

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ



**Politechnika
Śląska**

Rozprawa doktorska
Mgr inż. Adam KRĘPA

**„ZASTOSOWANIE WYBRANYCH NARZĘDZI LEAN MANUFACTURING
W DOSKONALENIU ZARZĄDZANIA PROCESEM SKRAWANIA
ODLEWÓW TŁOKÓW SAMOCHODOWYCH”**

Promotor:

Dr hab. inż. Jarosław Piątkowski – prof. PŚ

Gliwice, 2023 r.

SPIS TREŚCI

	str.
Wprowadzenie	3
1. Przegląd aktualnego stanu wiedzy.....	4
1.1. Geneza powstania koncepcji Lean manufacturing (LM).....	4
1.2. Definiowanie koncepcji Lean	6
1.3. Metody i narzędzia Lean Manufacturing	12
1.4. Lean Manufacturing w przemyśle motoryzacyjnym	15
1.5. Transformacja z przemysłu 3.0 do poziomu 4.0	27
1.6. Podsumowanie części teoretycznej	35
2. Badania wstępne	40
2.1. Skrócony opis produkcji odlewów tłoków ze stopów Al-Si w F-M Gorzyce	40
2.2. Dotychczasowy sposób zarządzania obróbką mechaniczną tłoków na linii DL9 - analiza stosowanych narzędzi Lean manufacturing (LM)	46
2.3. Podsumowanie skuteczności narzędzi lean stosowanych w czasie badań wstępnych w linii DL9	53
2.4. Konieczność poprawy sposobu zarządzania obróbką mechaniczną tłoków	60
2.4. Podsumowanie badań wstępnych - przesłanki do celu i tezy pracy	69
3. Cele, zakres badań i teza	71
3.1. Cel naukowy i użyteczny badań	71
3.2. Teza pracy	73
4. Koncepcja pracy	75
4.1. Plan badań	75
4.2. Miejsce i obiekt badań	75
5. Badania zasadnicze	78
5.1. Mapowanie strumienia wartości linii do obróbki skrawaniem tłoków	78
5.2. Zmniejszenie liczby operatorów koniecznych do obsługi linii DL9	85
5.3. Usunięcie z procesu badań kontrolnych (operacja nr 190 z gniazda nr 5)	91
5.4. Zastąpienie papierowych kart X-R elektronicznym systemem SPC	93
5.5. Zastąpienie urządzenia US1D na US2D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów tłoków	99
5.6. Wprowadzenie elektronicznej wizualizacji statusu obróbki skrawaniem	107
5.7. Redukcja czasu cykli maszyn na linii DL9	117
5.8. Sprawdzenie poziomu drgań wybranych maszyn na linii DL9	125
5.9. Wprowadzenie spersonalizowanego systemu Andon do nadzoru procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9	131
5.10. Elektroniczne zbieranie danych dotyczących zużycia mediów technicznych na linii DL9 oraz działania mające na celu zmniejszenie ich wykorzystania	137
6. Podsumowanie	146
7. Wnioski	155
Spis literatury.....	156
Załączniki	161

WPROWADZENIE

W warunkach silnej dynamiki otoczenia, wielu producentów poszukuje sposobów na przewyższenie trudności i uzyskanie przewagi nad konkurencją. Przedsiębiorstwa muszą więc poszukiwać sposobów na oszczędność zasobów, wprowadzając różnego rodzaju innowacje, które umożliwią im funkcjonowanie na rynku. Zmiany te powinny im przynieść korzyści i wyeliminować wszystkie czynności, które nie przynoszą żadnej wartości z punktu widzenia klienta. Jednym ze sposobów obniżenia wszelkiego marnotrawstwa i oszczędności w dążeniu do redukcji kosztów prowadzonej działalności, zwłaszcza w sferze produkcji, jest koncepcja Lean Manufacturing (LM). Jest to sposób postępowania polegający na stosowaniu takich metod zarządzania, które wykorzystując różne narzędzia, optymalizują produkcję przez obserwację procesu i identyfikację miejsc poprawy według tzw. „koncepcji wyszczuplającej”.

Problem polega na tym, że pomimo uniwersalności narzędzi LM, ich zastosowanie jest często determinowane indywidualnymi cechami produkcji, jej wielkością, typem, poziomem technologicznym urządzeń oraz staniem świadomości personelu. Z tych powodów, podmioty produkcyjne decydują się często na spersonalizowany sposób wdrażania nowych narzędzi oraz ciągle doskonalenie tych, które już funkcjonują, jednak wymagają harmonizacji.

Właśnie taki sposób podejścia do usprawnienia zarządzania produkcją został przedstawiony w niniejszej pracy - na podstawie wieloetapowego procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków w Federal-Mogul Gorzyce sp. z o.o., jako przykład OEM-u w branży motoryzacyjnej. Rozpoczynając od zmapowania strumienia wartości wybranej do badań linii obróbczej DL9, zaproponowano kilka rozwiązań poprawy jej efektywności i redukcji kosztów wytwarzania, bez obniżenia wymaganej jakości wyrobu końcowego. Skuteczność zastosowanych narzędzi LM oceniono przy pomocy niefinansowych, kluczowych wskaźników KPI, determinowanych poziomem ogólnej efektywności aktywów (OAE; OEE i TEEP).

Przed wdrożeniem każdego rozwiązania, powołano zespół Lean, którego liderem był autor pracy w celu opracowania harmonogramu badań, analiz i spotkań komitetu sterującego Lean, który wykorzystując różne narzędzia (burza mózgów, wykres Yamazumi, Design Thinking, Diament Kartezjański, Diagram Ishikawy) analizował wybór najlepszego rozwiązania oraz możliwości jego wdrożenia w warunkach przemysłowych.

Stwierdzono, że zaproponowane usprawnienia spowodują poprawę funkcjonalności systemów współpracujących jednostek obliczeniowych (CPS), które połączone z otaczającym środowiskiem cyberprzestrzeni i transmisją (przetwarzaniem) danych w internecie spowodują wyższy poziom integracji i koordynacji pomiędzy elementami fizycznymi i obliczeniowymi w obszarze obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9.

Uzyskanie integracji i koordynacji wyselekcjonowanych narzędzi LM o odpowiedniej infrastrukturze cyberfizycznej z koniecznością skalowalności pomiarów wszystkich obiektów fizycznych i wdrożenie bieżącej komunikacji typu maszyna-maszyna na linii DL9 przyczynią się do osiągnięcia głównych założeń Przemysłu 4.0, co było motywem przewodnim badań. Należy zaznaczyć, że wszystkie przyjęte rozwiązania usprawniające proces zarządzania obróbką mechaniczną odlewów tłoków zostały zweryfikowane w warunkach ciągłej produkcji przemysłowej w F-M Gorzyce, a opracowane metody są na etapie implementacji do pozostałych linii do obróbki skrawaniem tłoków, co potwierdza wdrożeniowy charakter pracy.

1. PRZEGLĄD AKTUALNEGO STANU WIEDZY

1.1. Geneza powstania koncepcji Lean manufacturing (LM)

Powstanie koncepcji „Lean” (z ang. szczupły, odchudzony) sięga lat 50-tych XX w., gdy Taiichi Ohno zatrudniony przez Eijie Toyoda wprowadził w przemyśle motoryzacyjnym system znany jako „dokładnie i na czas” (z ang. Just in Time). Określenie „Lean production” (szczupła produkcja) pierwszy raz użył J. Krafcik w 1988 r., jako jeden z członków Międzynarodowego Programu Pojazdów Silnikowych (z ang. International Motor Vehicle Program), a spopularyzowane zostało w książce „Maszyna, która zmieniła świat” (z ang. The machine that changed the world) w 1992 r. [1]. Zespół pod kierunkiem J.P. Womack'a spopularyzował koncepcję Lean, która została zainicjowana w zakładach Toyoty w latach 40-tych XX w., tworząc fundament Systemu Produkcyjnego Toyoty (z ang. Toyota Production System - TPS) powstałego na przełomie lat 70 i 80-tych XX w. Koncepcja TPS zakłada, że praca powinna się koncentrować głównie na maksymalizacji wartości dla klienta, a celowi temu towarzyszyć ma jednoczesna eliminacja marnotrawstwa. Uzyskanie dobrych wyników finansowych połączone z popularnością japońskich samochodów Toyota było przedmiotem zainteresowania teoretyków i praktyków związanych z zarządzaniem produkcją, co sprawiło, że koncepcja Lean manufacturing jest dziś jedną z najbardziej znanych i szeroko stosowanych metod zarządzania przedsiębiorstwem, zwłaszcza o charakterze produkcyjnym [2-4].

Aby uporządkować stosowane w pracy pojęcia, należy stwierdzić, iż Lean manufacturing (lub inaczej Lean production - szczupła produkcja) to metoda zarządzania przedsiębiorstwem produkcyjnym, któremu przyświecają dwa główne cele. Pierwszym z nich jest maksymalne ograniczenie wszelkich strat (marnotrawstwa), a drugim - dostarczanie klientowi produktów najwyższej jakości. Pojęcie „szczupła” lub „odchudzona” dotyczy wielu aspektów produkcji tj.: surowce, procedury, czynności podczas produkcji, ludzki wysiłek, inwestycje w narzędzia, przestrzeń produkcyjna, czas, praca inżynierska itp.

Czasem pojawia się także określenie Lean management (z ang. szczupłe zarządzanie), które stanowi rozszerzenie koncepcji Lean manufacturing stosowanej w procesach produkcyjnych. To podejście do zarządzania całym przedsiębiorstwem (produkcyjnym, handlowym, usługowym, biurem), które oparte jest na ciągłym dążeniu do doskonałości. Jego celem jest uzyskiwanie coraz lepszych wyników w odniesieniu do efektywności i jakości usług. Można stwierdzić, że jest przeniesieniem koncepcji Lean manufacturing na całe przedsiębiorstwo przy jednoczesnym dostosowaniu do zastanych czynników (materialnych i niematerialnych).

Z ogólnej wiedzy na temat zarządzania wynika, że przedsiębiorstwa produkcyjne stosują obecnie nazewnictwo Lean manufacturing (LM) do opisu zmian czynności procesowych oraz dotyczących powstania produktu według założeń koncepcji Kaizen. Jest to japońska filozofia biznesowa polegająca na ustawicznym poprawianiu i ulepszaniu małymi krokami zarządzania produkcją na wszystkich szczeblach, w miarę możliwości bezkosztowo lub po niewielkich (akceptowalnych przez przedsiębiorstwo) nakładach finansowych. Celem tego postępowania jest skrócenie czasu realizacji procesu (np. produkcji), poprawa jakości wytwarzanych produktów, dostosowywanie technicznych elementów systemu, redukcja kosztów, poprawa ergonomii stanowisk pracy oraz wprowadzenie motywacyjnych kryteriów wynagradzania [5]. Powstanie LM poprzedziła japońska kultura wytwarzania i filozofia dbałości o jakość (z ang. Total Quality Management - TQM). Połączenie TQM z ideą Kaizen, pozwala udoskonalić wiele czynności produkcyjnych i powiązanych z produkcją na wejściu i wyjściu do systemu

produkcyjnego. W TQM kompleksowo patrzy się na jakość, która dotyczy cech technicznych i materialnych wyrobów, tj.: oryginalności wyrobów, ich wyróżniania się wśród innych oraz satysfakcji klienta z ich użytkowania. Metody te polegały na ciągłym doskonaleniu procesów w kierunku zwiększania ich efektywności poprzez stopniowe i nieprzerwane działania. Odnosząc się do istoty Kaizen można przyjąć, że LM nie jest jednorazowym działaniem dotyczącym usunięcia jednego rodzaju marnotrawstwa lecz stałym procesem redukcji zbędnych i bezwartościowych czynności, które nic nie wnoszą. Myślą przewodnią koncepcji LM jest unikanie wszelkich strat za pomocą niekończącego się usprawniania przedsiębiorstwa i budowania jego relacji z otoczeniem, zwłaszcza z klientem [6].

Znacząco do rozwoju koncepcji LM przyczynili się również amerykańscy prekursorzy, wśród których najbardziej znani to: A. Feigenbaum, W. Edwards Deming, Joseph M. Juran czy Walter A. Shewhart. Opracowali oni i rozwinęli metody kompleksowego sterowania jakością (z ang. Total Quality Control - TQC), które włączono w TPS [7]. Znaczące są także badania Benjamina Franklin'a, który analizował straty i zbędne zapasy oraz Fredericka Taylor'a, który wprowadził standaryzację pracy i najlepsze praktyki zarządzania [8]. Badania te ujmowały zasady eliminacji zbędnych czynności i motywacyjnego systemu wynagrodzeń tworząc nową metodę obserwacji pracy przy pomocy chronometrażu [9]. Istotą tych nauk jest wyselekcjonowanie funkcji zarządzania, tj. planowania i kontroli, a w późniejszym czasie również organizowania, kierowania i motywacji. Genezy podwalin do koncepcji LM można też doszukiwać się w 14 zasadach H. Fayol'a – tzw. „zasad skutecznego zarządzania”, które uznano na uniwersalne reguły umożliwiające właściwe kierowanie przedsiębiorstwem [10]. Na bazie tych funkcji, E. Deming zaproponował cykl czterech czynności: zaplanuj; wykonaj; sprawdź; działaj (z ang. Plan-Do-Check-Act - PDCA), co jest ideą doskonalenia w podejściu systemowym do zarządzania. Ważnym etapem wyglądu obecnych procesów wytwarzania było wprowadzenie w 1913 r. przez H. Forda produkcji taśmowej pojazdów, która zapoczątkowała współczesny przemysł motoryzacyjny. Linie samochodowe Forda nazywano „Systemem produkcji masowej” [11], a jego sukces był obiektem zainteresowań właścicieli firmy Toyoty. Połączenie zasad produkcji taśmowej z japońskim dążeniem do TQM; TQC oraz ideą Kaizen było więc początkiem powstania koncepcji Lean Manufacturing.

Od tamtego czasu, popularyzacja metod zarządzania sprawiła, że koncepcja LM stale się poszerza, a obecnie jest adaptowana do wymagań Przemysłu 4.0 tworząc cyberfizyczne systemy produkcji (z ang. Cyber-physical Production System). Powoduje to wprowadzanie nowych rozwiązań eliminowania marnotrawstwa z zastosowaniem przełomowych technologii czwartej generacji przemysłowej. Z jednej strony, nie można rozwijać Przemysłu 4.0 bez koncepcji Lean, a z drugiej, Przemysł 4.0 zwiększa efektywność Lean, daje nowe możliwości dla jego rozwoju i wprowadza nowe narzędzia lub udoskonala już istniejące. Budowany obecnie Przemysł 4.0 wzbogaca koncepcję LM poprzez zastosowanie nowych technologii przy współpracy maszyn [12]. W czwartej rewolucji przemysłowej powstaje nowa koncepcja nazywana „Lean Industry 4.0”; „Lean Digital” lub „Lean 4.0” [13]. Według D. Powell i in. Lean Manufacturing bazuje na nowych technologiach Przemysłu 4.0, które umożliwiają budowanie cyberfizycznych systemów produkcji, silnie powiązanych z Przemysłowym Internetem Rzeczy, pracą zdalną, integracją procesów produkcji na różnych płaszczyznach oraz w różnych miejscach geograficznego położenia.

1.2. Definiowanie koncepcji Lean

Przegląd literatury pokazuje, że definiowanie metod „leanowskich” może obejmować różne ujęcia, według których, ogólnie jest to filozofia wszelkiego działania, stanowiąca zbiór metod doskonalenia procesów. W rozpiętości definiowania Lean świadczą również badania, w których autorzy koncertowali się na strategii Lean lub jej konkretnej metodzie.

Wybrane, uogólnione definicje LM przedstawiono w tabeli 1.1.

Tab.1.1. Przykładowe definicje Lean bazujące na podejściu filozoficznym [4; 11; 14-17].

Autorzy	Definicja
J. Likert (1996)	Lean to filozofia, której wdrożenie redukuje czas od zamówienia klienta do dostawy poprzez eliminację źródeł marnotrawstwa w przepływie produkcji.
R. Singh (1998)	Lean jest filozofią bazującą na TPS i innych japońskich praktykach zarządczych, której celem jest skrócenie czasu między otrzymaniem zamówienia a dostarczenia wyrobu do klienta, poprzez ciągłą redukcję strat.
J. Lipecki (1997)	Lean jest filozofią, bazującej na połączeniu wysokiej produktywności, sprawnej organizacji i jakości produkcji. Zamiast zasad Taylora: podziału pracy i funkcji kierowniczych, w Lean wprowadzono integrację celów, zadań i funkcji.
M. Rother i J. Shook (1999)	Lean jest filozofią wytwarzania, która eliminując straty, maksymalnie podnosi jakość, minimalizuje koszty i czas przejścia pomiędzy zamówieniem a dostawą.
J. Likerta i Y.U. Wu (2000)	LM jako filozofia wytwarzania, koncentruje się na zapewnieniu najlepszej jakości, dostawie produktu na czas i minimalizacji kosztów.
R. Shah i P.T. Ward (2007)	Lean jest filozofią wytwarzania skoncentrowaną na identyfikacji i eliminacji strat w strumieniu wartości w przedsiębiorstwie i w łańcuchu dostaw.
P. Walentynowicz (2013)	Lean jest koncepcją powstałą ze sposobu myślenia i działania firmy Toyota, która polega na zastosowaniu takich sposobów działalności przedsiębiorstwa, aby w danych warunkach techniczno-organizacyjnych uzyskać jak najlepsze efekty działania jak najmniejszymi nakładami.
D. Samuel, P. Found, J.S. Williams (2015)	Lean jest filozofią, czyli uogólnieniem Systemu Produkcyjnego Toyoty, jest sposobem myślenia o eliminacji strat, jest ideologią rozwoju organizacji bazującą na ciągłym doskonaleniu, w których powstaje wartość dla klienta.
S. Yorkstone (2016)	Lean, jako koncepcja działania, jest esencją jakości relacji pomiędzy ludźmi, wspólnym zachowaniem oraz kulturą pracy.
J. Azevedo i in. (2019)	Lean to filozofia prowadząca przedsiębiorstwa poprzez narzędzia do niższych rozwiązań kosztowych, z naciskiem na produktywność. Tam, gdzie to możliwe optymalizuje się produkcję poprzez obserwację procesu i identyfikację miejsc poprawy według koncepcji myślenia szczupłego.
E. Pawłowski i in. (2010)	Lean może być traktowana jako nowa filozofia zarządzania przedsiębiorstwem, nowa organizacja przedsiębiorstwa bądź jako system koncepcji i metod zarządzania.
P. Logu i in. (2021)	Lean jest filozofią kładącą nacisk na minimalizację zasobów (w tym czasu) używanych do różnych obszarów aktywności przedsiębiorstwa. Koncepcja ogranicza działania nie tworzące wartości dodanej dla klienta.
P. Logu i in. (2021)	Lean jest koncepcją, która przez ostatnie dekady, jest drogą do udoskonalenia systemu i konkurencyjności. Przemysły krajów rozwijających się wdrażają zasady Lean, aby być bardziej elastycznymi na światowym rynku wytwarzania.

W zawartych w tabeli 1.1 definicjach Lean filozofia jest zamiennie stosowana z pojęciem „koncepcja”. Filozofia jest przyjętym sposobem myślenia, postępowania i działania, zatem jest ogólną koncepcją myślową, która została przyjęta w konkretnym środowisku. Koncepcja jest pomysłem, rozwiązaniem koncepcyjnym, które opiera się na przyjętych zasadach.

W definicjach LM, w których koncepcja jest utożsamiana z filozofią działania, spotykane są dwa ujęcia: węższe – ograniczone do TPS oraz szersze – wychodzące poza firmę Toyota, obejmujące różne przedsiębiorstwa i stosowane sposoby eliminowania strat. W obydwu przypadkach podstawą do formułowania definicji LM są zasady wprowadzone przez Toyotę.

Szerokie ujęcie definicyjne Lean obejmuje również zakres myślenia Lean czyli Lean Thinking, które jeżeli jest cechą większości tworzy kulturę LM. Według badań [18] kulturę tą można podzielić na aspekty: filozoficzne, enumeratywne, normatywne. W filozoficznym podejściu kultura Lean jest ideą działania bazującą na zasadzie Lean Thinking. W takim rozumieniu, LM koncentruje się m.in. na oszczędnym działaniu, dostrzeganiu marnotrawstwa i jego eliminowaniu [19]. W podejściu enumeratywnym identyfikuje się i wylicza składniki kultury Lean. Przykładem jest kilka płaszczyzn, z których najważniejsze to [20]:

1. filozofia działania – Lean Thinking – zasady, postawy, przekonania, wartości, myślenie działanie ukierunkowane na tworzenie wartości i likwidowanie marnotrawstwa zachowań,
2. artefakty kulturowe, w tym: językowe, behawioralne i fizyczne, które mogą wpływać na podejście do koncepcji Lean,
3. normy i zasady oraz instrumenty Lean: metody i techniki, narzędzia itp.

W podejściu normatywnym, opracowywane są zasady i normy regulujące zachowania ludzi (techniczne, organizacyjne, społeczne) oraz techniki i narzędzia ich wdrażania, w tym różne zasady, według których opisywana jest koncepcja Lean [21].

Lean jako sposób myślenia cechuje głównie następujące aspekty [22]:

- planowanie zadań i działań z pracownikami,
- angażowanie pracowników w zarządzanie procesami,
- obniżenie kosztów poprzez wzrost produktywności pracowników i technologii,
- duża liczba prostych rozwiązań doskonalących (Kaizen),
- eliminacja materiałów do produkcji, w których ujawniono wady,
- dynamiczne planowanie i organizowanie procesów (w zależności od rozwoju sytuacji),
- natychmiastowe usuwanie błędów (odrzuć błędy u źródła),
- odpowiedzialność pracowników za czynności (procesy) i za koszty,
- stałe szkolenie i doskonalenie pracowników,
- praca grupowa i stosowanie rotacji w pracy (tzw. crossing stanowiskowy),
- niski stopień sformalizowania zarządzania (płaskie struktury organizacyjno-procesowe),
- decentralizacja decyzji i odpowiedzialność pracownicza,
- bezpośrednie kontakty i partnerska współpraca z dostawcami (audytowanie dostawców, odpowiedzialny wybór dostawców),
- krótkie serie produkcyjne i dywersyfikacja produktu (elastyczność produkcji),
- najwyższa jakość – zero defektów i jednocześnie niskie koszty,
- duża elastyczność,
- możliwie jak najmniejsze zapasy (JiT),
- ciągły strumień materiałowy,

- krótki czas przestawienia produkcji,
- ciągle wprowadzanie standardów i ich doskonalenie,
- nieustanne zwiększanie produktywności (szeroko rozumianej, np. produktywność ludzi, produktywność urządzeń, materiałochłonność, energochłonność),
- budowanie zaangażowania wszystkich pracowników w ciągły proces doskonalenia systemu produkcji i całego przedsiębiorstwa.

Od podejścia „szerokiego Lean” można przejść do ujęcia wąskiego, praktycznego lub narzędziowego. W takim podejściu Lean jest zbiorem metod stosowanych w szeroko pojętym doskonaleniu produkcji, ograniczając wszelkiego rodzaju straty [23]. Tak rozumiana idea LM buduje nową jakość procesów wytwórczych przedsiębiorstw wykorzystując zestaw różnych metod i narzędzi, które obejmują: JIT, wytwarzanie typu „pull” (po otrzymaniu zamówienia), system „pierwsze weszło, pierwsze wyszło” (z ang. First In First Out - FIFO), wewnętrzny system ssący i system Kanban, „przepływ jednej sztuki” (z ang. One Piece Flow), gniazdowy system produkcji, analiza czasu taktu, analiza czas cyklu, rytmiczne wytwarzanie, metodę 5S, metodę bezawaryjności parku maszynowego (z ang. Total Productive Maintenance - TPM), redukcję czasu przezbrojenia (z ang. Single Minute Exchange of Die - SMED), standaryzację pracy, wizualizację procesów, poziomowanie produkcji (heijunka), balansowanie pracy linii produkcyjnej, tablice świetlne Andon, Jidoka, Poka-Yoke, szczupłą logistykę (minimalizacja stanów magazynu), „pętlę mleczarza”, samokontrolę stanowiska pracy, pracę zespołową, rozwiązywanie problemów w miejscu powstania (Genchi Genbutsu), technikę poszukiwania: burza mózgów, cykl doskonalenia Deminga PDCA, raporty A3, wykresy Pareto, wykres Ishikawy, 5 razy dlaczego (5 x Why?), system uzgadniania decyzji Nemawashi, mapowanie strumienia wartości (z ang. Value Stream Mapping - VSM), Kaizen, Hishin Kanri i inne [24].

Z kolei badania [25] wskazują, że w ramach Lean Manufacturing mogą wystąpić narzędzia związane z doskonaleniem produkcji dotyczące technik i metod organizacji procesu oraz na narzędzia związane z rozwiązywaniem problemów (tab. 1.2).

Tab.1.2. Klasyfikacja narzędzi Lean Manufacturing [24].

Organizacja produkcji i stanowisk pracy	Wizualizacja i rozwiązywanie problemów
Szczupła logistyka (minimalizacja stanów magazynów), „pętla mleczarza”, JIT, wewnętrzny system ssący i system Kanban, przepływ jednej sztuki (one piece flow), gniazdowy system produkcji, 5S, TPM, standaryzacja pracy, poziomowanie produkcji (heijunka), balansowanie pracy linii produkcyjnej, Jidoka, samokontrola na stanowisku pracy, praca zespołowa, system uzgadniania decyzji Nemawashi, Kaizen, Hoshin Kanri	Andon, wizualizacja, Poka-Yoke, rozwiązywanie problemów w miejscu ich powstania (Genchi, Genbutsu), burza mózgów, PDCA, raporty A3, wykresy Pareto-Lorenza, wykres Ishikawy, 5 razy dlaczego?

Zastosowanie tak wielu narzędzi do budowania efektywnego mechanizmu wytwarzania wymaga podejścia systemowego i optymalnego nim zarządzania w przedsiębiorstwie. Takie

podejście do koncepcji LM prezentowane jest w badaniach [26, 27]. Na ich podstawie, Lean jest zintegrowanym systemem wytwarzania, skierowanym na maksymalizację przepustowości i redukcję zapasów poprzez minimalizację zmienności systemu. Polega to na stosowaniu celowo zaprojektowanego oraz zorganizowanego układu materiałów i informacji przy minimalnym zużyciu energii służącego do produkcji (świadczenia usług) w celu zaspokajania potrzeb klienta [28]. W takim ujęciu idei Lean, chodzi także o ograniczenie strat w procesie budowania wartości, którą otrzymuje klient w postaci produktów lub usług i dbałość o ich jakość. Przykładowe definicje Lean, w aspekcie systemowym przedstawiono w tabeli 1.3.

Tab.1.3. Przykładowe definicje Lean Manufacturing w ujęciu systemowym [11].

Autor/autorzy	Definicja
J. P. Womack, D. T.Jones (1996)	Lean to system, który zużywa mniej w kategoriach wszystkich zasobów wejściowych, tworząc tyle samo zasobów wyjściowych co produkcja masowa, zapewniając jednocześnie większą różnorodność wyrobów do klienta końcowego.
R. Shah, P. Ward (2003)	Lean jest zintegrowanym systemem złożonym z powiązanych zasad, metod i technik zarządzania produkcją takich jak: JIT, systemy jakościowe, praca zespołowa, produkcja w komórkach roboczych, itp.
W.P. Hopp, L.M. Spearman (2004)	Lean jest zintegrowanym systemem wytwarzania dóbr i usług minimalnym kosztem.
S. De Treville, J. Antorakis (2006)	Lean jest zintegrowanym systemem wytwarzania, przeznaczonym do maksymalizacji przepustowości i redukcji zapasów przez minimalizację zmienności tego systemu.

Odnosząc się do tabeli 1.3 można przyjąć, że systemowe ujęcie Lean wymaga dwóch poziomów. Pierwszy stanowi tzw. podbudowę (obejmuje kulturę organizacyjną wraz z całym procesem przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia koncepcji Lean). Polega to na przygotowaniu przedsiębiorstwa na nadchodzące zmiany, dostosowanie strategii oraz ukształtowanie roli przywództwa i przygotowanie pracowników do zaangażowania w te działania. Musi również znaleźć się miejsce dla grupy zarządzającej takimi działaniami oraz zaangażowanego zespołu generującego nowe pomysły. Należy także odpowiednio przygotować i wdrożyć program szkoleniowy, który ma na celu systematyczne podwyższenie wiedzy pracowników na temat nowych działań. Drugi poziom (tzw. techniczny), wskazuje osiem filarów wyodrębniających główne metody i techniki przyporządkowane do potrzeb podmiotów administracji publicznej. Trzy pierwsze filary (tj. szybkie akcje doskonalące, identyfikacja problemów i sposoby ich rozwiązywania oraz rozwój lokalnych liderów) obejmują te narzędzia, które odpowiadają za osiągnięcie sukcesu. W procesy zaangażowani są wszyscy pracownicy. Działania te powinny być wdrożone w pierwszej kolejności. Druga grupa, obejmująca dwa filary (tj. monitorowanie wszystkich wdrażanych procesów i zarządzanie wizualne), dotyczy bezpośredniego kontaktu pracownika z klientem. Ich celem jest analiza osiąganych wyników. Ostatnia grupa, składająca się z trzech filarów (tj. przeprowadzanie audytów na stanowiskach pracy, rozwój przywództwa w oparciu o zasadę „idź, zobacz, zrób” i uporządkowany system rozwiązywania problemów), kładzie nacisk na te metody, które gwarantują wdrażanie głównych założeń Lean w systematycznym funkcjonowaniu i rozwoju przedsiębiorstwa [29].

Tak więc, podejście systemowe bazuje na procesowym budowaniu przewagi konkurencyjnej poprzez zasady Lean, zorientowane głównie na klienta i systemie „ssania”. Istotne są zatem te czynności, które przekładają się na wartość jako jeden z aktywów przedsiębiorstwa stanowiąc przedmiot kupna i sprzedaży. Autor badań [30] dokonuje kategoryzacji procesów tworzenia wartości koncentrując się na ich związku z klientem. Wyróżnia następujące rodzaje procesów: pierwotne - bezpośrednio związane z klientem i bezpośrednio tworzące wartość dodaną, wtórne - pośrednio związane z klientami i pośrednio tworzące wartość dodaną, trzeciorzędne - o ogólnym i relatywnym związku z klientem i tworzeniem wartości dodanej oraz te, które nie mają związku z klientem i nie wywierają pozytywnego wpływu na wzrost wartości dodanej. Cechami podejścia procesowego LM jest ujęcie poziome przebiegu czynności, przygotowanie przebiegu zamówienia dla klienta i całościowe spojrzenie na proces w aspekcie wartości finalnej. Przykładowe definicje Lean w ujęciu procesowym przedstawiono w tabeli 1.4.

Tab.1.4. Przykładowe definicje Lean bazujące na podejściu procesowym [11].

Autor/autorzy	Definicja
J. Krafcik (1988)	Lean to proces, w którym dąży się do mniejszego zużycia szeroko rozumianych zasobów i zmniejszenia zapasów. Kierunki Lean: oszczędność zasobów, redukcja zapasów, ograniczenie defektów dywersyfikacja produktów.
J.P. Womack, D.T. Jones (1990)	Lean to dynamiczny proces zmian w wytwarzaniu, bazujący na systematycznym stosowaniu zasad i najlepszych praktyk ciągłego doskonalenia.
R. Shah, P. Ward (2003)	Lean podejście procesowe, dostarczające klientowi wartości sensu stricto, poprzez eliminację marnotrawstwa w procesach i zasadach postępowania ludzi.
J. Lichtarski (1997)	Lean jest powolnym i ciągłym (niekończącym się) procesem racjonalizacji całej organizacji oraz jej relacji z otoczeniem.

Podejście procesowe jest w istocie działaniem operacyjnym, wykonywanym w produkcji w odniesieniu do konkretnego zlecenia. Działanie to, w którym przedsiębiorstwo przyjmuje zasady Lean – odchudzania produkcji – musi być poparte stosownymi zapisami w strategii jego rozwoju i akceptowane w polityce biznesowej, dążącej do systematycznego obniżania strat. Takie działanie jest długoterminowe i uwzględnia dynamikę uwarunkowań oraz dostosowanie do otoczenia. W definicjach Lean można zauważyć skupienie sposobów definiowania koncepcji według czterech obszarów:

1. zbudowanie ogólnej koncepcji,
2. przygotowanie procesów budowania wartości,
3. wybór narzędzi Lean oraz
4. przygotowanie ludzi i budowa strategii ciągłego doskonalenia w przedsiębiorstwie.

Takie ujęcie koncepcji Lean samo w sobie jest ideologią szczupłej produkcji bazującej na takim sposobie działania, aby koncentrować się na eliminacji marnotrawstwa i doskonaleniu procesów budowania wartości dla klienta.

Analizując różne definicje koncepcji Lean, zwłaszcza Lean Manufacturing, można więc wyodrębnić cztery główne jej filary [31, 32]:

1. Lean Manufacturing, jako uogólnienie TPS.
2. Lean Manufacturing jako uniwersalna i rozbudowywana metoda ciągłego doskonalenie procesów produkcyjnych.
3. Lean Manufacturing jako ruch ideologiczny, tzn. sposób myślenia skoncentrowany na eliminowaniu marnotrawstwa i doskonaleniu procesów, który zmienia się z rozwojem ludzkości.
4. Lean Manufacturing jako obszar badań naukowych. Opracowany przez naukowców zbiór zasad zarządzania produkcją.

Najogólniej można więc stwierdzić, że Lean Manufacturing to koncepcja skupiona na eliminacji strat i efektywnym zwiększaniu produktywności [33], poprzez zasady skupione wokół produkcji dynamicznej w przeciwieństwie do produkcji „status quo” [34].

Warto zwrócić uwagę, że w sektorze motoryzacyjnym, który jest tematem pracy nie obowiązuje jedna, specjalnie opracowana dla tego przemysłu definicja Lean manufacturing. Należy jednak podkreślić, że wszystkie z nich, niezależnie od rodzaju i typu produkcji, powstały na bazie założeń Toyota Production System, czyli 14 następujących zasad [35]:

1. patrzenie perspektywiczne - decyzje w zarządzaniu o dalekosiężnej koncepcji, nawet kosztem krótkoterminowych wyników finansowych (patrzenie w przyszłość, działanie kreatywne, myślenie nieszablonowe),
2. stworzenie ciągłego i płynnego procesu ujawniania problemów w myśl zasady „pokazuj problemy, a nie ukrywaj ich”,
3. wykorzystanie systemu „ssania” (ciągnięcia), aby uniknąć nadprodukcji (od zamówienia klienta po wykonania produktu finalnego),
4. wyrównanie obciążenia pracą poszczególnych stanowisk w linii produkcyjnej, tzw. poziomowanie produkcji (Heijunka),
5. opracowanie kultury rozwiązywania problemów, w celu uzyskania najwyższej jakości,
6. kluczowe (zasadnicze) zadania są podstawą ciągłej poprawy i związane z tym upełnomocnienie pracowników,
7. stosowanie kontroli wizualnej, bieżące sterowanie procesami (Andon),
8. stosowanie najlepszych technologii (priorytetem efektywność i niezawodność produkcji),
9. kształtowanie liderów, inspirujących pracowników do zmian na lepsze,
10. rozwój kadr i pracy zespołowej oraz motywacja pracowników,
11. szacunek i współpraca w sieci biznesowej,
12. angażowanie pracowników w zmianę typu „zrozumieć problem”, czyli osobiste zweryfikowanie wszystkich informacji dotyczących problemu u źródła jego powstania (Genchi, Genbutsu),
13. podejmowanie decyzji powoli, w drodze konsensusu, starannie rozważając wszystkie możliwości, a następnie szybka decyzja o wdrożeniu rozwiązania (Nemawshi),
14. przyjmowanie orientacji na przedsiębiorstwo uczące się dzięki refleksji (Hansei) i ciągłej poprawy (Kaizen).

1.3. Metody i narzędzia Lean Manufacturing

LM dysponuje wieloma metodami i narzędziami, które zostały opracowane, aby zrealizować cele TPS Toyoty, które określa się czasem skrótem KJD: K - koszty, (czyli ich redukcja), J - jakość, (poprawa jakości wytwarzanych produktów oraz D – dostawy, (czyli skracanie czasu od zamówienia do dostarczenia klientowi). Często dodaje się również wymóg zapewnienia godziwych warunków pracy i bezpieczeństwa dla pracowników, stąd z ang. jest to skrót SQDC (Security, Quality, Delivery, Cost) [11]. W filozofii japońskiej „szczupłe” przedsiębiorstwa dążą do eliminacji nieprawidłowości i strat określanych jako: „3 Mu” – Mura - nierytmiczność, Muri - przeciążenie i Muda marnotrawstwo [36]. Największą grupę tych nieprawidłowości (7 rodzajów) w działalności produkcyjnej odkrył i określił T. Ohno. Dodatkowo, ósme marnotrawstwo przedstawili Womack i Jones. Aktualnie, do ośmiu rodzajów Muda zalicza się: nadprodukcję, wybraki produkcyjne, zbędne (nadmierne) zapasy, oczekiwanie (prześwój, rozruch) – brak synchronizacji czasowej, zbędne przetwarzanie (praca niepotrzebna), transport, zbędny ruch (zbędne czynności). Do tych strat dodaje się często utracone zaangażowanie pracowników (bierność, niechęć do zmian, itp.).

Nadprodukcja powstaje wtedy, gdy wytwarzane są produkty z wyprzedzeniem, w ilości większej niż popyt (zamówienie), co może skutkować dodatkowym transportem i powietrzną magazynową (nawet jeżeli składowanie odbywa się na zewnątrz). Jeżeli przedsiębiorstwo wytwarza za dużo (na zapas) to jest to najwyższy rodzaj marnotrawstwa. W rezultacie powstają nadmierne ilości surowców, półproduktów, pracy w toku i wyrobów gotowych niezgodne z ustalonym poziomem optymalnym, a nawet minimalnym. Niekontrolowana produkcja może również prowadzić do wytworzenia wyrobów wadliwych, niekompletnych. Kolejnym rodzajem marnotrawstwa jest oczekiwanie pracowników na niezbędne materiały, narzędzia i informacje, co nie dodaje wartości w procesie produkcji. Nadmierne przetwarzanie to czynności zbędne, lecz realizowane w celu wytworzenia produktu lub usługi. Pod tym pojęciem rozumie się również poświęcenie zbędnego czasu na realizację zapotrzebowania klienta oraz stosowanie zaawansowanych i drogich technologii bez uzasadnienia. Zbędny transport jest niepotrzebnym przemieszczaniem materiałów, półwyrobów lub wyrobów gotowych w obrębie przedsiębiorstwa. Efektem jest (podobnie jak w przypadku zapasów) wzrost kosztów produkcji oraz zwiększenie ryzyka zniszczenia lub uszkodzenia wyrobu na dowolnym etapie wytwarzania. Każdy niedodający wartości wysiłek fizyczny pracownika rozumiany jest jako zbędny ruch i wynika najczęściej z nieodpowiedniej organizacji stanowiska pracy. Ostatnim rodzajem marnotrawstwa jest niewykorzystanie potencjału pracownika. Pod pojęciem tym rozumie się niewykorzystanie pomysłów, kompetencji i umiejętności pracowników oraz czasu pracownika [37, 38].

W literaturze dotyczącej teorii Lean stosowanych jest wiele metod i technik (pojęcia te są używane zamiennie), jednak najważniejsze jest to, że każde przedsiębiorstwo na bazie konkretnej metody lub zasady Lean może opracować (oraz wdrożyć) własne narzędzia dostosowane do swojej działalności i etapu rozwoju Lean. Klasyczne metody i techniki LM już wymieniono, a dokładną ich charakterystykę przedstawiono w pracy [39]. Autorzy tych badań narzędzia Lean Manufacturing dzielą na siedem podstawowych grup, wprowadzając dodatkowe narzędzia – współczesne – w zakresie usprawnienia produkcji, np. inżynieria współbieżna, kastomizacja wyrobu (odejście od produkcji masowej) i inne.

Wspomniane grupy i wchodzące w ich skład narzędzia to:

1. Rozwój wyrobu i wprowadzanie go na rynek: inżynieria współbieżna (dziedzina równoległego, zintegrowanego i przewidującego skutki projektowania produkcji), kustomizacja wyrobu (tworzenie produktu najlepiej dostosowanego do indywidualnych potrzeb klienta), projektowanie modułowe, projektowanie dla wytwarzania, rozwinięcie funkcji jakościowych, metoda poszukiwania innowacji wg algorytmu: konkretny problem - uogólniony problem - rozwiązanie ogólne - konkretne rozwiązanie (TRIZ).
2. Analiza systemu i mapowanie: takt time, dynamika systemów, analiza udziału produktu, mapowanie marnotrawstwa, mapowanie strumienia wartości, analiza systemów.
3. Doskonalenia: ciągłe (systematyczne) doskonalenie, metoda 5S, kaikaku (radikalne zmiany w procesach biznesowych – przeciwieństwo Kaizen), standaryzacja, inżynieria wartości, analiza wartości, Kaizen, TMP, wskaźniki OEE, 5 razy dlaczego? reinżynieria procesów.
4. Produkcja: Kanban, wielkość partii, SMED, sekwencjonowanie produkcji, heijunka, technologia obróbki grupowej, gniazda potokowe, wizualizacja i sygnały dźwiękowe (Andon), punkt kontroli produkcji, analiza wąskich „gardel”.
5. Jakość: model Kano (przełożenie oczekiwań klienta na język specjalistyczny, techniczny), Jidoka (automatyczne zatrzymywanie produkcji w przypadku nieprawidłowości), kontrola poprzedzająca, Poka-Yoke, TQC, Six sigma.
6. Zaopatrzenie i dystrybucja: partnerstwo i stowarzyszenia dostawców, integracja dostaw.
7. Ludzie: rozpoznawanie ludzi, osobowość, mowa ciała, emocje oraz zarządzanie zmianami.

Bogactwo technik Lean Manufacturing pozwala na elastyczne dopasowanie do wielkości przedsiębiorstwa, branży, poziomu jego rozwoju, aktualnych potrzeb itd. Podmiot przyjmując koncepcję Lean nie musi stosować wszystkich narzędzi lecz te, które w jego opinii przyniosą sukces. Poszczególne narzędzia można wprowadzać pojedynczo, a z czasem dążyć do ich integracji. Stosowane w przedsiębiorstwie narzędzia Lean powinny być doskonałe z punktu widzenia efektów innowacyjnych przy prawidłowym ich stosowaniu i rozpoznaniu potrzeb klientów. Jeszcze niedawno do najważniejszych technik Lean należały: Kaizen, 5S i Kanban [40], jednak wiele z nich jest ponownie wdrażanych i dopasowanych do rosnącego poziomu cyfryzacji przedsiębiorstwa. Przykładem jest ewolucja narzędzia Kanban, które w pierwotnej postaci polegało na przemieszczaniu informacji zapisanej na standaryzowanych kartkach, a wraz z nimi przemieszczanie materiału w określonych ilościach. W obecnej postaci każde takie przemieszczenie może być rejestrowane przy pomocy bezprzewodowych terminali skanujących, gdzie każdy ruch jest określony odpowiednim kodem kreskowym i generuje konkretne zdarzenia w systemie księgowym włączonym w system ERP (z ang. Enterprise Resources Planning) [41]. Ewolucja narzędzi LM spowodowana jest szybkim rozwojem technologii, a więc przejściem od trzeciej do czwartej rewolucji przemysłowej, bazującej na sztucznej inteligencji i cyberfizycznych systemach produkcji i fabrykach typu „smart”. Z analizy literatury wynika, że pierwszym krokiem do udoskonalenia produkcji, a tym samym do wdrożenia LM jest metoda 5S, której przewagą jest uniwersalność, a więc możliwość dostosowania do każdego warunków pracy. Podobnie jest z narzędziami Kanban i Kaizen. Natomiast inne narzędzia, np. Poka-Yoke wdrażane są w przedsiębiorstwach, które posiadają już wiedzę i doświadczenie związane z LM. Narzędzia te wymagają wcześniejszego ustabilizowania i wstępnego udoskonalenia produkcji tak, aby zmniejszyć, a najlepiej

wyeliminować marnotrawstwo, co przyczynia się nie tylko do poprawy wydajności pracy, ale również do ograniczania błędów pojawiających się w produkcji.

Innym, ważnym narzędziem Lean Manufacturing jest mapowanie strumienia wartości, stosowane do przedstawiania w formie diagramu przepływów materiałowo-informacyjnych zachodzących w produkcji. VSM rozpoczyna się od zdefiniowania strumienia wartości, czyli zakresów działania, które są podejmowane przez przedsiębiorstwo, w celu wyprodukowania wyrobu lub wyrobów. Mapowanie jest zapisem kolejnych etapów produkcji uwzględniając przepływ materiałów (zasobów) i informacji. Celem VSM jest uzupełnienie analizy systemu produkcyjnego z perspektywy klienta (wartości dodanej, będącej każdą czynnością składającą się na produkt). Mapowanie wartości jest alternatywnym podejściem dla tradycyjnych analiz zorientowanych na wybranym fragmencie systemu produkcyjnego. Aby można doskonalic wartości w koncepcji LM przy pomocy VSM należy spełnić podstawowe wymagania [42-47]:

- na etapie integracji procesów zastosować zaawansowane technologie wytwarzania, które minimalizują zawodność operacji wykonywanych manualnie przez pracownika,
- na poziomie pracy ludzkiej wprowadzić zespołowość i rotację pracowników (crossing stanowiskowy),
- na poziomie struktury organizacyjnej uszczuplic zakres hierarchii zależności oraz podporządkowania. Wprowadzić strukturę płaską zorientowaną na procesy – skupioną wokół procesów podstawowych przedsiębiorstwa,
- na etapie doskonalenia zawodowego wprowadzić zasady ciągłego rozwoju kwalifikacji oraz umiejętności pracowniczych, np. metoda „70/20/10” (70% wiedza pozyskiwana wraz z wykonywaniem pracy, 20% praca zespołowa i wymiana wiedzy między pracownikami, 10% szkolenia),
- na poziomie współpracy z dostawcami wprowadzić długoterminowe umowy o współpracy, współpraca partnerska, audytowanie dostawców, społecznie odpowiedzialny wybór dostawców, planowanie dostawców, samoocena dostawców i itp.,
- na poziomie klienta – włączyć klienta w proces projektowania i wytwarzania produktu-personalizacja wyrobów lub kastomizacja masowa, badanie i analiza potrzeb klienta, zarządzanie kluczowymi klientami, komunikacja online z klientem, elektroniczny system zamawiania z pełnym podglądem na asortyment produkcji itp.

Z analiz Lean Enterprise Institute Polska wynika, że stosując narzędzia LM można uzyskać:

- zwiększenie wydajności (od 5 % do 66 %),
- wzrost wykorzystania maszyn za pomocą wskaźnika OEE (od 7 % do 59 %),
- redukcja zapasów w toku produkcji (od 30% do 80 %),
- skrócenie czasu produkcji wyrobu gotowego (od 9 do 70 %),
- redukcja czasu przebrojeń nawet (od 9% do 97 %),
- redukcja powierzchni (od 15% do 61%).

Pierwszymi, którzy podjęli próbę wdrażania Lean Manufacturing w Polsce, byli producenci samochodów (GM, Opel i SCANIA). Poza branżą motoryzacyjną Lean w szerszym zakresie wprowadziła branża AGD. Na przełomie ostatnich lat wzrost zainteresowania Lean Manufacturing odnotowano również wśród przedsiębiorstw z branży meblarskiej.

1.4. Lean Manufacturing w przemyśle motoryzacyjnym

Przedsiębiorstwa, które przystępują do wdrażania koncepcji Lean Manufacturing muszą opracować własną ścieżkę postępowania, gdyż nie ma określonego sposobu i metody, które gwarantowałyby sukces. Można jednak, nawet w tak różnorodnym środowisku, dążyć do pewnych uogólnień dotyczących wdrożenia metod i technik „leanowskich” dedykowanych dla motoryzacji. Wybrany przebieg zmian ma charakter orientacyjny i może przybierać różne formy w różnych przedsiębiorstwach. Najczęściej pierwsze działania Lean są zazwyczaj pojedyncze i dotyczą małych projektów, mających na celu poprawę stabilności procesów oraz organizacji stanowisk pracy. Duża część podmiotów motoryzacyjnych zaczynała wdrażanie Lean Manufacturing od metody 5S, poprawy efektywności pracy maszyn w ramach TPM lub warsztatów Kaizen i skrzynek pomysłów Kaizen [48]. Z czasem liczba pomysłów powinna być coraz większa, a stosowane metody i techniki Lean uzupełniane kolejnymi, w tym dotyczące Systemu Zarządzania Jakością (SZJ) i kluczowych wskaźników produktywności (KPI – Key Productivity Indexes) [49]. Lean po połączeniu z metodami budowania jakości tworzą nowe moduły techniczne doskonalenia procesów produkcji i zarządzania ich jakością, np. Lean 6 Sigma, FMEA w Lean, Quality Kaizen, itp. W przypadku KPI, wybiera się te najbardziej użyteczne w swojej branży, (najczęściej dwa lub trzy wskaźniki), które w sposób ilościowy przedstawiają poziom osiągnięcia założonych celów w wybranych obszarach, np. efektywności, jakości, produktywności (wydajności), doskonalenia produkcji, procesu itp.

Kolejnym etapem wdrażania koncepcji Lean w przedsiębiorstwach branży motoryzacyjnej o charakterze produkcyjnym jest wykonanie mapy (map) strumienia wartości. Technika VSM jest bardzo ważna, gdyż jej zastosowanie pozwala wdrożyć Lean, umożliwiając uzyskiwanie wymiernych korzyści procesowych. Mapowanie można zastosować w dwóch wersjach [50]:

1. dla jednego, wybranego procesu, który jest reprezentatywny dla danej grupy procesów, a uzyskane rezultaty implementować do pozostałych lub
2. dla wszystkich procesów: podstawowych, pomocniczych, administracyjnych i wspólne wnioski ujednolicać do szerokiego zestawu metod i technik Lean.

Obydwie formy są poprawne, jednak jeśli przedsiębiorstwo charakteryzuje się dużą liczbą stosowanych procesów i oferowanych produktów lub usług, to zalecana jest pierwsza opcja. Wówczas identyfikowanie strumienia wartości, wraz z zaprojektowaniem ścieżki wdrożenia Lean dotyczy co prawda tylko jednego, najważniejszego procesu, ale za to dokładnej jego analizy pod kątem całego stanu przyszłego strumienia wartości (gdzie jesteśmy, a dokąd zmierzamy?) W ramach takiej ścieżki wdrażania VSM ma miejsce zastosowanie bardziej zaawansowanych narzędzi, na których opiera się optymalizacja przepływu materiałów oraz informacji w rozpatrywanym procesie. Wówczas pojawia się możliwość zastosowania ich na innych płaszczyznach lub wyboru tylko tych technik Lean, które są najbardziej przydatne. Ważne jest, by wdrażanie poszczególnych metod LM eliminowało marnotrawstwo i podnosiło produktywność technicznych aspektów produkcji np. zainstalowanie rozwiązań dla systemu ssącego, skrócenia czasu przezbrojenia maszyn, podwyższenie wskaźnika OEE dla konkretnej maszyny, linii produkcyjnej, wydziału itd. Wdrażane metody Lean powinny być realizowane równoległe z angażowaniem pracowników (wszystkich szczebli) w doskonaleniu procesu(ów) i całego przedsiębiorstwa oraz budowaniem kultury Lean.

