjnej lub „hasioka” konieczne było rozcięcie punktów lutowniczych prostopadle do płaszczyzny otworów kielichów, powstałych po rozłaczaniu. Czynność tę wykonywał jeden z pracowników, mających odpowiednie uprawnienia, pozwalające na rozcinanie rurek miedzianych. Po przygotowanych porożcinanych kolankach przystąpiono do wykonywania pomiarów głębokości lutów i głębokości kolanka. Pomiary wykonywano za pomocą suwmiarki.

Aby utworzyć kartę kontrolną konieczne było uprzednie sprawdzenie, czy badany parametr głębokości lutu ma rozkład normalny. W tym też celu, wykorzystując pakiet do analiz

statystycznych *STATISTICA*, utworzono tzw. wykres dopasowania do rozkładu normalnego cechy głębokość lutu, który przedstawiono na rysunku 8.



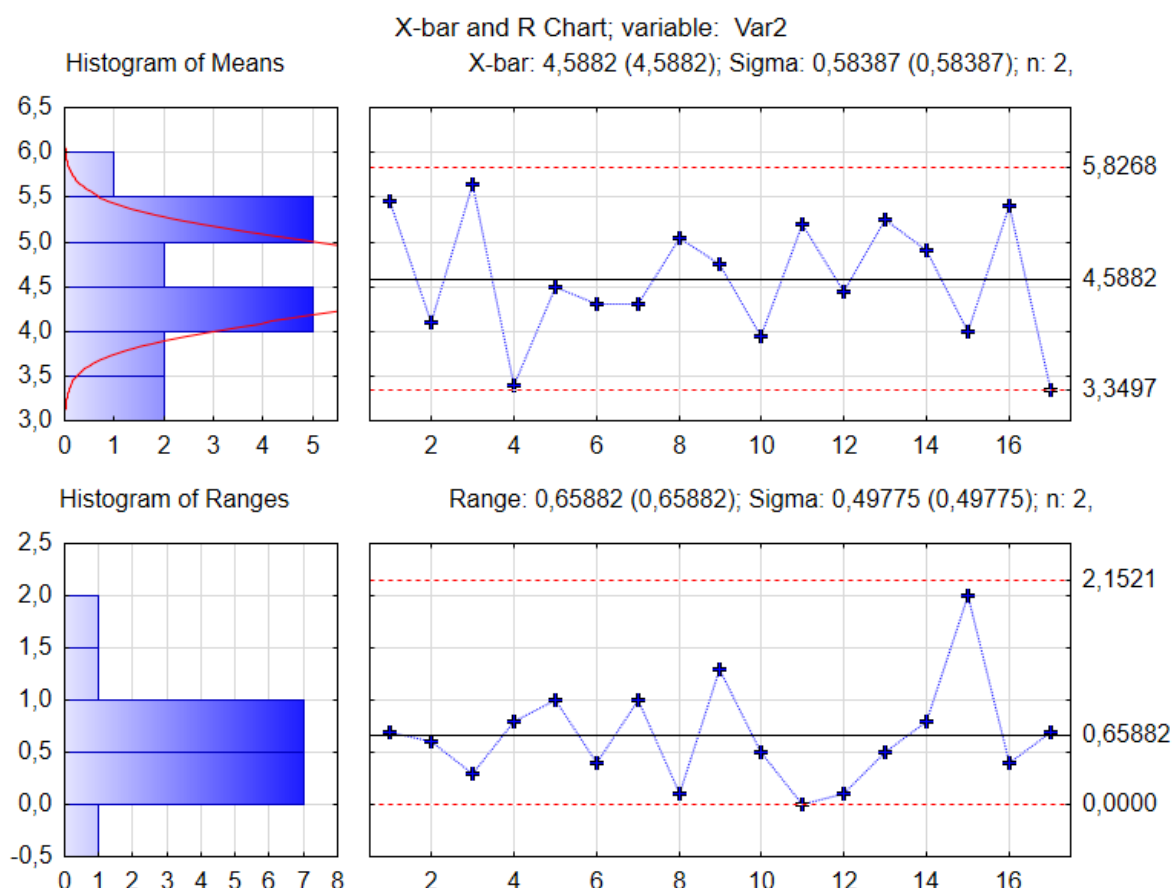
Rysunek 8. Wykres dopasowania do rozkładu normalnego cechy głębokości lutu po wdrożonych udoskonaleniach. Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z przedstawionym na rysunku 8 wykresie, można stwierdzić, iż punkty skupiają się wokół prostej, co oznacza, że badana cecha głębokości lutu ma rozkład normalny. Stwierdzenie to jest bardzo istotne, gdyż daje możliwość zbudowania karty \bar{x} -R dla punktów lutowniczych po wdrożonych udoskonaleniach.

Kolejnym krokiem, jaki wykonano, było utworzenie karty kontrolnej dla badanej cechy głębokość lutu po wdrożonych udoskonaleniach. Tworząc kartę kontrolną posłużono się danymi zawartymi w tabeli 6. W celu opracowania karty kontrolnej wykorzystano funkcję tworzenia kart pakietu *STATISTICA*. Na rysunku 9 przedstawiono kartę kontrolną \bar{x} -R.

Opierając analizę tylko na karcie kontrolnej można stwierdzić, iż proces lutowania jest stabilny, gdyż wyniki poszczególnych pomiarów zawierają się pomiędzy dolną i górną granicą kontrolną. Co więcej, zgodnie z kartą \bar{x} można stwierdzić, iż w procesie nie występują czynniki powodujące trwałe przesunięcie wartości średniej kontrolowanej cechy. Oznacza to, że proces nie ulega destabilizacji przez konkretny czynnik. Podstawą do tego stwierdzenia jest niewystępowanie trendu rosnącego lub malejącego dla występujących po sobie punktów (nie obserwuje się występowania po sobie siedmiu kolejnych punktów, znajdujących się pomiędzy jedną granicą a wartością średnią).