Proces wdrożenia Lean realizowany może być zatem na dwóch etapach:

1. technicznym (technologia i sposób wytwarzania). Na tym etapie przedsiębiorstwo skupia się na podniesieniu produktywności maszyn i urządzeń oraz
2. nietechnicznym (czynnik ludzki, kultura organizacji), wówczas przedsiębiorstwo skupia się na rozwoju kadr i ich angażowaniu w Lean. Zakres ten obejmuje sposób zarządzania przedsiębiorstwem, nadzorowanie procesami i pracą zespołów, zarządzanie zmianami oraz projektami, prezentacją pomysłów i pracy zespołowej, platformą do konsultacji, sposobem wizualizacji projektów wdrożeniowych oraz planowania zmian, itp.

Na etapach nietechnicznych bardzo pomocnym narzędziem, które wspomaga Lean jest raport A3, będący wsparciem dla coachingu. Raport ten bazuje na cyklu PDCA. Polega na zapisaniu na jednej kartce papieru syntezy i wybraniu tylko tych działań, które mają największy wpływ na osiągnięcie zamierzonego celu. Jest to narzędzie ustrukturyzowanego myślenia, zorientowane na osiągnięcie korzyści w ciągłym doskonaleniu Kaizen. Kierownicy powinni systematycznie rozwijać swoje kompetencje w zakresie tzw. szczupłej kultury zarządzania. Obejmuje ona konkretne metody i narzędzia, takie jak: sterowanie wizualne na poziomie stanowiska, obszaru i wydziału, system eskalacji informacji o problemach, łańcuch pomocy do szybkiej reakcji na problemy, zarządzanie wizualne skomplikowanymi problemami, audyty itp. Metody te pozwalają zorganizować efektywny system zarządzania, przy założeniu, że obejmują wszystkich pracowników, od brygadzystów do dyrektorów.

Analiza wszelkich, dostępnych metod wdrażania koncepcji Lean, aż do uzyskania pełnego zadowolenia i utrzymywania na drodze ciągłego doskonalenia wskazuje, że taki proces jest długotrwały i składa się z wielu etapów, wśród których najważniejsze to:

1. Przygotowanie do wdrożenia Lean

Bez względu na to, czy przedsiębiorstwo wybiera ścieżkę eksperymentalną (etapową, stopniową), czy dojrzałą do uzyskania Lean, wdrażanie metod Lean w przedsiębiorstwie powinno się rozpocząć od fazy przygotowawczej, na którą składają się szkolenia kadry kierowniczej i z czasem pozostałych pracowników. Szkolenia pozwolą na zapoznanie pracowników z metodologią Lean, a także z zadaniami i celami, do których należy dążyć. Szkolenia powinny odbywać się we wszystkich przedsiębiorstwach wchodzących w skład korporacji z branży samochodowej (o ile przedsiębiorstwo jest w strukturze korporacji). Następnie, szkolenia powinny być realizowane na terenie przedsiębiorstwa i rozszerzone na wszystkich pracowników.

2. Plan wdrożenia narzędzi Lean

Kolejnym etapem powinno być przedstawienie planu zastosowania narzędzi i technik Lean oraz wyodrębnienie zespołów odpowiadających za ich wdrożenie w wybranym obszarze (linii produkcyjnej, wydziale itp.). Każdy z zespołów powinien posiadać zewnętrznego koordynatora oraz lidera, którym jest pracownik przedsiębiorstwa. Na najwyższym poziomie powinien być Dyrektor Lean. Niższe szczeble to: Lean Menadżer, Lean Ekspert, Lean Kontroler itp.

3. Pilotażowy obszar produkcyjny

Przystępując do wdrażania Lean należy wytypować pilotażowy obszar produkcyjny, który przysparzał najwięcej problemów. Pilotaż (projekt wstępny realizowany na wybranym odcinku produkcji) powinien zainicjować ścieżkę etapową dążenia do Lean. Przed

przystąpieniem do projektu pilotażowego należy podjąć działania wstępne. Do takich działań można zaliczyć np. selekcję rzeczy znajdujących się w wybranym obszarze (wielominowanie zbędnego sprzętu lub np. oprzyrządowania maszyn). Należy opracować standardowe opisy maszyn i ich oznaczeń, wprowadzić zasadę FIFO, oznaczyć drogi transportowe [51].

4. Mapowanie strumienia wartości

Kluczowym etapem każdej transformacji Lean jest dogłębne poznanie i analiza sytuacji obecnej przy wykorzystaniu metodologii mapowania strumienia wartości. Dzięki temu otrzymuje się dokładny obraz wszystkich etapów procesu wraz z identyfikacją tzw. „wąskich gardeł” – tj. miejsc procesu, które w szczególnie sposób wymagają doskonalenia. Mapa ta obejmuje wszystkie czynności, od złożenia zamówienia przez klienta, do dostarczenia wyrobu gotowego. Odkrywa wszelkie problemy, pozwala odróżnić czynności, które dodają wartość, od tych które jej nie dodają. W przejrzysty sposób definiuje związki między poszczególnymi procesami, ukazując przepływ materiałów i informacji. Daje szansę do zrozumienia procesu, a to kluczowe w podejmowaniu innych czynności usprawniających [52].

Budując mapę należy przyjrzeć się organizacji stanowisk pracy. Dąży się więc do płynnego obiegu jednej sztuki produktu, pomiędzy stanowiskami pracy tak, aby zharmonizować tempo wytwarzania i ułatwić zarządzanie procesem. Projektowanie oraz zarządzanie stanowiskami pracy należy realizować na bazie wielu założeń, z których główne to kierowanie się zasadą optymalnych warunków pracy, ergonomii ruchów, pełnego wyposażenia i optymalnej obsługi stanowiska roboczego. Uzyskany poziom wymaga jednak ciągłego doskonalenia w czasie, co w koncepcji Lean sprowadza się do wykorzystywania koncepcji 5S [53].

5. System „ssący” produkcji Lean

W tym etapie zmian ważne jest zastąpienie systemu „ciągnięcia” (ang. push) systemem „ssącym” (pull). Metoda push polega na odgórnym harmonogramie produkcji ukazującym moment oraz miejsce rozpoczęcia każdej czynności. Harmonogram obowiązuje na każdym stanowisku pracy, jednak w takim podejściu może wystąpić brak przepływu oraz wymiany informacji, ponieważ poszczególne komórki nie współpracują ze sobą. Z kolei w systemie ssącym, będącym standardem Lean Manufacturing, poszczególne operacje wykonywane są dopiero po pojawieniu się sygnału, że konkretna część, (materiał, dokument) są konieczne do wytworzenia. Informacje przekazywane są w górę procesu, a materiały odwrotnie. System ssania eliminuje straty, w tym jedną z najważniejszych, jaką jest nadprodukcja. Na tym etapie należy stosować systemy produkcyjne Kanban i FIFO wchodzące w skład JiT.

6. Integracja

Według pracy [11] dobierając i stosując narzędzia Lean do potrzeb przedsiębiorstwa, nieodzownym elementem jest integracja w ujęciu procesowym i personalnym. Należy zadbać o efektywne wykorzystanie kadr, dobre zarządzanie zasobami ludzkimi oraz nastawienie całej załogi na ograniczanie zbędnych kosztów i działań, ich powiązanie ze stosowanymi metodami dotyczącymi doskonalenia jakości SZJ i TQC.

Końcowym krokiem jest ciągle doskonalenie, choć wielu wskazuje, że ten etap dążenia do osiągnięcia Lean nie jest ostatnim, gdyż powinien trwać stale i ciągle być poprawianym.

Inny sposób wdrażania koncepcji Lean zakłada trzy jego etapy [11; 54]:

1. Etap pilotażowy

Etap ten polega na wytypowaniu procesu próbnego (fragmentu odcinka przyszłego strumienia wartości) i wyznaczeniu osób odpowiedzialnych za dokonanie zmian. Często są to zespoły liczące od 3 do 5 osób, którymi kieruje lider Lean. Ich zadaniem jest współpraca z ekspertami w zakresie określania podstawowych działań, celów i ich integracja z założeniami. Liderami mogą być pracownicy kadry kierowniczej niższego szczebla lub inne osoby, które uczestniczą w pilotażowym procesie produkcyjnym.

2. Analiza procesu (mapowanie procesu) i jego zarządzanie

W analizie procesu uczestniczą pracownicy bezpośrednio zaangażowani w produkcję, kadra kierowniczej pierwszej linii oraz tzw. moderatorzy Lean, na których spoczywa obowiązek przedstawienia wyników analizy. Na początku ustala się cel analizy, który wspomogę wstępną identyfikację strat. Analiza powinna wskazać główne obszary powstawania strat i umożliwić dokonanie zmian w krótkim terminie, lecz natychmiastowym efekcie oszczędnościowym.

Następnie przeprowadza się analizę szczegółową, której wynikiem są projekty wdrożeniowe, a odpowiedzialnymi są eksperci i liderzy Lean. Spośród wielu propozycji projektów należy wybrać te, które są priorytetowe dla danego przedsiębiorstwa. Mogą to być np. zmniejszenie liczby wyrobów wadliwych, skrócenie czasu realizacji zamówienia, ograniczenie zużycia energii, szybsza reakcja na zmiany rynku, pełniejsze zadowolenie klienta itp.

Zarządzanie projektem Lean, polega na usamodzielnieniu zespołów i ich liderów (zespoły nie skupiają się już na wiedzy ekspertów). Członkowie Lean są w stanie samodzielnie decydować o usprawnieniach procesowych. Liderzy Lean potrafią nadzorować zmiany i synchronizować je z pozostałymi działaniami w wybranym procesie (linii produkcyjnej, wydziale). Realizując zarządzanie projektem Lean należy jednocześnie poprawiać warunki BHP i ergonomii [27].

3. Wdrożenie

Następnie rozpoczyna się właściwe wdrożenie koncepcji Lean. Wprowadzone zmiany są realizowane równolegle i obejmują coraz więcej maszyn, stanowisk, linii produkcyjnych, procesów itd. Narzędzia i techniki Lean zaimplementowane w jednym obszarze przenoszone są na inne, aż do pełnego ujednoczenia działań. Zgodnie z pracą [27], można to realizować na dwa sposoby. Pierwszy polega na przemianie zgodnie z określoną sekwencją – jeden strumień po drugim. Jest to sposób bezpieczny, gdyż uwaga osób zaangażowanych w transformację Lean skupiona jest na jednym strumieniu w wyznaczonym czasie. Dzięki temu możliwe jest określenie wpływu zmian na pozostałe procesy zachodzące w przedsiębiorstwie, a także, co istotne, doskonalenie metod Lean za każdym razem ich wdrożenia w kolejnych obszarach. Ten sposób jest długotrwały, lecz zapewnia bezpieczeństwo i jakość wdrażanych zmian Lean. Wariant drugim polega na realizacji zmian jednocześnie we wszystkich obszarach. Niesie on ze sobą pewne ryzyko niepowodzenia, gdy przedsiębiorstwo nie dokonało dogłębnej analizy stanu i możliwości kompleksowego wdrażania Lean w danym obszarze. Wprowadzanie Lean w wielu procesach wymaga dużych nakładów, czyli większego zaangażowanie kadry Lean, większej liczby czynności kontrolnych w zakresie wprowadzonych zmian itp. Z drugiej jednak strony zmiany zostają skumulowane w krótkim czasie i można oczekiwać szybkiego zwrotu nakładów w wyniku ich wdrożenia.

Możliwe jest także połączenie obu metod. Przedsiębiorstwo musi dokładnie rozważyć skutki zastosowania obu wariantów. Narzędziami jakie należy zastosować w tym etapie są: przepływ jednej sztuki, równoważenie obciążenia produkcji, system Kanban oraz system MRP (lub inne rozwiązania wsparcia procesów produkcji). Wprowadzane zmiany Lean na każdym etapie należy podsumować i przygotować zalecenia do przyszłych działań. Zmiany te muszą być transformowane w taki sam sposób, przy jednoczesnym i stałym ich doskonaleniu.

4. Ciągłe doskonalenie

Istotą procesu Lean jest doskonalenie i ujednolicenie zmian we wszystkich obszarach, co umożliwi lepszą współpracę pomiędzy działami i pracownikami, pod warunkiem, że będą świadomi istoty koncepcji Lean i zaakceptują wprowadzone zmiany. W trakcie procesu Lean należy organizować spotkania i szkolenia wewnętrzne o stosowanych metodach i technikach oraz uzyskiwanych rezultatach. Każda analiza wyników może wskazywać na konieczność ponownego zastosowania wybranego narzędzia z uwagi na brak założonych (na początku) efektów. Dokonywanie analizy po zastosowaniu każdego z narzędzi pozwala na ciągłe doskonalenie w osiąganiu założonych celów, przybliżając przedsiębiorstwo do statusu Lean. Wraz z osiągnięciem wyższego poziomu dojrzałości przedsiębiorstwa do koncepcji Lean, uzyskiwana jest większa integracja narzędzi Lean i modułów informatycznego wsparcia procesowego oraz większa współpraca technologii zgodnie z ideą Przemysłu 4.0. Wówczas możliwa jest integracja wszystkich działań produkcyjnych przedsiębiorstwa (wytwarzanie, utrzymanie ruchu, jakość i elastyczność dostaw). Może się zdarzyć, że przedsiębiorstwo posiada któryś z wymienionych systemów. Należy wtedy dokonać analizy stanu istniejącego (w podobny sposób jak proces próbny) i dokonać korekty zgodnie z założeniami Lean.

Do budowania poziomu 4.0, niezbędna jest także technologia cyfryzacji, która nierozzerwalnie łączy się z koncepcją Lean. Chodzi zwłaszcza o technologie teleinformatyczne oraz coraz częściej stosowany Przemysłowy Internet Rzeczy (z ang. Industrial Internet of Things - IIoT).

Mnogość metod, technik oraz narzędzi Lean sprawia wiele kłopotów w ich identyfikacji i przynależności. Stosowane są różne formy podziału, często indywidualnie, lub zamiennie. Według pracy [27], metody i techniki Lean można pogrupować na tzw. „twarde” i „miękkie”. Podział jest umowny i powstał na podstawie kryterium: obiektu lub podmiotu oddziaływania. Jeśli metoda lub technika Lean dotyczy technologii procesowej, np. produkcji, to zaliczana jest do metod twardych, a jeżeli czynnika ludzkiego - to do metod miękkich (tab. 1.5).

Tab.1.5. Grupowanie najważniejszych metod i technik Lean [27].

Metody i techniki TWARDE	Metody i techniki MIĘKKIE
<ul style="list-style-type: none"> ○ Pull ○ JiT ○ Kanban ○ 5S ○ One pice flow ○ Takt time ○ Poziomowanie produkcji ○ Andon ○ Jidoka ○ SMED ○ TPM ○ Poka-Yoke 	<ul style="list-style-type: none"> ○ VSM ○ Wizualizacja ○ Praca standardowa ○ Wyrównywanie obciążeń ○ Kaizen ○ System sugestii ○ Zespołowość ○ Raport 3A ○ Hoshin Kanri ○ Genbutsu Gemba ○ PDCA ○ Burza mózgów

Przytoczone pogrupowanie metod i technik Lean może pomóc przedsiębiorstwu podczas wdrażania idei Lean, dobierając metody raz z jednej, raz z drugiej grupy. Grupa metod twardych musi być uzupełniona miękkimi, i odwrotnie. Korzystnie jest, aby firma równolegle wprowadzała metody i techniki należące do wymienionych grup (tab.5). Każde narzędzie Lean wdrażane w firmie wymaga wyedukowania pracowników przedsiębiorstwa w zakresie zasadności i metod jego zastosowania. W trakcie postępu prac należy organizować spotkania informacyjne poświęcone omówieniu osiągniętych efektów i najbliższych planów działania.

Z kolei Autorzy pracy [4] pogrupowali metody i narzędzia Lean w następujących kategoriach:

- **rozwój wyrobu i wprowadzanie go na rynek.** Do tego celu służą: inżynieria współbieżna (z ang. Concurrent Engineering, Simultaneous Engineering), kustomizacja wyrobu, projektowanie modułowe, projektowanie dla wytwarzania, dążenie do jakości,
- **analiza systemu i mapowanie** – (z ang. Takt Time), dynamika systemów, analiza udziału produktu, mapowanie marnotrawstwa (z ang. Muda Map), mapowanie strumienia wartości (VSM), analiza systemów miękkich (z ang. Soft Systems Analysis),
- **produkcja** – Kanban, wielkość partii (ang. Batch Sizing), redukcja czasu przezbrojeń, lub SMED, sekwencjonowanie (poziomowanie) produkcji, technologia obróbki grupowej, gniazda potokowe, wizualizacja i sygnały dźwiękowe (Andon), punkt kontroli produkcji, wąskie przekroje (gardła),
- **jakość** – model Kano, Jidoka, Poka-Yoke, statystyczna kontrola produkcji na małych próbach (z ang. Short Run SPC), Six Sigma, kontrola poprzedzająca (z ang. Precontrol),
- **zaopatrzenie i dystrybucja** – partnerstwo i stowarzyszenia dostawców, integracja dostaw,
- **zasoby ludzkie** – otwarta księga, zarządzanie zmianami (z ang. Change Management),
- **doskonalenie** - to ostatni etap, o ile można go tak nazwać (ponieważ jest ciągły). To stan, w którym przedsiębiorstwo, przygotowuje się do nowych wyzwań rynkowych, nieustannie doskonali swe umiejętności w zakresie organizacji pracy i funkcjonowania w zmiennym otoczeniu [55]. W etapie tym dokonuje się przełamania dotychczasowych zasad, które determinują dotychczasowe „stabilne” działania przedsiębiorstwa na rzecz ciągłych zmian i działań wyprzedzających w myśl zasady działania proaktywnego na rzecz reaktywnego. Przedsiębiorstwo ciągle poszukuje nowych rozwiązań dla złożonych sytuacji, aby pełniej zaspokoić potrzeby klienta. Powinno dzielić się z otoczeniem wynikami zmian i osiągnięć. Można to również rozszerzyć na inne przedsiębiorstwa o podobnej strukturze produkcji. Przedsiębiorstwo Lean powinno być otwarte na i dla innych klientów i podmiotów, aby funkcjonować w szerokiej perspektywie otoczenia i stale uczyć się od najlepszych. Można skorzystać z następujących narzędzi: 5S (selekcja, systematyka, sprząatanie, standaryzacja, samodoskonalenie), kaikaku, inżynieria wartości i analiza wartości, Kaizen, kompleksowe utrzymanie ruchu (TPM), OEE (z ang. Overall Equipment Effectiveness) 5 razy dlaczego?, reinżynieria procesów.

Na końcu procesu wdrażania koncepcji Lean należy wykonać analizę (macierz) rezultatów, na którą składają się:

- porównanie osiągniętych wyników z założeniami,
- wskazanie popełnionych błędów i niedociągnięć,
- wytyczne do dalszych działań (w zakresie stosowania nowych narzędzi oraz edukacji pracowników).

W dalszej części przedstawiono wybrane przykłady metod i technik Lean oraz omówiono niektóre wskaźniki KPI użyteczne w sektorze motoryzacyjnym o charakterze produkcyjnym.

Lean Benchmarking

Benchmarking może mieć charakter: strategiczny (porównywanie przedsiębiorstwa z liderami w swojej branży), proceduralny (porównywanie z przedsiębiorstwami wiodącymi w różnych obszarach działalności) lub marketingowy (stałe badania opinii klientów dotyczące jakości i ważnych cech wytwarzanych towarów w zestawianiu z opiniami o wyrobach przedsiębiorstw konkurencyjnych). Przedmiotem porównań mogą być przedsiębiorstwa (struktura, miejsca pracy, produkty), jak też poszczególne elementy działalności organizacyjnej przedsiębiorstw (aktywność współpracowników, linie produkcyjne, procesy). Benchmarking jest więc dość szerokim pojęciem, pozwalającym na porównanie wytwarzanych produktów, świadczonych usług, stosowanych metod i procesów [8]. W koncepcji Lean można zastosować tzw. Lean Benchmarking – czyli zakres porównań w odniesieniu do poszczególnych usprawnień Lean, który może być wewnętrzny lub zewnętrzny. Celem takiego porównania jest wyznaczenie kierunków podwyższenia efektywności, np. produkcyjnej przedsiębiorstwa [56] (tab.1.6).

Tab.1.6. Etapy przygotowania Lean Benchmarking [8; 56; 57].

Etapy	Opis
Wyznaczenie obiektu benchmarkingu	Pierwszy etap to określenie przedmiotu analizy. Po dokonaniu wyboru obiektu badania koniecznym jest wyodrębnienie i przeanalizowanie czynników, które wpływają na wzrost efektywności usprawnianych procesów, a w efekcie na podniesienie poziomu zadowolenia klienta. Niezbędne jest powołanie zespołu badawczego, którego członkowie powinni posiadać wiedzę przedmiotu analizy, jak również odpowiedni autorytet oraz wolę przeprowadzenia zmiany
Analiza wewnętrzna	Na etapie analizy wewnętrznej dokonuje się szczegółowej charakterystyki obiektu benchmarkingu. Wyniki owej charakterystyki wykorzystywane są do formułowania wniosków o sposobie modyfikacji lub optymalizacji przedmiotu badania (np. produktu czy struktury przedsiębiorstwa). Uzyskane w ten sposób informacje ułatwiają poszukiwanie odpowiedniego partnera i opracowanie listy pytań (np. o wewnętrzną organizację przedsiębiorstwa), na które odpowiedzi należy szukać w czasie dalszej analizy.
Wyznaczenie partnera	Kolejnym etapem jest wyznaczenie partnera benchmarkingu, który mógłby być wzorcem lub punktem odniesienia.
Analiza partnera	Analiza partnera ma kluczowe znaczenie w metodyce benchmarkingu, ponieważ umożliwia poznanie różnic występujących między praktyką innych firm a praktyką własną oraz uzyskanie odpowiedzi na pytania postawione w poprzednim etapie.
Ocena wyników	Piąty etap to ocena wyników, czyli ocena pozyskanych informacji. Ten etap metody benchmarkingu umożliwia identyfikację warunków, których spełnienie pozwoliło partnerowi na osiągnięcie pozycji lidera na rynku.
Planowanie i realizacja zmian oraz doskonalenie	Ostatni etap to implementacja zmian i doskonalenie. Punktem wyjścia jest wyznaczenie osób odpowiedzialnych za przygotowanie projektu zmian, opracowanie harmonogramu wdrożenia projektu i przedstawienie listy środków niezbędnych do realizacji usprawnień i metod motywacji pracowników.

Arkusz oceny PPAP [58]

Arkusz oceny PPAP (z ang. Production Part Approval Process) jest wydawany na podstawie opinii inżynierów. Uzyskanie PPAP oznacza dopuszczenie wyrobu do produkcji seryjnej. Producent potwierdza w ten sposób, że dokładnie zrozumiał wszelkie wymagania klienta dotyczące jakości. PPAP składa się z pięciu poziomów: pierwszy – polega na przedstawieniu klientowi raportu zgodności wyrobu ze wzorcem, drugi – zawiera próbki produktu i wybrane dokumenty dotyczące przedstawionych wymagań, trzeci oznacza całą dokumentację, czwarty polega na przekazaniu gwarancji i kompletowaniu wyrobów zgodnie z wymaganiami klienta. Poziom piąty dotyczy wysyłki produktu i danych potwierdzonych przez oddział produkcji.

Produktywne utrzymanie maszyn (z ang. Total Productive Maintenance - TPM)

Główne filary TPM przedstawiono w tabeli 1.7.

Tab.1.7. Główne Filary TPM [59; 60].

Filary	Opis
Filar 1 – autonomiczne utrzymanie ruchu.	Ma na celu włączenie operatorów w utrzymanie oraz konserwację obsługiwanych maszyn. Obejmuje: czyszczenie i przegląd, usunięcie zanieczyszczeń, rozwiązanie problemów, eliminacja ich źródeł, usunięcie zanieczyszczeń, dostęp do wszystkich części maszyny, wyznaczenie standardów czyszczenia i smarowania, opracowanie standardów zapewniających skuteczne czyszczenie i smarowanie, sporządzenie harmonogramu prac i przeglądów okresowych, przeprowadzenie ogólnej inspekcji maszyny, szkolenia i inspekcje w celu wykrycia i usunięcia nieprawidłowości, przygotowanie standardowych list kontrolnych, wprowadzenie wizualnego zarządzania utrzymaniem maszyn, standaryzacja i wizualne zarządzanie działaniami związanymi z utrzymaniem maszyn, opracowanie zasad gromadzenia danych dot. awarii, analiza wyników do doskonalenia sprzętu.
Filar 2 – doskonalenie Kaizen	Polega na ciągłym doskonaleniu procesu metodą małych kroków. Założeniem filozofii Kaizen jest nieustanne podwyższanie standardów poprzez prawidłową identyfikację potrzeb na drodze rozpoznania problemu korzystając m.in. z: TPM, PDCA, 5Why, FMEA, wykres Ishikawy czy diagram Pareto-Lorenza.
Filar 3 – planowane utrzymanie maszyn	Głównym aspektem tego filaru jest prowadzenie planowanych, zapobiegawczych działań w celu uniknięcia awaryjnych przestojów maszyn. Do zakresu tych działań należą: analiza usterek i środków zapobiegawczych, zarządzanie smarowaniem, zarządzanie prewencyjną wymianą zużytych podzespołów, zarządzanie regulacją, zarządzanie częściami zamiennymi, kosztami utrzymania, skrócenie czasu napraw.
Filar 4 – utrzymanie dla jakości	Polega na opracowaniu szeregu narzędzi jakości, których celem jest weryfikacja i poprawa obecnej jakości produktu. W tym celu dokonuje się analizę techniczną tych miejsc linii technologicznej, które odpowiedzialne są za powstawanie potencjalnych błędów wpływających na finalną formę produktu.
Filar 5 – TPM w biurach	Jest to zespół metod służących identyfikacji i likwidacji strat wpływających na wydajność, jakość i koszty prac biurowych. Obejmuje działania ukierunkowane na ulepszanie procesów biurowych dotyczących przepływu i obróbki informacji oraz tworzenia wraz z przetwarzaniem materiałów, czyli produktów pracy biurowej.
Filar 6 – bezpieczeństwo i środowisko	Działania polegające na eliminacji zagrożenia dla pracowników oraz środowiska naturalnego na drodze ograniczania zużycia materiałów oraz energii, czyli innymi słowy poprzez likwidację marnotrawstwa.
Filar 7 – szkolenia	Prowadzenie szkoleń dla poprawy poziomu umiejętności technicznych personelu. Doskonalenie technik rozwiązywania problemów. Istotą szkolenia jest m.in. wprowadzenie metod nauki pracy w zespole i poprawa umiejętności komunikacji.

Wybrane wskaźniki produktywnego utrzymania ruchu (maszyn) - TPM

Wybrane wskaźniki TPM przedstawiono w tabeli 1.8.

Tab.1.8. Wybrane wskaźniki TPM [60].

Wskaźniki	Opis
Średni czas naprawy (ŚCN) (z ang. Mean Time to Repair - MTTR)	Wskaźnik ŚCN stanowi średni czas trwania rzeczywistej naprawy od momentu zgłoszenia do momentu jej zakończenia. Wyznaczony jest zależnością: $\dot{S}CN = \frac{\text{czas wykonanej naprawy}}{\text{liczba awarii}}$
Średni czas pomiędzy awariami ŚCPA (z ang. Mean Time Between Failures MTBF)	ŚCPA lub częstość awarii rozumiany jest jako średni czas pracy pomiędzy awariami w określonym czasie: $\dot{S}CPA = \frac{\text{czas pracy}}{\text{liczba awarii w tym czasie}}$
Globalny wskaźnik efektywności urządzenia, linii produkcyjnej (z ang. Overall Equipment Effectiveness - OEE)	Wskaźnik ten wskazuje, jakim procentem możliwej do uzyskania efektywności charakteryzuje się badane urządzenie, linia produkcyjna itp. jednostka. OEE to iloczyn dostępności (D), wydajności (W) i jakości (J) podawany w procentach: $OEE = \text{Dostępność} \times \text{Wydajność} \times \text{Jakość} \times 100\%$ Dostępność (D) to dyspozycyjność praktyczna, czyli iloraz czasu zmiany z pominięciem przestoju do czasu zmiany: $D = \frac{\text{czas zmiany} - \text{czas przestoju}}{\text{czas zmiany}}$ gdzie: czas przestoju to suma czasu potrzebnego do przebrojenia maszyny plus czasu awarii plus czasu spowodowanego innymi przestojami maszyny Wydajność (W) to iloraz rzeczywistej, wykonanej produkcji (wyrobów dobrych i złych) do iloczynu czasu zmiany i wydajności znamionowej. Wydajność można wyznaczyć z zależności: $W = \frac{\text{produkcja wykonana (łącznie liczbą produktów dobrych i złych)}}{\text{czas zmiany} \times \text{wydajność znamionowa}}$ gdzie: wydajność znamionowa to wartość mocy, przy której praca maszyny występuje prawidłowo i zgodnie z normami producenta. Wartość tę podaje się zazwyczaj na tabliczce znamionowej urządzenia. Jakość (J) wyznacza się z zależności: $J = \frac{\text{produkcja wykonana} - \text{produkty złe}}{\text{produkcja wykonana}}$
Wskaźnik dostępności (WD)	To iloraz planowanego czasu pracy w danym okresie do rzeczywistego czasu pracy maszyny w tym samym okresie: $WD = \frac{\text{rzeczywisty czas pracy maszyny}}{\text{planowany czas pracy maszyny}}$
Wskaźnik wydajności (WW)	To iloraz planowanej (normatywnej) ilości wyprodukowanego produktu do rzeczywistego czasu potrzebnego do wykonania 1 sztuki tego wyrobu: $WW = \frac{\text{liczba wyprodukowanych wyrobów}}{\text{rzeczywisty czas pracy potrzebny do produkcji 1 wyrobu}}$
Wskaźnik jakości (WJ)	To iloraz liczby wyrobów dobrych (zgodnych z normą) do całkowitej liczby wyrobów wyprodukowanych w zadanym czasie. Wyrażony jest zależnością: $WJ = \frac{\text{liczba wyrobów dobrych}}{\text{całkowita liczba wyrobów w zadanym czasie}}$

TPM identyfikuje główne straty w trzech podgrupach [60]:

- straty czasu (dostępność): straty czasu wynikłe z awarii; straty związane z przebrojeniem oraz wyregulowaniem maszyn,
- straty sprawności (efektywność): straty z powodu bezczynności, drobnych przestojów; straty wydajności spowodowane ograniczeniem prędkości maszyn,
- straty z tytułu wad (jakość): straty związane z defektami i poprawkami oraz straty związane z rozruchem sprzętu.

Proces tworzenia mapy procesu (mapa strumienia wartości - VSM)

Przedsiębiorstwo w zależności od specyfiki procesu produkcji może dokonać modyfikacji klasycznej metody VSM. Zazwyczaj VSM prowadzi do systemu ssącego, jednak można go zmienić na system hybrydowy pchająco-ssących. Występuje również rozszerzenie klasycznej metody VSM o systemy MRP (z ang. Material Requirements Planning), które określane jest jako system SyVSM (z ang. synchro-MRP VSM) [61].

Przed opracowaniem VSM należy zestawić w formie tabelarycznej czynności prezentowanego procesu wraz z czasami ich trwania i czasem dodatkowym - tabela 1.9.

Tab.1.9. Proces tworzenia mapy strumienia wartości VSM [61; 62].

Etapy	Opis
Etap 1	Wybór produktu lub rodziny produktów dla których tworzona będzie mapa
Etap 2	Zebranie potrzebnych danych od klienta (wielkość oraz częstotliwość zamówień oraz sposób dostawy)
Etap 3	Zebranie informacji od dostawców (częstotliwość oraz sposób i wielkość dostaw).
Etap4	Zebranie informacji o przepływie materiału z hali produkcyjnej (kolejność procesów, czas cyklu każdego procesu, czas przebrojeń, liczba operatorów pracująca przy każdym stanowisku, poziom braków, dostępność maszyny, wielkość buforów, czas jaki wyroby gotowe są składowane w magazynie).
Etap5	Zebranie informacji o sposobie wysyłki do klienta.

Nieodzownym elementem tworzenia mapy VSM jest lista kontrolna. Najważniejsze elementy listy w obszarze produkcji, a więc z pominięciem zaopatrzenia, magazynowania, kooperacji, motywacji i komunikacji przedstawiono w tabeli 1.10.

Tab.1.10. Wybrane obszary do tworzenia listy kontrolnej VSM [16; 61; 62].

Zakres listy	Przykłady pytań
Planowanie	W jaki sposób planowana jest produkcja (wg zleceń czy partiami produkcyjnymi)? Jaki system wykorzystywany jest do planowania (typu MRP/ERP lub np. Excel)? Jak często aktualizowane są dane w systemie? Jakie problemy występują na etapie planowania? Jaki jest wskaźnik planu do realizacji (terminowo, jakościowo i ilościowo)?
Wytwarzanie	Jaki jest czas przejścia jednego wyrobu w procesie produkcji? Które procesy/stanowiska ograniczają nasze zdolności wytwórcze? Czy/które procesy/stanowiska ograniczają nasze zdolności sprzedażowe? Jaka jest ilość braków/błędów w produkcji? W których miejscach występują największe problemy? Gdzie tkwią przyczyny błędów jakościowych? Czy jest monitorowana realizacja planu (mierzony wskaźnik plan/wykonanie) i w jaki sposób? Jak wykorzystywana jest informacja o odchyleniach od planu? Czy wiemy, jakie są główne przyczyny tych odchyień? Jakie są główne problemy w procesie wytwórczym?
Inicjatywy pracownicze	W jaki sposób są przekazywane i rozwiązywane problemy? Czy pracownicy zgłaszają pomysły usprawnień? Na jakiej zasadzie? Co za to dostają?

Mnogość rodzajów i typów procesów produkcyjnych sprawia, że istnieją różne typy metody VSM. Najważniejsze z nich przedstawiono w tabeli 1.11.

Tab.1.11. Typy VSM [16].

Typy	Etap
Value Stream Analysis (VSA)	ETAP 1. Diagnoza stanu istniejącego. Analiza stanu obecnego strumienia wartości.
Value Stream Designing (VSD)	ETAP 2. Stworzenie wizji stanu przyszłego. Budowa docelowego stanu strumienia wartości.
Value Stream Work Plan (VSP)	ETAP 3. Plan doskonalenia. Plan doskonalenia i wdrożenia rozwiązań, nazywamy również Mapą drogową (Road Map) ze zdefiniowanymi miarami oceny skuteczności realizacji tego planu.

Metoda 5S

Jak już wspomniano, jeszcze przed wdrożeniem koncepcji Lean w przedsiębiorstwie należy przeprowadzić porządkowanie stanowisk pracy stosując do tego celu np. metodę 5S. Poszczególne etapy tej metody przedstawiono w tabeli 1.12.

Tab.1.12. Etapy metody 5S [48].

S	Opis
1S	Usunięcie nieprzydatnych przedmiotów ze stanowiska pracy
2S	Przyporządkowanie przedmiotom miejsc, w których będą się znajdować i wizualne oznaczenie tychże miejsc
3S	Utrzymanie stanowisk pracy w czystości
4S	Standaryzacja wykonywanych czynności porządkowych
5S	Wprowadzenie dyscypliny i ciągłego doskonalenia

System dokładnie i na czas - JiT

Jest to jedna z technik stosowana w zarządzaniu produkcją, której głównym założeniem jest minimalizacja strat. Jest to możliwe poprzez dostarczenie wszelkich materiałów, niezbędnych do realizacji danego procesu produkcyjnego, dokładnie na czas i dokładnie w wymaganej ilości. Pomimo tego, że wybór tego podejścia wymaga dużej dojrzałości przedsiębiorstwa, to decydując się na jego wykorzystanie, można wiele zyskać. Podstawowe korzyści to redukcja kosztów związanych z magazynowaniem, poprawa terminowości i jakości dostaw (tab.1.13). Procesowi produkcji JiT towarzyszy także ciągłe doskonalenie łańcucha dostaw. Wszystko to w celu osiągnięcia i utrzymania najwyższej jakości wytwarzanych towarów.

Tab.1.13. Cztery, główne filary systemu JiT [52].

Filary	Opis
Filar 1	Całkowita eliminacja zapasów
Filar 2	Minimalizacja cykli realizacji zamówień
Filar 3	Częste uzupełnianie ilości materiału w małych partiach
Filar 4	Zapewnienie wysokiej jakości produktu

Wybrane wskaźniki produktywności KPI

Wskaźniki KPI powinny być:

- aktualne - mierzone z odpowiednią częstotliwością i dokładnością,
- nadzorowane przez zarząd przedsiębiorstwa, gdyż na ich podstawie decyzje podejmuje kierownictwo wyższego szczebla,
- proste - wszyscy w przedsiębiorstwie powinni wiedzieć, w jaki sposób są uzyskiwane? co na nie wpływa? i co wskazują?
- oparte na danych zespołowych - wnoszą informację o efektywności pracy poszczególnych zespołów w przedsiębiorstwie,
- istotne - mają bezpośrednie przełożenie na realizację strategii w przedsiębiorstwie,
- klarowne - są zaprojektowane w taki sposób, aby zespoły miały możliwie jak najmniejszy wpływ na sterowanie nimi.

Należy zaznaczyć, że nie ma uniwersalnych wskaźników KPI, które można skopiować oraz bezrefleksyjnie stosować w różnych procesach i przedsiębiorstwach. Dobierając wskaźniki KPI należy sugerować się przede wszystkim realizowaną strategią, założonymi celami oraz dobrem przedsiębiorstwa. Ogólnie, wskaźniki KPI można podzielić na dwie kategorie [49]:

- kluczowe wskaźnik rezultatu (KRI),
- kluczowe wskaźnik efektywności (KPI).

Dla lepszego zobrazowania sposobu doboru wskaźników KPI w różnych obszarach, poniżej zestawiono kilka przykładowych sposobów projektowania KPI odzwierciedlających realne cele przedsiębiorstwa, które przedstawiono w tabeli 1.14.

Tab.1.14. KPI w Lean - ujęcie procesowe w przedsiębiorstwie [49; 63; 64].

Obszar	Przykłady KPI na różnych szczeblach		
Logistyka	Liczba kompletnych oraz terminowych dostaw do kluczowych klientów	Liczba kompletnych oraz terminowych dostaw do wszystkich klientów	Liczba opóźnionych transportów. Liczba brakujących elementów opóźniających wysyłkę
Lean	Lead time kluczowej rodziny produktów	Średni czas realizacji (z ang. Lead time)	Liczba warsztatów VSM. Liczba szkoleń pracowników
Utrzymanie ruchu	Liczba i czas awarii kluczowych maszyn	Liczba i czas awarii wszystkich maszyn	Liczba godzin pracowników przeznaczona na prewencyjne utrzymanie ruchu. Liczba warsztatów TPM na maszynach. Liczba awarii
Produkcja	Terminowa realizacja planu produkcji	Średni czas opóźnienia zleceń	Poziom wykorzystania parku maszynowego. Wyniki audytów 5S
Jakość	Liczba reklamacji kluczowych klientów	Liczba wszystkich reklamacji	Liczba braków zatrzymanych na produkcji
Obsługa klienta	NPS kluczowych klientów	Średnia wartość NPS dla wszystkich klientów	Średni czas obsługi klientów

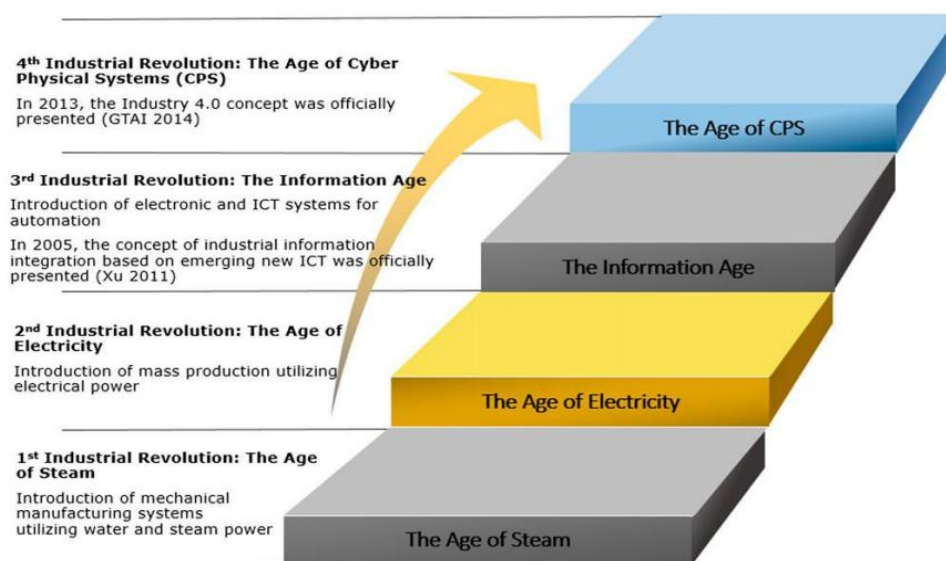
1.5. Transformacja z przemysłu 3.0 do poziomu 4.0

Trzecia rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w latach 50-tych XX w. Osiągnęła swój szczyt na przełomie wieku i prawdopodobnie zakończy się około 2030 r. Jest uważana za przejście od mechanicznej i analogowej technologii elektronicznej do elektroniki cyfrowej, wdrażając „zielone” budynki, samochody elektryczne i produkcję rozproszoną. Opiera się na transformacji energetycznej, technologiach cyfrowych i internecie, co nosi nazwę „Rewolucji cyfrowej”. Polega to na przejściu od „społeczeństwa informacyjnego” do „obywateli wiedzy”, z głównym naciskiem na nanotechnologie, inteligentne systemy, druk 3D i robotykę dla produkcji przemysłowej zintegrowaną z usługami osobistymi. Oprócz tego, przemysł 3.0 rozpoczął łączenie produkcji z elementami zwiększonej efektywności energetycznej [65-68]. Ważnym czynnikiem przemysłu 3.0 są też sztuczna inteligencja i duże zbiory danych wysoce usieciowionej, inteligentnej i globalnej gospodarki opartej na wiedzy [66-71].

Pojęcie Industry 4.0 zostało po raz pierwszy zaprezentowane podczas targów Hanower'11 a nazwa została oficjalnie ogłoszona w 2013 r. jako niemiecka inicjatywa strategiczna, mająca na celu objęcie pionierskiej roli w branżach, które rewolucjonizują dziś sektor produkcyjny. Przemysł 4.0 reprezentuje obecny trend technologii automatyzacji w przemyśle wytwórczym, obejmując głównie technologie wspomagające, tj.: systemy cyberfizyczne (CPS), Internet Rzeczy (IoT) i przetwarzanie w chmurze. Według GTAI (Germany Trade and Invest 2014), Przemysł 4.0 reprezentuje ewolucję technologiczną od systemów wbudowanych do systemów cyberfizycznych. W Przemysle 4.0 systemy wbudowane, semantyczna komunikacja typu maszyna-maszyna, technologie IoT i CPS integrują świat wirtualny z fizycznym. Ponadto, pojawia się nowa generacja systemów przemysłowych, np. inteligentne fabryki, które radzą sobie ze złożonością produkcji w środowisku cyberfizycznym. W nowej erze technologicznej opartej na technologiach informacyjno-komunikacyjnych ważną rolę odgrywają systemy wbudowane, IoT, CPS, integracja przemysłu i integracja informacji przemysłowych [72-75]. W ciągu ostatnich kilku lat Przemysł 4.0 stał się obiecującą ideą technologiczną stosowaną do integracji i rozszerzania wewnętrznych i międzyorganizacyjnych procesów produkcyjnych. Pojawienie się Przemysłu 4.0 było napędzane przez rozwój cyfryzacji, zapewniając szereg rozwiązań dla potrzeb informatyzacji w produkcji. Zostało to potwierdzone rosnącą liczbą przedsiębiorstw o poziomych i pionowych łańcuchach wytwarzania, uzyskując wysoki poziom cyfryzacji złożonych ekosystemów przemysłowych [72, 76-82].

Celem przemysłu 4.0 jest radykalne zwiększenie ogólnego poziomu uprzemysłowienia, informatyzacji i cyfryzacji produkcji dla osiągnięcia większej wydajności, kompetencji oraz konkurencyjności. Z tego powodu poziom 4.0 ma długoterminowy i strategiczny wpływ na globalny rozwój przemysłu. Ze względu na wagę tego tematu rośnie zapotrzebowanie na badania dotyczące przemysłu 4.0 w celu uzyskania wglądu w problemy, wyzwania oraz rozwiązania związane z projektowaniem, wdrażaniem i zarządzaniem przemysłem [72, 83]. Oczekuje się, że przemysł zaoferuje obiecujące rozwiązania transformacyjne w zakresie działania i roli wielu istniejących systemów przemysłowych w cyfrowych przedsiębiorstwach złożonych ekosystemów przemysłowych przyszłości. W związku z tym uważa się, że jest to kluczowy czynnik umożliwiający zaawansowaną produkcję następnej generacji. Przede wszystkim może umożliwić tworzenie wirtualnych sieci wspierających inteligentną fabrykę. Produkcja oparta na tzw. „chmurze” to technologia, która może znacząco przyczynić się do realizacji przemysłu 4.0. Metoda ta, podobnie jak przetwarzanie danych, wykorzystuje sieć

zasobów w rozproszony sposób. Podstawą przemysłu 4.0 są systemy współpracujących jednostek obliczeniowych (CPS), które są w połączeniu z otaczającym światem fizycznym oraz jego bieżącymi procesami. Ponadto systemy te dostarczają i wykorzystują usługi dostępu do danych i ich przetwarzania w internecie. W CPS komponenty fizyczne i programowe są ze sobą powiązane, a każdy z nich działa w różnych skalach przestrzennych i czasowych oraz wchodzi ze sobą w interakcje na wiele sposobów, zmieniając się w zależności od kontekstu. CPS prezentuje wyższy poziom integracji i koordynacji między elementami fizycznymi oraz obliczeniowymi, gdyż obecny trend ujawnia postęp technologiczny systemów wbudowanych do CPS. Badania [72, 75-83] wskazują, że wraz z wprowadzeniem CPS maszyny będą mogły się ze sobą komunikować, a zdecentralizowane systemy sterowania będą optymalizować produkcję. Do wdrażania poziomu 4.0 można wdrażać różne technologie lub techniki, które obejmują CPS, IoT, integrację informacji przemysłowych i inne powiązane technologie. Kiedy termin „Internet rzeczy” (z ang. Internet of Things - IoT) pojawił się po raz pierwszy, odnosił się jednoznacznie do identyfikowalnych, interoperacyjnych połączonych obiektów za pomocą technologii identyfikacji radiowej (z ang. Radio-Frequency Identification - RFID). Podłączając moduł RFID do Internetu, czytniki mogą w czasie rzeczywistym automatycznie oraz jednoznacznie identyfikować i śledzić obiekty, do których dołączone są etykiety (tagi). Obecnie, technologia IoT jest sprzężona z innymi technikami, takimi jak: czujniki, siłowniki, globalny system pozycjonowania (GPS) oraz urządzeniami mobilnymi obsługiwanymi przez Wi-Fi, Bluetooth, sieci komórkowe i komunikację bliskiego zasięgu (z ang. Near Field Communication - NFC). Dlatego nowsza definicja pojęcia „Internet rzeczy” określa, że jest to dynamiczna, globalna infrastruktura sieciowa z możliwościami samokonfiguracji oparta na standardowych i interoperacyjnych protokołach komunikacyjnych, gdzie fizyczne i wirtualne „rzeczy” mają tożsamość, atrybuty fizyczne i wirtualną osobowość wykorzystując inteligentne interfejsy zintegrowane z siecią informatyczną [72]. Technologie i urządzenia stosowane do obsługi IoT przedstawiono na rysunku 1.1. Kluczowe technologie obejmują RFID i inne technologie, np. kody kreskowe, smartfony, przetwarzanie w chmurze, usługi lokalizacyjne, komunikację bliskiego zasięgu i sieci społecznościowe [72].



Rys.1.1. Ewolucja od Przemysłu 1.0 do Przemysłu 4.0 w zakresie systemów CPS [72].

Kolejnym elementem Przemysłu 4.0 jest „chmura obliczeniowa” (z ang. Cloud computing), która jest technologią obliczeniową, oferującą wysoką wydajność i niski koszt. Technologia ta zapewnia przetwarzanie w chmurze z udostępnianiem zasobów, dynamiczną alokacją z elastycznym rozszerzeniem i wieloma innymi zaletami. Duża ilość obliczeń może zostać przesłana do centrum przetwarzania w chmurze dla przechowywania danych [72]. Produkcja oparta na chmurze to rozwijająca się technologia, która może znacząco przyczynić się do realizacji przemysłu 4.0, umożliwiając modularyzację i zorientowanie na usługi w kontekście produkcji, w której ważnymi kwestiami są dostosowanie systemów oraz współdzielenie usług i komponentów. Produkcja w chmurze, podobnie jak przetwarzanie w chmurze, wykorzystuje sieć zasobów w wysoce rozproszony sposób. Najbardziej na atrakcyjności zyskuje „produkcja jako usługa” (MaaS), głównie w przemyśle wytwórczym. Projektowanie w chmurze pozwala każdemu przesyłać i udostępniać projekty innym osobom. Na przykład amerykańska firma Local Motors, produkująca pojazdy silnikowe, skupiła się na produkcji małoseryjnej projektów pojazdów silnikowych typu „open source” przy użyciu wielu mikrofabryk. Ich projekty są współtworzone przez projektantów, inżynierów i wytwórców w wirtualnej społeczności. Projektowanie i wytwarzanie w chmurze jest uważane za kolejny paradygmat w produkcji i prowadzone są badania nad jego znaczeniem w przemyśle 4.0 [72].

W ostatnim dziesięcioleciu systemy cybernetyczne i cyberfizyczne są coraz bardziej ze sobą powiązane. W systemach CPS komponenty fizyczne i programowe są ze sobą współzależne, a każdy z nich działa w różnych skalach przestrzenno-czasowych, wchodząc w interakcje ze sobą na różne sposoby, które zmieniają się w zależności od kontekstu. CPS prezentują wyższy poziom integracji oraz koordynacji pomiędzy elementami fizycznymi i obliczeniowymi. Poprzedników CPS można znaleźć w tak różnych obszarach produkcji jak: przemysł wytwórczy, lotniczy, motoryzacyjny, chemiczny, energetyczny, medyczny i transportowy. Amerykańska Narodowa Fundacja Nauki (NSF) określiła CPS jako kluczowy obszar badań. CPS to projektowane systemy zależne od bezawaryjnej integracji algorytmów obliczeniowych i komponentów fizycznych. Postępy w CPS zapewnią adaptowalność, skalowalność, bezpieczeństwo i użyteczność, znacznie przewyższając dzisiejsze proste systemy wbudowane. Już dziś wiadomo, że bez nowoczesnych, inteligentnych systemów CPS nie będzie możliwe zarządzanie Lean m.in. w produkcji, energetyce, transporcie, rolnictwie i automatyce [72]. Co więcej, połączenie Lean z CPS, jest jednym z głównych filarów w osiągnięciu poziomu 4.0.

Na przełomie XX i XXI w., gdy nastąpiła kulminacja rozwoju poziomu 3.0, stało się jasne, że wpływ komunikacji technologii z informacją (z ang. Information and Communications Technology - ICT) na produkcję wykroczył poza tradycyjny paradygmat i bezprecedensowo wpłynie na pełną integrację procesów przemysłowych i wirtualnego przetwarzania danych. Obecnie, czwarta rewolucja przemysłowa wyłania się z trwającego dziś procesu trzeciej rewolucji, która jest procesem integracji przemysłowej, gdyż nowe technologie informacyjno-komunikacyjne są w stanie połączyć nowe i klasyczne przemysłowe procesy produkcyjne.