W przypadku analizowanego procesu, po wdrożeniu udoskonaień, obserwuje się zwiększenie współczynników zdolności produkcyjnej, które wynosiły dla wskaźnika położenia wartości średniej rozkładu parametru głębokość lutu $C_{pk} = 0,4580$ oraz wskaźnik rozrzutu parametru $C_p = 0,4580$. Nieznaczný wzrost współczynników zdolności produkcyjnej w porównaniu do wartości współczynników przed wdrożeniem działań doskonalących wynika głównie z faktu, iż pomiary punktów lutowniczych wykonywane były niemalże od razu po zakończeniu pierwszego cyklu wdrożenia udoskonaień. Co więcej, fakt ten wynika również z niedostatecznego przyzwyczajania się pracowników do zmian. Ponadto udoskonalenia pozwoliły na eliminację trendu, tym samym można stwierdzić, iż dzięki udoskonaleniom wyeliminowano wpływ stałego lub jednorazowego czynnika specjalnego.



Rysunek 9. Karta \bar{x} -R dla wyników pomiaru głębokości lutu po wdrożonych udoskonaleniach. Źródło: opracowanie własne.

W ramach dalszych działań mających na celu poprawę jakości punktów lutowniczych oraz zapewnienia stabilności i powtarzalności procesu kierownictwo zdecydowało się na prowadzenie analiz punktów lutowniczych w odstępie 2-miesięcznym, tym samym dając możliwość wprowadzenia w badanym przedsiębiorstwie działań o charakterze prewencyjnym i korygującym. Ponadto, wdrożenie analiz po kolejnych dwóch miesiącach daje możliwość zweryfikowania prawidłowości kierunku wdrażanych zmian przez kierownictwo.

Podsumowanie

Karty kontrolne Shewharta to uniwersalne narzędzie, pozwalające na sterowanie procesem oraz tworzenie „historii” jego przebiegu. Umożliwiają one jednocześnie wdrożenie działań prewencyjnych, minimalizujących powstawanie wadliwych produktów. Wdrożenie kart kontrolnych jako narzędzia do śledzenia przebiegu procesu jest stosunkowo czasochłonne i wymaga gromadzenia odpowiednich danych o przebiegu procesu, ale w przeciwieństwie do zbierania pojedynczych wyników pomiarów pozwala na określenie tendencji przebiegu procesu, co ułatwia analizę wyników ze względu na ich przejrzystość.

Zaprezentowany w niniejszym artykule sposób zastosowania kart kontrolnych w procesie lutowania pozwolił poprawić jakość punktów lutowniczych. Ze względu na krótki okres obserwacji od wdrożenia zmian udoskonalających ich skutki nie były spektakularnie znaczące, można jednak stwierdzić, iż obrany kierunek zmian jest właściwy. Podjęte działania będą wymagały weryfikacji, ale jednocześnie należy zaznaczyć, że nie można w pełni wyeliminować czynników specjalnych w procesie lutowania. Jakość wykonania punktów lutowniczych zdeterminowana jest predyspozycjami i uwarunkowaniami fizycznymi konkretnych pracowników. Z uwagi na trudność zapewnienia powtarzalności ręcznego wykonywania lutowania istotne jest dokładne i systematyczne sprawdzanie szczelności parowników w dziale kontroli szczelności. Z tego względu w celu zaobserwowania znaczącego zwiększenia wartości współczynników zdolności produkcyjnej i wycelowania procesu lutowania konieczne jest wdrożenie zaproponowanych zmian, ale przede wszystkim osiągnięcie stanu pełnego ich zaakceptowania przez pracowników. Dla poprawy jakości procesu w pełni wykonywanego ręcznie kluczowa jest bowiem akceptacja zmian w sposobie pracy przez pracowników w działach lutowania. Monitorowanie jakości wykonania punktów lutowniczych pozwoli na stałą weryfikację skuteczności zaproponowanych działań.

Bibliografia

1. Chorafas, D.N. (1960). *Procesy statystyczne i niezawodność urządzeń*. WNT.
2. Czabak-Górska, I. (2017). Klasyfikacja nowoczesnych kart kontrolnych. *PTZP*, T2, 281.
3. Grant, E.L. (1972). *Statystyczna kontrola jakości*. PWE.
4. Hamrol, A. (2015). *Strategie i praktyki sprawnego działania – Lean, Six Sigma i inne*. PWN.
5. Hamrol, A., Mantura, W. (2002). *Zarządzanie jakością – teoria i praktyka*. PWN.
6. Iwaszkiewicz, A., Paszek, Z. (1997). *Statystyka z elementami statystycznych metod sterowania jakością*. Kraków: Akademia Ekonomiczna.
7. Mazur-Dudzińska, A., Dudziński, J. (2015). Zastosowanie kart Shewharta do kontroli jakości produkcji elementów uzbrojenia. *Mechanik*, 7, 525-532.
8. Obalski, J. (1955). *Statystyczna kontrola jakości podczas produkcji*. PWT.
9. PN-ISO 8258+AC1:1993. *Karty kontrolne Shewharta*.
10. Sałaciński, T. (2016). *SPC – statystyczne sterowanie procesem produkcji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
11. Wieczorowski, K., Czyżewski, B. (1976). *Statystyczna kontrola jakości – poradnik techniczny*. Naczelna Organizacja Techniczna.