Gdy przedsiębiorstwa okiełzną szum wokół transformacji cyfrowej w Przemysle 4.0, stają w obliczu złożonych realiów wdrażania, począwszy od wprowadzania nowych technologii oraz aplikacji CPS do inteligentnych fabryk, po adaptację lub wymianę głównych architektur korporacyjnych, infrastruktur i procesów ICT. Przejście od poziomu 3.0 na Przemysł 4.0 będzie wymagało nie tylko nowych ICT połączonych z Lean, ale także nowych metod jeszcze „szczuplejszego” zarządzania na poziomie wewnątrz- i międzyorganizacyjnym. Konieczna

jest więc realizacja trzech formatów integracji przedsiębiorstwa: poziomej, pionowej i typu „od - do” (z ang. end-to-end) [72].

Integrację, konsolidację i koordynację uznano za krytyczne kwestie w dążeniu do osiągnięcia przemysłu 4.0. Granice poszczególnych przedsiębiorstw prawdopodobnie znikną i zostaną połączone (lub zintegrowane) w różnych sektorach przemysłu i regionach geograficznych. Prawdopodobnie przedsiębiorstwa będą posiadać jakieś istniejące starsze systemy, z których będą nadal korzystać, jednak zostaną zmuszone do wdrażania nowych metod zarządzania połączonych z cyfrowymi zestawami aplikacji. Aby osiągnąć integrację nowych i istniejących rozwiązań, należy zastosować np. ICT, określane jako „Integrację aplikacji przemysłowych” (z ang. Enterprise Application Integration - EAI). Aby zintegrować nowe możliwości cyfrowe oparte na CPS z istniejącymi systemami i procesami, koordynacja różnych metod i aplikacji w dużej mierze zależy od stopnia informatyzacji procesów produkcji. Jednym z ważnych problemów związanych z przemysłem 4.0 jest fakt, że istniejąca infrastruktura informatyczna nie jest w stanie komunikować się z nowo wdrożonymi technologiami. Przeszkodę tą może pokonać system EAI, który powinien być wdrażany w wybranym obszarze (np. stanowisku, linii produkcyjnej, wydziale), mając na celu połączenie obecnych oraz nowych procesów systemowych, zapewniając elastyczny i wygodny mechanizm integracji procesów produkcji. Integracja korporacyjnych aplikacji przemysłowych obejmuje integrację heterogenicznych źródeł danych, procesów, aplikacji, platform i standardów. Tworząc integracyjną strukturę, EAI łączy różne systemy i aplikacje zarówno pomiędzy różnymi liniami, wydziałami, jak też wewnątrz całego przedsiębiorstwa. Łącząc oprogramowanie, infrastrukturę i standardy, EAI umożliwia bezproblemowe udostępnianie i wymianę danych i informacji, co jest wymagane przez przemysł 4.0 [81-83].

Powszechnie przyjmuje się, że technologie i aplikacje przemysłu 4.0, są na bieżąco rozwijane i dostosowywane do tych, którymi dysponuje przedsiębiorstwo. Potencjalne korzyści ekonomiczne przemysłu 4.0 można zrekomensować kilkoma wyzwaniami. Niektóre z nich dotyczą kwestii naukowych, technologicznych i społecznych, w tym dotyczących aspektów technologii, bezpieczeństwa, prywatności i standaryzacji. Konieczne są więc wysiłki, aby sprostać tym wymaganiom, wśród których, jednymi z najważniejszych, w osiągnięciu poziomu 4.0, są wyzwania techniczne. Do głównych z nich należą [72, 81]:

- w przypadku wielu przedsiębiorstw produkcyjnych działających np. w ramach konsorcjum lub grupy korporacyjnej, infrastruktura ICT, aby w pełni była gotowa do obsługi cyfrowej transformacji poziomu 4.0, powinna być zintegrowana poziomo, pionowo i typu „od - do”. W tym celu należy wybrać jeden obszar badawczy (np. stanowisko, linię produkcyjną, wydział) i dopasować starą infrastrukturę informatyczną do nowych platform zdalnego przekazu danych. Uzyskane rozwiązanie należy zaimplementować do pozostałych obszarów przedsiębiorstwa rozszerzając na nie systemy ICT oraz AEI,
- dużym wyzwaniem do osiągnięcia przemysłu 4.0. jest skalowalność pomiarów. Ponieważ coraz więcej obiektów fizycznych jest podłączonych do sieci produkcyjnej, pojawiają się problemy z ujednoliceniem skali maszyn i urządzeń np. w zakresie nastawów parametrów roboczych. Biorąc pod uwagę, że sieci produkcyjne będą stosowane do przetwarzania dużej liczby danych transakcyjnych, obliczeń i informacji o większej objętości z ogromną szybkością, liczba takich rzeczy będzie rosła wykładniczo. Czasem należy wprowadzić dodatkowe centra obsługi danych, które z czasem zostaną zastąpione przez systemy ICT,

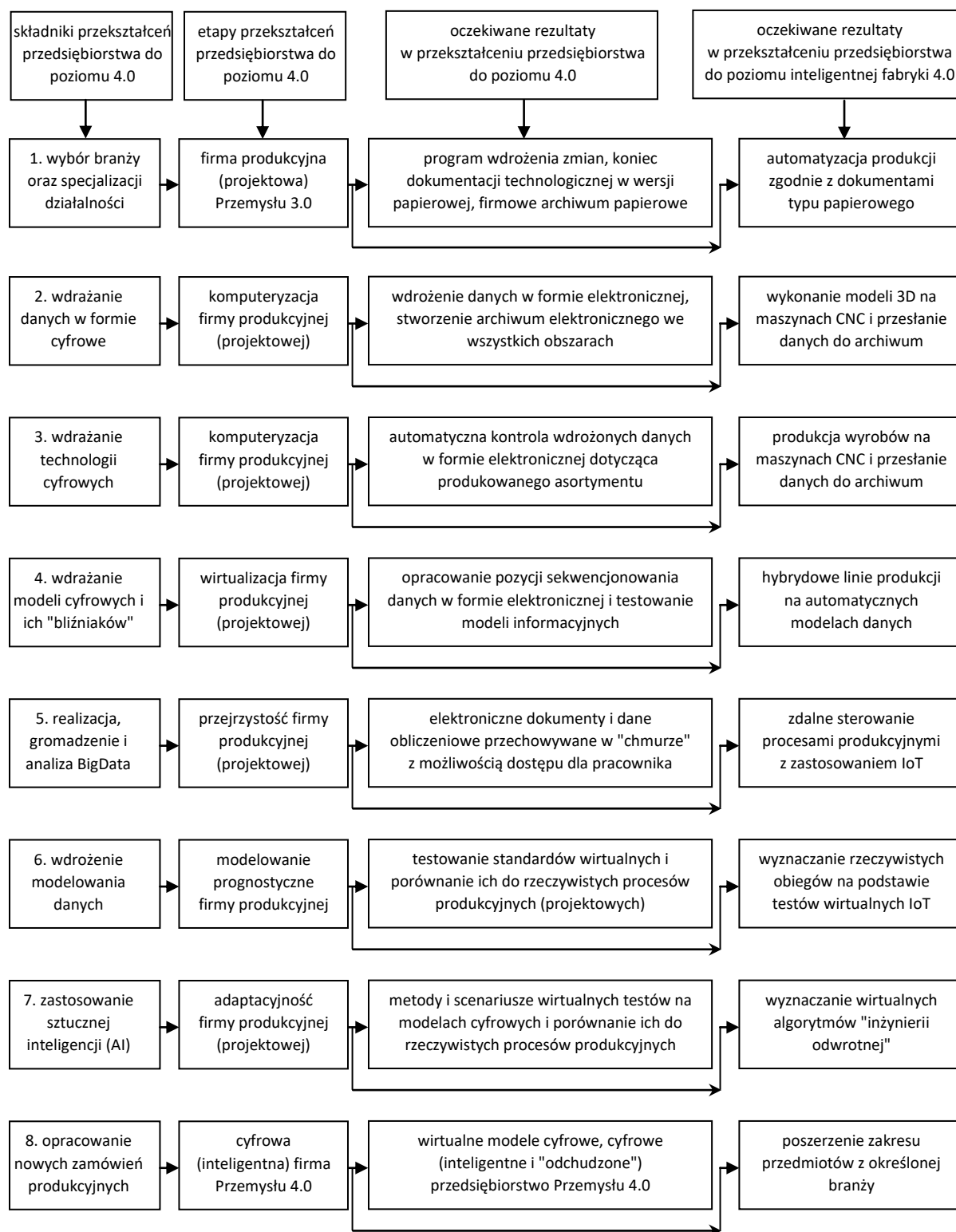
- ważną rolę w środowisku przemysłu 4.0 będą odgrywać nauka o danych i ich analiza. Przy zwiększającej się liczbie rzeczy podłączonych do internetu, ogromna ilość danych w czasie rzeczywistym jest generowana automatycznie, co wymaga najpierw ich „przefiltrowania”, a następnie konstruktywnej analizy. Nieprzetworzone dane mogą nie zapewniać znaczącej wartości przy podejmowaniu decyzji w cyberfizycznej sieci produkcyjnej, chyba że dane te zostaną skutecznie przeanalizowane, i wykorzystane do podjęcia decyzji produkcyjnych. W celu analizy dużych ilości danych generowanych zarówno z aplikacji IoT, jak również istniejących systemów ICT, należy opracować i zastosować techniki „naukowych danych” (z ang. data science) i analityki danych. Należy zwrócić uwagę, że tworzenie praktycznych aplikacji, w których zintegrowane są duże zbiory danych z wielu aktywnych źródeł jest trudnym zadaniem i wymaga wsparcia informatycznego, przynajmniej na początku procesu wdrażania. Później, w ramach szkoleń Lean, należy zadbać o to, aby w powołanej do tego celu komórce przeszkolić odpowiednie osoby i nadać im możliwość generowania zmian,
- wyzwania techniczne związane z IoT to bardzo skomplikowana sieć heterogeniczna, która obejmuje połączenia między różnymi typami modułów za pośrednictwem wielu różnych technologii komunikacyjnych. Obecnie nie ma powszechnie akceptowanej platformy, która byłaby w stanie obsłużyć różnorodne technologie komunikacyjne i aplikacje w sieci. Należy liczyć się z mogącymi wystąpić opóźnieniami w transformacji danych i problemami z mobilnością terminali informatycznych zwłaszcza wówczas, gdy ogromna ilość danych będzie jednocześnie przesyłana przez sieć. Umożliwienie wydajnego i płynnego przetwarzania danych gromadzonych przez dużą liczbę urządzeń w sieciach IoT to trudne zadanie. Aby pokonać przeszkody związane z zarządzaniem połączonymi rzeczami w celu lepszej współpracy pomiędzy różnymi obszarami na wspólnej platformie, przedsiębiorstwa często rezygnują z gotowych modułów i decydują się na wdrożenie własnych rozwiązań w tym zakresie. Taka metoda ma wiele zalet, np. pozwala wypracować rozwiązanie dokładnie dopasowane do charakteru prowadzonej działalności. Dodatkowo, może ono być na bieżąco aktualizowane bez konieczności korzystania z usług serwisowych, które jeśli są pogwarancyjne, wymagają dodatkowych nakładów finansowych. Jest to uciążliwe oraz kosztowne zwłaszcza w przypadku dużego wachlarza asortymentu produkcji, częstego przezbrajania maszyn i szybkiej reakcji na zmiany rynkowe. Zarządzanie adresowaniem, identyfikacją i optymalizacją urządzeń na poziomie architektury i protokołów danych również nastrocza wielu kłopotów. Integracja IoT z istniejącymi systemami ICT lub starszym oprogramowaniem dla powstania ujednoczonej infrastruktury informacyjnej jest konieczne, ponieważ IoT często rozwija się w oparciu o tradycyjne środowisko ICT, jednocześnie podlegając wpływowi wszystkiego, co jest podłączone do sieci.

Obecna złożoność gospodarki to zbiór podmiotów projektowych i produkcyjnych przemysłu 3.0 wyspecjalizowanych w rozwoju i produkcji różnych przedmiotów. W przedsiębiorstwach tych istnieją technologie elektroniczne, ale również takie, które korzystają z dokumentów papierowych. Wówczas ich integracja i rozwój opierają się na wdrażaniu do środowiska projektowego i produkcyjnego takich rozwiązań, które spowodują stopniowe zastąpienie dokumentacji papierowej - elektroniczną, co jest najważniejsze w dążeniu do osiągnięcia przemysłu 4.0.

Przedsiębiorstwa muszą przeprowadzić wiele etapów takiej modernizacji, z których najważniejszych jest sześć [84-87]:

1. pierwszy etap modernizacji - to dostarczenie do przedsiębiorstwa cyfrowych środków projekcji i produkcji (informatyzacja przedsiębiorstwa). W firmach projektowych powinno być kilka automatycznych stanowisk pracy z komputerami dla projektantów, natomiast w przedsiębiorstwach o profilu produkcyjnym na początku należy wprowadzić kilka maszyn sterowanych numerycznie (CNC), a następnie starać się całkowicie wdrożyć komputerowy system wspomagania produkcji w każdym jej obszarze i zarządzaniu,
2. drugi etap modernizacji - to wdrożenie technologii sieciowych, które scalają cyfrowe środki projekcji i produkcji łącząc ich działalność w jeden system kontroli funkcjonujący w trybie dokumentacji elektronicznej. Na razie w większości podmiotów produkcyjnych i projektowych starających się o transformację z poziomu 3.0 do 4.0 realizowane są te dwa etapy, które stanowią wstęp do dalszych kroków,
3. trzeci etap - to wdrożenie większości technologii do przestrzeni wirtualnej. Przestrzeń wirtualna (wirtualizacja) odbywa się za pomocą usług w chmurze z cyfrowymi bliźniakami projektowanych (lub produkowanych) elementów i sprzętu technologicznego (testowego) (systemy cybernetyczne i cyberfizyczne). W cyfrowych przedsiębiorstwach 4.0 powinny istnieć technologie imitacji modelowania i wirtualizacji testów fizycznych elementów produkujących wyroby. Wówczas możliwe jest wdrażanie hybrydowe stanowisk pracy lub całych linii technologicznych funkcjonujących bez udziału człowieka i bez dokumentacji papierowej. Cała dokumentacja techniczna i eksploatacyjna, wszystkie polecenia oraz dane administrowane i przetwarzane są tylko i wyłącznie w formie elektronicznej,
4. czwarty etap - to wdrożenie technologii BigData do gromadzenia i przetwarzania dużej ilości danych. Gromadzenie i przetwarzanie dużych baz danych oznacza organizację wymiany informacji o cyfrowej produkcji, stanowiskach pracy oraz skomputeryzowanym systemie sterowania z przemysłowym „Internetem Rzeczy” (IoT) oraz zdalnymi usługami „w chmurze”. Gromadzenie, przetwarzanie i archiwizowanie danych pomaga personelowi monitorować realizację procesów produkcyjnych i zarządzania nimi z zastosowaniem tzw. „technologii rzeczywistości rozszerzonej na odległość”,
5. piąty etap - to wdrożenie niektórych komponentów i technologii do prognozowania działalności. W cyfrowych przedsiębiorstwach głównymi komponentami prognostycznymi są standardy nowej generacji dla testów wirtualnych, które stanowią odpowiedniki procesów rzeczywistych. Inteligentne zakłady pracy wdrażają do celów prognostycznych możliwości wytwarzania wyrobów z modelowaniem linii technologicznych wyposażonych w systemy cybernetyczne i fizyczne. Chodzi głównie o szybką informację umożliwiającą możliwość oceny mocy produkcyjnych np. do zwiększenia zamówienia,
6. szósty (ostatni) etap modernizacji - to wdrożenie technologii sztucznej inteligencji oraz cyber-samoorganizacji przedsiębiorstwa i fizycznego sprzętu technologicznego (tzw. adaptacyjność przedsiębiorstwa). W cyfrowych zakładach pracy istnieją algorytmy oraz optymalne kryteria poszukiwania najlepszego rozwiązania produkcyjnego i projektowego w celu syntezy komponentu produktów i informacji o zadanych wartościach solidności oraz odporności na czynniki zewnętrzne. Ten etap zakłada wdrożenie algorytmu MTBF (średniego czasu pomiędzy awariami) dla infrastruktury produkcyjnej opartej na samoorganizacji systemów cybernetycznych i fizycznych w ciągach technologicznych.

Etapy modernizacji firm przemysłu 3.0 do przemysłu 4.0 przedstawiono na rysunku 1.2.



Rys.1.2. Składniki i etapy modernizacji i przekształcenia (transformacji) przedsiębiorstw produkcyjnych (projektowych) od przemysłu 3.0, które należy wykonać, aby zbudować fabrykę cyfrową i inteligentną zgodną z zasadami poziomu 4.0 [71; 84].

Zbudowanie wirtualnej fabryki przemysłu 4.0 lub zmodernizowanie istniejącego przedsiębiorstwa 3.0 do poziomu 4.0 jest zadaniem bardzo skomplikowanym - rysunek 1.2.

Pierwszym etapem jest określenie branży przedsiębiorstwa, jego specjalności oraz typów produkcji, w których projektowanie procesów produkcyjnych i budowa maszyn są ważnymi podzadaniami, wpływającymi na kondycję całego podmiotu. Aby wybrać specjalność wirtualnej fabryki, należy najpierw przeanalizować aktualny stan gospodarki i dostosować się do technicznego zadania tworzenia wirtualnej fabryki 4.0.

Drugim etapem budowania (modernizowania) wirtualnej fabryki jest wybór nomenklatury technologii mającej zastosowanie w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa. Progresywnymi technologiami zalecanymi do wdrożenia podczas budowania wirtualnego przedsiębiorstwa 4.0 są głównie:

- metody ciągłego wspomagania w dążeniu do skracania cyklu życia produktu (z ang. Continuous Acquisition and Lifecycle Support - CALS),
- operowanie na dużych zbiorach danych (z ang. BigData),
- tzw. metoda „maszyna do maszyny” (z ang. Machine-to-Machine - M2M), wykluczająca udział czynnika ludzkiego i/lub z pominięciem wszelkich zbędnych czynności np. transportowych,
- tzw. metoda „systemy do systemów” (z ang. Systems-to-Systems - S2S), jw.,
- tzw. „technologie chmurowe” itp.

Trzecim etapem budowania (zmodernizowania) wirtualnej fabryki jest wybór jej projektowej (przeznaczeniowej) spójności. Każde wirtualne przedsiębiorstwo musi spełnić jeden lub kilka etapów cyklu życia wyrobu zgodnie z jego celem. Takimi etapami cyklu życia produktu są np: projektowanie, produkcja, logistyka, transport, magazynowanie, konserwacja, eksploatacja.

Czwartym etapem jest wybór środków informatycznych oraz informacyjnych, wchodzących w skład infrastruktury przedsiębiorstwa. Głównymi komponentami technicznymi wirtualnej fabryki są systemy cybernetyczne i fizyczne w produkcji, komputery automatycznych stanowisk pracy, smartfony, tablety, moduły rozszerzonej rzeczywistości dla cyklu życia produktu i inne urządzenia działające w sieci.

Piątym etapem tworzenia (zmodernizowania) wirtualnej fabryki jest projekcyjny dobór oprogramowania do tworzenia platformy wirtualnej wchodzącej w skład przedsiębiorstwa. Środkami programowymi wirtualnej fabryki są systemy automatyzacji pracy projektanta, automatyczne systemy sterowania procesami technologicznymi, systemy automatyzacji do kontroli przygotowania produkcji, zintegrowane systemy kontroli cyklu życia wyrobu i inne.

Szósty etap ma na celu syntezę struktury przyszłego przedsiębiorstwa 4.0. Synteza polega na znalezieniu parametrycznych kryteriów działalności przedsiębiorstwa lub wprowadzeniu wieloparametrowych i decydujących reguł opartych na docelowej jakości wartości progowej. Funkcjonalność wirtualnej fabryki jest ekonomicznym kryterium oceny kosztów wykonania produktu w całym łańcuchu dostaw, a zasadą decydującą o wyborze ścieżki postępowania (technicznego, produkcyjnego) jest elementarna ocena wydajności najpierw stanowiska, linii produkcyjnej, wydziału, całego przedsiębiorstwa, a w końcu wszystkich zakładów, które działają w strukturze korporacji. Ten etap jest bardzo ważny, gdyż dotyczy zintegrowania najpierw pilotażowego systemu, a następnie wszystkich systemów działających wirtualnie.

Jeżeli charakterystyki techniczne i taktyczne wirtualnej fabryki mają wartości odpowiadające zadaniu technicznemu, produkcyjnemu, wówczas należy przystąpić do etapu projektowania nowego (modernizowanego) przedsiębiorstwa. W przeciwnym razie istnieją dwa podejścia:

1. Podejście pierwsze to poprawienie danych wejściowych zadania technicznego (poprawka do zadania technicznego). Ma to miejsce w przypadku, gdy niemożliwe jest zrealizowanie wymagań technicznych zgodnie z wcześniejszymi założeniami dotyczącymi wyboru struktury zmiany wirtualnego obszaru tj. technologii, maszyn, oprogramowaniu itp.
2. Druga metoda to pokazany na rysunku 2.3 iteracyjny sposób wyboru ścieżki postępowania i komponentów wirtualnej fabryki. W tym celu na każdym etapie budowania wirtualnej fabryki należy wprowadzić własne kryteria wyboru wraz z niezbędnymi regułami [83-87].

1.6. Podsumowanie części teoretycznej

Ewolucyjny rozwój cywilizacji ulega czasem znacznemu przyspieszeniu, wywołanemu np. uprzemysłowieniem procesów produkcyjnych. Inny sposób rozwoju ludzkości to obecny dziś powszechny dostęp do informacji, który zapoczątkował erę zwaną epoką „społeczeństwa informacyjnego” lub gospodarką „opartą na wiedzy”. Ekspansji technologicznej towarzyszy rozwój organizacyjny, który od samego początku ery produkcji przemysłowej zauważalny był w dwóch obszarach:

- organizacji produkcji (procesów produkcyjnych) oraz
- organizacji zarządzania (struktury organizacyjne oraz procesy informacyjno-decyzyjne, w tym koncepcje i metody zarządzania przy pomocy różnych narzędzi).

Zmiany technologiczno-organizacyjne, powodujące powstanie współczesnych systemów produkcyjnych zostały zapoczątkowane przez teoretyczne dokonania F. Taylora i praktyczne osiągnięcia H. Forda na początku XX w. Połączenie wielu elementów systemu wytwórczego, tj. ludzi, maszyn, narzędzi, materiałów i produktu w zautomatyzowaną linię montażu (np. samochodów), uważane jest za prekursorskie stosowanie zasad, które potem stały się takimi rozwiązaniami systemów wytwórczych jak Toyota Production System (TPS), Just in Time (JiT) czy Lean Manufacturing (Lean Production) oraz Lean Management.

Choć pojęcia te są czasem stosowane zamiennie, warto doprecyzować, iż:

- Lean Management to kompleksowy sposób zarządzania całym przedsiębiorstwem, np. produkcyjnym, handlowym lub usługowy, natomiast
- Lean Manufacturing (LM) dotyczy ściśle sfery produkcyjnej w przedsiębiorstwie.

Oczywiście obydwa sposoby zarządzania oparte są na ciągłym dążeniu do doskonałości, a ich celem jest uzyskiwanie coraz lepszych wyników zarówno w odniesieniu do efektywności, jak i jakości, eliminując przy tym wszelkiego rodzaju marnotrawstwo (straty). Najważniejszymi przykładami marnotrawstwa są: nadmierne zapasy, nadprodukcja, zbędny ruch i transport, oczekiwanie, wady i produkty nienormatywne (braki), nadmierne przetwarzanie oraz niewykorzystane możliwości pracowników.

Lean Manufacturing (LM lub krótko Lean) jest metodyką „wyszczuplającego” zarządzania, kreującą taką kulturę pracy w przedsiębiorstwie, która sprawia, że wszyscy jego pracownicy są zainteresowani ustawiczną obniżką kosztów, wzrostem poziomu jakości i skracaniem cyklu

dostaw. Robione jest to po to, aby maksymalnie spełniać oczekiwania klientów, jak najwięcej produkować i w jak najkrótszym czasie dostosować się do zmiennych warunków otoczenia by wyprzedzić konkurencję.

Wspomniana konieczność zaangażowania wszystkich pracowników w dokonywaniu zmian nie jest jedynym czynnikiem różniącym koncepcję Lean od tradycyjnych systemów zarządzania. Oprócz tego, w dotychczas stosowanych metodach zarządzania wykorzystuje się produkcję z wykorzystaniem systemu „pchającego”, podczas gdy LM zakłada stosowanie tzw. systemu „ssącego”. Dodatkowo produkcję w dużych partiach w metodzie LM zastępuje się zasadą ciągłego, swobodnego przepływu wyrobów w sposób zoptymalizowany, dążąc do wdrażania coraz lepszych rozwiązań (Kaizen). Są to podstawowe zasady LM.

Aby móc zastosować koncepcję LM i doprowadzić do „szczipłej” produkcji, niezbędne jest stosowanie różnych metod (w pracy przyjęto używać pojęcia „narzędzi”), które można umownie podzielić m.in. na dwie kategorie:

1. standardowe narzędzia Lean - 5S, Kanban, Kaizen, VSM, SMED, Poka-Yoke, 5 razy dlaczego? wykres Pareto-Lorenza oraz
2. nowoczesne narzędzia Lean - inżynieria i analiza wartości, TMP, wskaźniki OEE, Andon czyli wizualizacja i sygnały dźwiękowe, reinżynieria procesów oraz typowe narzędzia służące do poprawy jakości np.: TQM, TQC, Six sigma.

Różnorodność narzędzi LM pozwala je elastycznie dopasować do wielkości przedsiębiorstwa, charakteru i typu produkcji, branży, poziomu jego rozwoju, aktualnych potrzeb i przyjętych celów. Przedsiębiorstwo wdrażając koncepcję Lean nie musi stosować wszystkich narzędzi lecz te, które w opinii personelu kierowniczego przyniosą sukces. Wybrane narzędzia LM można wprowadzać pojedynczo, a z czasem dążyć do ich integracji, lub kilka jednocześnie, jednak zawsze powinny one być doskonałe z punktu widzenia efektów innowacyjnych przy prawidłowym ich stosowaniu i rozpoznaniu potrzeb klientów.

Koncepcję LM o charakterze technicznym (bo taka będzie przedmiotem badań), można wdrażać dla:

- o jednego, wybranego procesu wytwarzania (linii produkcyjnej), które są reprezentatywne dla danej grupy, a uzyskane rezultaty poprawy produktywności maszyn wchodzących w skład tego procesu (lub linii) implementować do pozostałych lub
- o dla wszystkich procesów: podstawowych, pomocniczych, administracyjnych i wspólne wnioski ujednolicić do szerokiego zestawu metod i technik Lean.

Niezależnie od sposobu przyjętego działania, ważne jest, aby wdrażając koncepcję LM, postępować wg następujących, chronologicznych etapów:

1. Przygotowanie do wdrożenia Lean - przeprowadzenie szkoleń dla pracowników na temat potrzeb wprowadzenia zmian, wskazanie obszarów wymagających poprawy, wyznaczenie celów i realnych korzyści z ich osiągnięcia. Uświadomienie pracownikom, iż wypracowane zyski będzie można przeznaczyć np. na premie motywacyjne lub inne korzyści.
2. Plan wdrożenia narzędzi Lean - powołanie zespołów odpowiadających za wdrożenie wybranych narzędzi Lean. Każdy z zespołów powinien posiadać zewnętrznego koordynatora oraz lidera, którym jest pracownik przedsiębiorstwa. Całość koordynuje Dyrektor Lean.

3. Pilotażowy (wybrany) obszar produkcyjny - (stanowisko pracy, linia produkcyjna, wydział itp.)- który przysparzał najwięcej problemów (generował najwięcej strat). Przed tym etapem należy podjąć działania wstępne, np. selekcja rzeczy znajdujących się w wybranym obszarze, wyeliminowanie zbędnego sprzętu i oprzyrządowania maszyn, oznaczenie dróg transportowych, wprowadzenie FIFO, opracowanie opisu maszyn i ich oznaczenie.
4. Mapowanie strumienia wartości - poznanie i analiza obecnej sytuacji w wybranym obszarze badawczym. Identyfikacja tzw. „wąskich gardeł” – tj. miejsc procesu, które w szczególny sposób wymagają poprawy. Mapowanie odkrywa wszelkie problemy, pozwala wytypować czynności, które nie dodają żadnej wartości. Pokazuje przepływ materiałów i informacji.
5. Wdrożenie systemu „ssącego” - etap ten polega na odgórnym harmonogramie produkcji ukazującym moment oraz miejsce rozpoczęcia każdej czynności. Cechą charakterystyczną jest to, że kolejne czynności wykonywane są po pojawieniu się sygnału, że konkretna część, (materiał, lub czynność produkcyjna) są konieczne do wytworzenia. Informacje przekazywane są „w górę procesu”, a materiały odwrotnie. System ten eliminuje straty, zwłaszcza nadprodukcję. Należy zastosować Kanban i FIFO wchodzące w skład JiT.
6. Integracja (w ujęciu procesowym i personalnym) oraz ciągłe doskonalenie - to konieczny etap do efektywnego wykorzystania pracowników, dobrego zarządzania nimi i nastawienia całej załogi na ograniczanie zbędnych kosztów i działań. Należy ponownie organizować spotkania i szkolenia o stosowanych narzędziach oraz uzyskiwanych rezultatach. Może to wskazać na konieczność ponownego zastosowania wybranego narzędzia z uwagi na brak założonych celów. Dokonywanie analizy po zastosowaniu każdego z narzędzi pozwala na ciągłe doskonalenie. Osiągając wyższy poziom dojrzałości przedsiębiorstwa do koncepcji Lean, uzyskiwana jest większa integracja narzędzi Lean i modułów informatycznego wsparcia produkcji oraz większa współpraca technologii zgodnie z ideą Przemysłu 4.0. Jeśli uzyska się zadowalający poziom przyjętych celów, wówczas możliwa jest integracja wdrożonych działań do pozostałych obszarów produkcyjnych przedsiębiorstwa (stanowisk pracy, linii produkcyjnych, wydziałów, innych zakładów działających w ramach korporacji).

Oczywiście granice tych etapów są umowne i często zajądają się za siebie. Niezwykle ważne jest tu indywidualne podejście w wyborze narzędzi Lean, ukierunkowane na rodzaj procesu produkcji, skalę i ciągłość produkcji, wielkość asortymentu produkcji, stan zastalego poziomu infrastruktury parku maszynowego i zdolności transferu danych informatycznych, a głównie informacyjnych pomiędzy pracownikami, stan ich wiedzy, doświadczenia, chęć nauki, itp.

Kolejną, ważną rzeczą, jeśli nie najważniejszą, jest odpowiedni sposób oceny wdrożonych działań. Każde rozwiązanie Lean powinno przynieść określone korzyści w ujęciu procesowym i produktowym oraz organizacyjnym. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- ograniczenie kosztów związanych z prowadzoną działalnością,
- wyeliminowanie marnotrawstwa i zmniejszenie udziału wyrobów wadliwych,
- usprawnienie procesu - skrócenie cyklu produkcji,
- elastyczność i dopasowanie usług do aktualnego popytu,
- ograniczenie strat związanych z nadmiernym magazynowaniem, zużyciem energii,
- zwiększenie produktywności,
- poprawa jakości produktowej i procesowej, a tym samym lepsze zadowolenie klienta,
- możliwość sprostania zmienności w zamówieniach klienta.

Do oceny wymienionych korzyści służą różne kryteria, często indywidualnie dobierane dla każdego przedsiębiorstwa, jednak normatywnymi w tej ocenie są wskaźniki produktywności KPI (z ang. Key Performance Indicators) - (tab.2.8 i 2.14).

Podobnie jak dla narzędzi Lean, także i tutaj dobierając właściwe wskaźniki należy kierować się realizowaną strategią i dobrem przedsiębiorstwa. Niefinansowe, kluczowe wskaźniki efektywności (produktywności, wydajności¹), bo o takich tu mowa, są stosowane jako mierniki w procesach pomiaru stopnia realizacji założonych celów. Taki cel ma m.in. pomóc kierownictwu w zdefiniowaniu i osiągnięciu dążeń zarówno operacyjnych jak i strategicznych w myśl zasady „jeżeli da się coś zmierzyć, to da się tym także zarządzać” [88]. Jednakże KPI nie oznaczają mierzenia wszelkich informacji, lecz sprowadzają się wyłącznie do wskaźników kluczowych z punktu widzenia przedsiębiorstwa, czyli takich, których pomiar przynosi miarodajne wyniki odzwierciedlające stan faktyczny, w jakim znajduje się czy to pojedynczy wydział czy też całe przedsiębiorstwo.

KPI są ważne dla zrozumienia i poprawy wydajności produkcji (maszyny, stanowiska lub linii produkcyjnej), zarówno z perspektywy „odchudzonej” produkcji, umożliwiającej eliminację strat, jak i realizacji celów strategicznych całego przedsiębiorstwa. Według [88-90] istnieje siedem cech poprawnie skonstruowanych wskaźników KPI:

- nie powinny być wyrażone w pieniądzu (charakter niepieniężny),
- są jasne i zrozumiałe dla pracowników, którzy korygują z ich pomocą swe działania,
- powinny być regularnie, najlepiej codziennie, mierzone,
- powinny być koordynowane i kontrolowane przez kierownictwo,
- mają znaczący wpływ na poprawę wybranej sfery przedsiębiorstwa,
- w sposób pozytywny wpływają na pozostałe elementy oddziałujące na efektywność funkcjonowania (maszyny, stanowiska, linii produkcyjnej, wydziału, przedsiębiorstwa),
- służą do określenia zadań zespołów jak i pracowników.

Należy jednak podkreślić, że kierownictwo przedsiębiorstwa powinno wybierać tylko takie wskaźniki, na wyniki których pracownicy mają rzeczywisty wpływ. Większość wskaźników, których koszty gromadzenia nie powinny być wyższe niż korzyści z ich stosowania, powinna koncentrować się na [91; 92]:

- procesach zaspokajania potrzeb klientów,
- pomiarze ich satysfakcji,
- określeniu sprawności działania maszyny, linii produkcyjnej, wydziału, przedsiębiorstwa,
- liczbowym pomiarze wdrożonego usprawnienia Lean.

¹ - efektywność - to wynik podjętych działań, opisany relacją uzyskanych efektów do poniesionych kosztów (nakładów). Oznacza najlepsze efekty np. produkcji, sprzedaży, itp., uzyskane po jak najniższych kosztach.

produktywność - to iloraz ilości wytworzonej i sprzedanej produkcji w czasie do ilości wykorzystywanych lub zużytych zasobów na wejściu. To wielkość produkcji uzyskanej z jednostki nakładu czynnika produkcji. Produktywność jest uważana za kluczowe źródło przewagi nad konkurencją.

wydajność (procesu produkcyjnego) - to iloraz ilości produktu(ów), który(e) jest(są) otrzymany w jednostce czasu w konkretnych warunkach produkcyjnych do ilości, która teoretycznie może być otrzymana w tym czasie. Jedną z miar wydajności procesu produkcyjnego jest materiałochłonność (wydajność materiałowa).

Opracowano na podstawie <https://wikipedia.org.pl>

Wdrażanie usprawnień Lean wraz z zastosowaniem wybranych wskaźników KPI stanowią dobre połączenie w dążeniu przedsiębiorstwa do osiągnięcia tzw. „Przemysłu 4.0”, którego głównym celem jest zwiększenie poziomu uprzemysłowienia, informatyzacji oraz cyfryzacji produkcji dla osiągnięcia większej wydajności, kompetencji i przewagi nad konkurencją. Chodzi o to, aby wykorzystując takie metody jak systemy cyberfizyczne (CPS), Internet Rzeczy (IoT), usługi lokalizacyjne, komunikację bliskiego zasięgu oraz przetwarzanie danych „w chmurze”, spowodować pełniejszą integrację procesów przemysłowych z wirtualnym przetwarzaniem danych.

Jak stwierdzono, dążenie przedsiębiorstw do osiągnięcia poziomu 4.0 wymaga jeszcze „szcuplejszego” zarządzania na poziomie wewnątrz- i międzyorganizacyjnym, do czego konieczna jest integracja, konsolidacja i koordynacja pozioma, pionowa i tzw. „od - do”, które uznano za kwestie krytyczne. Oprócz oczywistych wyzwań technologicznych, społecznych, bezpieczeństwa, prywatności i standaryzacji, jednymi z najważniejszych, w osiągnięciu poziomu 4.0, są wyzwania techniczne w obszarze produkcji. Do głównych z nich należą:

- o konieczność dopasowania starej infrastruktury informatycznej do nowych urządzeń zdalnego transferu danych.
- o ujednoczenie skalowalności pomiarów, zwłaszcza głównych czynników decydujących o rentowności badanego obszaru (linii produkcyjnej, wydziału, przedsiębiorstwa),
- o wdrożenie technologii sieciowych ICT oraz AEI i ich integracja z procesami wirtualnymi,
- o wdrożenie narzędzi prognostycznych i modelowania linii technologicznych wyposażonych w systemy cybernetyczne i cyberfizyczne w celu uzyskania szybkiej informacji dotyczącej możliwość oceny mocy produkcyjnych np. do zwiększenia zamówienia,
- o wdrożenie technologii sztucznej inteligencji,
- o implementacja uzyskanych rozwiązań do pozostałych obszarów przedsiębiorstwa lub innych podmiotów o podobnej strukturze.

Dość trudne jest spełnienie wszystkich wymienionych postulatów, więc wiele przedsiębiorstw dążąc do osiągnięcia przemysłu 4.0, najpierw wybiera jeden, istotny z różnych względów, obszar badawczy, wdraża jedno - dwa rozwiązania, sprawdza ich efektywność i w razie osiągnięcia zamierzonych celów, implementuje uzyskane rozwiązania do kolejnych sfer działalności, ciągle je udoskonalając pod kątem procesowym i organizacyjnym.

Ponieważ jak już wspomniano, dążenie przedsiębiorstwa do osiągnięcia poziomu 4.0 jest długotrwałym, skomplikowanym i pomimo zdefiniowanego zakresu poszczególnych etapów wdrażania - procesem indywidualnym, wciąż nie opracowano jednej, uniwersalnej metody jego zrealizowania. Z tego powodu wciąż aktualne są wszelkie badania w tym zakresie, które pozwolą lepiej zrozumieć układ wzajemnie powiązanych aspektów, decydujących o poprawie efektywności i jakości procesowo-produktowej, w jednym z kluczowych dla rozwoju Polski, sektorze producentów oryginalnego wyposażenia (z ang. Original Equipment Manufacturer - OEM), dostarczającego produkty dla potrzeb przemysłu motoryzacyjnego, od którego wiele w zakresie narzędzi „leanowskich” się zaczęło i trwa nadal.

2. BADANIA WSTĘPNE

2.1. Skrócony opis produkcji odlewów tłoków ze stopów Al-Si w F-M Gorzyce

Federal-Mogul Gorzyce (F-M Gorzyce) produkuje głównie tłoki do silników spalinyowych. Produkty dostarczane są bezpośrednio do firm z segmentu OEM (z ang. Original Equipment Manufacturer), produkujących silniki dla następujących gałęzi rynku:

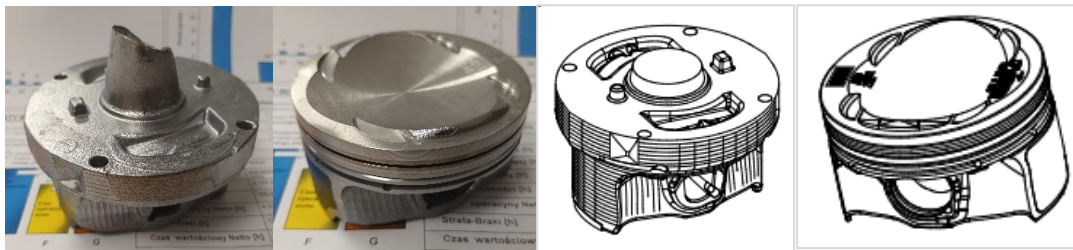
- pojazdy lekkie i dostawcze,
- pojazdy dla branży budowlanej,
- transport morski,
- przemysł energetyczny,
- transport kolejowy,
- rolnictwo,
- przemysł militarny.

Wolumen sprzedawanych produktów przekracza 20 mln sztuk/rok, co oznacza, że F-M Gorzyce jest jednym z największych na świecie zakładów produkujących tłoki (rys.2.1.). Portfolio typów tłoków oraz wysoka dywersyfikacja pod kątem udziału w sprzedaży klientów branży motoryzacyjnej (żaden klient nie przekracza 25% całości sprzedaży), pozwala produkować i sprzedawać nawet jeśli wystąpią w jednym z segmentów lub u części klientów zakłócenia w biznesie (spowolnienie, kryzys). Zakład dostarcza swoje produkty do 14 krajów.

F-M Gorzyce produkuje głównie odlewane tłoki ze stopów Al-Si do silników:

- a) benzynowych (odlew oraz tłok po obróbce mechanicznej i chemicznej),
- b) Diesla (odlew oraz tłok po obróbce mechanicznej i chemicznej).

a)



b)



Rys.2.1. Przykładowe odlewy tłoków ze stopów Al-Si produkowane w F-M Gorzyce:

a) tłok do silnika benzynowego; b) tłok do silnika Diesla.

Etapy produkcji odlewów tłoków

Produkcja odlewów tłoków ze stopów aluminium jest procesem kompleksowym. Można w nim wyróżnić następujące główne etapy:

1. Topienie aluminium i jego stopów

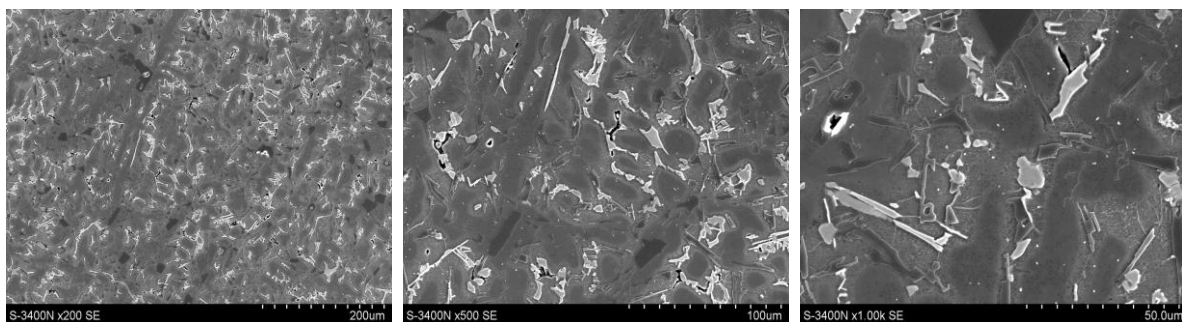
Jako surowiec do produkcji wykorzystuje się gotowe stopy aluminium. Materiały te po dodaniu odpowiednich dodatków oraz przetransportowaniu za pomocą wózków widłowych, poddawane są procesowi topienia, który jest wstępnym i niezbędnym etapem produkcji tłoków. Topienie i praca pieców, sterowane są automatycznie z zachowaniem optymalnych temperatur, odpowiadających wymogom technologicznym. Stopiony metal poddawany jest rafinacji (w celu usunięcia z ciekłego stopu gazów i zanieczyszczeń) oraz modyfikacji przy zastosowaniu zaprawy CuP8 (do uzyskania struktury drobnoziarnistej odlewów tłoków). Służy ona do modyfikacji struktury stopu, aby zapewnić równomierne rozłożenie cząstek AIP, służących do zarodkowania drobnych, pierwotnych kryształów krzemu.

2. Przygotowanie materiałów wsadowych

Zaprawy i czyste składniki służą do ewentualnej korekty składu chemicznego stopu, głównie przy prowadzeniu wytopów z użyciem materiału recyklingowych (z przetopu wiórów). Przykładowe materiały wsadowe do produkcji odlewów tłoków to głównie:

- gąski poszczególnych gatunków stopów, materiał obiegowy (nadlewy, układy wlewowe po obcięciu, odlewy brakowe, odlewy rozgrzewcze, tłoki brakowe z kontroli ostatecznej),
- zaprawy stopowe, np.: AlCu50; AlCu20; AlZr10; AlV10; AlMg10; AlMn20,
- czyste pierwiastki np. aluminium, krzem, magnez, nikiel, miedź,
- modyfikator krzemu pierwotnego w postaci zaprawy CuP8 (granulat).

Powszechne zastosowanie w produkcji tłoków do silników spalinowych znajdują stopy Al-Si o składzie okołoeutektycznym z dodatkiem m.in.: miedzi (dla lepszego odprowadzenia ciepła z tłoka), niklu (dla stabilizacji właściwości mechanicznych w podwyższonych temperaturach) i magnezu (dla ułatwienia procesów wydzieleniowych podczas obróbki cieplnej do stanu T6) (rys.2.2). Poza tymi pierwiastkami w składzie chemicznym stopu tłokowego występują również tytan oraz mikrodotatki cyrkonu i wanadu. Pierwiastkami niepożądanymi w składzie chemicznym stopu tłokowego są głównie żelazo, pierwiastki alkaliczne i ołów.



Rys.2.2. Mikrostruktura stopu AlSi11Cu3NiMg stosowanego na tłoki w F-M Gorzyce (SEM).

Skład chemiczny stopu określa się precyzyjnie w kilku etapach produkcji począwszy od kontroli dostaw, poprzez analizę wytopową i bezpośrednio przed procesem odlania w piecu podgrzewczym na stanowisku odlewniczym. Analiza składu chemicznego (tab.2.1.) jest wykonywana bezpośrednio z gąsek od dostawcy, z wsadu z pieca topialnego bądź bezpośrednio z pieca podgrzewczego na stanowisku odlewniczym.

Tab.2.1. Skład chemiczny stopu tłokowego wg specyfikacji technicznej F-M Gorzyce.

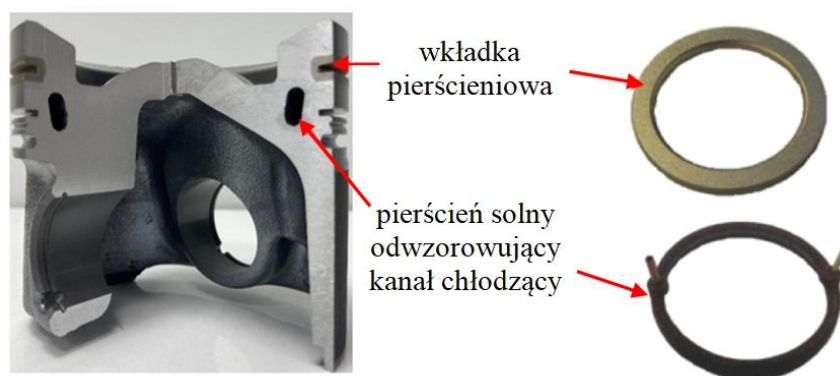
Nazwa stopu	Skład chemiczny, %mas. Resztę stanowi aluminium.									
	Si	Cu	Mg	Ni	Mn	Fe	Ti	V	Zr	inne, np. Na, Be
Stop tłokowy	10,5-11,5	2,5-3,5	0,5-1,0	0,5-1,0	max. 0,1	max. 0,15	max. 0,1	max. 0,1	max. 0,05	max. do 10 ppm każdy

3. Topienie wsadu

Do topienia wsadu stopu tłokowego stosuje się piece topialne - gazowe lub elektryczne (indukcyjne). Po uzyskaniu żądanej temperatury topienia (ok. 800°C), sprawdzany jest skład chemiczny i przy pozytywnym wyniku następują dalsze etapy produkcji. Kolejnym krokiem jest rafinacja mieszkanką argon-chlor w celu pozbycia się potencjalnych zanieczyszczeń gazowych, usunięcie tlenków i odgazowanie. Następnie, stop jest modyfikowany miedzą fosforową i transportowany na stanowiska odlewnicze, gdzie przelewa się go do pieców podgrzewczych bezpośrednio na stanowiskach odlewniczych i filtruje przez filtry piankowe. Po ponownym sprawdzeniu składu chemicznego, odgazowaniu stopu już tylko samym argonem i odstaniu przez 1 godzinę, stop tłokowy gotowy jest do odlewania.

4. Odlewanie

Ciekły stop transportowany jest do stanowisk odlewniczych elektrycznymi wózkami widłowymi w specjalnych izolowanych kadziach. Proces odlewania tłoków jest grawitacyjny do metalowych kokil przy użyciu zautomatyzowanych i zrobotyzowanych kokilarek. Odlane tłoki poddawane są chłodzeniu. Elementem składowym tłoków są żeliwne wkładki, które przed odlaniem są zanurzone w ciekłym aluminium (tzw. proces alfinowania) oraz rdzenie solne, podgrzewane do odpowiedniej temperatury przed umieszczeniem ich w kokili (rys.2.3).



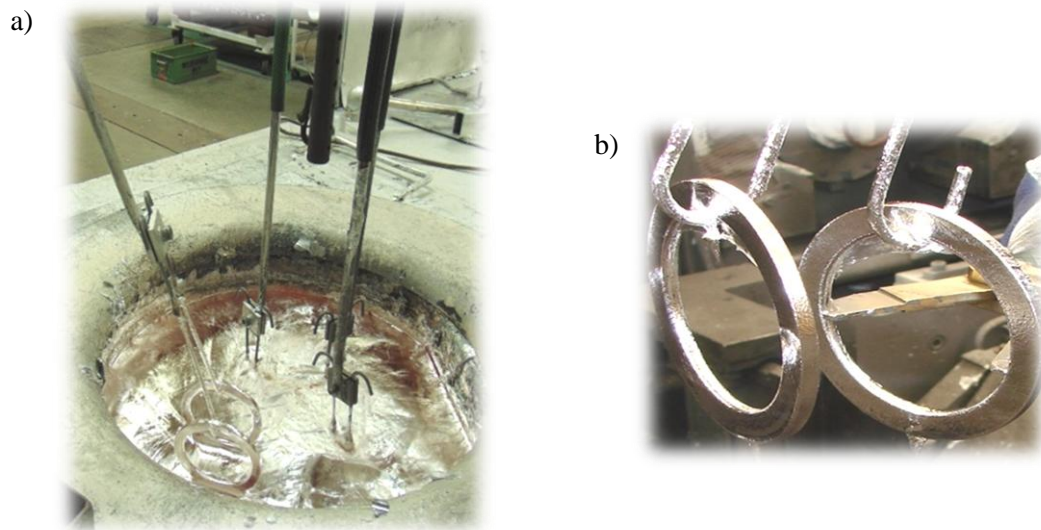
Rys.2.3. Wnętrze tłoka z umiejscowieniem wkładki pierścieniowej i kanału chłodzącego.

Parametry temperaturowe są określone technologią unikalną dla każdego produktu. Piece podtrzymujące na stanowiskach odlewniczych posiadają pojemność od 400 – 1000 kg stopu. Dla zapewnienia ciągłości produkcji stanowiska zaopatrzone są w dwa piece, gdzie jeden jest w danej chwili aktywny, natomiast w drugim - w tym czasie - metal jest przygotowywany. Innowacyjność procesu technologicznego polega na jego automatyzacji. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych stanowisk odlewniczych MDC/GA produkcja tłoków jest szybsza i bardziej wydajna, a wytworzone tłoki są trwalsze o najwyższej jakości.

W procesie odlewania tłoków stosowane są innowacyjne rozwiązania technologiczne, np. tzw. system wahadłowego przechyłu kokilarki, który pozwala na uzyskanie 30° jej przechyłu do operacji zalewania kokil (napełnianie kokil ciekłym stopem tłokowym wylewnym z łyżek ceramicznych do zbiornika układu wlewowego). System zapewnia praktycznie niezmiennie położenie zbiornika wlewowego i tym samym możliwe jest progresywne zalewanie kokil. Dzięki temu wszelkie zanieczyszczenia zmywane są z powierzchni wkładek pierścieniowych w kierunku nadlewu, który usuwany jest w trakcie obróbki mechanicznej odlewów tłoków.

5. Proces alfinowania wkładek pierścieniowych

System ten wraz z automatycznym układem załadowniczym wykonuje proces alfinowania, czyli pokrywania żeliwnych wkładek pierścieniowych warstwą stopionego stopu Al-Si. Układ automatycznego obrotu ruchu góra-dół oraz pozycjonowania wkładek do zabrania przez robot Kuka zapewnia spełnienie wszystkich krytycznych wymagań technologicznych tego procesu. Dodatkowo układ wyposażony jest w automatyczny zgarniacz ceramiczny do czyszczenia powierzchni ciekłego stopu alfinującego w tyglu pieca podgrzewczego - rysunek 2.4.



Rys.2.4. Alfinowanie wkładek pierścieniowych: a) piec do alfinowania; b) wkładki po alfinowaniu.

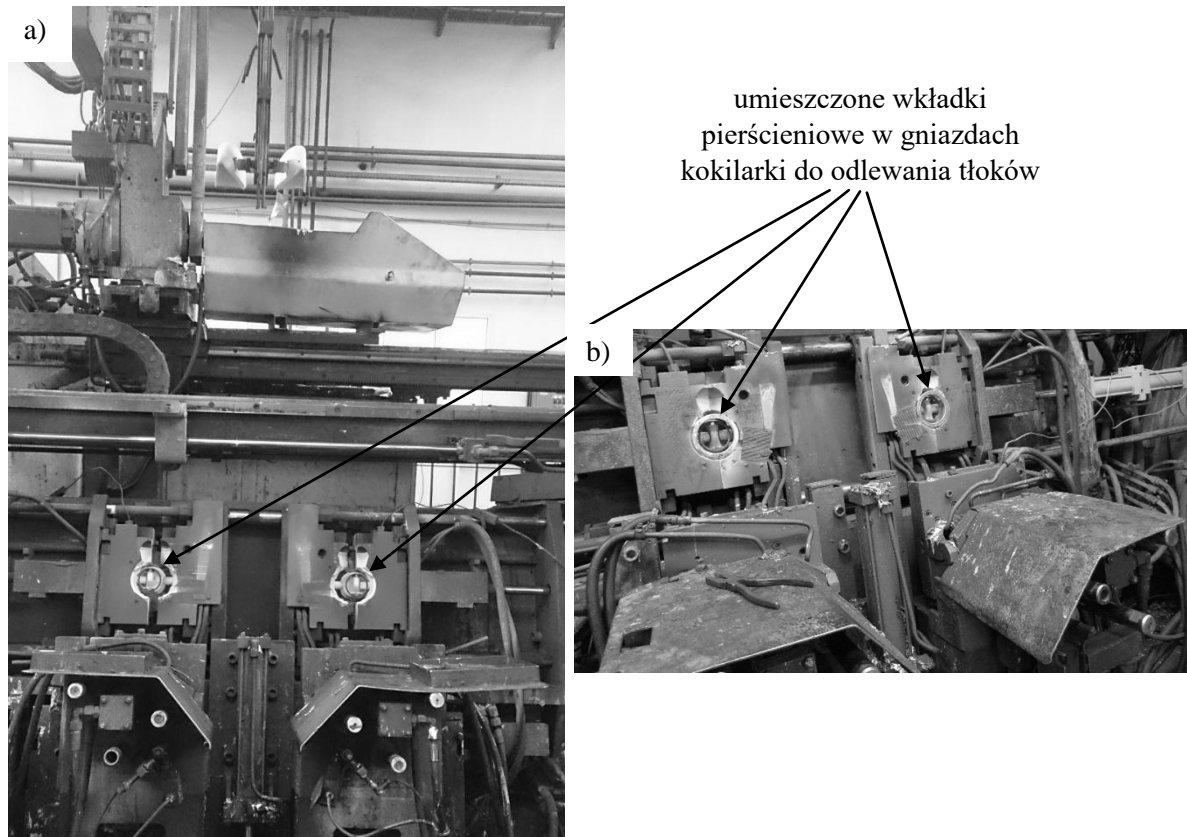
System do automatycznego wkładania wkładek pierścieniowych w kokilach

System ten obsługiwany jest przez robot z zespołem chwytaków. Pozwala na pobranie czterech wkładek pierścieniowych z urządzenia do alfinowania i założeniu ich do gniazd kokilowych w trakcie jednego cyklu zalewania (rys.2.5). Dzięki temu możliwe jest spełnienie krytycznego parametru procesu, jakim jest czas pokrycia wkładek (od ich wyjęcia z ciekłego stopu alfinującego do zakończenia zalewania kokili stopem tłokowym). Wymagane jest by ten czas był jak najkrótszy.

6. Obróbka mechaniczna odlewów tłoków

Odlane tłoki po ostygnięciu poddawane są obróbce wstępnej polegającej na odcinaniu piłą elementów układu wlewowego oraz obróbce cieplnej w piecach gazowych i elektrycznych. Powstałe w trakcie odcinania odpady transportowane są za pomocą wózków na linię topienia wsadu i dodawane ponownemu przetopowi. Następnie, tłoki poddawane są procesom obróbki

mechanicznej tj. toczeniu, wierceniu wymaganych otworów, frezowaniu, rozwiercaniu itd., oraz kontroli międzyoperacyjnej gdzie sprawdzana jest jakość tłoków. Po zakończeniu procesu obróbki wiórowej tłoki są myte w myjni tunelowej i poddawane procesom obróbki powierzchniowej tj. mycie, aktywacja powierzchni, grafitowanie i wygrzewanie.



Rys.2.5. Proces odlewania tłoków: a) kokilarka; b) gniazda z umieszczonymi wkładkami.

Kluczowa część procesu produkcji tłoków

Jednym z najbardziej krytycznych obszarów wytwarzania tłoków jest obróbka mechaniczna. F-M Gorzyce posiada 46 linii produkcyjnych przeznaczonych do obróbki skrawaniem oraz obróbki chemicznej odlewów tłoków. Z uwagi na bardzo zawężone tolerancje krytycznych dla funkcjonalności części odlewu (np. tolerancja średnicy otworu pod sworzeń wynosi $\pm 0,005$ mm) oraz duże wymagania co do jakości odlewów tłoków, koniecznym jest:

- utrzymanie wysokiej dyscypliny podczas produkcji,
- implementacja odpowiednich narzędzi do międzyoperacyjnej kontroli jakości,
- wdrożenie narzędzi pozwalających bieżąco kontrolować produkcję pod kątem utrzymania niskiego poziomu wyrobów niezgodnych i wysokiej efektywności parku maszynowego.

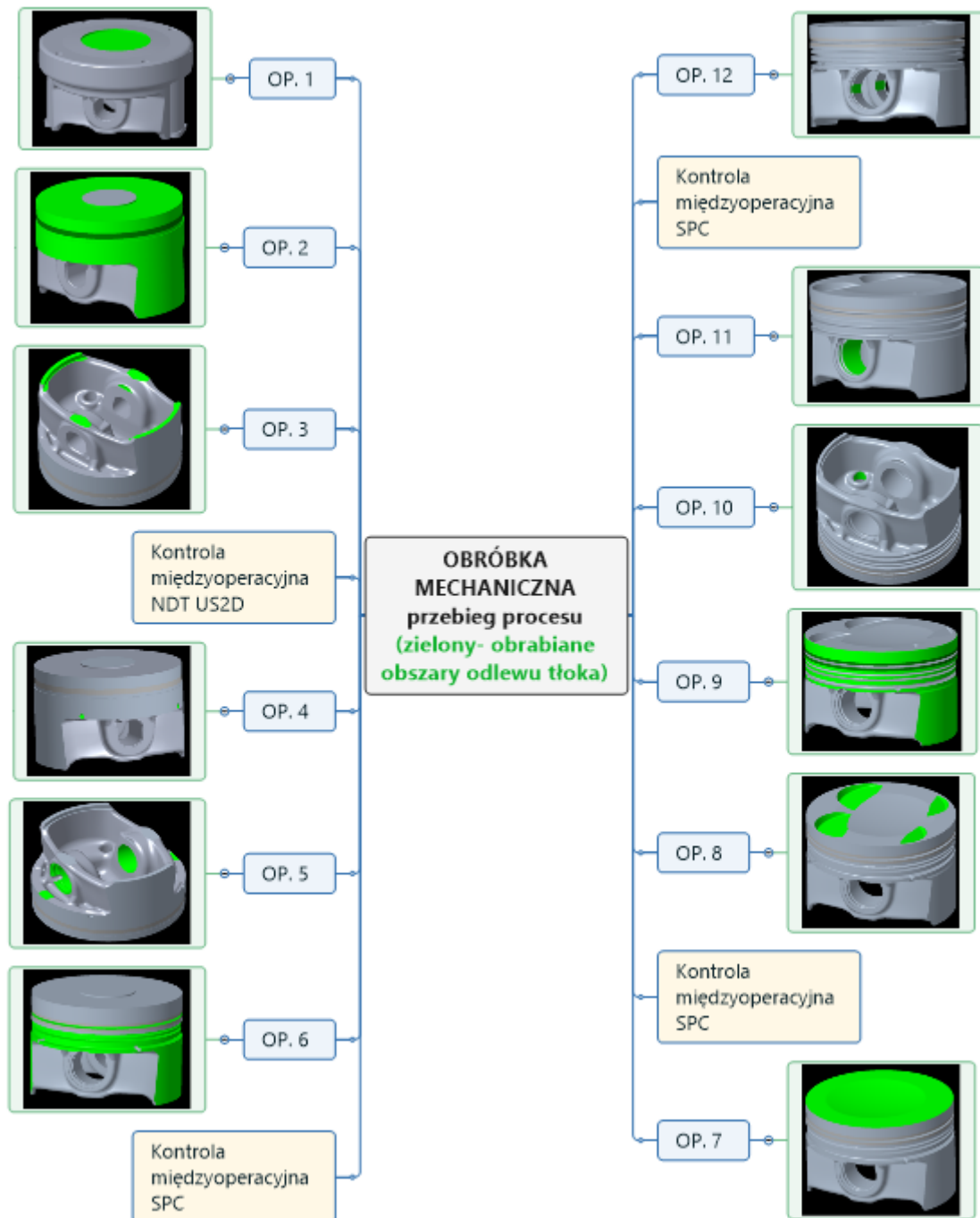
7. Grafitowanie tłoków

Proces ten ma na celu pokrycie powierzchni metalowych tłoków ochronną powłoką grafitu mającą ograniczać tarcie tłoka z gładzią cylindra. Do grafitowania wykorzystywana jest pasta grafitowa dostarczana w postaci gotowej do użycia jako mieszanka żywicy i grafitu oraz (w przypadku kilku typów past) odpowiednich rozpuszczalników.

8. Kontrola, pakowanie i wysyłka

Po zakończeniu procesu obróbki powierzchniowej, na gotowych tłokach montowane są pierścienie tłokowe, pierścień zabezpieczający sworzeń (seger) i właściwy sworzeń tłokowy. Po przeprowadzeniu procesów kontrolnych (kontrola ultrasonografem, kontrola wymiarowa, znakowanie, opis na produkcie i kontrola wizualna) prowadzone są zabiegi konserwujące, po zakończeniu których tłoki są pakowane i wysyłane do odbiorców.

Widok ogólny odlewów tłoków po poszczególnych etapach obróbki mechanicznej przedstawiono na rysunku 2.6.



Rys.2.6. Odlew tłoka – proces obróbki mechanicznej (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

2.2. Dotychczasowy sposób zarządzania obróbką mechaniczną tłoków na linii DL9 - analiza stosowanych narzędzi Lean manufacturing (LM)

Zarządzanie produkcją w obszarze obróbki mechanicznej tłoków w F-M Gorzyce realizowane było przy pomocy wybranych narzędzi Lean. Do tej pory (2014-2018), wdrożono różne rozwiązania LM, jednak z czasem zauważono dalsze możliwości poprawy procesu obróbki mechanicznej tłoków. Analiza dotyczy najważniejszych narzędzi LM i propozycji ich poprawy w celu jeszcze lepszego zarządzania obróbką mechaniczną tłoków w F-M Gorzyce:

1. Kontrola efektywności linii produkcyjnej (OAE)

Wskaźnik Overall Asset Effectiveness (OAE) to miara wydajności stosowana w przemyśle, która odzwierciedla wykorzystanie zasobów w celu osiągnięcia zamierzonego celu. OAE mierzy poziom skuteczności i wydajności przedsiębiorstwa w zakresie stosowanych zasobów, takich jak ludzie, maszyny, narzędzia i materiały, w procesie produkcyjnym lub operacyjnym. Wskaźnik OAE można określić jako iloraz rzeczywistego czasu produkcyjnego do czasu produkcyjnego teoretycznego, pomnożony przez efektywność jakościową oraz wydajność maszyn. W skrócie, OAE mierzy, ile czasu rzeczywiście działa maszyna w porównaniu do czasu, w którym mogłaby działać, jak również mierzy jakość i wydajność maszyn.

OAE jest ważnym wskaźnikiem do identyfikacji obszarów, w których można zwiększyć wydajność, poprawić jakość produkcji i zmniejszyć jej koszty. Dzięki wskaźnikowi OAE przedsiębiorstwa mogą dokonać bardziej świadomych decyzji biznesowych, poprawić procesy produkcyjne i zwiększyć konkurencyjność na rynku. Sposób obliczania wskaźników OAE, OEE, TEEP (opisanych w części teoretycznej) przedstawiono na poniższym przykładzie. Do obliczeń założono parametry przedstawione w tabeli 2.2.

Tab.2.2. Założone parametry do obliczenia wskaźników OAE; OEE i TEE wybranego procesu.

Czas dostępności linii produkcyjnej [dni]	7
Czas niezaplanowany (brak zamówień) [dni]	2
Planowany czas postoju (przerwy, sprzątanie) [dni]	0,5
Nieplanowane postoje (awarie, brak materiału, operatora) [dni]	1
Inne straty: mikroprzestoje, wydłużenie cyklu, zacięcia [dni]	0,2
Czas cyklu linii (wąskie gardło) [s]	18,5
Liczba produktów wybrakowanych w ciągu produkcji [szt.]	853

Wyniki oraz wzory użyte do kalkulacji wskaźników opisuje tabela 2.3.

Na podstawie obliczeń przedstawionych w tabeli 2.3 stwierdzono, że proces można poprawić. Do najważniejszych propozycji poprawy procesu można zaliczyć:

- digitalizację¹,
- wizualizację statusu linii obróbczej i wskaźników w czasie rzeczywistym,
- automatyzację przepływu danych pomiędzy wydziałem produkcji i działami wspierającymi (utrzymanie ruchu, inżyniering, logistyka, działy kontroli jakości).

¹ - Digitalizacja w szerokim rozumieniu stanowi całość procesów prowadzących do przetwarzania materiałów analogowych (pochodzących z obiektów świata rzeczywistego) na formę cyfrową metodą skanowania lub fotografowania oraz dalszej obróbki komputerowej otrzymanych obrazów do postaci, która umożliwia ich udostępnianie np. w sieci (<https://mfiles.pl/pl/index.php/Digitalizacja>).

Tab.2.3. Wzory do obliczenia wskaźników OEE, OAE i TEEP wybranego procesu.

WZÓR	Oznaczenie	Obliczenie wartościowego czasu op	Czas [min]
	A	Czas całkowity - dostępność linii	10 080
	B	Czas niezaplanowany	2 880
A-B	C	Całkowity czas pracy	7 200
	D	Planowany czas postoju	720
C-D	E	Czas pracy maszyny	6 480
	F	Czas niezaplanowanych przerw	1 440
E-F	G	Czas operacyjny	5 040
	H	Czas strat (straty szybkości)	58
G-H	I	Czas operacyjny netto	4 982
853szt.x18,5s/60s	J	Straty jakości	263
I-J	K	Wartościowy czas operacyjny	4 719

%		WZÓR	Oznaczenie
64%	WYKORZYSTANIE MASZINY	E/A	L
78%	DOSTĘPNOŚĆ MASZINY	G/E	M
99%	WYDAJNOŚĆ MASZINY	I/G	N
95%	JAKOŚĆ	K/I	O
47%	TEEP	K/A	
66%	OAE	K/C	
73%	OEE	K/E	
	lub wyliczenie z 2go wzoru		
73%	OEE	MxNxO	

2. 5S

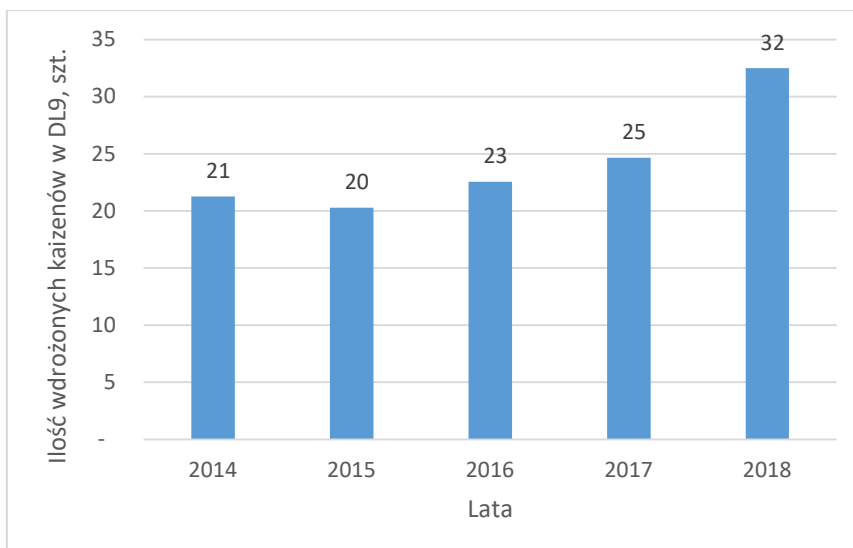
5S to sposób organizacji miejsca pracy. Składa się z sortowania, systematyzacji, sprzątnięcia, standaryzacji i samodyscypliny. Jego celem jest zwiększenie efektywności pracy poprzez usprawnienie procesów, wyeliminowanie marnowania czasu i poprawę bezpieczeństwa pracy. Zauważono niski poziom wskaźnika 5S, a przyczyny tej oceny wynikały z różnych czynników, takich jak: brak odpowiedniego szkolenia pracowników, niska motywacja do utrzymywania porządku oraz brak systematyczności w przestrzeganiu zasad 5S. Innymi przyczynami były też brak wytycznych i standardów, brak narzędzi do utrzymania czystości, niewłaściwe zarządzanie procesami produkcyjnymi oraz bardzo duża ilość nieszczelności mediów technicznych (woda, sprężone powietrze, gaz).

Propozycje poprawy procesu to głównie:

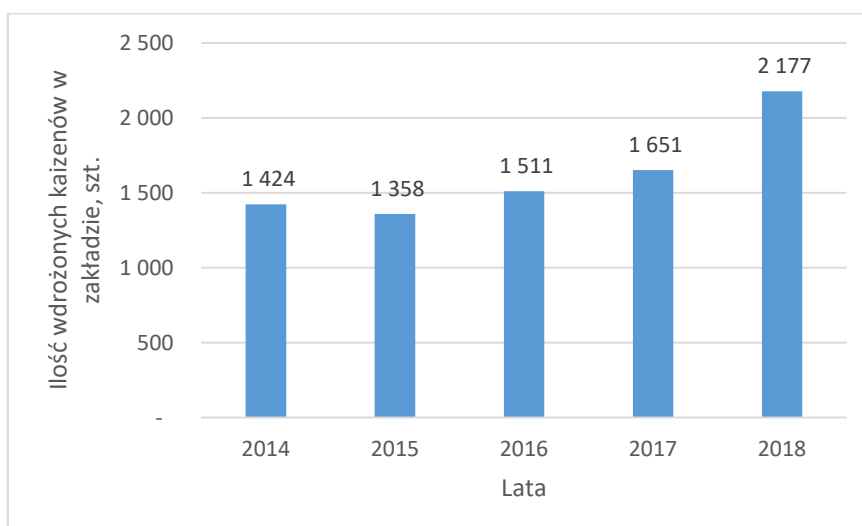
- analiza w czasie rzeczywistym zużycia mediów technicznych,
- digitalizacja procesu,
- usprawnienie całkowitego, produktywnego utrzymania ruchu maszyn obróbczych (TPM).

3. Kaizen (ciągłe doskonalenie)

Celem tego narzędzia jest stały postęp i poprawa jakości, efektywności oraz zadowolenia klientów. Niestety załoga F-M Gorzyce nie miała wiele zgłoszonych propozycji usprawnień z powodu braku reakcji kierownictwa na pojawiające się propozycje usprawnień. Zauważalny był również brak świadomości i niewystarczająca liczba szkoleń i warsztatów dotyczących sposobu generowania, nadzorowania i zgłaszania usprawnień procesu obróbki mechanicznej (rys. 2.7). Zauważalna jest zwłaszcza mała liczba wdrożonych projektów Kaizen w linii DL9, na tle całej spółki F-M Gorzyce (rys. 2.8). Analiza obecnej sytuacji wykazała również brak informacji zwrotnych oraz systemu premiowania i doceniania aktywnych pracowników.



Rys.2.7. Liczba wdrożonych projektów Kaizen na linii obróbki mechanicznej DL9 w latach od 2014 do 2018.



Rys.2.8. Liczba wdrożonych projektów Kaizen w całym zakładzie F-M Gorzyce w latach od 2014 do 2018.

Propozycje poprawy procesu w zakresie projektów Kaizen linii DL9 dotyczą więc:

- wizualizacji i digitalizacji statusu linii DL9 w czasie rzeczywistym,
- opracowania nowego procesu ciągłego doskonalenia (baza danych),
- częstszych szkoleń i warsztatów Kaizen dla pracowników,
- wprowadzenia systemu motywującego dla aktywnych pracowników F-M Gorzyce.

4. Wizualizacja statusu obróbki mechanicznej tłoków, ilość sztuk vs cel

Wizualizacja statusu obróbki mechanicznej odlewów tłoków, jako etapu produkcji to metoda przedstawienia informacji o aktualnym stanie procesu w sposób graficzny i czytelny dla każdego użytkownika. Najczęściej wykorzystywane narzędzia to tzw. systemy wizualizacji produkcji, pozwalające na zbieranie danych z różnych źródeł (maszyny, czujniki, systemy IT) i wyświetlanie ich w czasie rzeczywistym na wykresach, diagramach i mapach.

Dzięki temu, pracownicy i menedżerowie F-M Gorzyce mogą szybko sprawdzić, które linie (obróbkowe lub produkcyjne) działają sprawnie, a które wymagają interwencji, np. z powodu awarii lub opóźnień w dostawie surowców do produkcji tłoków?

Wizualizacja statusu produkcji jest również pomocna w monitorowaniu wydajności procesu i identyfikowaniu obszarów, w których można wprowadzić ulepszenia, co przyczynia się do zwiększenia efektywności wytwarzania wyrobów i obniżenia kosztów.

Opisane i wdrożone dotychczas rozwiązania Lean nie dawały wymiernych efektów, przez co efektywność obrabiarek CNC i pokrewnego parku maszynowego do obróbki mechanicznej odlewów tłoków w F-M Gorzyce z roku na rok malała.

W związku z tym, poprawa procesu obróbki mechanicznej tłoków w zakresie wizualizacji procesu obejmuje:

- wizualizację statusu linii obróbczej DL9 w czasie rzeczywistym (digitalizacja),
- automatyzację procesu.

5. TPM

Całościowe, produktywne utrzymanie ruchu (TPM) to zarządzanie parkiem maszynowym, opracowane na początku XX w. w USA, a w latach 70-tych doskonalone w Japonii przez Nippon Denso. Celem TPM jest zapewnienie maksymalnej wydajności maszyn i urządzeń poprzez zaangażowanie całego zespołu pracowników, a nie tylko specjalistów ds. utrzymania ruchu. TPM składa się z siedmiu filarów, które obejmują wszystkie aspekty zarządzania utrzymaniem ruchu, włączając w to dbałość o maszyny, szkolenia pracowników, planowanie, kontrolę procesu oraz analizę danych dotyczących wydajności maszyn w tym procesie.

TPM przyczynia się do poprawy efektywności produkcji, obniżenia kosztów, poprawy jakości produkowanych wyrobów oraz zwiększenia zaangażowania wszystkich pracowników.

Jak wskazują badania, opóźnione informacje na temat awarii, przestojów i braki narzędzi do predyktywnego utrzymania ruchu były przyczynami niskiej wartości wskaźnika OAE na linii DL9 w F-M Gorzyce.

Poprawa obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9 w F-M Gorzyce dotyczy więc:

- wizualizacji statusu linii DL9 w czasie rzeczywistym (digitalizacja),
- automatyzacji procesu obróbki mechanicznej,
- instalacji wybranego rozwiązania predyktywnego utrzymania ruchu na linii DL9.

6. Kanban

Kanban to sposób zarządzania produkcją, która skupia się na minimalizacji odpadów oraz maksymalizacji wartości dla klienta. Polega na stosowaniu systemu sygnalizacji, który informuje pracowników o momencie rozpoczęcia następnego (kolejnego) zadania.

W kontekście linii do obróbki mechanicznej tłoków, kanban może być stosowany w celu zapewnienia, że proces ten odbywa się w sposób ciągły i optymalny.

Kanban zarządza przepływami produktów między procesami. Każdy proces otrzymuje sygnał od poprzedniego, gdy dany tłok jest gotowy do przeniesienia do kolejnego etapu obróbki (produkcji). W ten sposób obróbka mechaniczna odbywa się w sposób ciągły i wydajny, bez konieczności oczekiwania na części lub materiały.

W praktyce, wprowadzenie systemu kanban oznacza połączenie procesów w ciąg, w którym tłok przepływa od jednego urządzenia (stanowiska, procesu) do drugiego, a każdy z nich jest

zaprogramowany tak, aby „zasysać” produkty z poprzedniego urządzenia i przekazywać je do następnego. W ten sposób, każde urządzenie (proces) może działać bez przerw, bez oczekiwania na produkty, a system nosi nazwę „ssącego”, w odróżnieniu od „pchającego”.

Dla poprawnego działania systemu kanban, koniecznym jest zastosowanie różnego rodzaju metod kontroli i monitorowania, które pozwalają na precyzyjne śledzenie przepływu produktów i dostosowywanie procesu do zmieniających się warunków.

Ważnym elementem systemu „ssania” i „ciągnięcia” jest także zapewnienie odpowiedniego składowania produktów między poszczególnymi stanowiskami (procesami). Często stosuje się specjalne magazyny pośrednie (miejsca składowe, supermarkety), w których produkty są lokowane przed przekazaniem do kolejnego stanowiskami (etapu procesu).

Badania i własne obserwacje pozwoliły zauważyć, że na linii do obróbki skrawaniem nie ma dużych zapasów i system jest ciągniony ale liczba odlewów tłoków przed linią i liczba tłoków gotowych (tzw. magazynowanych) po obróbce mechanicznej ma potencjał do optymalizacji. Brak digitalizacji obróbki skrawaniem odlewów tłoków nie ułatwia na bieżąco utrzymywania minimalnego poziomu materiałów.

W związku z powyższym, propozycje poprawy procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9 w F-M Gorzyce z zastosowaniem narzędzi kanban obejmują:

- elektroniczny system powiadomień o konieczności odebrania gotowych tłoków i/lub transferu półfabrykatów do dalszych linii produkcyjnych,
- wprowadzenie systemu ssącego – rozwiązania dla przemysłu 4.0, czyli automatycznego powiadomienia o konieczności dostarczenia półfabrykatów oraz transportu gotowych tłoków z linii DL9 do dalszych etapów ich produkcji.

7. SMED

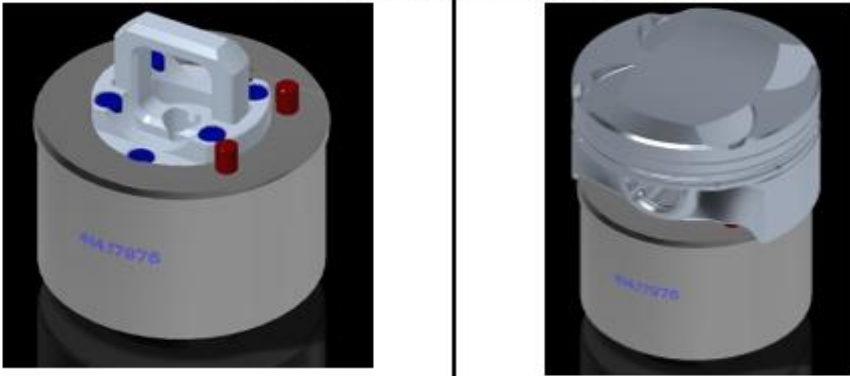
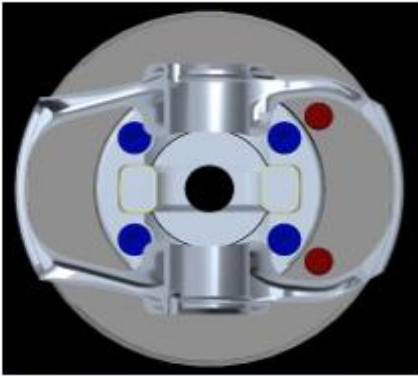
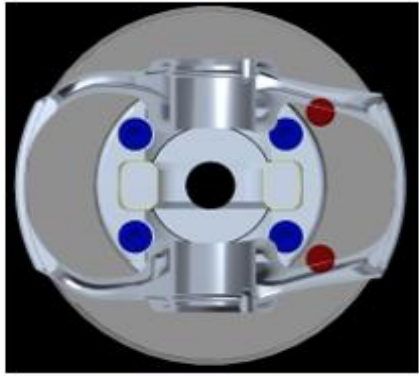
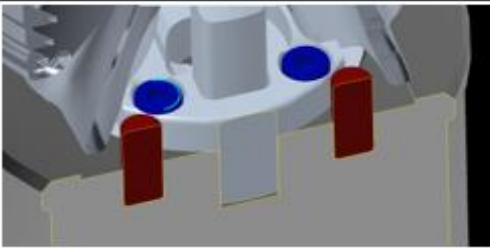
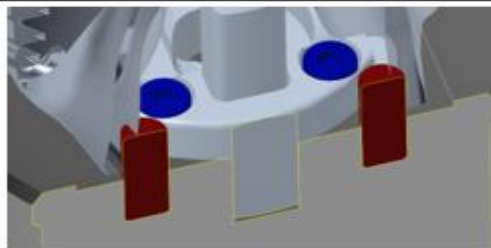
Skracanie czasu przezbrojeń maszyn i urządzeń (SMED) to skrót od anglojęzycznego terminu „Single Minute Exchange of Die”. Jest to metoda usprawniania procesów produkcyjnych, polegająca na minimalizowaniu czasu przezbrojeń między produkcją dwóch różnych produktów. Celem SMED jest zwiększenie efektywności procesów produkcyjnych poprzez ograniczenie czasu przestojów pomiędzy produkcją różnych wyrobów lub serii wyrobów. W praktyce oznacza to analizę procesów produkcyjnych w celu identyfikacji oraz eliminacji niepotrzebnych czynności i ulepszanie metod organizacji ich wytwarzania w celu zminimalizowania czasu wymiany narzędzi i procesów pokrewnych (pomocniczych).

Linia obróbcza DL9 posiada instrukcje dotyczące przezbrojeń, jednak z uwagi na produkcję tylko jednego typu tłoka, zrezygnowano z opisu i analizy tego narzędzia lean.

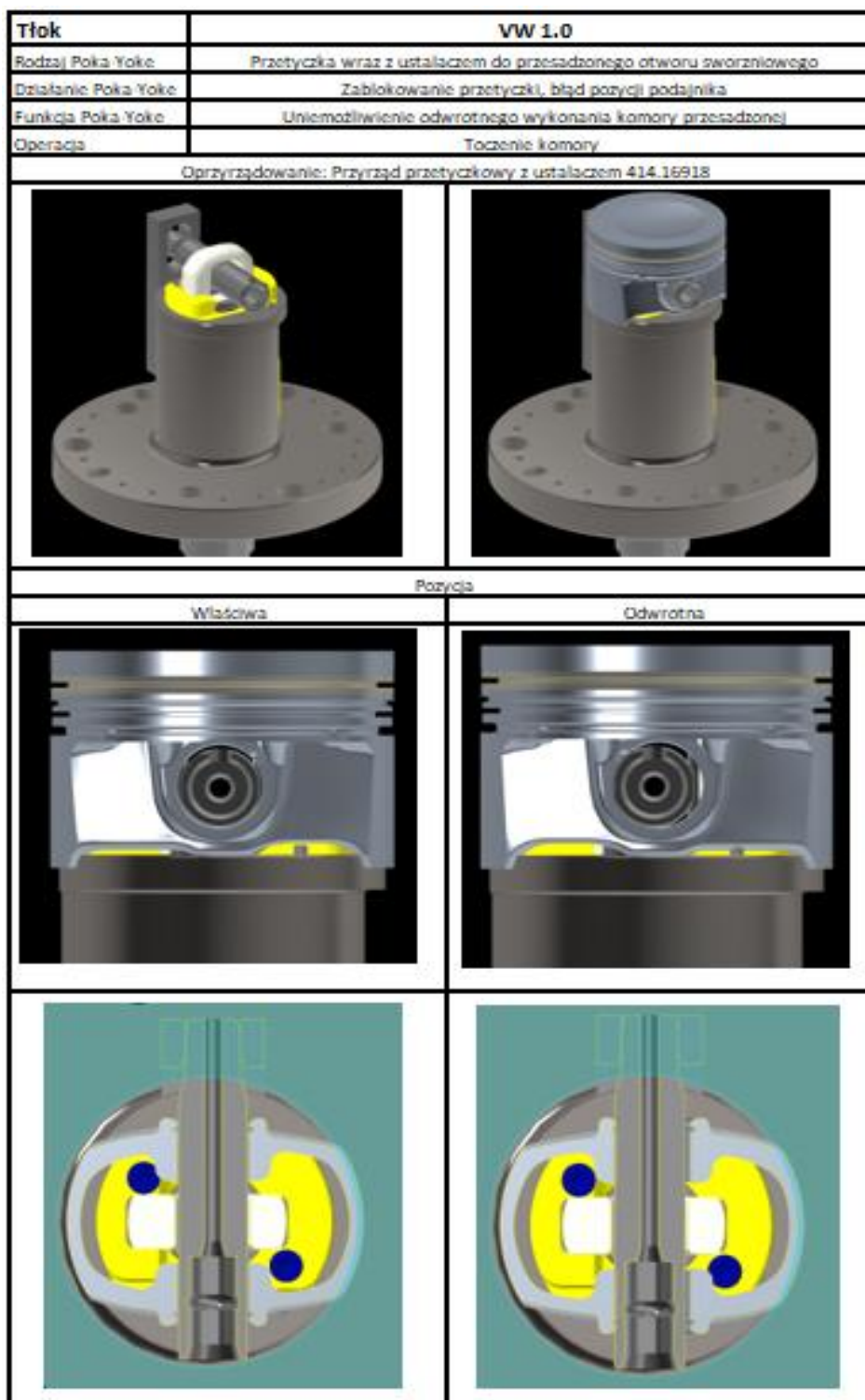
8. Poka Yoke

Poka-Yoke oznacza „unikanie błędów” lub „zapobieganie błędom”. Jest to podejście do projektowania procesów i systemów, które ma na celu minimalizowanie ryzyka popełnienia błędów przez pracowników lub użytkowników. Poka-Yoke to sposób stosowany w zakładach produkcyjnych, w której wprowadza się zmiany w procesie produkcyjnym, aby zapobiec błędom lub minimalizować ich wpływ na jakość produktu. Może to obejmować stosowanie np. specjalnych narzędzi lub urządzeń, aby uniemożliwić wykonanie niewłaściwej czynności lub wykorzystanie systemów z automatycznym wykrywaniem błędów.

Poka-Yoke znajduje też zastosowanie w projektowaniu produktów i usług, by minimalizować ryzyko błędów użytkownika. Może to obejmować np. stosowanie ergonomicznych uchwytów na narzędziach dla uniemożliwienia niewłaściwego ich użycia lub wprowadzenia systemów automatycznego wykrywania błędów, które ostrzegają użytkowników maszyn i urządzeń. Na linii DL9 zastosowano kilka rozwiązań Poka-Yoke np. dwie maszyny do kontroli jakości odlewów metodami NDT (z ang. non destructive testing), które wymagają dodatkowej analizy pod kątem oceny ich skuteczności. Wdrożono też specjalnie skonstruowane oprzyrządowanie mocujące tłoki w maszynach, zapobiegając błędnej obróbce skrawaniem (rys. 2.9 i 2.10).

Tłok	VW 1.0	
Rodzaj Poka-Yoke	Dwa kołki do niesymetrycznego wnętrza tłoka	
Działanie Poka-Yok	Zatrzymanie obrabiarki, błąd zamocowania, błąd pozycji cięgna	
Funkcja Poka-Yoke	Uniemożliwienie odwrotnego wykonania niesymetrycznego profilu płaszczka	
Operacja	Toczenie płaszczka na gotowo	
Oprzyrządowanie Baza 414.17976		
		
Pozycja		
Właściwa		Odwrotna
		
		

Rys.2.9. Zastosowanie Poka-Yoke w celu uniemożliwienia odwrotnego wykonania niesymetrycznego profilu płaszczka odlewu tłoka w F-M Gorzyce.



Rys.2.10. Zastosowanie Poka Yoke w celu uniemożliwienia odwrotnego wykonania komory tzw. przesadzonej odlewu tłoka w F-M Gorzyce.

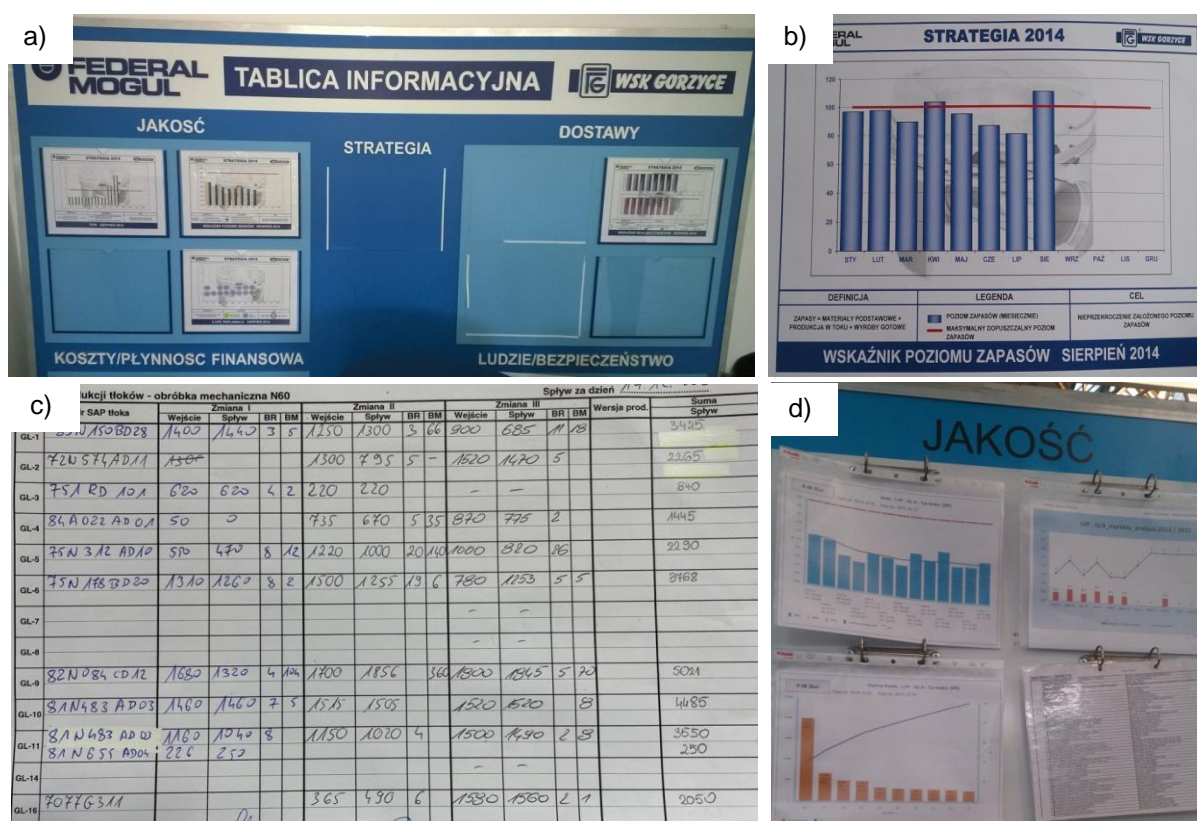
Poprawa procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9 w F-M Gorzyce, stosując Poka-Yoke, dotyczy analizy możliwości zastosowania nowych urządzeń posiadających funkcjonalne rozwiązania przemysłu 4.0 np. poprawa skuteczności kontroli, zautomatyzowane przesyłanie danych o wynikach kontroli do takich działów jak: produkcja, jakość, inżyniering, centrum badawczo-rozwojowe.

2.3. Podsumowanie skuteczności narzędzi lean stosowanych w czasie badań wstępnych w linii DL9

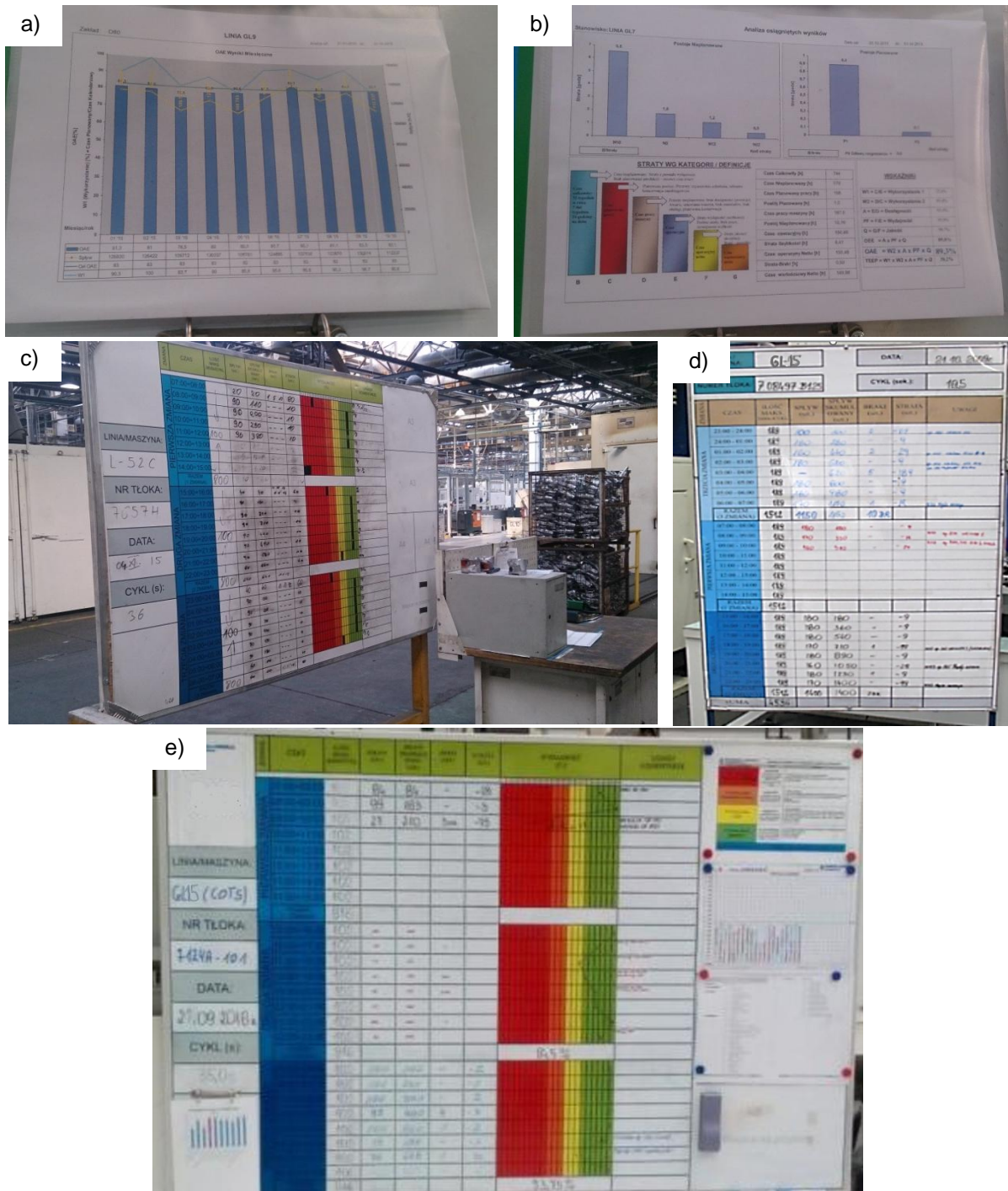
Analiza przedstawionych w poprzednim rozdziale narzędzi lean służących do poprawy sposobu zarządzania linią do obróbki mechanicznej odlewów tłoków w F-M Gorzyce za lata 2014 do 2018 i własne obserwacje tym czasie pozwoliły zidentyfikować nieprawidłowości oraz wskazać główne działania naprawcze. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

1. Ręczny sposób zbierania i zapisywania danych

Wszystkie informacje dotyczące jakości, strategii rozwoju, osiąganych wyników i danych produkcyjnych zbierane były „ręcznie” przez operatorów, a następnie obrabiane w różnych działach F-M Gorzyce. Raporty (np. Pareto-Lorenza) dotyczące strat związanych z awariami, przestojami, usterkami czy ogólnymi zasadami jakości były przesyłane do zainteresowanych stron z opóźnieniem. Powodowało to znaczące obniżenie szans na szybką reakcję i znacznie zwiększało czas potrzebny do rozwiązania kluczowych dla procesu problemów. Ponadto, jakość zapisywanych na arkuszach informacji zależała od świadomości, wiedzy i dyscypliny operatorów. W raportach pojawiały się liczne błędy i pomyłki w obliczeniach wskaźników. Zdarzały się sytuacje gdzie świadomie wpisywano nieprawdziwe informacje na temat liczby wykonanych sztuk tłoków lub przyczyn braku osiągnięcia założeń produkcji (tzw. spływów). Przykładowy widok „ręcznego” sposobu zbierania i zapisywania danych przedstawiono na rysunku 2.11, a przykładową tablicę (umieszczoną na końcu linii produkcyjnej), na której zapisywane były przez operatorów informacje dotyczące realizacji planu produkcyjnego tłoków przedstawia rysunek 2.12.



Rys.2.11. Ręczny sposób zapisywania danych : a) tablica informacyjna; b) wykres poziomu zapasów; c) raport dotyczący dziennej produkcji (tzw. spływu; d) inne wskaźniki jakości odlewów tłoków (materiały będące własnością F-M Gorzyce).



Rys.2.12. Tablice do godzinnego monitorowania liczby obrobionych (wyprodukowanych) tłoków: a-b) w latach 2014-2015; c-d) 2016-2018; e) 2019-2020 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

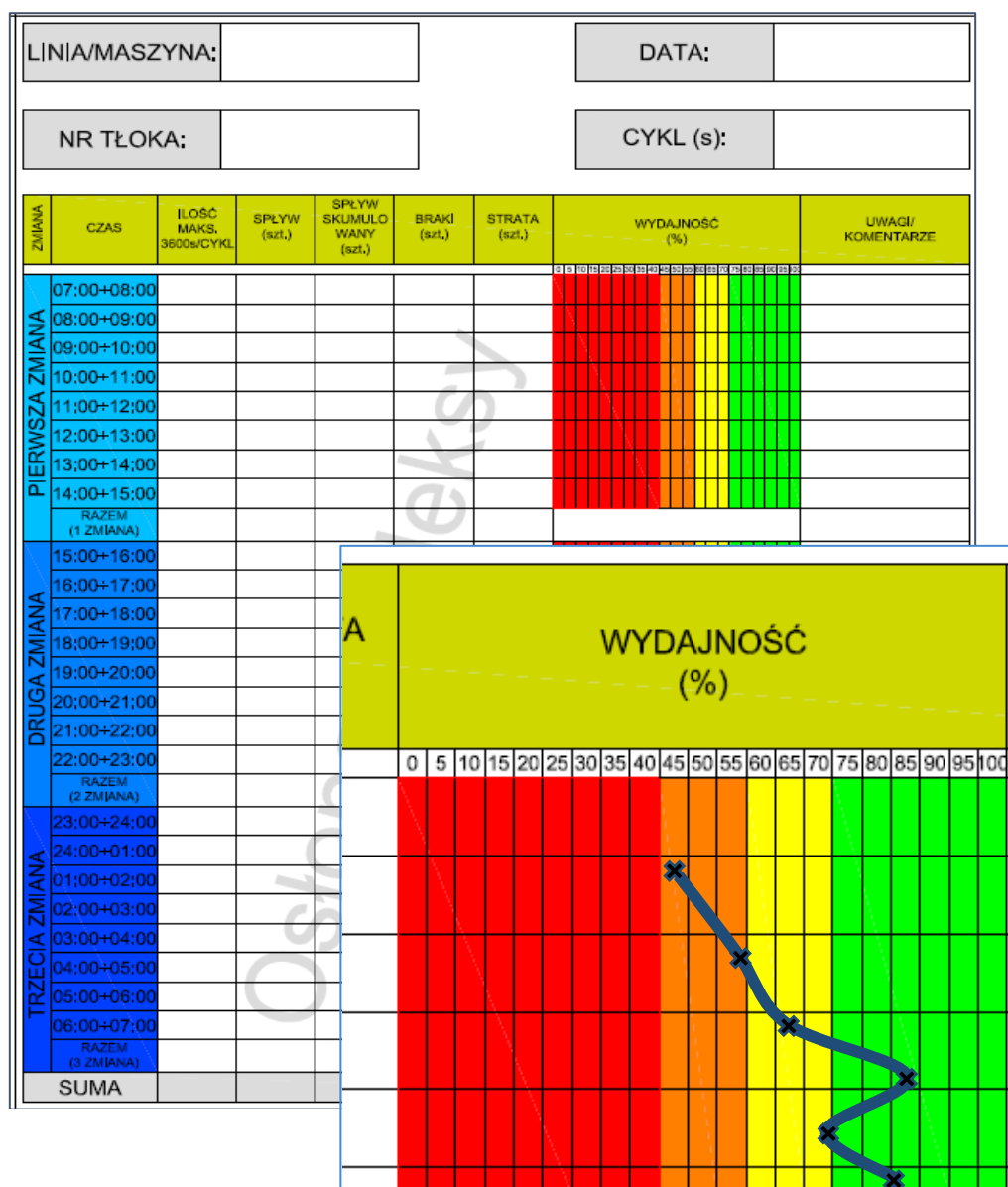
Sposób raportowania liczby obrobionych (lub wyprodukowanych) tłoków ewaluował, był usprawniany i doskonalony stąd na rysunku 2.12 uwidocznione są różne tablice, na których wpisywana była ilość produkcji na godzinę. Ostatnia wersja tablicy (rys. 2.12e) posiada lepiej zwizualizowany poziom osiągniętego wskaźnika OAE. Operator oprócz wpisania:

- liczby tłoków wyprodukowanych na godzinę,
 - liczby wyrobów brakowych oraz kodów strat linii,
- musiał też obliczyć wskaźnik OAE, dzieląc liczbę dobrych, części przez planowaną ich ilość.

Planowana ilość (godzinowy cel) obliczana była przy pomocy czasu cyklu wąskiego gardła:
 $3600s/\text{czas wąskiego gardła} = \text{cel godzinowy produkcji.}$

Znając wartość obliczonego OAE, operator powinien zaznaczyć punkt na odpowiednim polu tablicy (rys. 2.12e). Jeśli wartość wskaźnika była poniżej 45% (przyjęta w F-M Gorzyce), to punkt znaczony był na polu czerwonym, jeśli powyżej - np. na polu zielonym. Połączone, godzinowe obliczone punkty dawały informację dla załogi o efektywności linii i przyczynach strat w godzinowych, zmianowych (8h) oraz dziennych przedziałach czasowych.

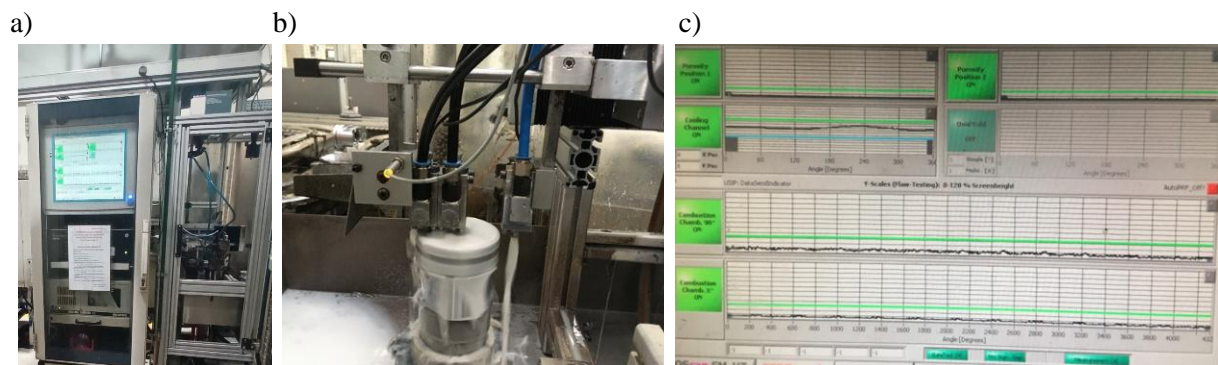
Na bazie kodów strat wpisanych w przypadku braku osiągnięcia zakładanej liczby sztuk, odpowiednie służby F-M Gorzyce opracowywały wykres Pareto-Lorenza. Niestety, cały proces nadzorowania statusu zaplanowanej ilości produkcji, obliczania wskaźnika, zapisu kodów strat nie był efektywny głównie z uwagi na czasochłonność czynności manualnych, brak dyscypliny, brak danych przesyłanych w czasie rzeczywistym do kierownictwa wydziału produkcji i działów wspomagających oraz systemów wspierających (digitalizacja danych).



Rys.2.13. Wzór najnowszej tablicy przeznaczonej do co godzinowego zapisywania liczby tłoków wykonanych oraz monitoringu wskaźników OAE.

2. Międzyoperacyjna kontrola jakości

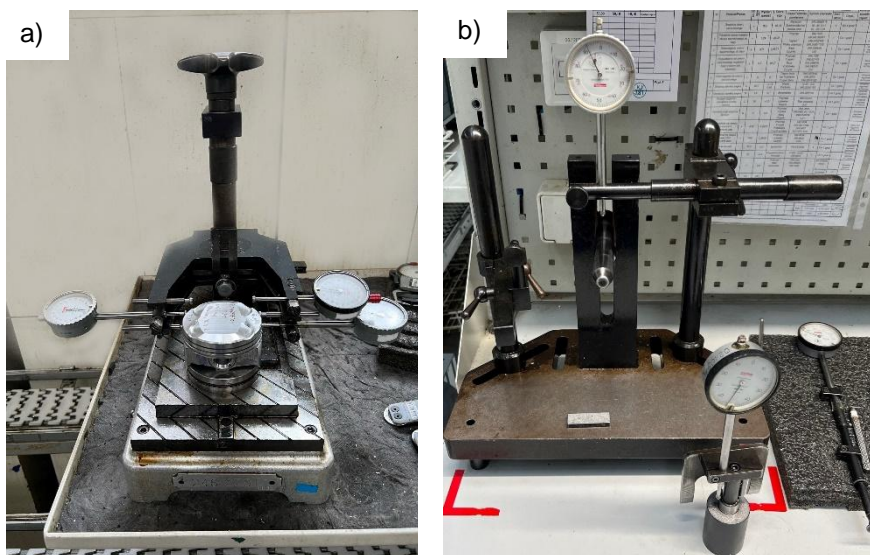
Kontrola międzyoperacyjna realizowana była przy pomocy automatycznego urządzenia US1D (rys.2.14) do badań jakości tłoków metodą ultradźwięków i ręcznego wspomagającego ultrasonografu kontrolującego dodatkowy parametr nie sprawdzany na urządzeniu US1D (rys. 2.15). Oprócz ultrasonografów stosowano oprzyrządowanie kontrole używane do pomiarów średnic i kątów odlewów (rys. 2.16). Wyniki i proces kontrolowano przy pomocy kart X-R. Urządzenie US1D nie miało możliwości wskazania wady i jej przyczyny, z powodu której tłok nie przeszedł pozytywnej kontroli. Zastosowane sondy oraz oprogramowanie nie dawały pełnej informacji na temat jakości sprawdzanego odlewu. Kłopotliwym był fakt, iż nie wszystkie wady (obróbkowe, materiałowe i odlewnicze) były wykrywane. Często zdarzało się, że prawidłowo wykonany tłok był odrzucany ze względu na niewyraźny obraz odbitych fal dźwiękowych. Brak informacji zwrotnej uniemożliwiał szybką reakcję odpowiednich służb kontroli jakości, powodując zawyżony udział wyrobów wadliwych, które w rzeczywistości były wyrobami zgodnymi z przyjętymi normami jakości w F-M Gorzyce.



Rys.2.14. Urządzenie US1D do badania jakości tłoków metodą ultradźwiękową: a) widok ogólny stanowiska; b) tłok podczas pomiaru; c) papierowy wydruk wyników kontroli parametrów jakości.



Rys.2.15. Ręczy ultrasonograf do kontroli jakości tłoków jeszcze podczas produkcji (materiały będące własnością F-M Gorzyce).



Rys.2.16. Urządzenia do pomiaru: a) długości i średnic tłoków: b) kątów.

3. Stosowanie kart kontrolnych typu X-R

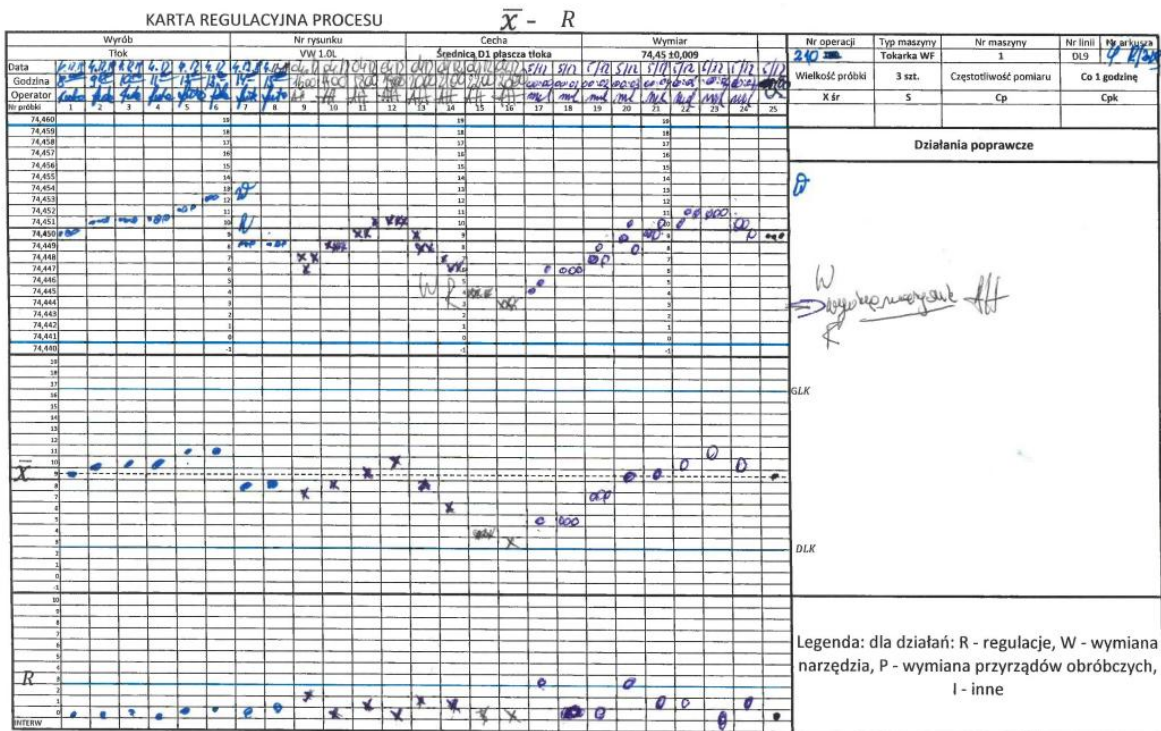
W latach 2014 do 2018 nadzorowanie procesu obróbki mechanicznej tłoków odbywało się przy użyciu papierowych kart kontrolnych typu X-R¹, (X - wartość oczekiwana; R - rozstęp, jako różnica między zaobserwowaną wartością maksymalną i minimalną). Ten rodzaj dwutorowej karty kontrolnej jest najczęściej stosowany w statystycznym sterowaniu i kontroli procesami produkcyjnymi. Swą popularność, karty kontrolne typu X-R zawdzięczają prostej budowie i dobrej czułości na sygnały o rozregulowaniu procesu. Karta typu X-R wymaga próby o stałej liczebności, najczęściej od 3 do 7. Jeśli ma być wykrywana mała zmiana wartości średniego pomiaru w procesie, liczebność próby powinna być większa. W F-M Gorzyce liczebność próby w kartach X-R wynosi 25. W latach 2015 - 2018 wyniki zaznaczane były na papierze „kropkami” i od wartości średniej mierzonego parametru liczony był tylko rozrzut wyników (mierzony rozstępem), uniemożliwiając precyzyjne zarządzanie procesem obróbki mechanicznej i żywotnością narzędzi skrawających. Wynikało to głównie z uwagi na brak obliczanych i zwizualizowanych automatycznie wskaźników c_p^2 i c_{pk}^3 . Z tego względu trudno było osiągnąć zakładaną zdolność obróbki mechanicznej odpowiedniej ilości dobrych sztuk odlewów tłoków w zadanej jednostce czasu. Pojawiały się również od czasu do czasu reklamacje klientów z powodu przekroczenia normatywnych granic tolerancji dla krytycznych wymiarów tłoków.

Przykładowy widok papierowej karty kontrolnej typu X-R stosowany dotychczas do badania jakości wybranych parametrów wymiarowych odlewów tłoków w F-M Gorzyce przedstawia rysunek 2.17.

¹ - X to średnia (inaczej wartość oczekiwana), oznaczana czasem jako X_{sr} lub \bar{x} .

² - wskaźnik c_p (zdolność potencjalna) - oznacza precyzję procesu. Jest miarą szerokości rzeczywistego rozrzutu względem szerokości pola tolerancji.

³ - wskaźnik c_{pk} (zdolność rzeczywista) - związany jest z dokładnością procesu. Uwzględnia wzajemne przesunięcie pola rozrzutu względem pola tolerancji. Jest traktowany jako wskaźnik jednostronny (prawostronny lub lewostronny).



Rys.2.17. Widok ogólny papierowej karty kontrolnej X-R do badania jakości tłoków (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

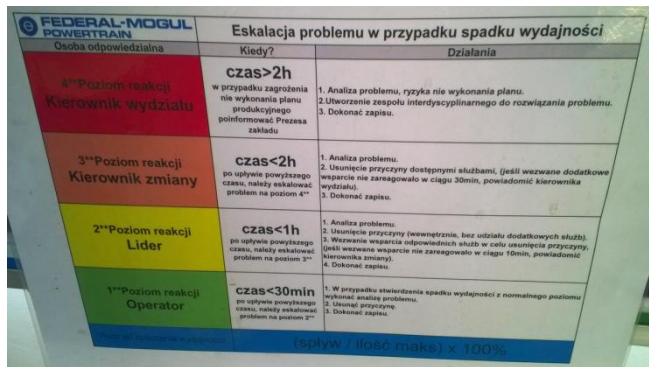
4. Brak reakcji na zmniejszenie wydajności procesu

Dotychczasowe obserwacje ujawniły również cykliczne problemy z szybkością na zmianę, najczęściej na zmniejszenie, wydajności procesu. W latach 2014 do 2018 zmiany takie były rejestrowane na papierze i umieszczane na tablicy ogłoszeń - rysunek 2.18.

a)



b)

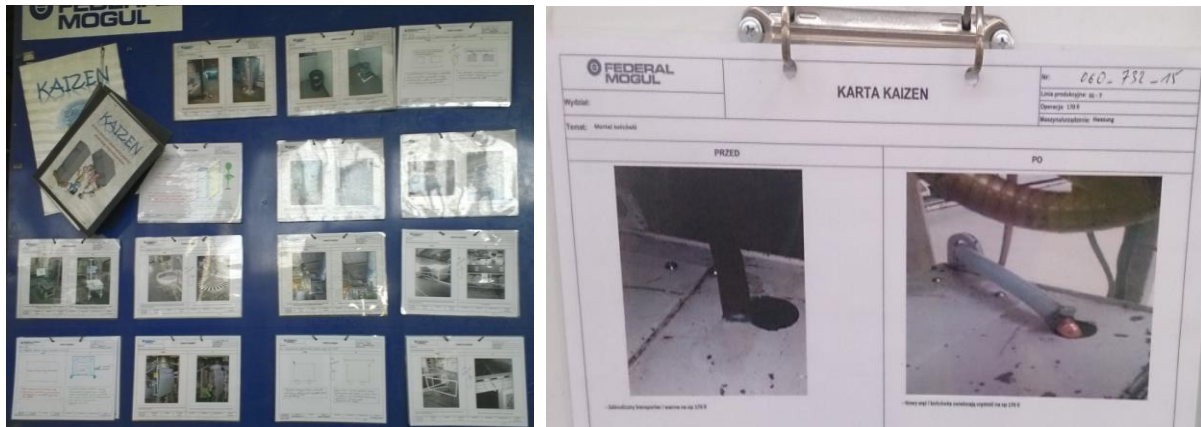


Rys.2.18. Reakcja na: a) poziom braków; b) zmniejszenie wydajności wraz z wykazaniem działań naprawczych przez osoby odpowiedzialne (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

W związku z tak długim czasem reakcji, wszelkie działania dotyczące np. zmiany parametrów skrawania tłoków były znacznie opóźnione, co skutkowało zwiększonym udziałem wyrobów wadliwych i ciągle spóźnioną reakcją na potrzeby zamawiających. Obecnie, przy krótkich seriach produkcji i dynamicznie zmieniających się trendach klientów branży motoryzacyjnej, wymagana jest jak najszybsza reakcja ze strony producenta, aby spełnić wymagania rynkowe.

5. Brak inicjatywy ze strony pracowników

Zmieniająca się często kadra pracowników, głównie o niskich kwalifikacjach i krótkotrwałe umowy zatrudnienia zawierane przez firmy powiatowego pośrednictwa pracy sprawiało, że widoczny był brak zainteresowania pracowników F-M Gorzyce w dzieleniu się własnymi inicjatywami w usprawnieniu procesu produkcji tłoków. W latach od 2014 do 2018 pomysły były zgłaszane sporadycznie, a informacja o nich pojawiała się na tablicy ogłoszeń (rys.2.19).



Rys.2.19. Tablica ogłoszeń z projektami typu kaizen (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Brak też było jasnego sposobu motywacji pracowników za chęć zgłoszenia własnego pomysłu. Kierownictwo F-M Gorzyce postanowiło zmienić tą niekorzystną sytuację i wdrożyć czytelny i indywidualny sposób wynagradzania tych, którzy wykazują się kreatywnością oraz zachęcają do tego innych, oferując różne korzyści finansowo - kadrowe.

Podsumowując należy stwierdzić, iż stosowane dotychczas narzędzia LM w ujęciu tradycyjnym tj. wykorzystując do zbierania danych zapisane manualnie przez operatorów raporty nie gwarantowały rzetelnego, miarodajnego i szybkiego przyływu informacji. Brak solidnej wiedzy o stanie faktycznym procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków było przyczyną braku postępów w zakresie zwiększenia wydajności parku maszynowego wchodzącego w skład linii DL9 do obróbki mechanicznej tłoków. Rażąco był także brak (lub spóźniony) sposób reakcji na zmienne trendy rynkowe i nierentowność procesu w przypadku małych serii obróbki tłoków.

Wybrana do badań i analiz linia do obróbki mechanicznej odlewów tłoków, której schemat przedstawiono w załączniku nr 1, posiada 14 cel roboczych obsługiwanych przez 14 robotów (każdy z nich o sześciu stopniach swobody) oraz 4 operatorów. W opisanym obszarze pracuje 24 maszyn i urządzeń (nie licząc podajników i robotów). Jest to więc skomplikowany proces, który choć polepszany, wciąż posiada wielki potencjał do stałego doskonalenia w zakresie zarządzania, usprawniania i skracania procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków do silników spalinowych. Znamiennym jest również to, iż rozwiązania, które sprawdzą się na wybranej do badań linii DL9, będzie można zaimplementować na inne linie do obróbki tłoków silnikowych, których w F-M Gorzyce jest ponad 25.

2.4. Konieczność poprawy sposobu zarządzania obróbką mechaniczną tłoków

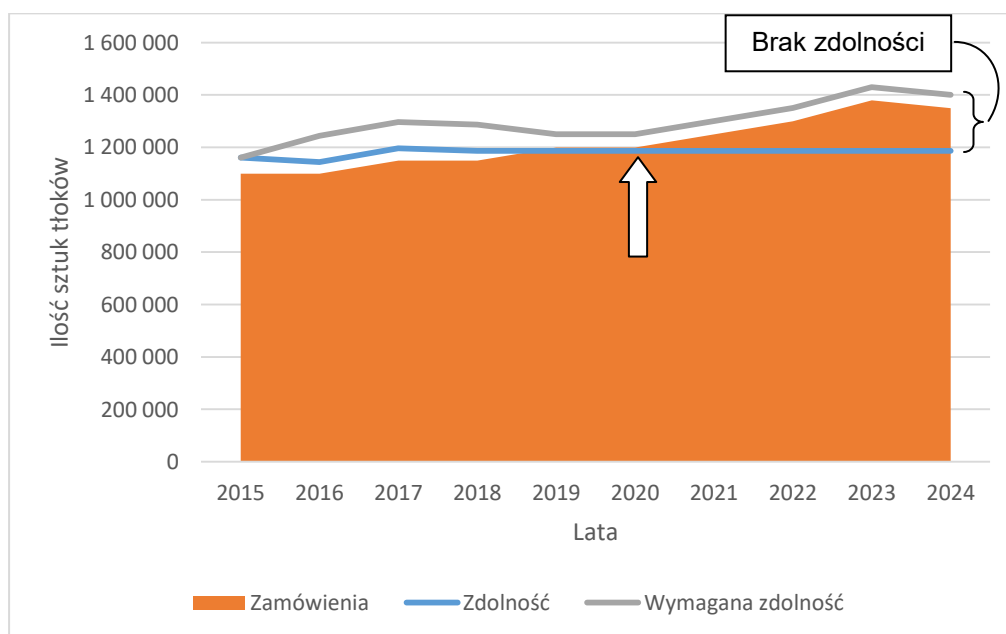
Z uwagi na bardzo duże zamówienia tłoków do benzynowych silników VW1.0L (rys.2.1.a) na rysunku 2.20 przedstawiono prognozę zamówień na te tłoki wraz z brakiem wystarczającej zdolności istniejącego parku maszynowego. W związku z tym, konieczne było zwiększenie zdolności linii DL9 w celu uniknięcia wydatków inwestycyjnych związanych z zakupem dodatkowej linii do obróbki mechanicznej odlewów tłoków. Biorąc pod uwagę z jednej strony specyfikę procesu obróbczego tłoków i skalę ich produkcji, a z drugiej - obostrzenia, które wynikają z przynależności do korporacji TENNECO i związane z tym ograniczenia co do autonomności w podejmowaniu decyzji, zwiększenie zdolności linii DL9 postanowiono przeprowadzić poprzez:

1. Zwiększenie efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń.
2. Zmniejszenie poziomu tłoków niezgodnych z specyfikacją techniczną.
3. Zwiększenie liczby obrobionych mechanicznie (wyprodukowanych) tłoków na rok.
4. Zmniejszenie zużycia mediów podczas obróbki mechanicznej tłoków.

Zebrano również i zbadano dane przedstawiające poziom wskaźników określających stan wyjściowy przeznaczony do usprawnień.

Zapotrzebowanie vs zdolność produkcyjna

Bazując na długoterminowych prognozach zakupowych klienta VW, stwierdzono brak wystarczających zdolności produkcyjnych w 2020 roku. Decyzją korporacji zakład F-M Gorzyce musiał poszukać rozwiązań, które bez dużych nakładów inwestycyjnych zapobiegły potrzebie zakupu nowego oprzyrządowania (mocującego, pomiarowego), które jest konieczne do uruchomienia produkcji odlewów tłoków dla VW na drugiej linii do obróbki mechanicznej. Zwiększenie zdolności obróbki skrawaniem pomoże uniknąć inwestycji na poziomie około 1,48 mln zł oraz konieczności czasochłonnej walidacji drugiej linii przez klienta.



Rys.2.20. Prognoza zamówień tłoków dla VW oraz zdolność linii DL9.

Dodatkowo stwierdzono, że czas dostawy i instalacji nowego oprzyrządowania wynosi około 4 miesiące. Stąd działania musiały się rozpocząć tak szybko jak to możliwe, jednak nie później niż w 2019 roku (wg wykresu na rysunku 2.20 w 2019 jeszcze jest odpowiednia ilość zainstalowanej zdolności procesu obróbki mechanicznej).

W związku z powyższym, przeanalizowano co zakład produkcyjny w Gorzycach może zmienić bez potrzeby walidacji procesu i produktu na następnej linii obróbki mechanicznej przez klienta (proces walidacji zmian w produkcie wymaga wiele czasu, kontroli oraz zatwierdzeń, testowane muszą być też silniki na hamowniach co jest bardzo długotrwałe, kosztowne i wymaga wielu zmian również w procesach u klientów). Sformułowano więc te obszary, w których F-M Gorzyce nie może dokonywać zmian bez akceptacji klienta i ośrodka badawczo-rozwojowego. Zmiany te dotyczą:

1. Konstrukcji odlewu tłoka.
2. Konstrukcji tłoka po obróbce mechanicznej.
3. Środków chemicznych używanych do aktywacji powierzchni tłoka.
4. Składu pokrycia „grafitem” płaszcza tłoka.
5. Składu stopów używanych do odlewania tłoków.
6. Składu chemicznego stopu do procesu alfinowania wkładek pierścieniowych.

F-M Gorzyce posiada jednak pewną autonomiczność procesową, a poniżej przedstawiono te obszary, które można doskonalić (zmieniać), celem zwiększenia zdolności parku maszynowego, poprawy efektywności wykorzystania maszyn (w tym przypadku do obróbki mechanicznej tłoków) i redukcji kosztów wytworzenia. Zmiany te dotyczą głównie:

1. Maszyn i urządzeń.
2. Oprzyrządowania mocującego.
3. Oprzyrządowania kontrolno-pomiarowego.
4. Narzędzi skrawających.
5. Programów obróbczych CNC.
6. Cykli maszynowych i czynności przeładunkowych.
7. Kontroli międzyoperacyjnej.
8. Zarządzania procesem produkcyjnym (lub etapami tego procesu).
9. Obsady na liniach produkcyjnych.
10. Układu (layout'u) linii produkcyjnej.

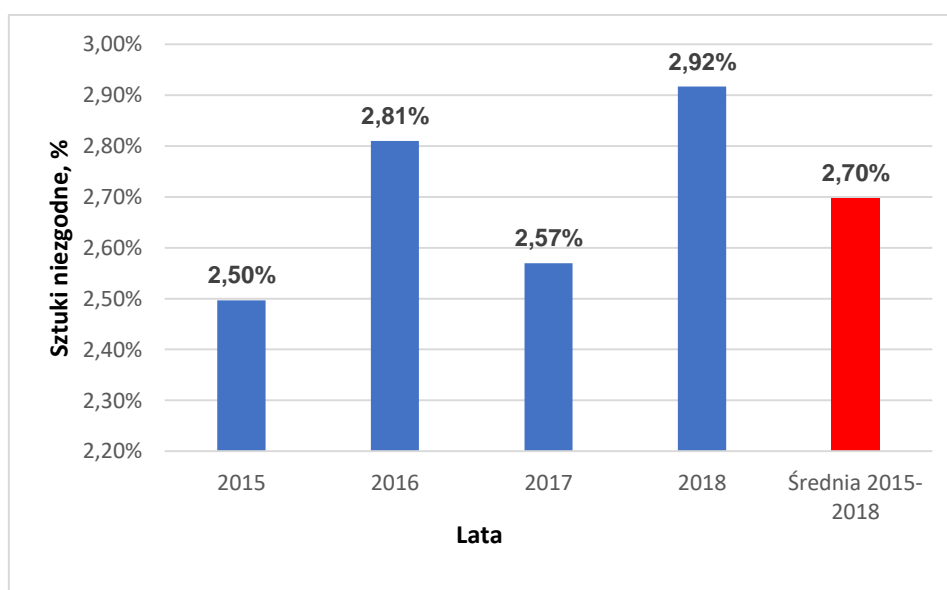
Aby sprostać powyższym wymaganiom i zachować swego rodzaju kompromis, powołano przekrojowy zespół lean dedykowany do zebrania koniecznych informacji, które pozwoliły oszacować, które obszary procesu produkcji tłoków wymagają poprawy w kontekście zwiększenia zdolności produkcyjnych do poziomu zapewniającego wymagane dostawy tłoków w latach 2019-2022.

Badania wstępne zostały oparte na wskaźnikach, które w zrozumiały sposób pokazują:

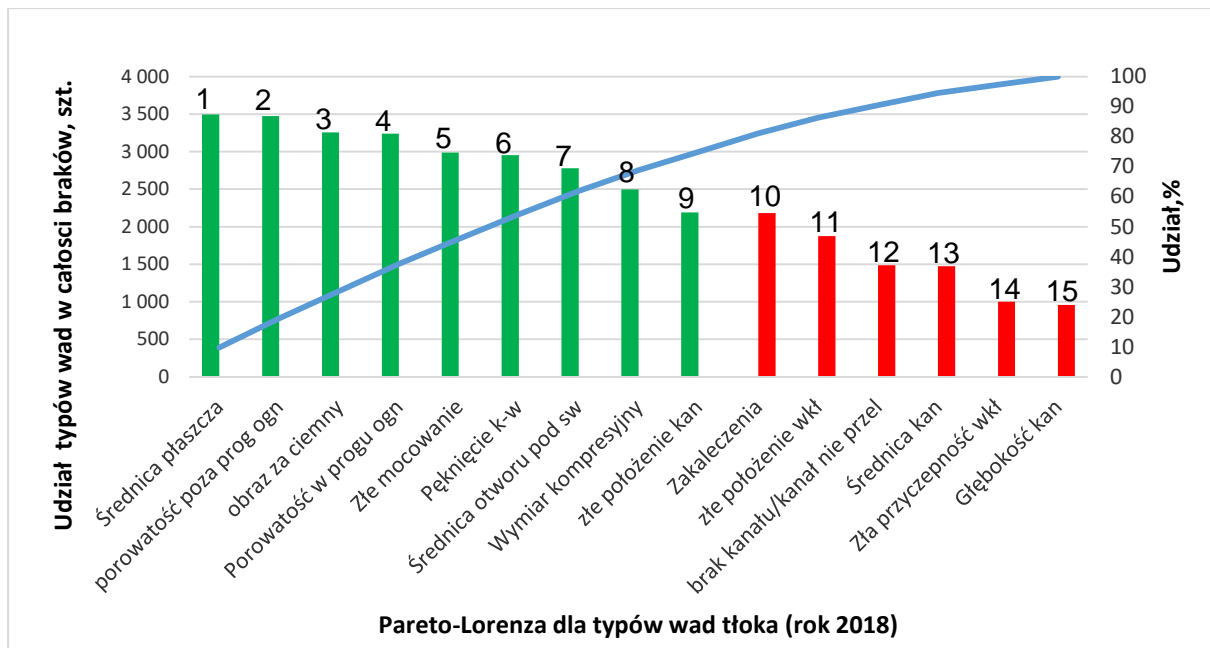
- ile produktów niezgodnych powstaje w procesie obróbki mechanicznej w przeliczeniu na ilość wyprodukowanych sztuk $\times 100$? Wskaźnik ten informuje ile części zostaje utraconych z uwagi na nieodpowiednią ich jakość. Klasyfikując każdy niezgodny tłok na rodzaje braków można przy pomocy wykresu Pareto-Lernza określić rodzaje tych wad tłoków, które mają największy udział w całości wyrobów niezgodnych ze specyfikacją,

- efektywność linii do obróbki mechanicznej. Wskaźnik OAE informuje w ilu procentach wykorzystany jest park maszynowy. Kody strat podawane przy raportowaniu postojów pozwalają na opracowanie wykresu Pareta-Lorenza, który pozwoli określić główne przyczyny ograniczające liczbę wyprodukowanych dobrych tłoków (każda stracona sztuka produktu przeliczana jest na stracony czas produkcji, tzn. liczba sztuk pomnożona przez czas cyklu wskazuje stracony czas, i przypisana jest do kodu/nazwy przyczyny straty: np. awarie maszyn),
- wskaźnik liczby tłoków zgodnych z wymaganiami klienta, które są produkowane na linii do obróbki mechanicznej w jednostce czasu. Wskaźnik pozwala ocenić czy zdolność linii produkcyjnej zdoła pokryć zapotrzebowanie na części dla klienta: ilość szt./rok. Analizując okresową historyczną zdolność wybranego obszaru produkcji (będącego wąskim gardłem w całym procesie) tj. liczbę wyprodukowanych sztuk w ciągu ostatnich 12 miesięcy można z wysokim prawdopodobieństwem oszacować czy w następnych okresach zdolność ta jest wystarczająca,
- koszty zużycia energii elektrycznej. Wskaźnik pokazuje ilość zużytej energii w przeliczeniu na jeden wyprodukowany tłok (kWh/szt). Pozwala ocenić skuteczność wdrożonego działania redukującego zużycie energii elektrycznej,
- koszty zużycia sprężonego powietrza. Wskaźnik pokazuje ilość zużytego powietrza na jeden wyprodukowany tłok (m³/szt). Pozwala ocenić czy zaimplementowane działania redukujące zużycie sprężonego powietrza są skuteczne,
- koszty zużycia wody. Wskaźnik pokazuje ilość zużycia wody na jeden wyprodukowany tłok x1000 (m³/szt.x1000). Pozwala ocenić skuteczność zaimplementowanego działania redukującego zużycie wody podczas obróbki skrawaniem odlewów tłoków.

Zebrane podczas badań wstępnych wskaźniki uwidaczniają trendy oraz główne przyczyny ograniczające zdolność linii DL9 przeznaczonej do produkcji krytycznych dla F-M Gorzyce tłoków VW1.0L (tłoki niezgodne - rys. 2.21; wykres Pareto-Lorenza rodzaju wad - rys. 2.22).



Rys.2.21. Poziom produktów wybrakowanych (materialy będące własnością F-M Gorzyce).



Rys.2.22. Wykres Pareto-Lorenza rodzajów wad w odlewach tłoków (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Jak wynika z danych Działu kontroli jakości F-M Gorzyce, wady materiałowe tłoków można podzielić na dwie kategorie, tj.:

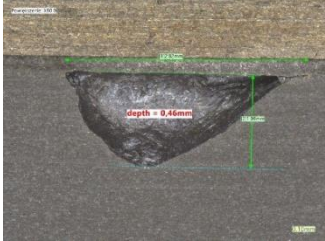
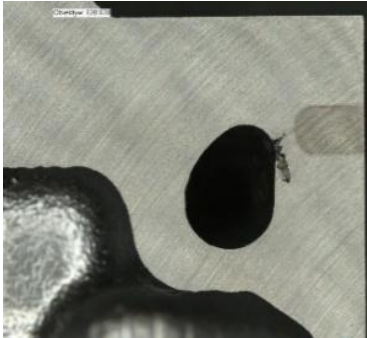
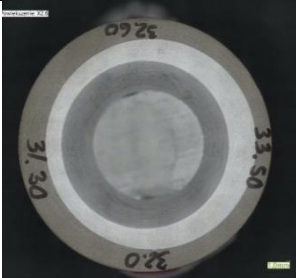
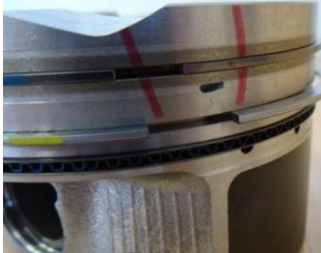
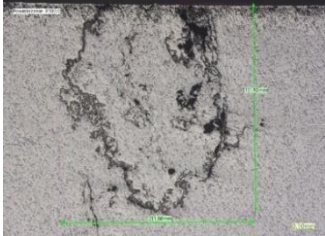

- wady odlewnicze - nie poddane analizie w niniejszej pracy,
- wady powstałe na skutek nieodpowiedniej obróbki mechanicznej tłoków, np. źle dobrane parametry skrawania, niewłaściwe lub zużyte narzędzia skrawające, duże opory skrawania.

Z rysunku 2.22 wynika, że spośród 15 najczęściej występujących wad odlewów tłoków, do tych, które są spowodowane nieodpowiednią obróbką mechaniczną tłoków można zaliczyć:

- nieodpowiednia średnica tzw. płaszczka tłoka (boczna powierzchnia) - wada nr 1,
- złe zamocowanie tłoka podczas kolejnych etapów obróbki skrawaniem - wada nr 5,
- nieodpowiednia średnica otworu pod sworzeń - wada nr 7,
- nieodpowiedni wymiar tzw. komory kompresyjnej tłoka - wada nr 8,
- nieprawidłowa średnica kanału chłodzącego górną powierzchnię tłoka - wada nr 13,
- nieprawidłowa głębokość kanału chłodzącego górną powierzchnię tłoka - wada nr 15.

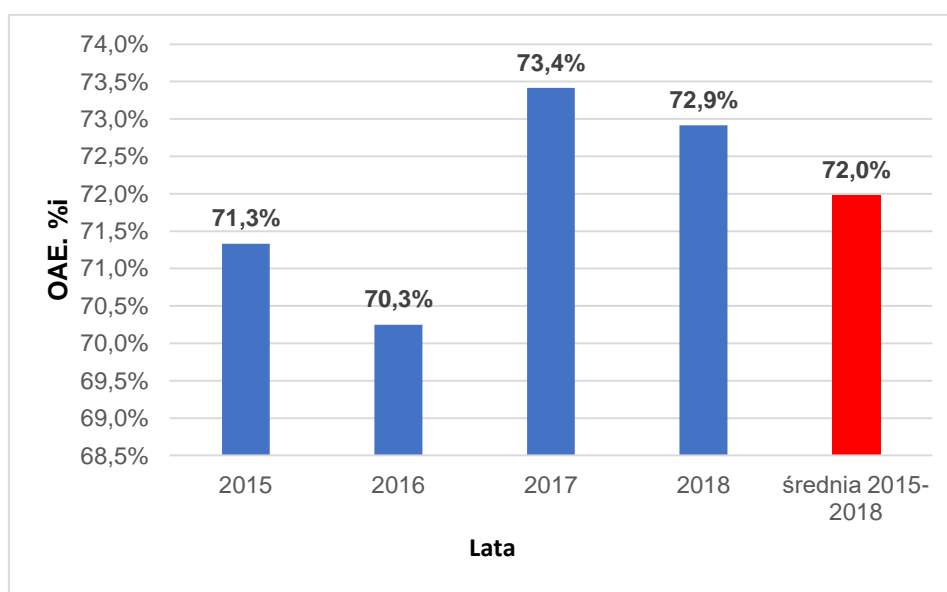
A więc prawie połowa wszystkich wad (6 spośród 15 - rys.2.22) jest generowana na skutek nieprawidłowej obróbki mechanicznej tłoków. Jeśli do tego doliczyć dodatkowe wady (nie ujęte na rys.2.22) wynikające np. z błędów ludzkich i złego zarządzania procesem obróbki skrawaniem, można stwierdzić, iż poprawa tego etapu produkcji tłoków jest w pełni zasadna.

Przykłady najczęściej występujących wad materiałowych w odlewach tłoków silnikowych w F-M Gorzyce przedstawiono na rysunku 2.23.

Widok wady	Nazwa wady	Przyczyna powstania
	Pęcherz gazowy pod wkładką żeliwną. Na zdjęciu wyraźnie widać, że wkładka jest pokryta materiałem AS9.	Nieprawidłowy (turbulentny) przepływ stopu odlewniczego do kokili
	Pęknięcie pomiędzy kanałem chłodzącym a wkładką żeliwną wywołane poprzez porowatość, typowa wada w tej strefie – rysa to miejscowe połączenie kanału z tyłem wkładki	Dla porowatości brak zasilania tej strefy odlewu ze względu na złą preparację czaszy bądź zbyt mały nadlew. Dla rysy brak bądź zbyt mały przepływ argonu, spadek temperatury rdzeni solnych, zawilgocony rdzeń solny, niesprawny układ odsysania, zbyt wolna prędkość wypełniania formy odlewniczej ciekłym stopem, wada powierzchni rdzeni solnych.
	Przesunięcie wkładki względem osi pionowej tłoka	Złe ustawienie chwytaka robota, źle założona wkładka przez operatora, źle ustawione bądź zużyte podpory wkładki ograniczające położenie radialne w kokili.
	Pęcherz przy wkładce żeliwnej	To samo co w pierwszym przykładzie. Charakterystyczne jest to, że wady wynikające z układu wlewowego są umiejscowione od strony układu wlewowego, od dołu wkładki i odsunięte od osi wlewu do ok 15°.
	Tlenki	Tzw. „stary tlenek” czyli ze ścianki tygla jakimś sposobem dostarczony przez łyżkę do wnętrza formy. Zwykle w odlewnie znajduje się w wyniku nieprawidłowego zgarnięcia tlenków z lustra metalu w piecu podgrzewczym.
	Niespaw, niedolew	Zbyt niska temperatura kokili, stopu odlewniczego bądź nieprawidłowa preparacja formy odlewniczej, naklejenie obcego materiału, zbyt wolna prędkość wypełniania formy odlewniczej ciekłym stopem.

Rys.2.23. Przykłady najczęściej występujących wad odlewniczych tłoków silnikowych (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Jednym z ważnych wskaźników KPI dla zakładu F-M Gorzyce i korporacji TENNECO jest OAE (Overall Asset Effectiveness) czyli ogólna efektywność aktywów. Zastany wskaźnik nie spełniał oczekiwań z uwagi na jego poziom oraz brak precyzyjnych i dokładnych przyczyn strat (dane zbierane i zapisywane manualnie przez operatorów). Występowały liczne przypadki błędnie obliczanych wskaźników oraz pomyłek dotyczących liczby wykonanych tłoków w jednostce czasu. Wartości wskaźnika OAE w latach od 2015 do 2018 oraz średnią za analizowany okres przedstawiono na rysunku 2.24.



Rys.2.24. Wskaźnik OAE w latach od 2015 do 2018 i średnia za ten okres (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Z analizy danych zamieszczonych na rysunku 2.24 wynika, że w latach 2015 do 2018 F-M Gorzyce wykazał się dość niską efektywnością, nie osiągając minimalnej wartości wskaźnika OAE na poziomie 75%. Poza tym procesy produkcji nie są ustabilizowane, co uwidocznione jest poprzez wzrosty i spadki wskaźnika OAE.

Obserwując tak niskie wartości wskaźnika OAE zespół lean zaczął poszukiwać przyczyn tego zjawiska. W związku z tym, został sporządzony wykres Pareto-Lorenza przyczyn typów strat. Na osi rzędnych umieszczono tzw. czas stracony, który obliczono wg wzoru:

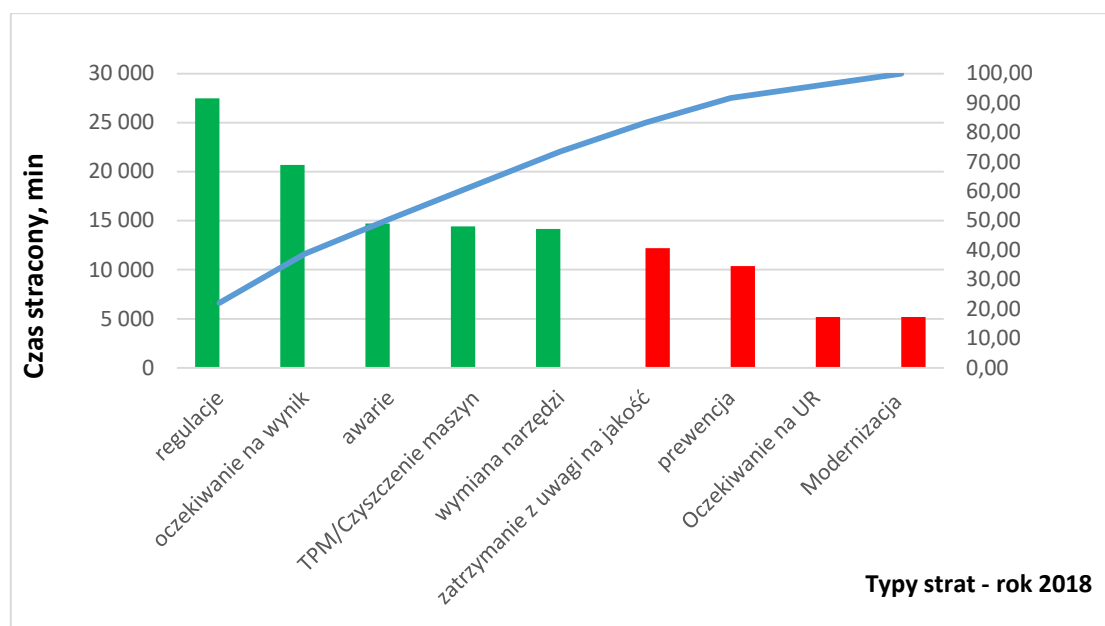
$$\text{czas stracony} = \text{ilość sztuk} \times \text{czas cyklu [min]}$$

gdzie:

ilość sztuk - to ilość sztuk odlewów straconych z uwagi na różne przyczyny.

Badając przyczyny strat wskaźnika OAE przy pomocy wykresu Pareto-Lorenza (rys. 2.25), na pierwszym miejscu kwalifikują się takie straty jak:

- liczne regulacje maszyn i urządzeń przez operatorów i liderów produkcji,
- czas tracony na oczekiwanie na wyniki jakościowe,
- awarie maszyn i urządzeń,
- czynności związane z obsługą maszyn i wymianą narzędzi skrawających.



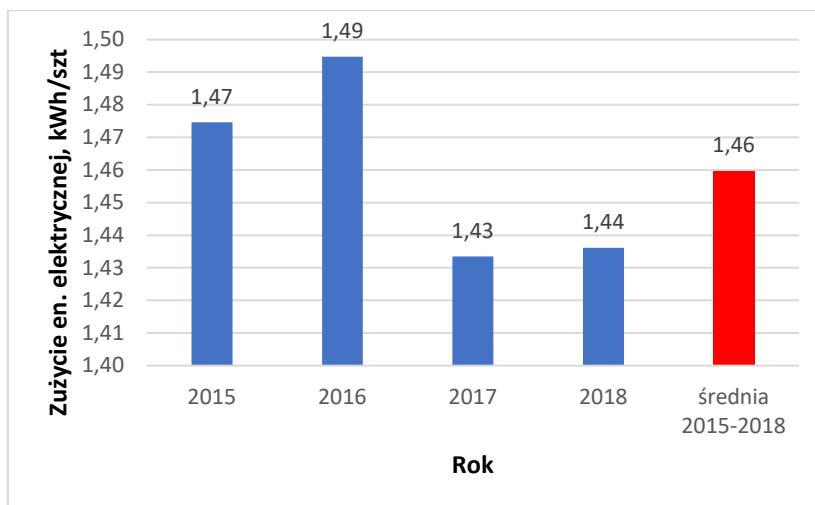
Rys.2.25. Wykres Pareto-Lorenza dla głównych przyczyn strat liczby sztuk odlewów wyprodukowanych w roku 2018 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Analiza największych typów strat wskaźnika OAE wykazała, że:

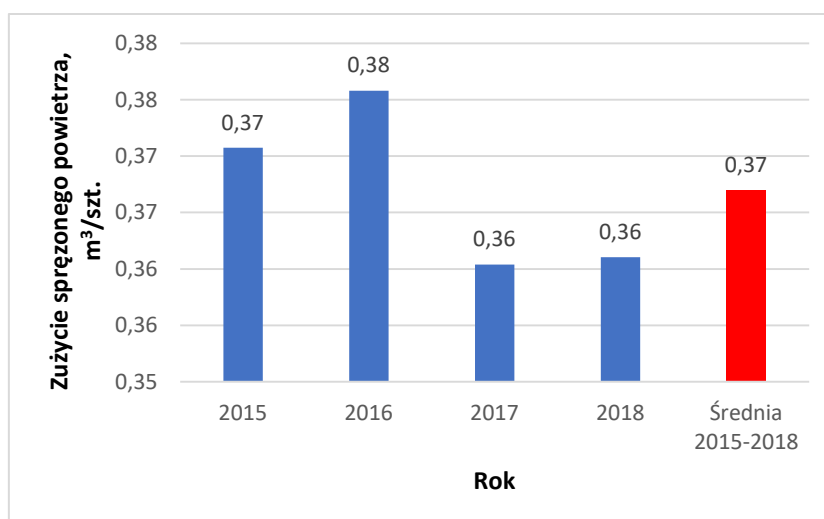
- narzędzia i przyrządy do wykonywania kontroli międzyoperacyjnej tłoków nie były łatwe w obsłudze,
- niektóre urządzania nieniszczące dozoru technicznego (NDT) obróbki tłoków nie wizualizowały dokładnych przyczyn odrzutów wyrobów niezgodnych, co wpływało na błędną ocenę sytuacji i wymuszało niepotrzebne regulacje maszyn obróbczych,
- stwierdzono brak informacji w czasie rzeczywistym o statusie stanu linii produkcyjnej (wskaźnik OAE, cykl linii, ilość sztuk wyprodukowana) oraz o poziomie wybrakowania przekazywanym wydziałom wspierającym tj.: dział inżynieringu, dział jakości, dział utrzymania ruchu, dział logistyki (brak możliwości szybkiego uruchomienia i koordynacji działań naprawczych i doskonalących),
- czas kontroli i pomiarów wyrobów był za długi,
- pracownicy często błędnie odczytywali wyniki pomiarów,
- nie obliczano wskaźników np. C_p , C_{pk} co było równoznaczne z brakiem informacji na temat poprawnego korygowania nastawów maszyn w programach CNC,
- zbyt długo oczekiwano (np. w laboratorium) na wyniki pomiarów dokonywanych poza linią do obróbki mechanicznej tłoków,
- stwierdzono nierównomiernie zbilansowanie pracy załogi,
- awarie maszyn wynikające z braku dyscypliny, wsparcia systemami typu Andon lub predykcyjne utrzymanie ruchu.

Należy zauważyć, że obróbka mechaniczna tłoków jest procesem energochłonnym, dlatego w dalszej części badań wstępnych, analizie poddano kontrolę i ciągłą optymalizację zużycia mediów podczas obróbki mechanicznej (produkcji) tłoków takich jak: energia elektryczna, sprężone powietrze oraz woda. Zmieniające się z roku na rok ceny tych mediów technicznych wpływają na wielkość marży z uwagi na rosnący ich udział w całości kosztów wytworzenia.

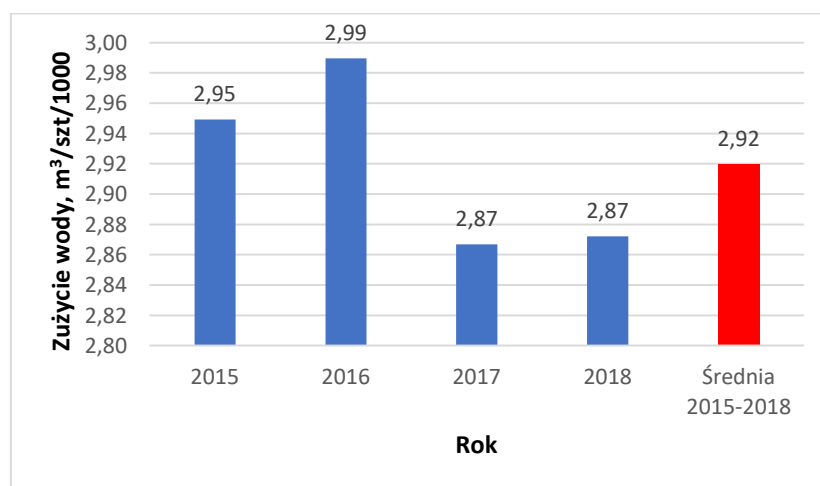
Zużycie wyżej wymienionych mediów technicznych w kontekście liczby wyprodukowanych tłoków przedstawiono na rysunkach od 2.26 do 2.28.



Rys.2.26. Wskaźnik zużycia energii elektrycznej, kWh/szt. (własność F-M Gorzyce).



Rys.2.27. Wskaźnik zużycia sprężonego powietrza, m³/szt. (własność F-M Gorzyce).



Rys.2.28. Wskaźnik zużycia wody, m³/szt./1000. (własność F-M Gorzyce).

Ilość zużytego sprężonego powietrza [m^3], wody [m^3] i zużytej energii elektrycznej [kWh] odczytywano raz na dobę z mierników analogowych przez wyznaczonego pracownika z działu głównego energetyka. Następnie dane wprowadzano do arkusza kalkulacyjnego Excel, gdzie obliczano wskaźniki zużycia w przeliczeniu na sztukę odlewu tłoka. Raport po około 6 godz. zapisywany był w ogólnodostępnym folderze do wglądu dla kierownictwa. Zauważono, że większość wskaźników dotyczących zużycia technicznego mediów była 5-10% wyższa od podobnych linii obróbki mechanicznej w F-M Gorzyce. Dane nie zawsze były dostępne na czas, a zwłaszcza cechowały się niską jakością np.:

- mierniki były odczytywane nie zawsze pierwszego dnia miesiąca (zdarzały się przesunięcia z uwagi np. na dzień odczytu przypadający w weekend lub święto),
- pojawiały się często nieczytelne zapisy na raportach ręcznych,
- zdarzały się pomyłki w odczytach liczników,
- dane papierowe ulegały często zabrudzeniu, stąd pomyłki w ich przepisywaniu do Excela,
- występowały pomyłki numerów linii produkcyjnych.

Wszelkie anomalie i usterki wykrywane były z opóźnieniem (raporty o zużyciu mediów dostępne były po ok. 6 do 30 godz. od odczytu) stąd naprawy np. nieszczelności sprężonego powietrza lub wody nie były realizowane na czas. Bieżące kontrole zużycia mediów bazowały na obserwacjach operatora, co często było mało skuteczne i uzależnione od doświadczenia, świadomości i odpowiedzialności pracownika. Niektóre usterki lub miejsca ich wystąpienia były trudne do zdiagnozowania tj. określenie gdzie występuje nieszczelność. Zdarzało się, że urządzenie odczytujące zużycie uległo uszkodzeniu (lub awarii) i przez ten czas nie były prowadzone pomiary zużycia lub odczyty były błędne.

Innym powodem nadmiernego zużycia mediów technicznych, który stwierdzono w wyniku obserwacji było nieproporcjonalne ich zużycie w porównaniu do liczby wyprodukowanych tłoków w danym okresie czasu. Jak stwierdzono było to powiązane z brakiem dyscypliny wśród załogi w zakresie konieczności odłączenia lub wyłączenia zasilania maszyn podczas planowanych dłuższych postojów linii produkcyjnej.

Bardzo duża ilość maszyn i urządzeń do obróbki mechanicznej tłoków i brak odpowiednich narzędzi dążących do osiągnięcia poziomu 4.0 wspomagających pracowników w ich pracy, sprawiała, że zapominano o wykonywaniu określonych w instrukcjach obsługi maszyn czynnościach (wyłącz gdy nie ma pracować).

Zauważono także, że nie wykonuje się żadnych obliczeń korelacyjnych np. współczynnika determinacji R^2) dla zmiennych dotyczących ilości zużytych mediów technicznych lub liczby wyprodukowanych tłoków. Znajomość współczynników regresji i korelacji umożliwiłaby sprawną diagnozę procesu obróbki mechanicznej oraz wprowadzenie skutecznych działań korekcyjnych i usprawniających ten proces.

Statystyczne współczynniki wzajemnych relacji przyczynowo-skutkowych są powszechnie stosowanym narzędziem do mierzenia jakości dopasowania modelu do danych. W kontekście analizy zużycia mediów do wielkości produkcji części, współczynnik R^2 może stanowić miarę stopnia dopasowania modelu liniowego do analizowanych zmiennych. Im jego wartość bliższa jedności, tym lepsze dopasowanie modelu do danych i odwrotnie.

Podsumowując można stwierdzić, iż analizę korelacji i regresji można zastosować do oceny zużycia mediów w relacji do wielkości produkcji części. Obliczone wskaźniki mogą być pomocne w ocenie stopnia zużycia mediów w zależności od wielkości produkcji. Mogą także wskazać siłę i związek zależności między tymi zmiennymi i określić rodzaj modelu (liniowy lub nieliniowy). Jednocześnie wartość R^2 powinna być interpretowana w kontekście specyfiki analizowanych danych oraz celów analizy, ponieważ wartości różnych współczynników R^2 mogą wskazywać na różne stopnie związku między zmiennymi.

2.5. Podsumowanie badań wstępnych - przesłanki do celu i tezy pracy

Jak wynika z przedstawionych badań wstępnych i własnego doświadczenia zawodowego, produkcja odlewów toków jest procesem trudnym i wieloetapowym. Po odlaniu tłoków w tzw. kokilarce i usunięciu elementów układu wlewowego, poddawane one są trudnemu procesowi obróbki mechanicznej, w ramach której uzyskują wymagane kształt oraz wielkość. Złożona budowa zewnętrzna i wewnętrzna oraz obecność w tłoku licznych komponentów, np. tulei miedzianych pod korbówód, żeliwnych wkładek pierścieniowych, kanałów chłodzących, itd. sprawiają, że proces ten musi być realizowany z bardzo dużą dokładnością wymiarową przy zachowaniu narzuconego przez technologię reżimu kolejności wykonywanych czynności, po wykonaniu których tłok poddawany jest koniecznym pomiarom kontrolnym.

Sposób skomplikowania obróbki skrawaniem tłoków i bardzo wąskie tolerancje pasowania sprawiają, że w trakcie tego procesu dochodzi do częstych, niezamierzonych błędów, które powodują wady materiałowe. Wynika to m.in. ze specyfiki technologii obróbki mechanicznej tłoków, złego często stanu obrabiarek i narzędzi skrawających oraz czynnika ludzkiego. Jak wykazano w badaniach wstępnych, błędy podczas obróbki skrawaniem tłoków stanowią prawie połowę wszystkich wad materiałowych i istotnie wpływają na zwiększenie udziału wyrobów wadliwych. Niestety, większość z nich jest identyfikowana dopiero na samym końcu procesu produkcji, gdy tłok jest prawie gotowy, co dodatkowo zwiększa straty finansowe.

Ponadto, technologia obróbki tłoków jest procesem już zoptymalizowanym i ustalonym przy współudziale klienta. Jak wspomniano, jakakolwiek zmiana w tym procesie wymaga szeregu długotrwałych działań, popartych kosztownymi testami, a zwłaszcza akceptacji ze strony kierownictwa najwyższego szczebla.

Z drugiej strony, F-M Gorzyce posiada własną autonomiczność w zakresie możliwości doskonalenia procesów, w tym np. zwiększenia zdolności parku maszynowego i poprawy jego efektywności (np. podczas obróbki mechanicznej) wraz z redukcją kosztów wytwarzania bez obniżenia wymaganej jakości. Własne obserwacje i doświadczenia praktyczne wskazują, że najlepszym obszarem do poszukiwania ewentualnych oszczędności jest np. poprawa metod zarządzania, które cechują się lepszą skutecznością. Poprzez jej zwiększenie rozumie się poprawę najważniejszych kryteriów procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9, tj.:

1. zastąpienie dokumentacji papierowej plikami elektronicznymi z wprowadzeniem analizy bieżących danych o liczbie obrobionych tłoków na każdej maszynie CNC,
2. wprowadzenie międzyoperacyjnej kontroli jakości tłoków przy pomocy nowoczesnych urządzeń kontrolujących parametry jakości o charakterze badań ultrasonograficznych,
3. skrócenie przestojów na linii obróbczej DL9 i usprawnienie pracy operatorów,
4. wprowadzenie statystycznej kontroli jakości z możliwością prognozowania produkcji, celem szybkiej reakcji na ewentualne zmiany trendów rynkowych.

Wprowadzenie powyższych usprawnień na linii obróbczej DL9 z zastosowaniem narzędzi Lean Manufacturing¹, których skuteczność oceniono przy pomocy kluczowych wskaźników efektywności (Key Performance Indicators - KPI) determinowanych poziomem ogólnej efektywności aktywów (Overall Asset Effectiveness - OAE) powinno spowodować:

- zmniejszenie udziału wad z powodu złego zarządzania obróbką mechaniczną tłoków,
- skrócenie czasu realizacji obróbki mechanicznej,
- automatyzację i digitalizację przepływu danych z powszechnym ich dostępem,
- zwiększenie wskaźników OAE, OEE i TEEP,
- zmniejszenie zużycia mediów technicznych.

Z badań wstępnych i doświadczeń praktycznych nabytych podczas wdrażania zasad poziomu 3.0 w F-M Gorzyce wynika również, że jest to proces wymagający indywidualnego podejścia. Dotyczy to także narzędzi lean (i wskaźników produktywności), które aby były skuteczne, wymagają dopasowania do charakteru prowadzonej działalności.

Dodatkowym motywem jest obecna sytuacja dotycząca:

- doświadczenia z okresu pandemii na temat problemów z produkcją i możliwością zarządzania zdalnego na podstawie analizy dużej liczby danych,
- przerwach w łańcuchach dostaw surowców wsadowych do produkcji tłoków,
- rosnących cen mediów technicznych.

Aby skutecznie przejść do wyższego poziomu zarządzania, nie wystarczy tylko wybrać narzędzia lean przeznaczone dla motoryzacji, ale należy umiejętnie je dostosować do realiów wybranego procesu i specyfiki charakteru prowadzonej działalności w przedsiębiorstwie oraz na bieżąco monitorować efektywność już wdrożonych oraz nowych narzędzi poprzez np. wskaźniki produktywności, ciągle je udoskonalając w kierunku przemysłu 4.0.

¹ - choć w literaturze dotyczącej Lean Manufacturing, często zamiennie stosuje się pojęcia „metody” i „narzędzia” Lean Manufacturing, w pracy przyjęto używać określenia narzędzia Lean Manufacturing.

3. CELE, ZAKRES BADAŃ I TEZA

Zmieniające się dynamicznie trendy rynku dostawców dla motoryzacji, globalizacja gospodarki i chęć bycia konkurencyjnym niosą ze sobą konieczność ciągłego doskonalenia funkcjonowania przedsiębiorstw. Realizowane jest to m.in. poprzez usprawnianie starych oraz wdrażanie nowych narzędzi zarządzania tymi procesami, które decydują o rentowności całego podmiotu, a więc o jakości i cenie produktu końcowego. Wpływa na to m.in. odpowiednie planowanie, organizowanie i wykonanie czynności, przez wszystkich pracowników - najpierw danego obszaru, a potem całego przedsiębiorstwa. Pomocną w osiągnięciu zamierzonego celu oraz uzyskaniu najlepszych efektów jest filozofia Lean Manufacturing (LM) prowadząca do „szczupłej” produkcji, która opiera się na trzech, głównych założeniach:

1. nieustannego eliminowania strat i nieprawidłowości (procesowych oraz produktowych),
2. oszczędnego zaangażowania zasobów (materiałowych, ludzkich i energetycznych),
3. ciągłego doskonalenia narzędzi już wdrożonych dążąc do osiągnięcia jeszcze lepszych wyników.

3.1. Cel naukowy i użyteczny badań

Długoletnia obserwacja procesów produkcji realizowanych w warunkach przemysłowych, własne doświadczenia zawodowe i przedstawione badania wstępne, pozwoliły przyjąć, że:

Celem naukowym badań jest zastosowanie dobranych narzędzi Lean Manufacturing, służących do optymalizacji procesów obróbki mechanicznej tłoków, które ocenione wybranymi wskaźnikami KPI (OAE; OEE i TEEP), spowodują zwiększenie zdolności wytwórczych i poprawę efektywności linii produkcyjnej oraz zmniejszenie poziomu wyrobów wadliwych.

Poprzez **produktywność** danego procesu rozumie się iloraz wytworzonych i sprzedanych odlewów toków do liczby wykorzystanych lub zużytych zasobów wejściowych w określonym przedziale czasu. Zasoby wejściowe to czynniki zasilające dany proces, które są zużywane do wytworzenia końcowego produktu. W przypadku obróbki mechanicznej tłoków, tymi zasobami są głównie media techniczne - energia elektryczna, woda oraz sprężone powietrze. Produktywność uważana jest m.in. za kluczowe źródło konkurencyjności.

Efektywność to iloraz wytworzonej wartości do wykorzystanych zasobów. To inaczej, wynik podjętych działań, opisany porównaniem uzyskanych efektów, np. zwiększenie sprzedaży lub uzysku, zmniejszenie ilości produktów wybrakowanych, do poniesionych kosztów (nakładów). Efektywność to inaczej najlepsze efekty produkcji, dystrybucji, itp. Efektywność to dążenie do jak najmniejszego wykorzystania zasobów, jednak tą najważniejszą wartością jest sam efekt i jego jakość, która domyślnie ma być najlepsza.

Efektywności nie należy utożsamiać z wydajnością.

Wydajność to najczęściej iloraz ilości wytworzonego dobra do czasu potrzebnego na jego wytworzenie. To wskaźnik pokazujący możliwości organizacji, zaangażowanie pracowników, efektywność przyjętych metod czy systemów itd. Wydajność jest miarą oceny zdolności osiągnięcia wyników przy wykorzystaniu minimalnego poziomu nakładów.

Dla zrealizowania celu naukowego, przyjęto następujące cele szczegółowe:

1. zastąpienie papierowych kart kontrolnych typu X-R elektronicznym systemem SPC (wraz z wskaźnikami C_p i C_{pk}) z możliwością pełnego dostępu w cyberprzestrzeni,
2. poprawa międzyoperacyjnej kontroli jakości i detekcji wad materiałowych w odlewach tłoków poprzez wprowadzenie nowego urządzenia US2D z informacyjnym sprzężeniem elektronicznej wymiany danych z obrabiarek CNC na linii DL9,
3. wprowadzenie bieżącej wizualizacji wielkości produkcji (tzw. „spływów”) poprzez zastosowanie elektronicznych czytników na każdej maszynie obróbczej linii DL9. Poprawa integracji pomiędzy działami produkcji i informacji przemysłowych,
4. wdrożenie autorskiego systemu Andon do poprawy efektywności (zdolności) linii DL9,
5. wprowadzenie elektronicznej wymiany danych odnośnie zużycia mediów technicznych na linii DL9 i bieżąca ich kontrola w cyberprzestrzeni.

Zrealizowanie wyżej wymienionych celów spowoduje poprawę funkcjonalności systemów współpracujących jednostek obliczeniowych (CPS), które w połączeniu z otaczającym środowiskiem cyberprzestrzeni i transmisją (przetwarzaniem) danych w internecie spowodują uzyskanie wyższego poziomu integracji i koordynacji (poziomu 4.0) pomiędzy elementami fizycznymi i obliczeniowymi w obszarze obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9.

Ponieważ problem badawczy został zgłoszony przez F-M Gorzyce, w związku z powyższym, oprócz celu naukowego sformułowano również cel użyteczny:

Wskazanie pożądanych kierunków zmian organizacyjnych linii do obróbki mechanicznej odlewów tłoków przyczyni się do zmniejszenia zużycia głównych mediów technicznych tego procesu, tj.: energii elektrycznej, sprężonego powietrza i wody.

Uzyskanie pozytywnych rezultatów oszczędnościowych pozwoli na wdrożenie rozwiązań organizacyjnych do pozostałych 38 linii obróbki mechanicznej tłoków w F-M Gorzyce.

Dla zrealizowania określonych celów pracy przyjęto następujący jej zakres:

1. Przeprowadzenie badań empirycznych wybranej linii do obróbki mechanicznej tłoków pod kątem możliwości poprawy jej funkcjonowania i zwiększenia stopnia wykrywalności wad odlewów przy pomocy analizy Pareto-Lorenza.
2. Identyfikacja i metodologia wybranych narzędzi Lean Manufacturing (LM) mogących mieć wpływ na poprawę efektywności procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków.
3. Analiza i dobór narzędzi Lean Manufacturing, w zależności od rozwiązywanego problemu poprawy produktywności zarządzania procesem obróbki mechanicznej tłoków.
4. Zaproponowane usprawnienia w procesie obróbki mechanicznej tłoków (szkolenia, sposoby wizualizacji, warsztaty Kaizen,) zostaną zaimplementowane do pozostałych oddziałów obróbki skrawaniem odlewów tłoków w spółce F-M Gorzyce.

Zamierzeniem pracy doktorskiej jest ocena obecnego sposobu zarządzania obróbką mechaniczną tłoków w F-M Gorzyce i zastosowanie odpowiednich narzędzi LM do poprawy zarządzania procesem, ograniczenia wadliwości odlewów i zmniejszenia zużycia mediów przy ich produkcji. Sposób wdrożenia, przestrzeganie oraz ciągła poprawa narzędzi „leanowskich” jest warunkiem efektywnej produkcji.

W pracy konieczne było zbadanie aktualnej sytuacji pod kątem odpowiedniego doboru, ale również stosowania już istniejących narzędzi zarządzania zgodnych z koncepcją Lean (np.: diagram Pareto-Lorenza, wykres Ishikawy, Kanban, Kaizen, SPC) w przedsiębiorstwach produkujących komponenty dla motoryzacji.

Problem pracy dotyczy więc:

- wyboru narzędzi zgodnych z koncepcją Lean Manufacturing dla producentów części zamiennych dedykowanych dla przemysłu samochodowego (tzw. OEM-ów),
- skutecznego ich dopasowania do realiów przedsiębiorstwa (np. system Andon),
- ujednolicenia i opracowania metod elektronicznej wymiany informacji (dotyczących np. kontroli jakości tłoków, detekcji wad, wielkości spływów, zużycia mediów technicznych) i stałej ich dostępności w przestrzeni cyberfizycznej z uwzględnieniem możliwości IoT,
- weryfikacji skuteczności wdrożonych narzędzi LM w F-M Gorzyce metodą ilościową uzyskana przy pomocy analizy wskaźników KPI (OAE; OEE i TEEP).

Z własnego doświadczenia zawodowego Autora pracy wynika, że wiele narzędzi LM nie jest wykorzystywanych w sposób skuteczny, a wiedza pracowników o ich wpływie na jakość wyrobu (procesu) jest niewystarczająca. Decydują o tym m.in. brak szkoleń z technik rozwiązywania problemów, brak rozumienia potrzeb zmian, nieodpowiedni sposób motywacji i komunikacji, brak douczania się i wymiany informacji pomiędzy pracownikami. W związku z tym każde z zaproponowanych rozwiązań ustalono na podstawie własnych obserwacji, opinii ekspertów i tzw. „burzy mózgów” z liderami produkcji, weryfikując empirycznie postawiony problem wyboru najskuteczniejszych narzędzi zgodnych z koncepcją Lean Manufacturing. Zastosowano metodę typu „desk research”, czyli badanie źródeł zastanych. Należy zaznaczyć, że kryterium skuteczności zastosowanych narzędzi LM to:

- zwiększenie liczby produkowanych odlewów tłoków (spływów),
- lepsza wykrywalność wad, a więc zmniejszenie udziału wyrobów wadliwych,
- zwiększenie wartości wskaźników (OAE; OEE i TEEP),
- możliwość reagowania na zmienne trendy rynkowe przy pomocy metod prognostycznych.

Uzasadnieniem zaproponowanych narzędzi LM było:

- przychylność ośrodka naukowo-badawczego F-M Gorzyce w Norymberdze, jako naczelnego organu weryfikującego wdrażanie wszelkich zmian organizacyjnych,
- prostota wdrożenia na każdym poziomie organizacji produkcji tłoków,
- jasny sposób przekazania informacji na temat wdrożonego rozwiązania,
- możliwie jak najniższe nakłady finansowe na wdrażanie zaproponowanych usprawnień,
- korzyści ekonomiczne w relatywnie krótkim horyzoncie czasowym.

3.2. Teza pracy

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji w ramach badań wstępnych oraz analizy literatury przedmiotu sformułowano następującą tezę pracy:

Spersonalizowane narzędzia lean, zweryfikowane wskaźnikami produktywności KPI, pozwolą na usprawnienie procesu obróbki mechanicznej tłoków poprzez ograniczenie wszelkiego marnotrawstwa i uzyskanie wyrobów o najwyższej jakości.

Elementem nowości, nie mającym odniesienia literaturowego (lub ograniczonego zakresu) jest próba wykazania, że jednymi z najważniejszych wyzwań technicznych dla produkcyjnych zakładów przemysłowych w dążeniu do zbliżenia się do poziomu 4.0 są:

- integracja i koordynacja wyselekcjonowanych narzędzi LM o odpowiedniej infrastrukturze cyberfizycznej,
- konieczność skalowalności pomiarów wszystkich obiektów fizycznych, w tym metod kontroli jakości wyrobów wraz z ich elektronicznym obiegiem informacji,
- wdrożenie bieżącej komunikacji typu maszyna-maszyna na linii DL9 oraz
- opracowanie baz danych o dużych rozmiarach oraz możliwość ich dostępności i analizy przez powołane do tego osoby wykorzystując nowoczesne, wirtualne narzędzia CPS i IoT do pracy „w chmurze”.

Praca wyróżnia się również tym, że wszystkie przyjęte rozwiązania usprawniające proces obróbki mechanicznej odlewów tłoków zostały zweryfikowane w warunkach ciągłej produkcji przemysłowej w F-M Gorzyce.

Opracowane metody są na etapie implementacji do pozostałych 38 linii do obróbki skrawaniem tłoków, a wyselekcjonowany charakter tych rozwiązań pozwala na ich wdrożenie do innych zakładów korporacji Tenneco o podobnym profilu działalności i skali produkcji.

4. KONCEPCJA PRACY

4.1. Plan badań

Badania zmierzające do usprawnienia metod zarządzania procesem obróbki mechanicznej odlewów tłoków na przykładzie linii DL9 zaplanowano w następujących etapach:

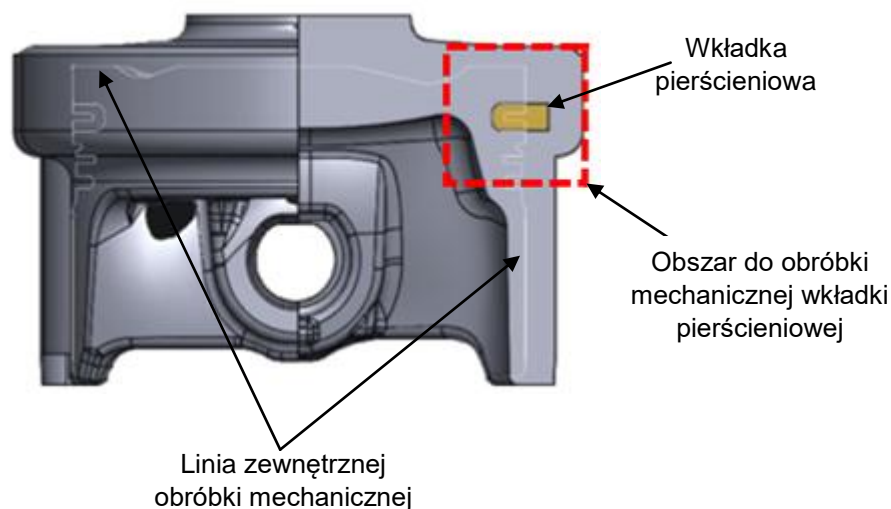
1. Badania wstępne - wskazanie potencjalnych obszarów poprawy narzędzi zarządzania obróbką mechaniczną tłoków i sposobów ich wdrożenia przy uwzględnieniu kompromisu między ograniczeniami „korporacyjnymi”, a własną polityką zarządzania – identyfikacja problemu.
2. Sformułowanie celów, zakresu badań i tezy - koncepcja pracy.
3. Wytypowanie obiektu badań zasadniczych - linii do obróbki mechanicznej odlewów tłoków, tzw. linii DL9.
4. Badania zasadnicze - dobór, spełniających wybrane kryteria, narzędzi Lean Manufacturing oraz ich weryfikacja w warunkach produkcji przemysłowej pod kątem:
 - przydatności przy pomocy niefinansowych ilościowych wskaźników efektywności KPI,
 - korzyści z oszczędności w zużyciu mediów technicznych z wdrożonych metod.
5. Podsumowanie, wnioski i zalecenia technologiczne.

4.2. Miejsce i obiekt badań

Do przeprowadzenia badań wybrano linię DL9, jako reprezentatywną linię do obróbki mechanicznej odlewów tłoków silników spalinowych w F-M Gorzyce.

Schemat linii DL9 przedstawiono w załączniku nr 1.

Obiektem badań był tłok do benzynowych silników VW 1.0L (rys.2.1.a). Poglądowy widok tłoka wraz z linią wyznaczającą zarys obróbki skrawaniem przedstawiono na rysunku 4.1.

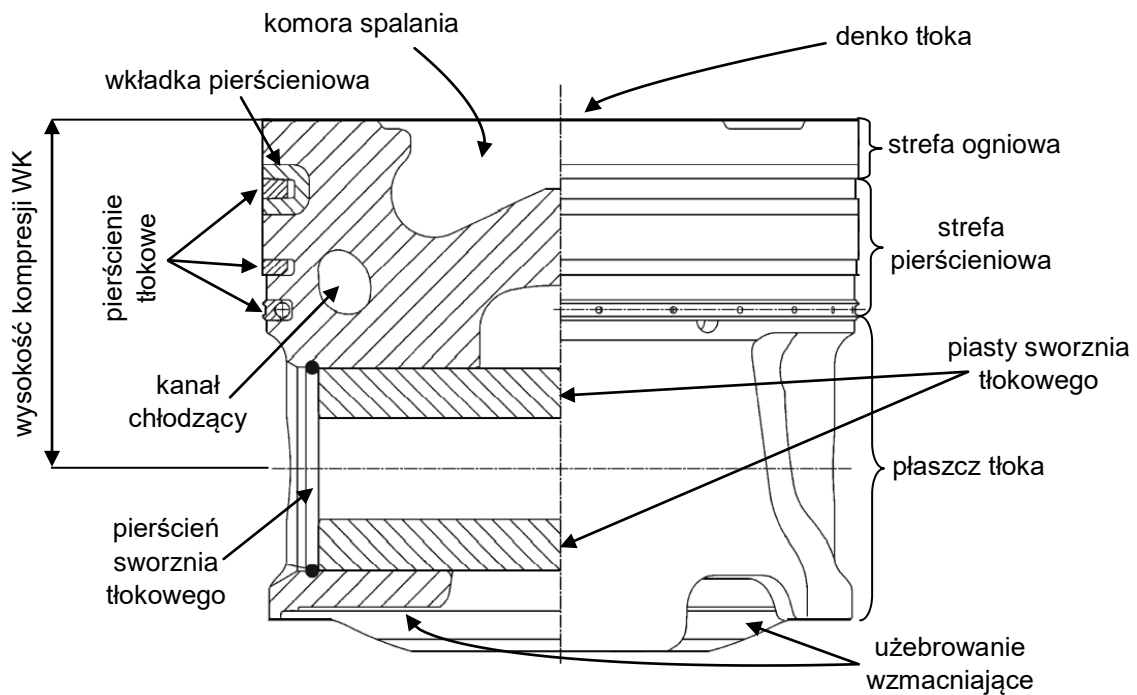


Rys.4.1. Widok poglądowy odlewu tłoka w zaznaczonej linii obróbki mechanicznej.

Ponieważ w pracy pojawiają się pojęcia dotyczące budowy tłoka, poniżej przedstawiono najważniejsze części z jego budowy, które przedstawiono na rysunkach 4.2 i 4.3.

W zależności od rodzaju silnika spalinowego, wyróżnia się różne rodzaje tłoków, które składają się z wielu elementów. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

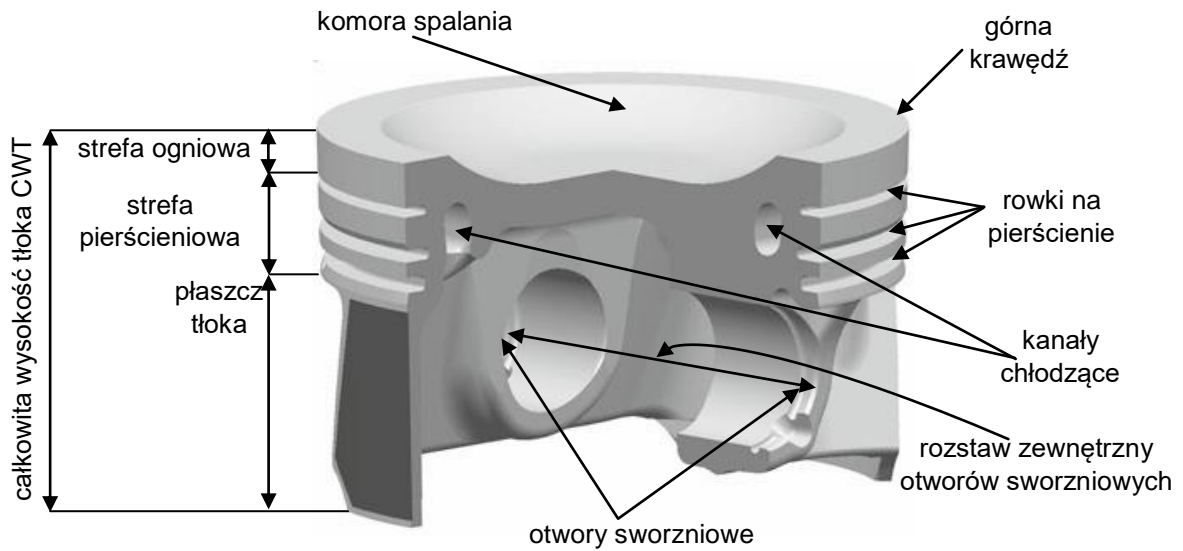
- denko tłoka, w którym mieści się komora spalania o różnym kształcie i wymiarach,
- część pierścieniowa z tzw. „strefą ogniową”, czasem zwaną progiem ogniowym oraz wkładkami (nośnikami) pierścieniowymi. Próg ogniowy ogranicza możliwość dotarcia płomienia powstałego w procesie spalania do pierścieni tłokowych,
- płaszcz (korpus) tłoka, tzw. część „prowadząca”, „wodząca” lub „nośna”, której zadaniem jest utrzymanie tłoka we właściwym położeniu w cylindrze i równoczesne przekazanie bocznego nacisku tłoka na wewnętrzne ścianki cylindra,
- piasta sworznia tłokowego,
- uźebrowanie wzmacniające, które ma za zadanie uzyskanie właściwej wytrzymałości oraz sztywności podczas pracy tłoka w cylindrze,
- system kanałów chłodzących i odprowadzających nadmiar oleju.



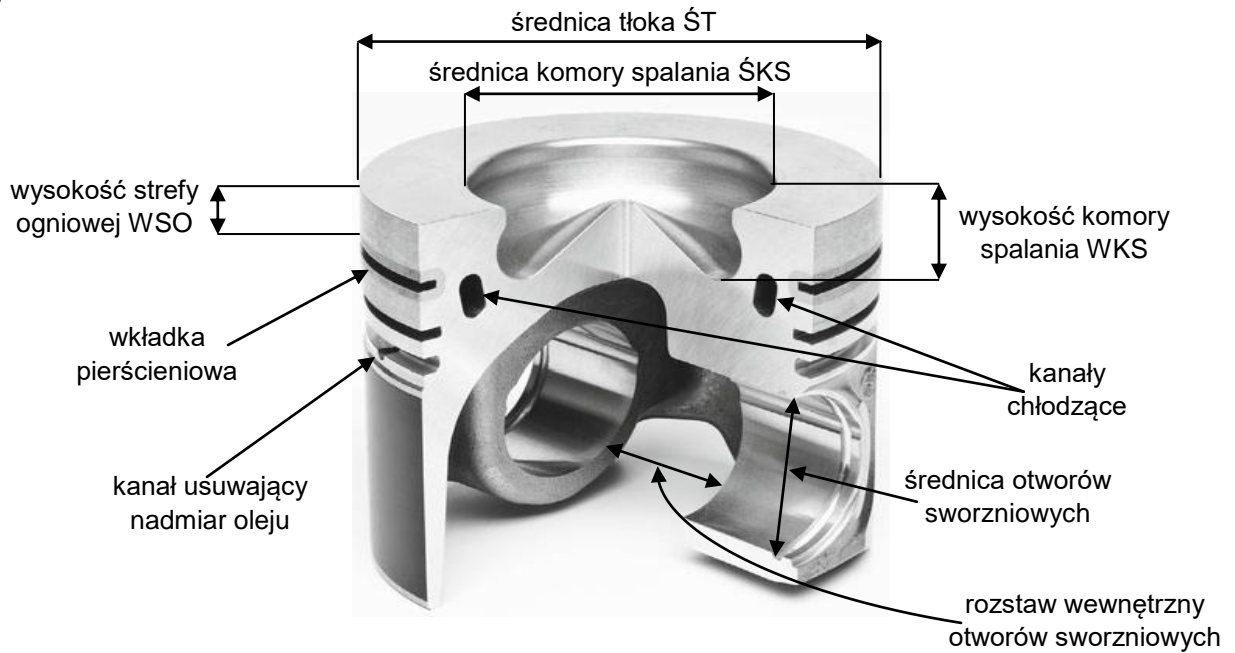
Rys.4.2. Półwidok-półprzekrój tłoka z charakterystycznymi elementami budowy zewnętrznej i wewnętrznej (materiały F-M Gorzyce).

W strefie pierścieniowej znajdują się pierścienie tłokowe (zwykle od 2 do 4), których zadaniem jest m.in. uszczelnienie wszelkich gazów, powstałych na skutek spalania mieszanki paliwa i powietrza, przed przedostaniem się do dolnej części tłoka i do skrzyni korbowej. Aby to osiągnąć, pierścień musi być dopasowany do kształtu wewnętrznej gładzi cylindra wzdłuż całej swej średnicy i szerokości.

a)



b)



Rys.4.3. Główne elementy tłoka i ich nazwy: a) do silnika benzynowego; b) do silnika Diesla (opracowano na podstawie materiałów Federal-Mogul Gorzyce).

5. BADANIA ZASADNICZE

5.1. Mapowanie strumienia wartości (VSM) linii obróbczej DL9

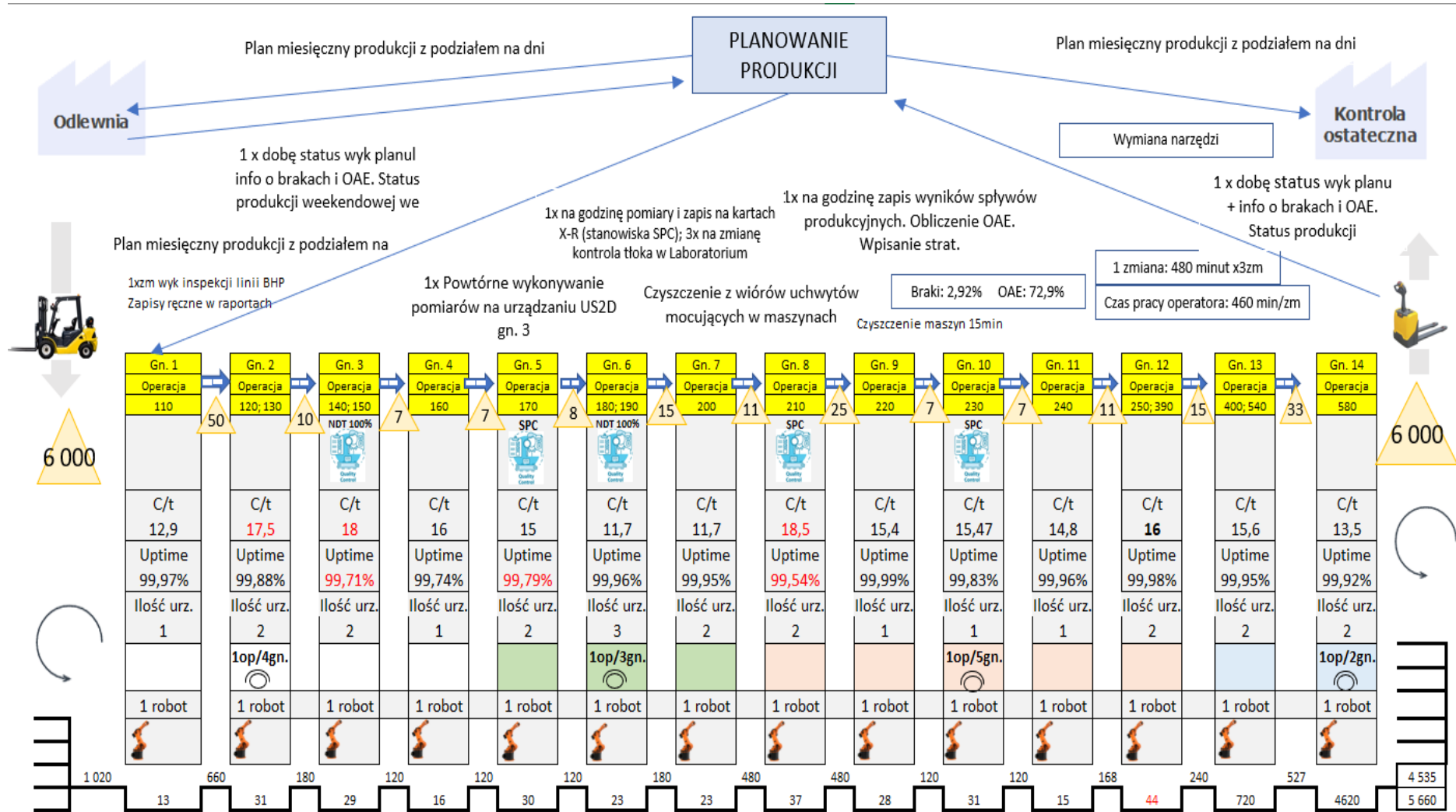
Jak wykazano w badaniach wstępnych, z uwagi na zwiększenie zapotrzebowania na tłoki do silników spalinowych 1.0L, zaistniała konieczność poprawy zdolności technicznej linii do obróbki mechanicznej odlewów tłoków (linii DL9). W związku z tym, zgodnie z zaleceniami teoretycznymi w pierwszym etapie powołano zespół Lean pod przewodnictwem autora pracy (Lider Lean). Oprócz tego, w skład zespołu weszli:

1. Dyrektor finansowy Komitet Sterujący.
2. Kierownik Techniczny Komitet Sterujący.
3. Kierownik Produkcji Komitet Sterujący.
4. Kierownik ds. Jakości.
5. Kierownik utrzymania ruchu (dział UR).
6. Kierownik ds. Ciągłego Doskonalenia.
7. Kierownik/Główny Energetyk.
8. Specjalista ds. technologii informatycznych (Dział IT).
9. Specjalista Technolog.
10. Specjaliści ds. programowania maszyn CNC i robotów oraz logistyki.
11. Lider linii produkcyjnej.

I ETAP VSM (rys.5.1)

Zespół Lean zebrał potrzebne dane (tzw. „data boxes”) dotyczące linii produkcyjnej DL9, z których najważniejsze to:

- Liczba pracowników/operatorów w procesie: 4.
- Liczba pracowników dedykowana do DL9: 16 (4op. x 4 brygady).
- System pracy: 2 dni zmiana nr 1; 2 dni zmiana nr 2, 2 dni zmiana nr 3; 2 dni wolne.
- Czas przerwy dla operatorów na zmianie: 900s (15min).
- Czas procesowania jednostki (wyrobu): 10 195s.
- Suma czasów czynności wartości dodanej (Value Added -VA): 5 660s.
- Suma czasów czynności nie tworzących wartości (NVA): 4 535s.
- Czas cyklu linii produkcyjnej (wąskie gardło procesu obróbki): 18,5s.
- Wskaźnik zbilansowania cykli maszynowych w linii DL9: 82%.
- Produkcja zmianowa (7 dni w tygodniu, 24 godziny na dobę, 3zmiany).
- Poziom tłoków nie spełniających wymagań klienta (braków): 2,92%.
- Dyspozycyjność (uptime) dla poszczególnych gniazd produkcyjnych: ciągła.
- Wskaźnik OAE: 72,9%.
- Zdolność produkcyjna linii w 2018: 1,188 mln szt./r.
- Zapasy w toku procesu (Work in Process - WIP) dla całej linii DL9: 12 548 szt.
- WIP pomiędzy gniazdami (ilość sztuk tłoków).
- Planowana sprzedaż: 2019-2020: 1,20 mln szt./r.
2021: 1,25 mln szt./r.
2022: 1,30 mln szt./r.
2023: 1,38 mln szt./r.
2024: 1,35 mln szt./r.



Rys.5.1. Mapowanie strumienia wartości VSM dla linii DL9 – pierwszy etap.

II ETAP VSM

W kolejnym etapie mapowania strumienia wartości zestawiono tzw. czynności poboczne procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9.

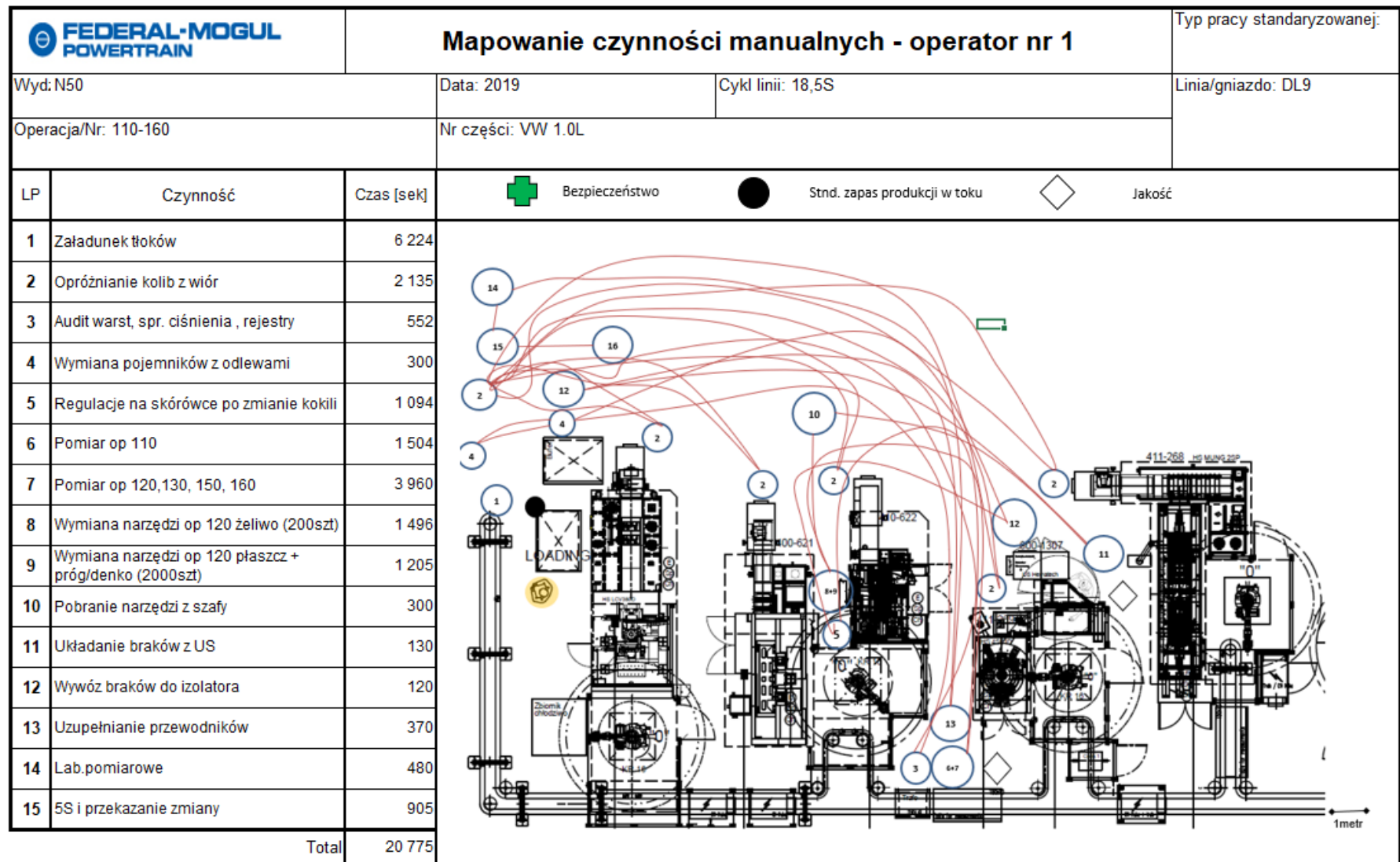
Do głównych z nich należą:

1. Przeliczanie przez operatora co godzinę wykonanych sztuk i ich ręczny zapis na tablicy (tzw. spływów). Ręczne obliczanie wskaźnika OAE. Wpisywanie przyczyn przestojów linii/strat.
2. Zapisywanie przez operatora wyników pomiarów na stanowiskach, gdzie wymagane jest stosowanie statystycznego sterowania procesem (z ang. Statistical Process Control - SPC). Obliczanie rozstępu (R) w kartach kontrolnych typu X-R.
3. Wymiana metalowych koszy napełnionych wiórami z obróbki skrawaniem tłoków.
4. Zgłoszenia telefoniczne do utrzymania ruchu w przypadku wystąpienia awarii i usterek.
5. Napełnianie olejów do zbiorników hydraulicznych i układów smarujących maszyny.
6. Zgłoszenia telefoniczne do komórki transportu wewnętrznego celem dowozu i odbioru materiałów.
7. Regulacje, obsługa dwóch urządzeń do 100% badań tłoków metodami nieniszczącymi (z ang. Non-Destructive Methods - NDT) i opis typów wad wykrytych przez urządzenia kontrolne.
8. Wymiana narzędzi do obróbki skrawaniem.
9. Załadunek i rozładunek materiałów (odlewy na pierwszą operację i tłoki gotowe do opakowań zbiorczych po końcowych czynnościach sprawdzenia ich jakości).
10. Transport, zgłoszenie i odbiór tłoków z laboratorium (kontrola parametrów wykonywana na specjalnych urządzeniach poza linią do obróbki mechanicznej).

Czynności powyższe naniesiono na layout mapowania czynność manualnych operatorów pracujących na jednej zmianie linii DL9 i przedstawiono na rysunkach:

- 5.2. - mapowanie czynności manualnych dla operatora nr 1 w linii DL9,
- 5.3. - pomiar czasu pracy czterech operatorów w trakcie jednej zmiany produkcyjnej na linii DL,
- 5.4. - mapowanie czynności manualnych w linii DL9. Wykres Yamazumi¹ obciążenia pracą dla czterech operatorów linii DL9.

¹ - wykres Yamazumi to wykres słupkowy, który służy jako pośrednie narzędzie do równoważenia obciążenia linii produkcyjnych. Może on również wspierać balansowanie pracy operatorów. Zestawia ze sobą dane odnoszące się do taktu klienta oraz czasy poszczególnych operacji na stanowisku. Graficzna forma obciążenia gniazd/linii pozwala na intuicyjną ocenę oraz większą elastyczność działania (w tym możliwość eliminacji wąskich gardeł). Wspiera również określanie zasobów potrzebnych w procesie wytwórczym oraz wpływa na redukcję zapasów międzyoperacyjnych (WIP). <https://aplikacjelean.pl/yamazumi/>



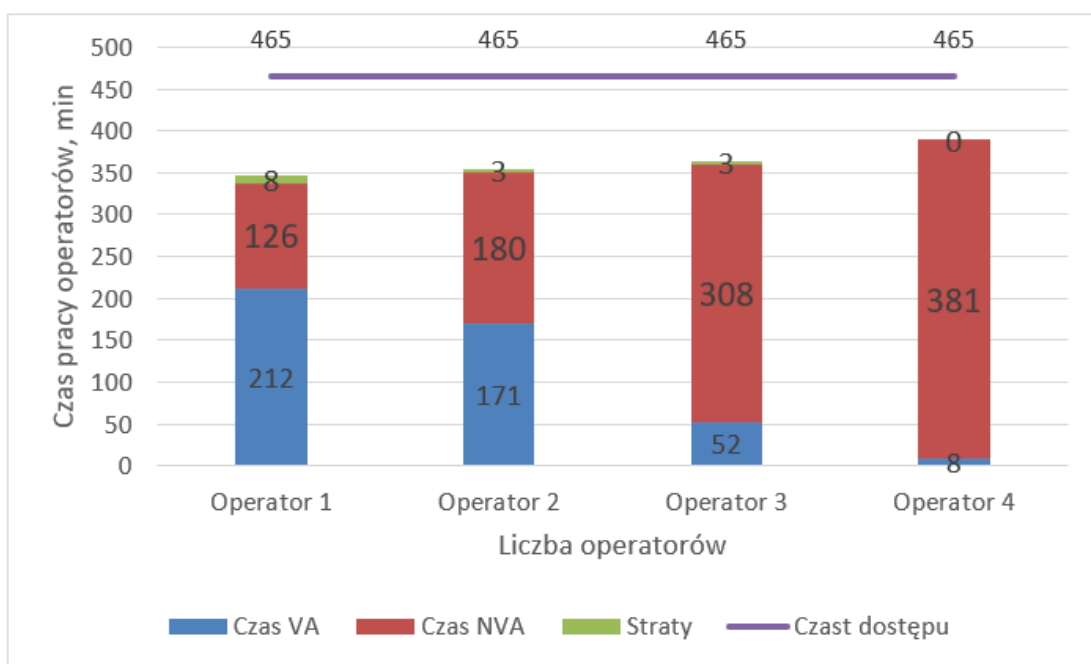
Rys.5.2. Mapowanie czynności manualnych dla operatora nr 1 w linii DL9.

POMIAR CZASU PRACY OPERATORÓW OBRÓBKI MECHANICZNEJ LINII DL9

Yamazumi

							Czas pracy op. 1 zm [min]	g
							486	
		A	B	C	D=B+C	E=A*D	F=E/60	H=F/G
		Stł czas			Wymagany czas			
Czynność	Liczba czynności na zm	Czas czynności (1 cykl)	Przejście (1 Cykl)	Razem czas (1cykl)	s/zm.	Min/zm	Wymagana ilość operatorów	
Operator 1	Załadunek tłoków	1556	4		4	6224	104	0,22
	Opróżnianie kolib z wiór	7	270	35	305	2135	38	0,08
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	1	540	12	552	552	9	0,02
	Wymiana pojemników z odlewami	1	240	60	300	300	5	0,01
	Regulacje na skórowce po zmianie	2	540	7	547	1094	18	0,04
	Pomiar op 110	8	180	8	188	1504	25	0,05
	Pomiar op 120,130, 150, 160	8	480	15	495	3960	66	0,14
	Wymiana narzędzi op 120 żeliwo	8	180	7	187	1496	25	0,05
	Wymiana narzędzi op 120 płaszcz + próg/denko (2000szt)	1	1200	5	1205	1205	20	0,04
	Pobranie narzędzi z wózka	2	120	30	150	300	5	0,01
	Układanie braków z US	2	60	5	65	130	2	0,00
	Wywóz braków do izolatora	1	20	100	120	120	2	0,00
	Uzupełnianie przewodników	2	180	5	185	370	6	0,01
	Lab.pomiarowe	1	3	477	480	480	8	0,02
5S i przekazanie zmiany	1	900	5	905	905	15	0,03	
Wymagana ilość operatorów								0,74
Operator 2	Opróżnianie kolib z wiór	2	200	53	253	506	8	0,02
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	1	444	21	465	465	8	0,02
	Pomiar oper 150	8	294	6	300	2400	40	0,09
	Pomiar oper 160	8	125	7	132	1056	18	0,04
	Pomiar oper 170	8	510	6	516	4128	69	0,15
	Pomiar oper 180	8	120	8	128	1024	17	0,04
	Wymiana narzędzi op 170 żeliwo (200szt)(pomiar;korekta;rejestr)	8	1156	3	1159	9272	155	0,33
	Pomiar oper 150 symetryczność po	1	266	5	271	271	5	0,01
	Czyszczenie sita - wiertarka	1	280	4	284	284	5	0,01
	Lab.pomiarowe (oper. 170 na początku	1	20	700	720	720	12	0,03
	Wywiezienie braków z EC	1	50	150	200	200	3	0,01
5S i przekazanie zmiany	1	900	5	905	905	15	0,03	
Wymagana ilość operatorów								0,76
operator 3	Opróżnianie kolib z wiór	6	136	35	171	1026	17	0,04
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	1	600	60	660	660	11	0,02
	Pomiar oper 200	8	305	4	309	2472	41	0,09
	Pomiar oper 210	8	667	8	675	5400	90	0,19
	Pomiar oper 220	8	246	4	250	2000	33	0,07
	Pomiar oper 230	8	484	7	491	3928	65	0,14
	Pomiar oper 240	8	120	10	130	1040	17	0,04
	Pomiar oper 250	8	33	12	45	360	6	0,01
	Wymiana narzędzi op 210 żeliwo	2	300	8	308	616	10	0,02
	Lab. Pomiarowe	4	30	300	330	1320	22	0,05
	Opróżnianie kolib z wiór	6	83	53	136	816	14	0,03
	Kontrola wizualna (3szt)	8	59	5	64	512	9	0,02
	Wywiezienie braków	1	27	170	197	197	3	0,01
	Spływ na tablicy	8	62	3	65	520	9	0,02
5S i przekazanie zmiany	1	900	4	904	904	15	0,03	
Wymagana ilość operatorów								0,78
Operator 4	Kontrola celi (BHP, 5S, stan sit, Grafit)	1	1200	5	1205	1205	20	0,04
	Kontrola temperatur na Zippel	1	180	5	185	185	3	0,01
	Kontrola grubości grafitu	4	120	4	124	496	8	0,02
	Kontrola przyczepności grafitu	1	120	4	124	124	2	0,00
	Kontrola tłoków kulka (kan chi)	1556	12	1	13	20228	337	0,73
	Wywóz gotowych tłoków z linii	1	20	280	300	300	5	0,01
	Uzupełnienie raportów	1	300	3	303	303	5	0,01
Czyszczenie grafitu US, przekazanie	1	500	12	512	512	9	0,02	
Wymagana ilość operatorów								0,84
Całkowita ilość operatorów								3,12

Rys.5.3. Mapowanie czynności manualnych w linii DL9. Pomiar czasu pracy czterech operatorów w trakcie jednej zmiany produkcyjnej.



Rys.5.4. Mapowanie czynności manualnych w linii DL9. Wykres Yamazumi obciążenia pracą dla czterech operatorów.

Następnie, konieczne jest podjęcie działań (instrukcji) wyjaśniających sposób interpretacji wyników obliczeń wymaganej liczby operatorów linii obróbczej DL9. Działania te dla linii DL9 w F-M Gorzyce przedstawiono w tabeli 5.1.

Tab.5.1. Wytyczne dotyczące interpretacji wyników obliczeń wymaganej liczby operatorów na linii DL9 w F-M Gorzyce.

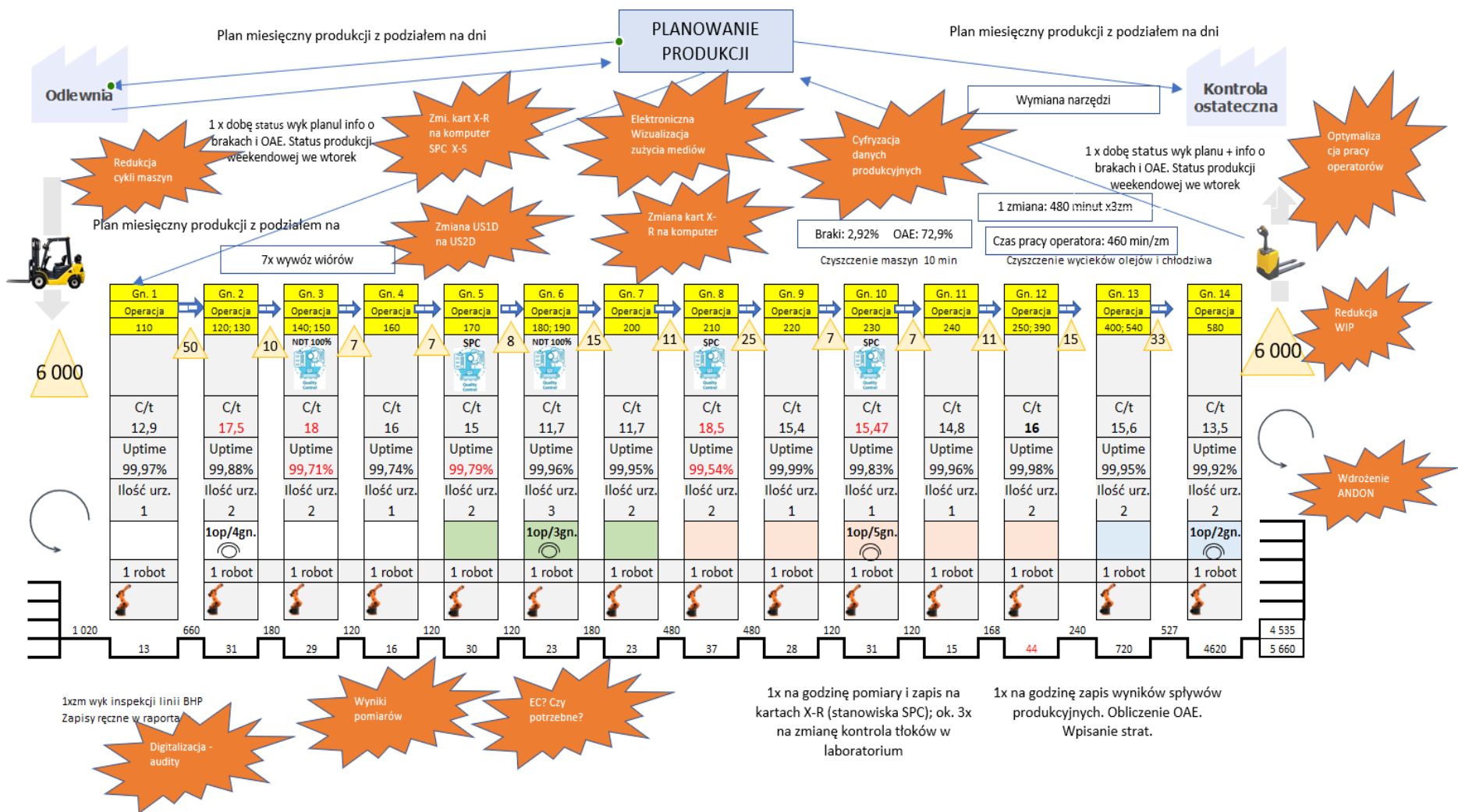
WYNIK OBLICZEN Wartość po przecinku	Zwiększenie obsady	Działanie
<,3	NIE	Wprowadzić działania KAIZEN zmniejszające pracochłonność
,3 - ,5	NIE	Wprowadzić działania KAIZEN zmniejszające pracochłonność; walidacja przez 2 tygodnie po zmianach
>,5	TAK	Poszukiwanie MUDA - ciągłe doskonalenie - standaryzacja pracy

ETAP III VSM

Następstwem wykonania mapowania strumienia wartości linii obróbczej DL9 i obciążenia czynnościami operatorów i obliczeniem wymaganej liczby pracowników było ponowne zebranie zespołu specjalistów z obszarów: produkcji, jakości, inżynieryjnego, energetyki oraz ciągłego doskonalenia aby przy pomocy techniki społecznej tzw. „burzy mózgów”¹, aby określić i zaznaczyć na mapie strumienia wartości VSM potencjalne usprawnienia.

VSM z naniesionymi komentarzami umieszczonymi w „gwiazdach” przedstawiono na rysunku 5.5.

¹ - metoda aktywizująca, która ma na celu doskonalenie decyzji grupowych, wikipedia.org.pl



Rys.5.5. Mapa strumienia wartości linii DL9 z naniesionymi propozycjami usprawnień.

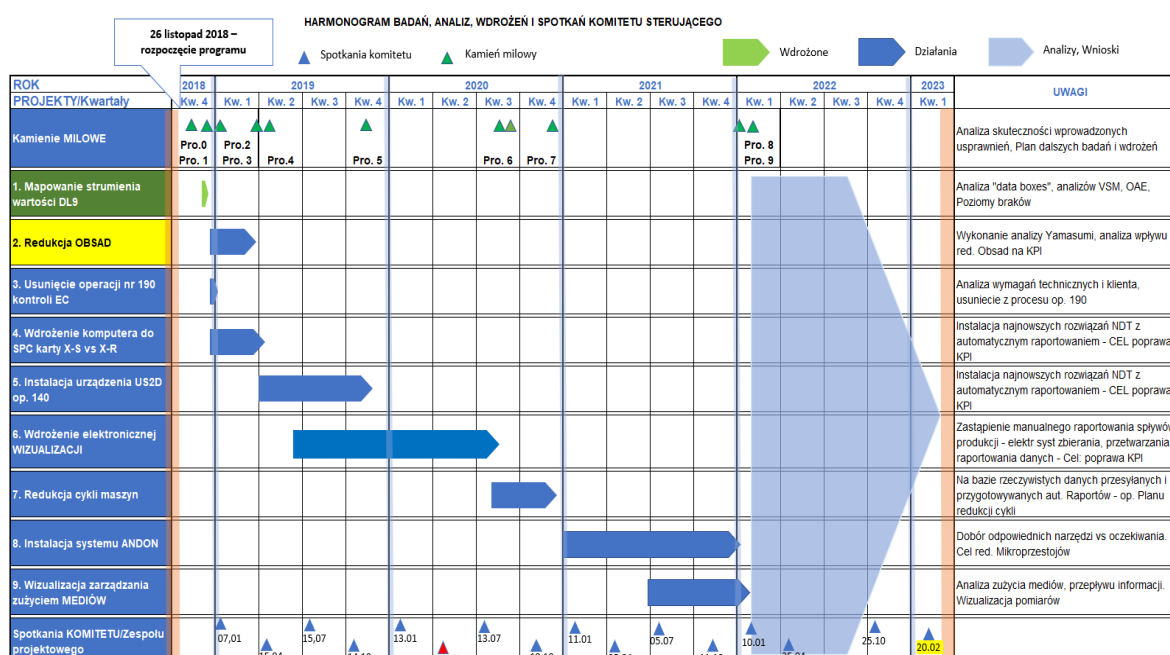
Najważniejsze usprawnienia wymienione w kolejności chronologicznej to:

1. Zmniejszenie liczby operatorów koniecznych do obsługi linii DL9.
2. Usunięcie z procesu badań kontrolnych (operacja nr 190 z gniazda nr 5).
3. Zastąpienie papierowych kart X-R elektronicznym systemem SPC X-S.
4. Zastąpienie starego urządzenia US1D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów tłoków, nowym US2D.
5. Wprowadzenie elektronicznej wizualizacji statusu produkcji.
6. Redukcja czasu cyklu maszyn.
7. Wprowadzenie spersonalizowanego systemu ANDON do nadzoru procesu obróbki mechanicznej tłoków.
8. Elektroniczne zbieranie danych dotyczących zużycia mediów w DL9 i działania mające na celu zmniejszenie wykorzystania prądu, sprężonego powietrza i wody.

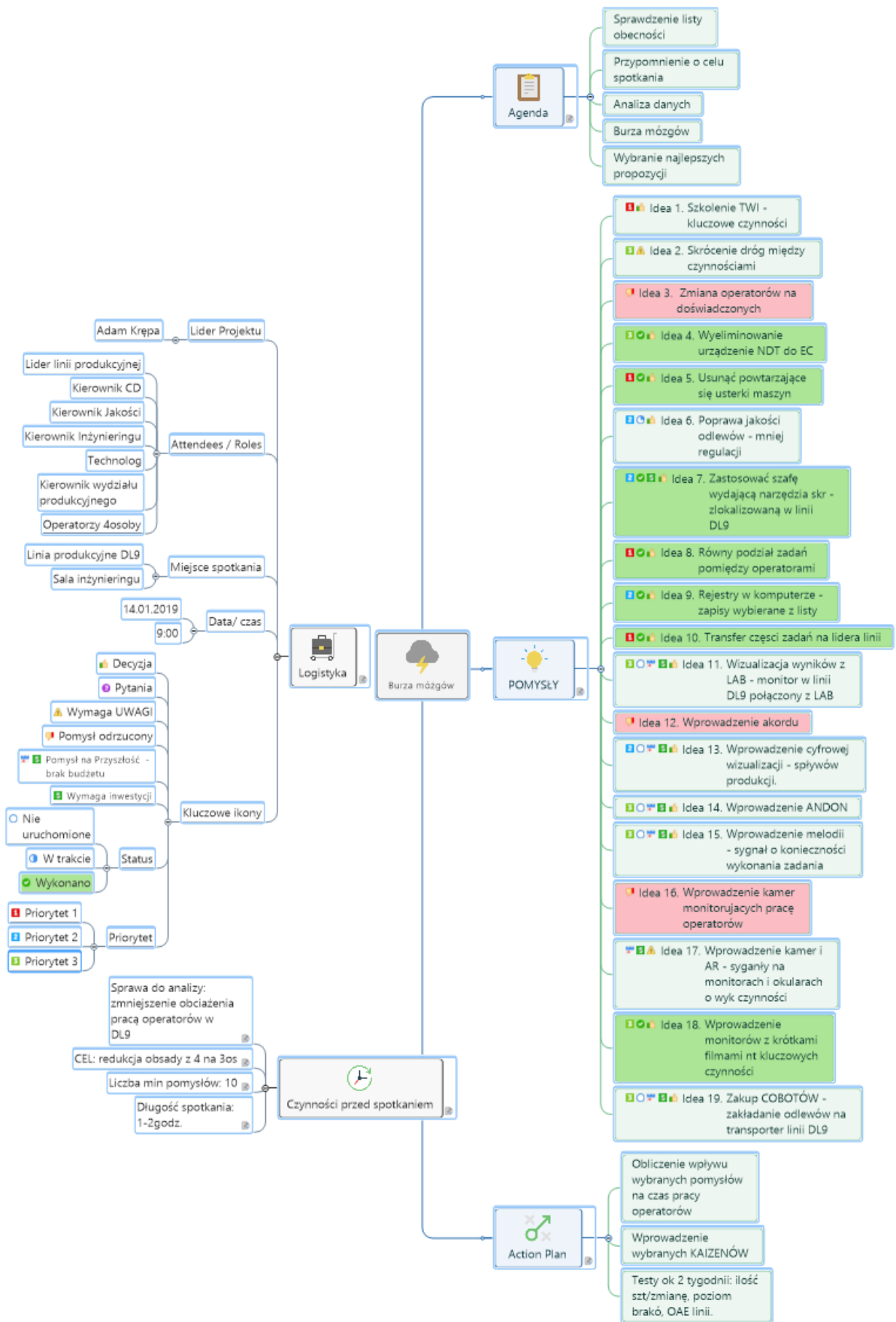
5.2. Zmniejszenie liczby operatorów koniecznych do obsługi linii DL9

Na podstawie mapowania czynności i czasów ich trwania dla operatorów linii obróbczej DL9 obliczono wymaganą ich ilość (rys.5.3). Do analizy zastosowano wytyczne korporacyjne w postaci harmonogramu spotkań Lean do określenia dalszego postępowania (rys.5.6).

Z zebranych danych i zastosowanych formuł, obliczono wymaganą liczbę pracowników w ilości 3,12. Zgodnie z wytycznymi korporacyjnymi jeśli wynik po przecinku $< ,3$ to należy wdrożyć działania eliminujące straty, optymalizujące pracę operatorom tak, aby zredukować nakład pracy o co najmniej 0,13 osoby. Zespół specjalistów wykorzystał burzę mózgow (rys. 5.7) i ocenił wpływ propozycji zmian czynności operatorów (rys. 5.8 do 5.10) na efektywność pracy linii DL9. W wyniku działań zespołu Lean zaproponowano zmniejszenie liczby osób z czterech do trzech w linii DL9. Wolny pracownik zostanie przeniesiony w inne miejsce. Tak więc udało się wygospodarować cztery osoby (jeden operator na zmianę razy cztery brygady).



Rys.5.6. Harmonogram badań, analiz, wdrożeń i spotkań komitetu sterującego Lean w zakresie zmniejszenia obsady operatorów linii DL9 w FM Gorzyce.



Rys.5.7. Raport z burzy mózgów wraz ze statusem pomysłów.
 Optymalizacja czasu pracy operatorów linii DL9.

Pomiar czasu pracy operatorów obróbki mechanicznej linii DL9 - propozycje zmian

Yamazumi

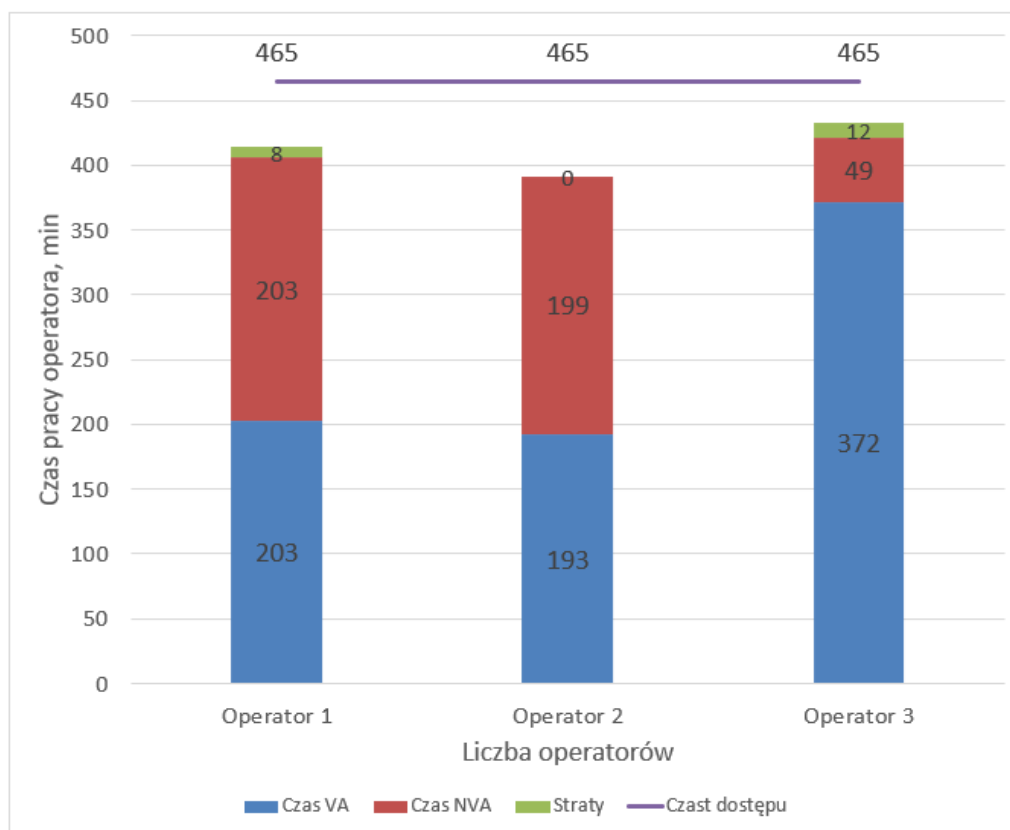
		G				
		Czas pracy op. 1 zm [min]	485			
		F=E/60	H=F/G			
		Wymagany czas				
	Czynność	Min/zm	Wymagana ilość operatorów	KAIZEN	Wpływ na obciążenie pracy, s	Wynik po zmianach
Operator 1	Załadunek tłoków	104	0,22			0,22
	Opróżnianie kolib z wiór	36	0,08			0,08
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	9	0,02			0,02
	Wymiana pojemników z odlewami	5	0,01			0,01
	Regulacje na skórowce po zmianie	18	0,04			0,04
	Pomiar op 110	25	0,05			0,05
	Pomiar op 120,130, 150, 160	66	0,14	Szkolenie TWI/Std Pracy	0,029	0,11
	Wymiana narzędzi op 120 żeliwo	25	0,05			0,05
	Wymiana narzędzi op 120 płaszcz + próg/denko (2000szt)	20	0,04			0,04
	Pobranie narzędzi z wózka	5	0,01	Zastosowanie el szafy Matrix	0,001	0,01
	Układanie braków z US	2	0,00			0,00
	Wywóz braków do izolatora	2	0,00			0,00
	Uzupełnianie przewodników	6	0,01			0,01
	Lab.pomiarowe	8	0,02	Przekazanie zadania liderowi	0,017	0,00
	5S i przekazanie zmiany	15	0,03	Skrócenie przek. Zmiany	0,004	0,03
Wymagana ilość operatorów			0,74			0,69
Operator 2	Opróżnianie kolib z wiór	8	0,02			0,02
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	8	0,02			0,02
	Pomiar oper 150	40	0,09			0,09
	Pomiar oper 160	18	0,04			0,04
	Pomiar oper 170	69	0,15	Szkolenie TWI/Std Pracy	0,075	0,07
	Pomiar oper 180	17	0,04			0,04
	Wymiana narzędzi op 170 żeliwo (200szt)(pomiar;korekta;rejestr)	155	0,33			0,33
	Pomiar oper 150 symetryczność po	5	0,01			0,01
	Czyszczenie sita - wiertarka	5	0,01			0,01
	Lab.pomiarowe (oper. 170 na początku	12	0,03	Przekazanie zadania liderowi	0,026	0,00
	Wywiezienie braków z EC	3	0,01	Rezygnacja z kontroli EC	0,007	0,00
	5S i przekazanie zmiany	15	0,03	Skrócenie przek. Zmiany	0,004	0,03
	Wymagana ilość operatorów			0,76		
operator 3	Opróżnianie kolib z wiór	17	0,04			0,04
	Audit warst. spr. ciśnienia , rejestry	11	0,02			0,02
	Pomiar oper 200	41	0,09			0,09
	Pomiar oper 210	90	0,19	Wprowadzenie elektr SPC	0,105	0,09
	Pomiar oper 220	33	0,07			0,07
	Pomiar oper 230	65	0,14	Wprowadzenie elektr SPC	0,087	0,05
	Pomiar oper 240	17	0,04			0,04
	Pomiar oper 250	6	0,01			0,01
	Wymiana narzędzi op 210 żeliwo	10	0,02			0,02
	Lab. Pomiarowe	22	0,05	Przekazanie zadania liderowi	0,0473	0,00
	Opróżnianie kolib z wiór	14	0,03			0,03
	Kontrola wizualna (3szt)	9	0,02			0,02
	Wywiezienie braków	3	0,01	Przekazanie zadania liderowi	0,0071	0,00
	Spływ na tablicy	9	0,02			0,02
	5S i przekazanie zmiany	15	0,03	Redukcja il. Przekazań zmian	0,0324	0,00
Wymagana ilość operatorów			0,78			0,50
Operator 4	Kontrola celi (BHP, 5S, stan sit, Grafit)	20	0,04	Szkolenie TWI/Std Pracy	0,0143	0,03
	Kontrola temperatur na Zippel	3	0,01			0,01
	Kontrola grubości grafitu	8	0,02			0,02
	Kontrola przyczepności grafitu	2	0,00			0,00
	Kontrola tłoków kulka (kan chf)	337	0,73			0,73
	Wywóz gotowych tłoków z linii	5	0,01			0,01
	Uzupełnienie raportów	5	0,01	Zmniejszenie ilości raportów	0,0036	0,01
	Czyszczenie gniazda US, przekazanie	9	0,02			0,02
Wymagana ilość operatorów			0,84			0,82
			3,12			0,46
						2,66

Rys.5.8. Czas pracy operatorów w linii DL9 z propozycjami zmian.

Pomiar czasu pracy operatorów obróbki mechanicznej linii DL9 - PO ZMIANACH

							g	
							Czas pracy op. 1 zm [min]	
							486	
		A	B	C	D=B+C	E=A*D	F=E/60	H=F/G
		Std czas			Wymagany czas			
Czynność		Liczba czynności na zm	Czas czynności (1 cykl)	Przejście (1 Cykl)	Razem czas (1cykl)	s/zm.	Min/zm	Wymagana ilość operatorów
Operator 1	Załadunek tłoków	1558	4		4	6224	104	0,22
	Opróżnianie kolib z wiór	7	270	35	305	2135	36	0,08
	Audit warst, spr. ciśnienia , rejestry	1	540	12	552	552	9	0,02
	Wymiana pojemników z odlewami	1	240	60	300	300	5	0,01
	Regulacje na skórowce po zmianie	2	540	7	547	1094	18	0,04
	Pomiar op 110	8	180	8	188	1504	25	0,05
	Pomiar op 120,130, 150, 160	8	380	15	395	3180	53	0,11
	Wymiana narzędzi op 120 żeliwo	8	180	7	187	1496	25	0,05
	Wymiana narzędzi op 120 płaszcz + próg/denko (2000szt)	1	1200	5	1205	1205	20	0,04
	Pobranie narzędzi z MATRIX	2	100	30	130	260	4	0,01
	Układanie braków z US	2	60	5	65	130	2	0,00
	Wywóz braków do izolatora	1	20	100	120	120	2	0,00
	Uzupełnianie przewodników	2	180	5	185	370	6	0,01
	Pomiar oper 150	8	294	6	300	2400	40	0,09
	Pomiar oper 160	8	125	7	132	1056	18	0,04
	Pomiar oper 170	8	250	6	256	2048	34	0,07
	5S i przekazanie zmiany	1	800	5	805	805	13	0,03
Wymagana ilość operatorów								0,89
Operator 2	Opróżnianie kolib z wiór	2	200	53	253	506	8	0,02
	Audit warst, spr. ciśnienia , rejestry	1	444	21	465	465	8	0,02
	Pomiar oper 180	8	120	8	128	1024	17	0,04
	Wymiana narzędzi op 170 żeliwo (200szt)(pomiar:korekta:rejestr)	8	1156	3	1159	9272	155	0,33
	Pomiar oper 150 symetryczność po zmianie kokili i pokayoke	1	266	5	271	271	5	0,01
	Czyszczenie sita - wiertarka	1	280	4	284	284	5	0,01
	Pomiar oper 200	8	305	4	309	2472	41	0,09
	Pomiar oper 210	8	300	8	308	2464	41	0,09
	Pomiar oper 220	8	246	4	250	2000	33	0,07
	Pomiar oper 230	8	180	7	187	1496	25	0,05
	Pomiar oper 240	8	120	10	130	1040	17	0,04
	Pomiar oper 250	8	33	12	45	360	6	0,01
Opróżnianie kolib z wiór	6	136	35	171	1026	17	0,04	
5S i przekazanie zmiany	1	800	5	805	805	13	0,03	
Wymagana ilość operatorów								0,84
Operator 3	Audit warst, spr. ciśnienia , rejestry	1	600	60	660	660	11	0,02
	Wymiana narzędzi op 210 żeliwo	2	300	8	308	616	10	0,02
	Opróżnianie kolib z wiór	6	83	53	136	816	14	0,03
	Kontrola wizualna (3szt)	8	59	5	64	512	9	0,02
	Spływ na tablicy	8	62	3	65	520	9	0,02
	Kontrola celi (BHP, 5S, stan sit, Grafit)	1	800	5	805	805	13	0,03
	Kontrola temperatur na Zippel	1	180	5	185	185	3	0,01
	Kontrola grubości grafitu	4	120	4	124	496	8	0,02
	Kontrola przyczepności grafitu	1	120	4	124	124	2	0,00
	Kontrola tłoków kulka (kan chł)	1558	12	1	13	20228	337	0,73
	Wywóz gotowych tłoków z linii	1	20	280	300	300	5	0,01
	Uzupełnienie raportów	1	200	3	203	203	3	0,01
	Czyszczenie gniazda 5S, przekazanie	1	500	12	512	512	9	0,02
	Wymagana ilość operatorów							
Całkowita ilość operatorów								2,66

Rys.5.9. Obciążenie pracą dla trzech operatorów linii DL9.



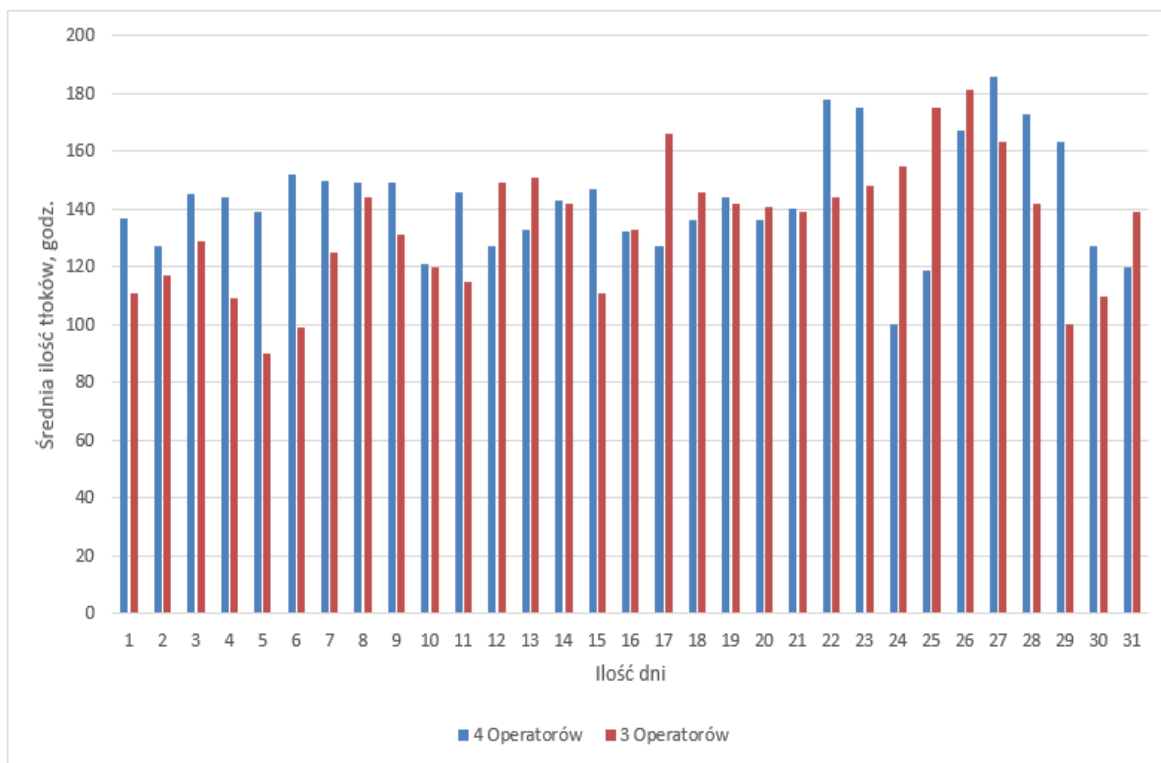
Rys.5.10. Wykres Yamazumi czasu pracy operatorów w linii DL9 po wprowadzeniu zmian.

Wprowadzone zmiany w organizacji produkcji linii DL9, we współpracy z operatorami maszyn, liderem załogi oraz zespołem specjalistów, były monitorowane pod kątem ich skuteczności i wpływu na efektywność produkcji. Przez 31 dni sprawdzano czy mniejsza obsada operatorów maszyn obróbczych DL9 nie wpłynęła negatywnie na:

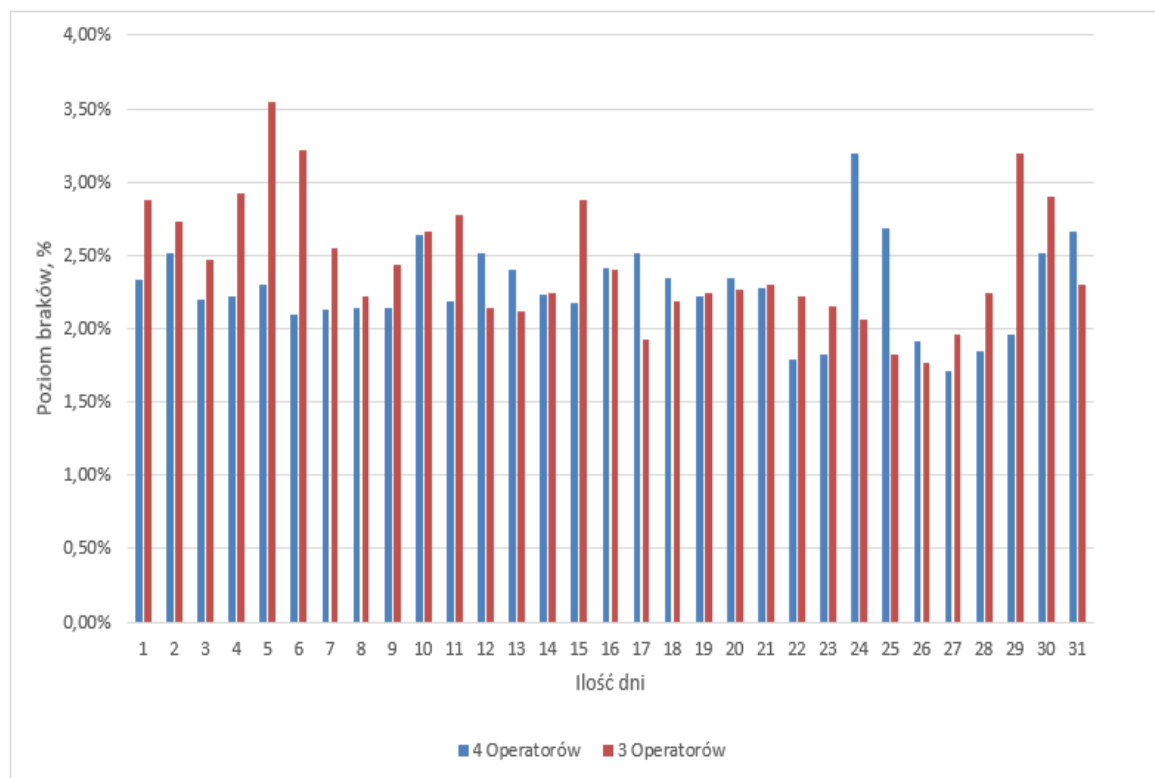
- zmniejszenie średniej liczby produkowanych sztuk na godzinę (spływów),
- zwiększenie poziomu produktów wybrakowanych (braków),
- wartość wskaźnika OAE.

Zauważono, że w pierwszym tygodniu po zmniejszeniu liczby osób obsługujących proces obróbki skrawającej tłoki na linii DL9 (redukcja z 4 do 3 operatorów) pojawiły się problemy z osiągnięciem wymaganego poziomu produkcji, wynikające z niechęci u części operatorów przed wykonywaniem dodatkowych czynności oraz procesu uczenia się nowych zadań oraz sekwencji poszczególnych czynności w obsłudze maszyn. Wprowadzono dodatkowe usprawnienia (Kaizeny), które poprawiły morale załogi i pomogły w ciągu następnych dni uzyskać dalszą redukcję obciążenia pracą operatorów. Pod koniec miesiąca testów wyniki linii ustabilizowały się co pokazało, że projekt optymalizacji linii do obróbki mechanicznej tłoków DL9 pod kątem redukcji pracochłonności załogi osiągnął zaplanowane cele.

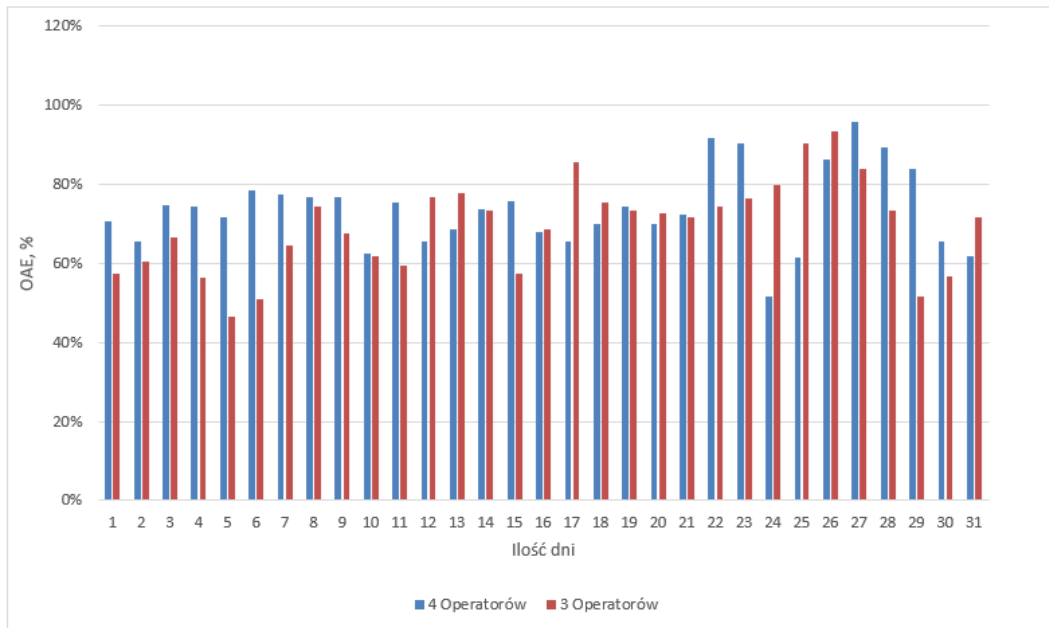
Rysunek 5.11 przedstawia średnie, godzinne wartości produkcji, tzw. spływy produkcyjne, przed i po zmniejszeniu obsady operatorów, rysunek 5.12 - poziom braków tłoków linii DL9 w badanym okresie, a rysunek 5.13 - wartości wskaźnika OAE.



Rys.5.11.. Średnie godzinowe sphywy dla czterech i trzech operatorów – linia DL9 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).



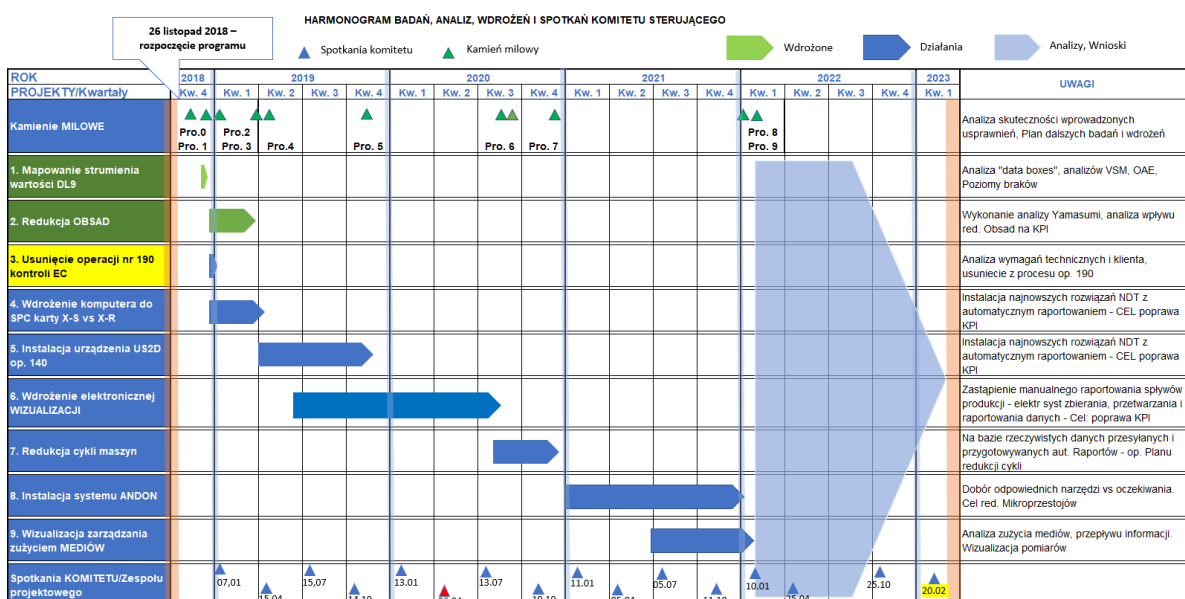
Rys.5.12. Dzienny poziom braków dla czterech i trzech operatorów – linia DL9 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).



Rys.5.13. Średni wskaźnik OAE dla czterech i trzech operatorów – linia DL9 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

5.3. Usunięcie z procesu badań kontrolnych (operacja nr 190 z gniazda nr 5)

Zespół ds. Lean przeanalizował powtórnie zapisy na rysunku technicznym tłoka VW 1.0L. Wymogi techniczne dotyczące badań NDT dotyczyły tylko kontroli ultradźwiękami, a testy prądami wirowymi (eddy current - EC) nie są wymagane. Zapis o konieczności wykonywania tych pomiarów zamieszczony w planie kontroli tłoka VW 1.0 wynikał z wyciągniętych, wniosków innego podobnego produktu, gdzie występowały problemy jakości tj. pojawiały się pęknięcia na krawędzi komory spalania. Urządzenie EC nie wykryło jednak jakiegokolwiek wad w tym zakresie. Wymagania znajdujące się na rysunku technicznym tłoka VW 1.0L pokazuje rysunek 5.14.



Rys.5.14. Harmonogram badań, analiz, wdrożeń i spotkań komitetu sterującego Lean w zakresie usunięcia operacji nr 190 z gniazda nr 5 linii DL9 f-M Gorzyce.

Bazując na rys. technicznym oraz zapisach o detekcji na urządzeniu EC, zespół w składzie:

1. Kierownik jakości,
2. Kierownik inżynieringu oraz
3. Kierownik produkcji

podjął decyzje o wykreśleniu z planu kontroli dla tłoka VW 1.0L wymogu kontroli krawędzi komory tłoka urządzeniem EC. Usunięto zatem z zakresu odpowiedzialności operatora nr 2 obsługę urządzenia (operacja nr 190).

Tab.5.2. Wymagania techniczne dla tłoka VW 1.0L (rys. techniczne produktów są tylko w dwóch językach: angielskim i niemieckim).

STANDARDS Normen	
TSI	FOR TOLERANCES, SURFACES, TREATMENT AND GEOMETRICAL TOLERANCES
TSIE-014-004	PRETREATMENT / Vorbehandlung
TSIE-010-024	GALLERY INSPECTION Kuehlkanalpruefung
TSIE-010-007-0001 TSIE-010-007-0003	ULTRASONIC EXAMINATION / Ultraschallpruefung
TSIE-014-029	GRAPHIT COATING Graphitbeschichtung
DIN EN 13835	ALFIN RING / Ringtraeger GJLA-XNiCuCr15-6-2
VW 50040	MATERIAL PISTON / Werkstoff Kolben AlSi12Cu3Ni2Mg FM S2N
VW PV 6225	ACCEPTANCE REQUIREMENTS / Abnahmebedingungen
VW PV 6265 3.4	COAT CLINGING / Schichthaftung
VW 01134	TECHNICAL CLEANLINESS OF PISTON Technische Sauberkeit von Kolben SURFACE / Oberflaeche: 345.5cm ² BARE PISTON / Nackt Kolben

TEST SPECIFICATION:

PASSAGE OF COOLING GALLERY CHECKED WITH SPHERE ACC. TO TSIE-010-024
(COLOR POINT "ORANGE RAL 2000" INSIDE AT PIN BOSS)
EACH PISTON TO BE CHECKED BY ULTRASONIC METHOD
ACC. TO TSIE-010-007-0002
MARK US AT THE SIDE PANELS ABOVE PIN AXIS

5.4. Zastąpienie papierowych kart X-R elektronicznym systemem SPC

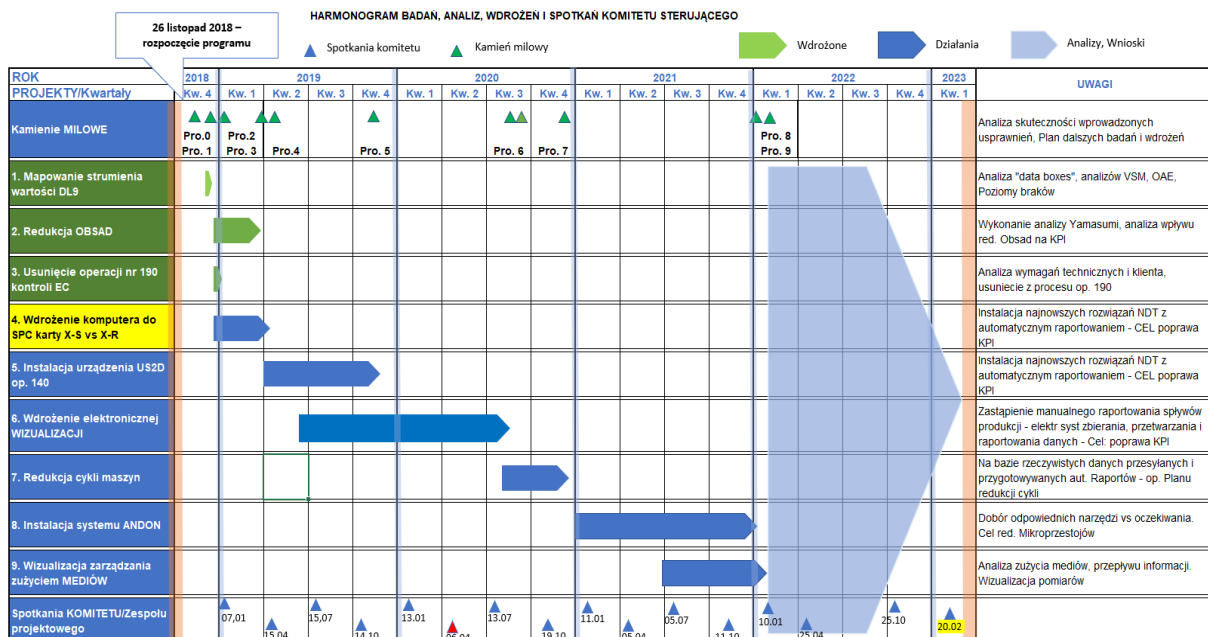
Karty kontrolne, pomimo tego, iż znane od lat, stanowią jedne z najważniejszych narzędzi sterowania procesem oraz wykrywania jego niestabilności. Są popularne dzięki [95÷98]:

- dużej efektywności w zapobieganiu powstawania wad podczas procesu,
- możliwości unikania zbędnych regulacji maszyn i procesu,
- dostarczania szeregu informacji diagnostycznych o stabilności procesu,
- możliwości wyznaczania wskaźników zdolności procesu, sugerujących o jego wydolności jakościowej.

Idea stosowania kart kontrolnych polega na określeniu, kiedy w procesie, np. produkcji, występuje nietypowa próbka, której typowa cecha (np. wymiar), różni się od pozostałych. Można to stwierdzić przy pomocy statystycznych testów dla miar położenia i rozproszenia wyników, co wymaga obliczeń [99÷101] lub przy pomocy kart kontrolnych, pozwalających uzyskać te same wnioski, lecz w sposób bardziej czytelny, np. graficzny.

Na podstawie danych zebranych podczas badań wstępnych oraz mapowania procesu stwierdzono, że wiele tłoków niezgodnych z wymaganiami wymiarowymi powstaje podczas obróbki skrawaniem (rys. 2.21). Wykres Pareto-Lorenza (rys.2.22) pokazuje, że pierwszym typem wad jest zły wymiar średnicy zewnętrznej płaszczka tłoka co koreluje też z wykresem Paretem-Lorenza dla wskaźnika OAE gdzie na pierwszym miejscu strat występują regulacje maszyn (rys. 2.24). Mając na uwadze konieczność zwiększenia zdolności linii obróbczej, tym samym poprawy jej efektywności, zespół projektowy Lean, biorąc pod uwagę zebrane dane zdecydował o zaimplementowaniu cyfrowego zbierania danych i ich analizy dla procesu międzyoperacyjnej kontroli produkcji SPC.

Kartę harmonogramu, badań i analiz w tym zakresie przedstawia rysunek 5.15.



Rys.5.15. Harmonogram badań, analiz, wdrożeń i spotkań komitetu sterującego Lean w zakresie wdrożenia komputerowych metod SPC w procesie kontroli parametrów obróbki skrawaniem tłoków na linii DL9.

Jak wykazał plan kontroli, główną wadą niezgodności wymiarowej okazała się średnica płaszczka tłoka. Parametr ten jest krytycznym z uwagi na zapewnienie funkcjonalności tłoka oraz poprawność eksploatacji układu: tłok-pierścień-cylinder. Detekcja wadliwych produktów w momencie ich powstania pozwala zredukować koszty produkcji (pracochłonność, materiały, media) na dalszych procesach obróbczych. Gdyby udało się więc wyeliminować niezgodności w miejscu ich powstania, tłoki nie byłyby dalej przetwarzane, co zredukuje wymienione wcześniej koszty. Oprócz tego zmniejszy się obciążenie maszyn i zużycie materiałów na kolejnych etapach produkcji tłoków.

Kluczowym jest więc kontrola w miejscu powstania niezgodności wymiarowych, czyli nastaw maszyn CNC i określenie żywotności narzędzi skrawających. Kontrola ta ma na celu implementację działań w miejscu niestabilności procesu i uzyskanie informacji zwrotnej o jakości parametrów obróbczych trafiających do operatora. Należy podkreślić, że pomiędzy maszynami CNC, a ostateczną kontrolą jakości występują bufora wyrobów, co wpływa na czas oczekiwania na informację zwrotną, dotyczącą regulacji parametrów obrabiarek CNC.

Jak wynika z danych F-M Gorzyce, straty wynikające z tak ustawionego procesu są zbyt duże, stąd decyzja o wdrożeniu działań korygujących i zapobiegawczych.

Biorąc pod uwagę specyfikę produkcji tłoków w zakładach świadczących usługi na tzw. „pierwszy montaż” dla przemysłu samochodowego, zdecydowano się na pilotażowe wprowadzenie międzyoperacyjnej statystycznej kontroli procesowej (SPC) dla krytycznego wymiaru (średnicy płaszczka tłoka) z zastosowaniem dwutorowej karty kontrolnej X-R.

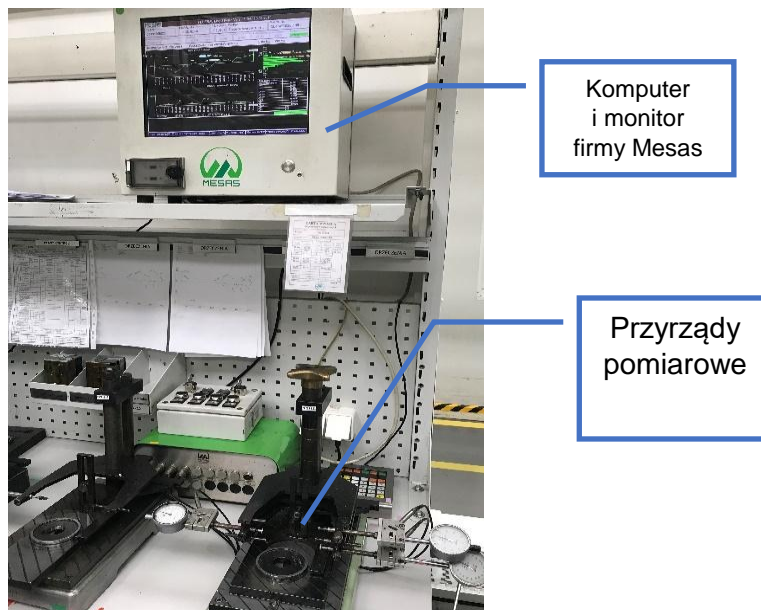
Zastosowanie urządzenia, które automatycznie odczyta i obliczy wskaźniki oraz prześle je do bazy danych i zainteresowanych stron, pozwoli na:

1. Zmniejszenie poziom braków obróbczych (średnica płaszczka).
2. Uniknięcie/wyeliminowanie zapisów ręcznych karty X-R (redukcja pracochłonności operatorów).
3. Wyeliminowanie błędnych zapisów i obliczeń przez operatora.
4. Zapobieganie brakom obliczeń w czasie rzeczywistym wskaźników C_p i C_{pk} . Rysunek 2.17 przedstawia przykładową kartę X-R wykonaną ręcznie.
5. Informowanie kierownictwa w czasie rzeczywistym o anomaliach wymiarowych.
6. Poprawi dyscyplinę pracy załogi: często operator mierzy jednego tłoka trzy razy (powinien trzy różne). Dostarczy wiedzę na temat realnego przebiegu produkcji. Pozwoli to na szybką korektę parametrów obróbczych, zmianę narzędzi lub naprawę usterki, co zapobiegnie stratom ilościowym i jakościowym w obróbce skrawaniem tłoków.
7. Wyeliminowanie błędów i pomyłek przy odczytach z czujników zegarowych. Tolerancje średnic płaszczka tłoka VW 1.0L wynoszą $\pm 0,009$ mm.

Nowe stanowisko do badań SPC – operacja 210

Ocenę stabilności przebiegu obróbki mechanicznej, poprzez pomiar średnicy płaszczka tłoków dokonano na partii 75 odlewów. Zgodnie z metodą SPC [102], co godzinę losowo pobierano 3 sztuki ze 194 tłoków produkowanych w ciągu 1 godziny, przy minimalnej liczbie podgrup równej 25 tłoków.

Pomiary średnicy płaszczka tłoków dokonano na stanowisku badawczym SPC firmy MESAS przedstawionym na rysunku 5.16.



Rys.5.16. Widok stanowiska SPC firmy MESAS do pomiaru średnic płaszczka odlewów tłoków silnikowych poddanych badaniom (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Stanowisko MESAS składa się z przyrządu mocującego oraz ustalającego pozycję tłoka, czujników zegarowych (dokładność 0,001 mm) połączonych z komputerem i pulpitem sterowniczym. Stanowisko to obsługuje operator, który przez zmianę produkcyjną (8 godzin) mierzy co godzinę 3 sztuki tłoków zgodnie z planem kontroli produktu.

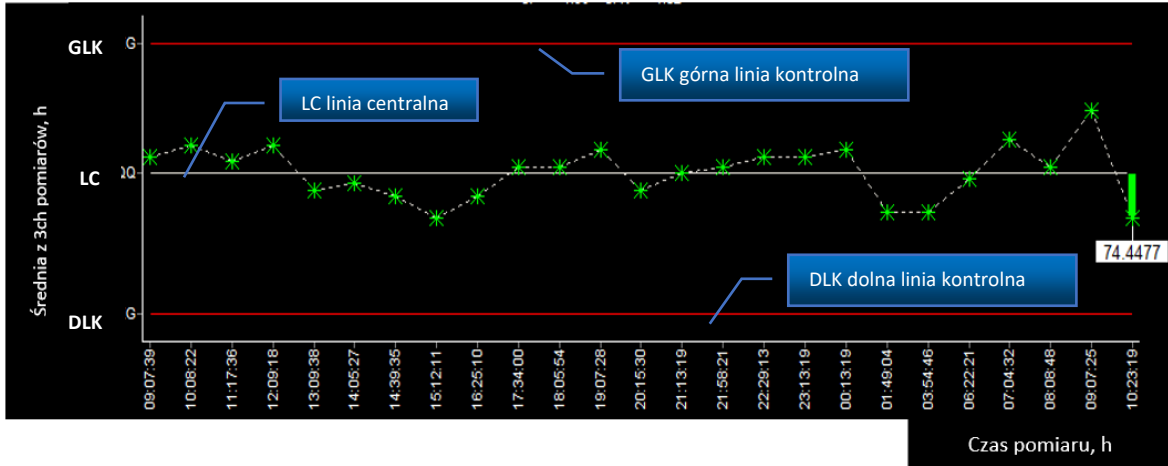
Fragment planu kontroli tłoka (pokazano tylko jeden parametr ze względu na poufność technologii i procesu) przedstawiono na rysunku 5.17.

FEDERAL-MOGUL POWERTRAIN		PLAN KONTROLI			TP-OM/26/20		Data aktualizacji	Arkusze	Arkuszy	
							04.01.2018	1	4	
Wyrób	Klient	Typ silnika		Numer rysunku FM		Poz.zm.rys.FM	Poz.zm.techn.			
TŁOK	VW	1.0L		XXXXX		C	1			
Linia	Nr oper.	Nazwa operacji			Maszyna / Stanowisko		Nr kolejny odbitki			
DL9	210	TOCZENIE płaszczka na got.			Vertor					
Charakterystyka			Metody							
Nr	Produkt/Proces	Klchar. specj.	Wymiar / wartość	Tolera-ncja	Nazwa przy-rządu/Technika pomiarowa	Symbol przyrządu	Próbka		kontroli/s posób rejestr.	Plan reakcji
							Ilość - sztuk	Częst.		
1	Kalibracja przyrządu SPC	C			Ustawiak	Tłok wzorcowy nr	1	Co 1 godz	-	Zatrzymać regulować IR/TP/24/04
2	Średnica tłoka na DN na wysokości 11mm	C	74,45	±0,009	Przyrząd Szoceki 3szt. Baza	246.2701	3 z obr	Co 1 godz	SPC	Zatrzymać regulować IR/TP/24/04

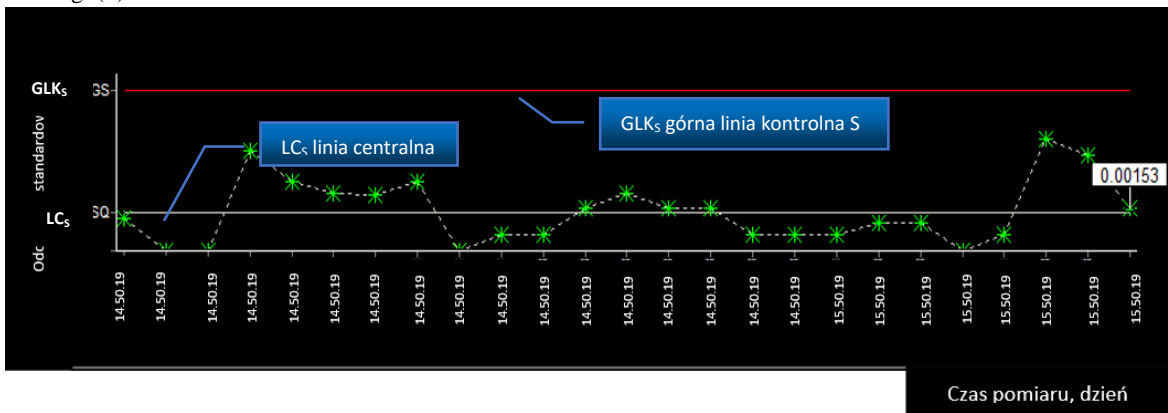
Rys.5.17. Fragment planu kontroli (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Kontrola statystyczna procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków może być realizowana kartami typu X-R lub X-S, które pokazują możliwe zakłócenia w procesie. Wykres obrazuje kluczowe do oceny jakości procesu zmienne w czasie parametry np. średnia ze średnich wyników pomiaru i odchylenie standardowe. Wyniki pomiarów i inne parametry nanoszone są na dwa wykresy (dwa tory), na których są linie kontrolne: górna, dolna i linia centralna (rys. 5.18 a i b). Do obliczenia linii centralnej i linii kontrolnych wykorzystano zależności przedstawione w publikacji [105].

a) tor pierwszy (X);

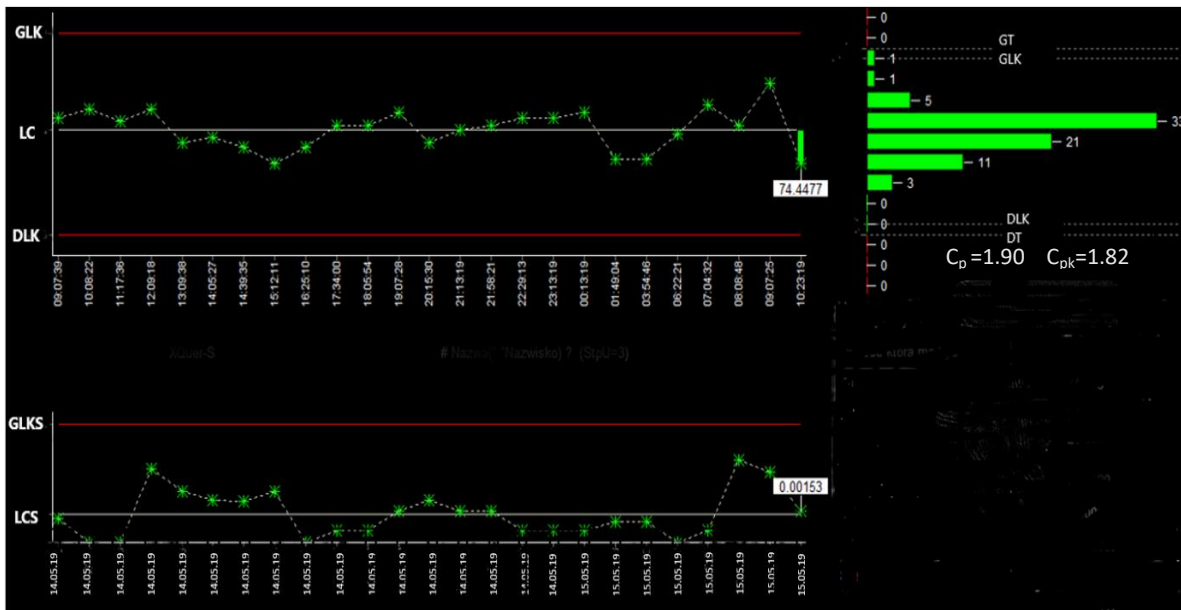


b) tor drugi (S)



Rys.5.18. Karta X-S: a) tor pierwszy (X); b) tor drugi (S).

Sygnaly z czujnikow sa automatycznie importowane do programu MESAS, ktory generuje wyniki pomiarow i oblicza np. wskaźniki C_p i C_{pk} . - rysunek 5.19.



Rys.5.19. Okno dialogowe programu MESAS pomiaru średnic płaszczka tłoka silnikowego poddanego badaniom (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

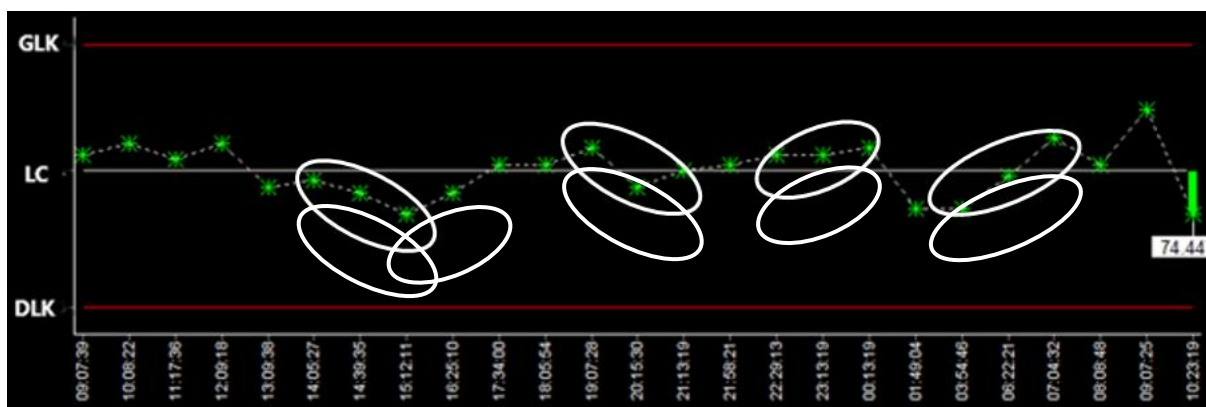
Po wykonaniu pomiarów, program MESAS oblicza zdolność jakościową procesu obróbki mechanicznej odlewów tłoków silnikowych determinowaną wskaźnikami C_p i C_{pk} , które wraz z innymi wynikami przedstawiono w tabeli 5.3.

Tab.5.3. Dane i wyniki pomiarów.

Parametr, jednostka	Wynik
Liczba pomiarów, sztuki	75 (25 x 3)
DN, mm	74,450
T_g , mm	74,459
T_d , mm	74,441
GLK, mm	74,4580
DLK, mm	74,4420
GLK_s , mm	0,0058
LC, mm	74,45037
GLK_s , mm	0,0058
LC_s , mm	0,00140
C_p	1,90 wymagane min. 1,33*
C_{pk}	1,82 wymagane min. 1,33*

* - zgodnie z [103 i 104], w przemyśle motoryzacyjnym wskaźniki C_p oraz C_{pk} wynoszą min. 1,33.

Analizując wyniki na rysunku 5.18a (tor 1) można zauważyć charakterystyczne trendy, które zaznaczono na rysunku 5.20. Sposób ułożenia kolejnych punktów i norma [104] wskazują, że taki rodzaj sygnału jest typowy dla obróbki mechanicznej. Proces jest stabilny i uzależniony od zaimplementowanej w linii obróbki mechanicznej technologii produkcji tłoków.



Rys.5.20. Tor 1 karty X-S z zaznaczonymi charakterystycznymi trendami (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

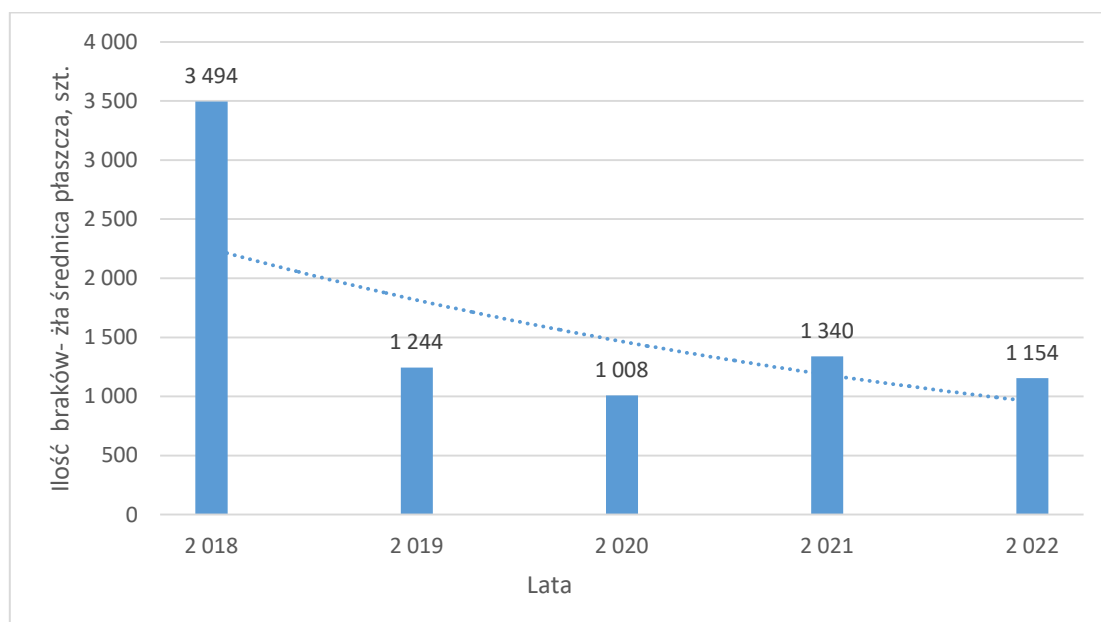
Otrzymane wyniki wskazują, iż skuteczne stosowanie metody (SPC) pozwala znacząco ograniczyć liczbę wadliwych tłoków, zmniejszyć koszty produkcji oraz zredukować ryzyko reklamacji. Kluczowym jest prawidłowa implementacja procesu kontroli SPC tj. wybór miejsca pomiaru, określenie zmiennych, liczby próbek i zrozumienie wyników wskaźników. Ważnym jest też dyscyplina pracowników polegająca na wykonaniu poprawnych pomiarów, pobieraniu w wyznaczonym czasie i miejscu odpowiedniej liczby wyrobów do kontroli.

Wyniki w tabeli 5.3 wskazują, że proces po wprowadzeniu nowego urządzenia MESAS jest dobrze nadzorowany, a korekty wynikające ze zużycia narzędzi skrawających, wprowadzane na czas. Świadczą o tym również wskaźniki C_p i C_{pk} , których wartości są większe od minimalnych wymogów, przedstawiając proces obróbki mechanicznej o małym rozproszeniu i dobrym wycentrowaniu wokół mierzonej średnicy. Prawdopodobieństwo wystąpienia trzech kolejnych punktów o stale rosnących (lub stale malejących) wartościach można oszacować przyjmując, że liczba ich różnych kombinacji wynosi $3!$, a tylko jedno ułożenie odpowiada tendencji (rosnącej lub malejącej). Zatem takie prawdopodobieństwo wynosi:

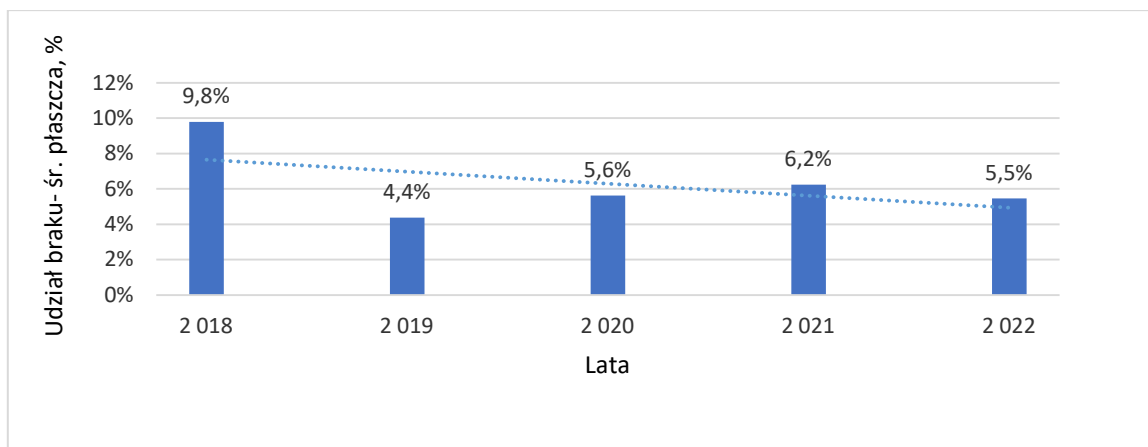
$$\frac{1}{3!} = \frac{1}{6} \approx 0,166(6) \approx 16,6(6)\%$$

i dla procesów obróbki mechanicznej jest bardzo małe.

Dobrze zaprojektowany proces technologiczny oraz plan jego kontroli gwarantuje dla krytycznych charakterystyk produktu, powtarzalne wyniki nie wychodzące poza granice tolerancji. Kluczowym w tym obszarze jest wykształcenie oraz świadomość wykonujących pomiary pracowników i umiejętność interpretacji wyników na karcie X-S. Ważna jest natychmiastowa oraz odpowiednia reakcja w przypadku pojawienia się punktów blisko dolnej lub górnej linii granicznej oraz wskaźniki C_p i C_{pk} , których wartości powinny być większe od minimalnych. Zastąpienie papierowych kart X-R urządzeniem MESAS z kartą X-S (rys. 5.19) oraz wizualizacją w czasie rzeczywistym linii trendów i wskaźnikami C_p i C_{pk} gwarantuje znaczącą poprawę stabilności procesu toczenia średnicy płaszczka tłoka. Rysunek 5.21 pokazuje trend poziomu braków dla cechy: średnica płaszczka oraz jego udział we wszystkich tłokach niezgodnych (brakach) linii DL9 (rys. 5.22) tłoka VW 1.0L w linii DL9.



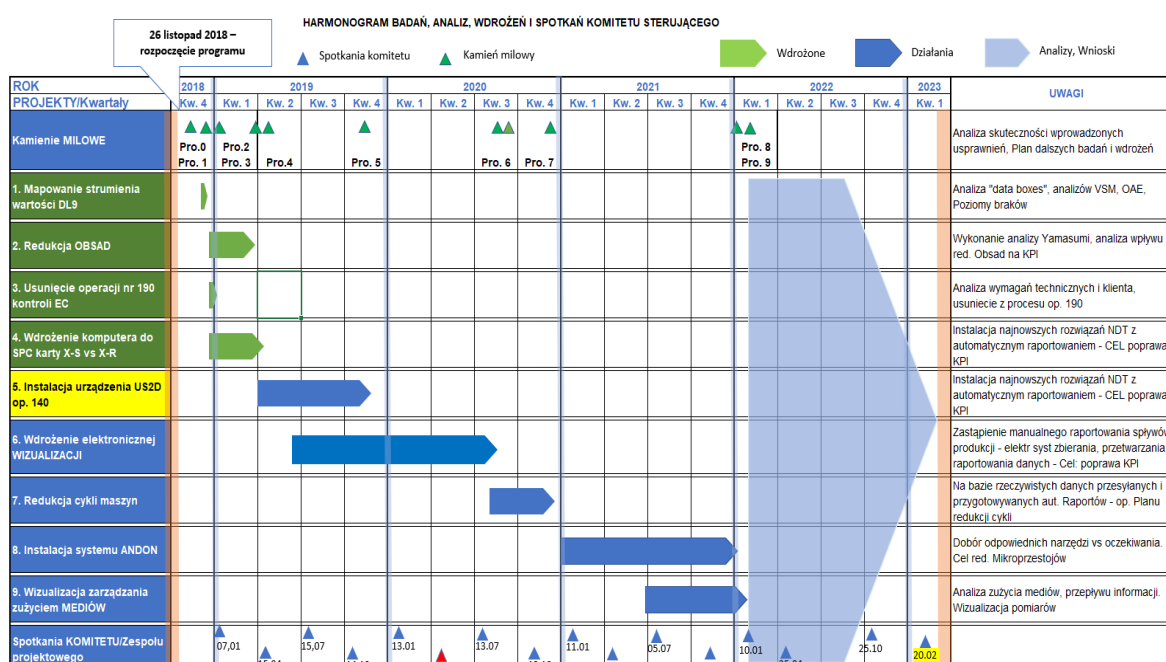
Rys.5.21. Udział tłoków niezgodnych (braków) z powodu nieprawidłowej średnicy płaszczka tłoka – linia DL9 w latach 2018 do 2022 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).



Rys.5.22. Udział wybrakowanych tłoków na linii DL9 ze względu na złą średnicę płaszczka tłoka.

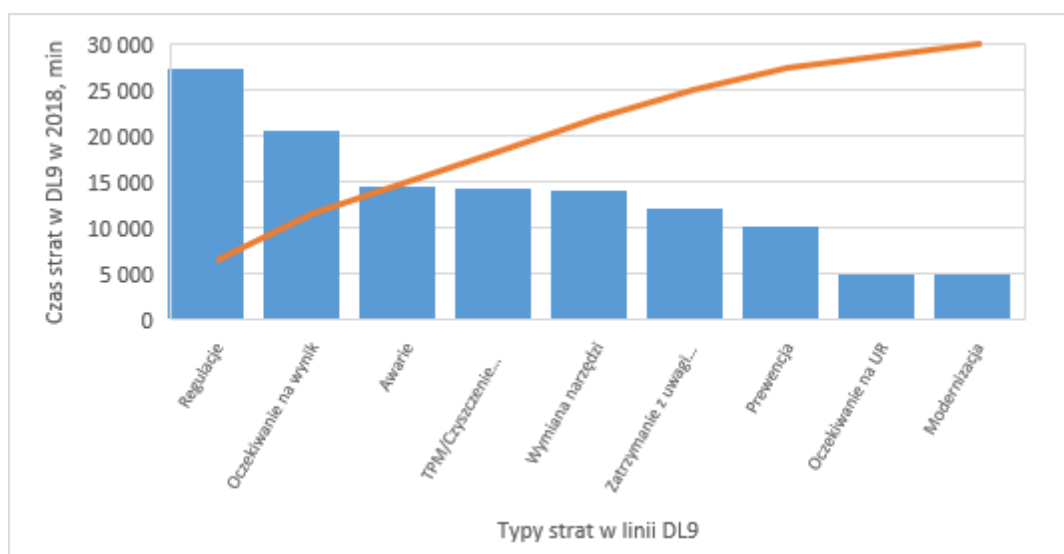
5.5. Zastąpienie urządzenia US1D na US2D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów tłoków

Mapowanie procesów w linii DL9 i zebrane dane, wykazały, że koniecznym jest poprawa jakości w obszarze pomiarów SPC, oraz udoskonalenie badań nieniszczących wykonywanych na urządzeniu US1D (rys. 2.14). Kontrola jakości produkowanych odlewów pokazuje, że najczęściej wad powstaje podczas odlewania tłoków, a najskuteczniejsza ich detekcja używając metod NDT możliwa jest dopiero w linii obróbki mechanicznej. Jest to spowodowane koniecznością przygotowania odlewu do badań ultrasonograficznych (produkt należy dokładnie zamocować w urządzeniu, muszą być wytoczone punkty podparcia, powierzchnia denka tłoka musi mieć odpowiednią chropowatość, a obszar badany - zaprojektowany naddatek). Harmonogram po spotkaniu zespołu Lean, z którego wynika konieczność zastąpienia urządzenia US1D urządzeniem US2D przedstawiono na rysunku 5.23.

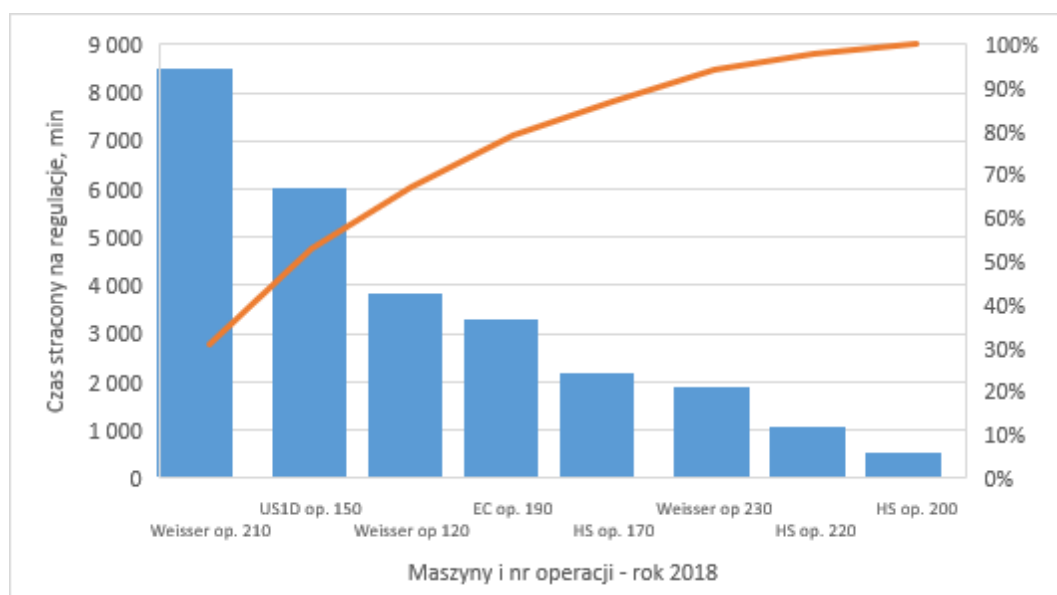


Rys.5.23. Harmonogram badań, analiz, wdrożeń i spotkań komitetu sterującego Lean w zakresie wprowadzenia nowego urządzenia US2D.

Następnym etapem badań było wykonanie wykresu Pareto-Lorenza dla wskaźnika OAE dot. czasu strat z powodu zastosowania urządzenia US1D w roku 2018 (rys. 5.24) oraz czasu straconego na regulację nastawów (rys. 5.25) w porównaniu z tym samym wskaźnikiem, dotyczącym liczby tłoków wybrakowanych w roku 2018 (rys.5.26) i w roku 2019 (rys.5.27). Z rysunków tych wynika, że najwięcej strat (mierzonych wskaźnikami OAE, OEE, poziomem braków i zdolnością linii DL9) związanych jest z operacją nr 150 czyli wykorzystaniem do badań jakości urządzenia US1D. Wiele przerw w obróbce mechanicznej tłoków związane było z regulacją i zmianą parametrów nastawczych obrabiarek CNC (operacje 140 oraz 120). Urządzenie US1D miało liczne wady, utrudniające poprawną detekcję wyrobów niezgodnych. Obszar krytyczny badań tłoków był niedostatecznie pokryty i nie wszystkie niezgodności były wykrywane. Zdarzały się odrzuty tłoków, które były zgodne ze specyfikacją.

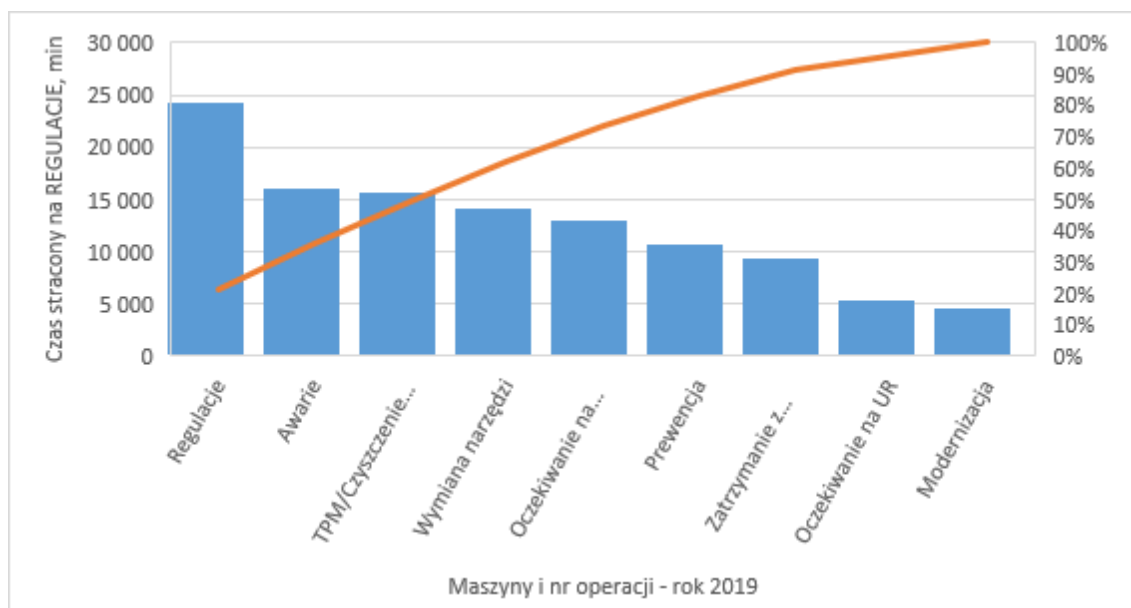


Rys.5.24. Wykres Pareto-Lorenza typów strat mierzonych wskaźnikiem OAE dla linii DL9 – rok 2018.

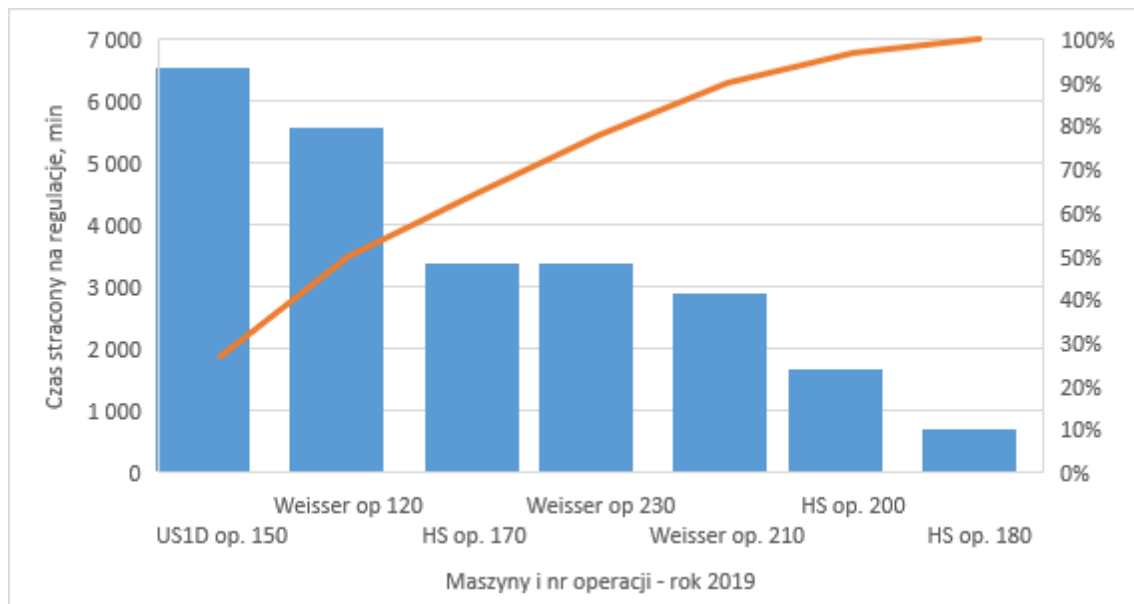


Rys.5.25. Wykres Pareto-Lorenza dot. regulacji urządzenia US1D na linii DL9 – rok 2018 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Zespół ekspertów zdecydował się wymienić urządzenie US1D (pracujące do 2018 roku) na najnowszy typ zwany US2D (pracujące od 2019), który znacząco poprawił skuteczność detekcji, zmniejszając liczbę regulacji i przestojów linii obróbczej DL9.



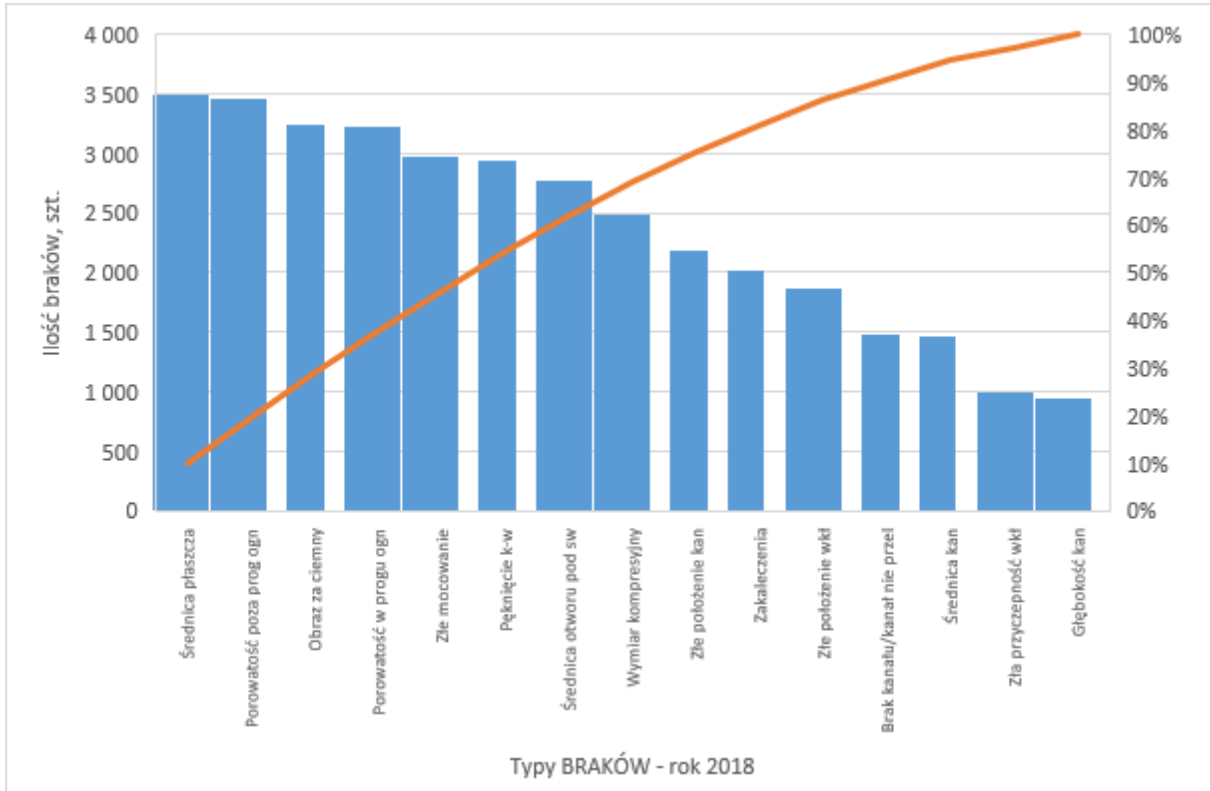
Rys.5.26. Wykres Pareto-Lorenza dla linii DL9 – rok 2019
(materiały będące własnością F-M Gorzyce).



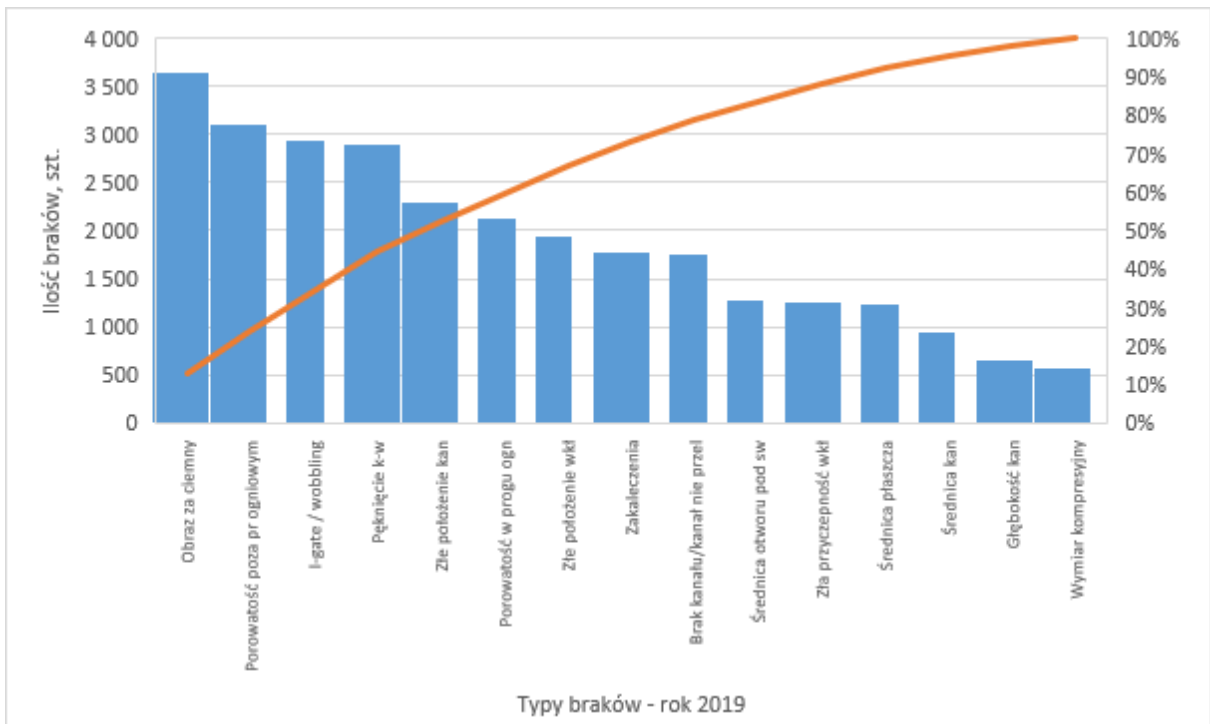
Rys.5.27. OAE Pareto-Lorenza - regulacje – rok 2019 – DL9
(materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Przed zakupem i instalacją nowej maszyny porównano parametry pracy i efektywność starego urządzenia US1D (rys.5.28a) i nowego urządzenia US2D (rys.5.28b). Różnice w zasadzie działania pomiędzy tymi urządzeniami przedstawiono w tabeli 5.4.

a)



b)



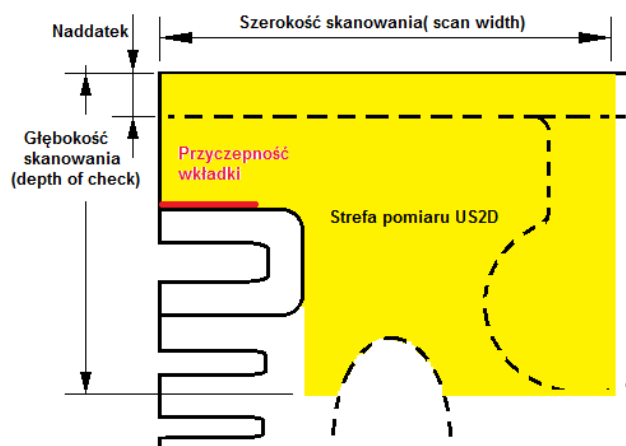
Rys.5.28. Wykres Pareto-Lorenza liczby tłoków wybrakowanych powstałych podczas ich obróbki mechanicznej dla linii DL9: a) mierzonych urządzeniem US1D (w roku 2018); b) mierzonych urządzeniem US2D (w roku 2019) (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

Tab.5.4. Porównanie zasady działania urządzeń US1D (starego) i US2D (nowego).

US1D	US2D
Sygnaly ultradźwiękowe zbierane są z trzech głowic nadawczo odbiorczych od strony denka tłoka. Tylko około 14 % powierzchni tłoka podlega inspekcji. Brany jest pod uwagę tylko sygnał amplitudowy.	Około 70% -80% powierzchni tłoka poddane jest inspekcji za pomocą jednej sondy (skanowanie powierzchni od strony deka tłoka). Analizowany jest zarówno sygnał amplitudowy jak i głębokość zalegania wady
Kryterium oceny – przekroczenie lub nie przekroczenie, określonego poziomu bramki inspekcyjnej w defektoskopie	Kryterium oceny - Ocena automatyczna przy pomocy programu biorącego pod uwagę zarówno sygnał amplitudowy jak i głębokość z jakiej odbija się sygnał ultradźwiękowy.
Wskazania sygnału na defektoskopie na żywo podczas badania lub w przypadku nieco nowszych US1D dodatkowo wizualizacja sygnału amplitudowego na wykresach od poszczególnych głowic.	Po „obróbce” danych generowane są obrazy: amplitudowy - o sile sygnału ultradźwiękowego i głębokościowy dot. lokalizacji potencjalnych wad. O tym czy dany obszar zaliczany jest do wady czy nie decyduje program komputerowy.
Kalibracja ręczna za pomocą wzorca.	Kalibracja automatyczna
Ręczne ustawianie prostopadłość głowic.	Zautomatyzowanie ustawienie prostopadłości głowic ultradźwiękowych.
Brak raportowania poza urządzenie o wykrytych wadach	Dzienne raportowanie z ostatniej doby w postaci wykresów kołowych i informacji tekstowych
Braki informacji historycznych o wykonanych pomiarach za wyjątkiem zwykłych liczników liczby tłoków dobrych i wadliwych.	W PC gromadzona jest informacja o wszystkich pomiarach wykonanych na urządzeniu w postaci plików z danymi pomiarowymi oraz zdjęciami.
	Kontrola jakości badania ultradźwiękowego (jakość powierzchni tłoka, czystość medium).

Urządzenie do sprawdzania jakości odlewów tłoków dla silników spalinowych używa ultradźwięków do wykrywania następujących wad w określonym obszarze (rys. 5.29):

1. Porowatość poza progiem ogniowym płaszcza tłoka.
2. Porowatość w progu ogniowym płaszcza tłoka.
3. Pęknięcie pomiędzy wkładką żeliwną a kanałem chłodzącym w odlewie tłoka.
4. Nieosiowe położenie kanału chłodzącego i/lub wkładki żeliwnej w odlewie tłoka.

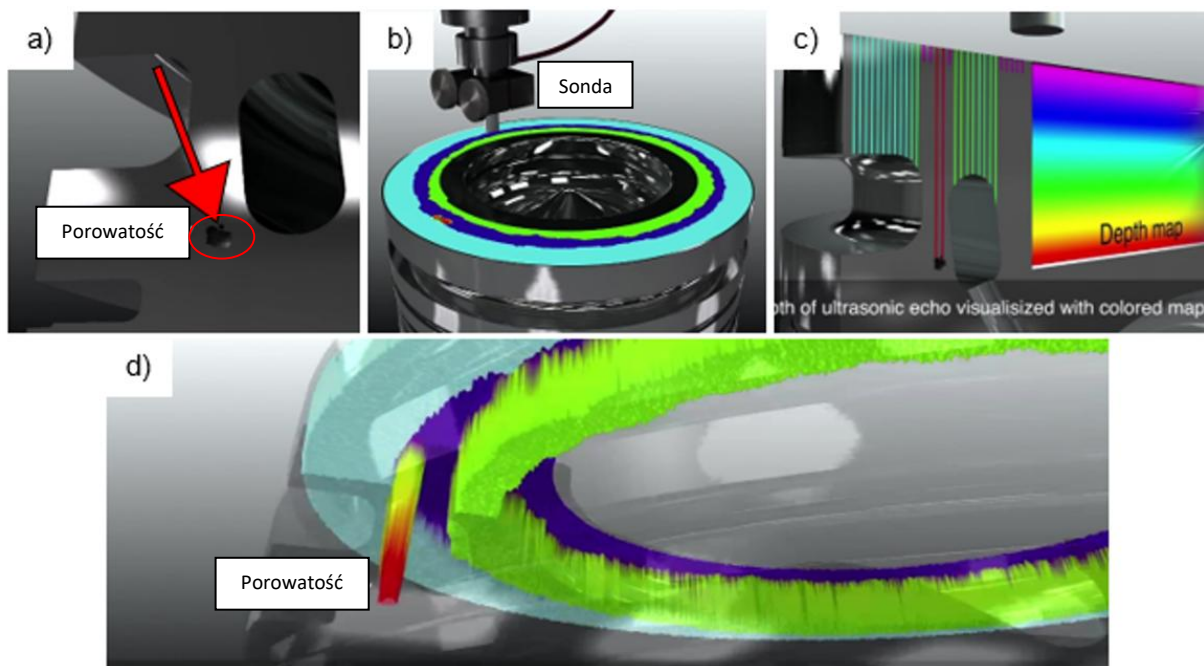


Rys.5.29. Obszar w odlewie tłoka, sprawdzany metodą ultradźwięków – urządzenie US2D.

Ultrasonograf US2D zespolony jest z robotem (rys.5.30), który w odpowiedni sposób przygotowuje tłok do badań. Kontrola jakości odlewów realizowana jest poprzez odpowiednio ustawioną sondę ultradźwiękową. Odbite sygnały ultradźwiękowe przetwarzane są za pomocą algorytmów i przedstawione w formie 2D i 3D na monitorze panelu sterującego. Etapy działania ultrasonografu US2D przedstawiono na rysunku 5.31.

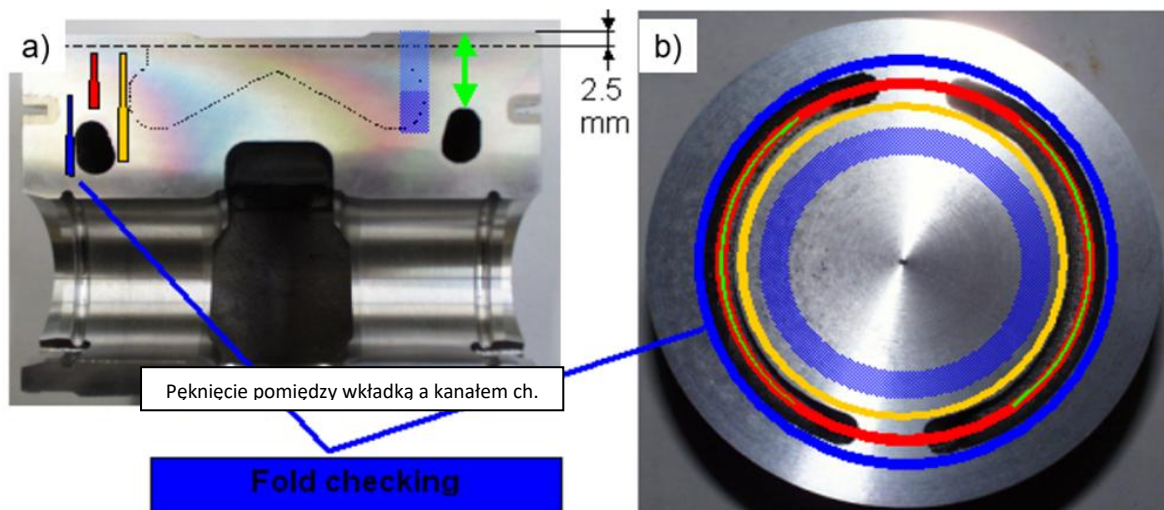


Rys.5.30. Ultrasonograf US2D.

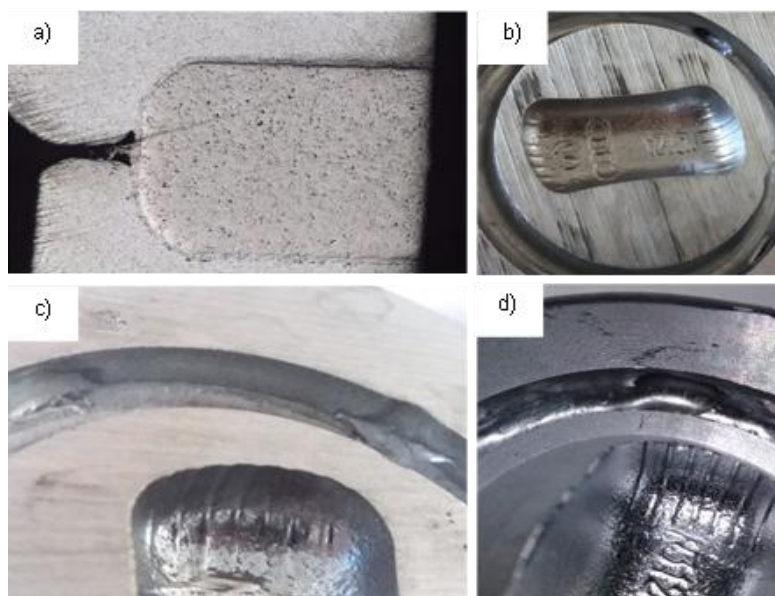


Rys.5.31. Etapy działania ultrasonografu US2D: a) identyfikacja wady, b) pozycjonowanie sondy, c) wizualizacja badań ultradźwiękowych 2D, d) wyniki badań 3D.

Jedną z wad wykrywanych na US2D jest pęknięcie pomiędzy kanałem solnym, a wkładką żeliwną (rys. 5.32). Graficzne przedstawienie przyczyn powstania tej wady przedstawia rysunek 5.32.



Rys.5.31. Badanie pęknięć w obszarze: wkładka-kanal a) przekrój boczny tłoka, b) widok z góry.



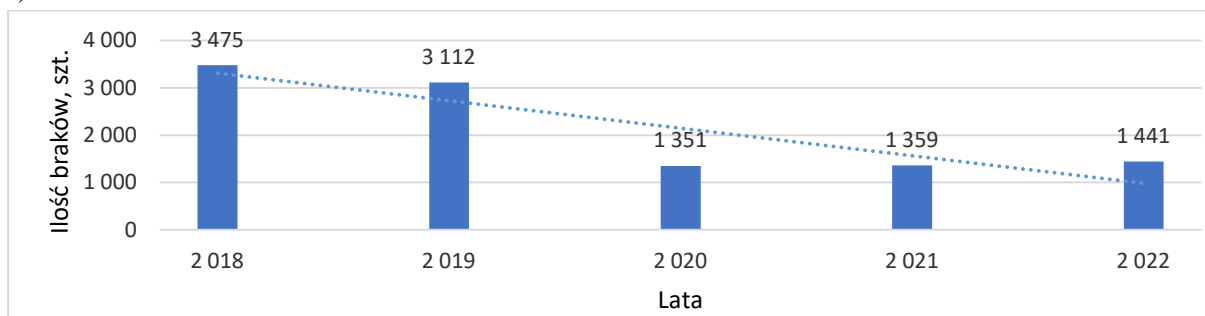
Rys.5.32. Graficzne obrazy przyczyn powstania wad odlewów pomiędzy wkładką, a kanałem solnym.

Przyczyny przedstawione na rysunku 5.23 to głównie:

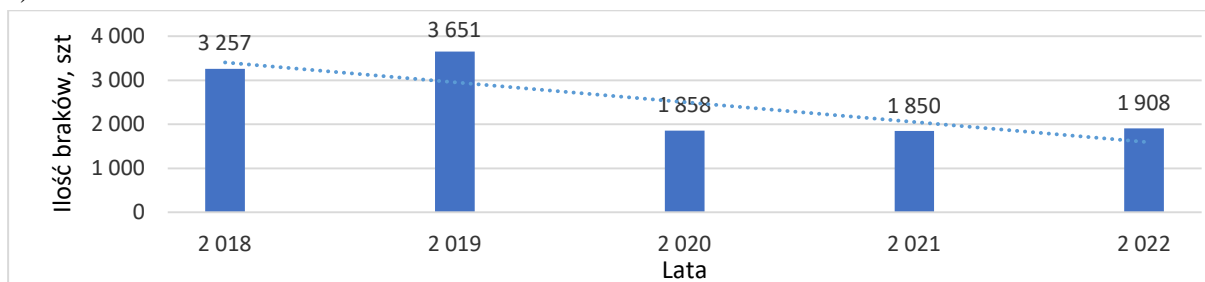
- nieprawidłowy rozkład argonu w kokili przed zalaniem do niej stopu (rys. 5.32a, 5.32b),
- wyciek wody do matrycy (rys. 5.32c),
- jakość rdzenia solnego (powierzchnia zbyt gładka) (rys. 5.32c, 5.32d),
- nieodpowiednia temperatura matrycy lub zbyt zimny rdzeń solny (rys. 5.32a, 5.32b),
- zbyt długi czas załadunku wkładki żeliwnej do kokili lub rdzenia solnego (rys. 5.32, 5.32).

Urządzenie US2D instalowane na linii DL9 nie tylko gwarantuje (przy 100% kontroli), brak możliwości przedostania się wadliwego tłoka do silnika, ale też obniża koszty produkcji poprzez „skrócenie czasu reakcji” od detekcji wady do uruchomienia działań korygujących. Automatyzuje i upraszcza obsługę urządzenia, przez co zmniejsza ilość regulacji urządzenia US2D w operacji nr 120, która dotyczy przygotowania powierzchni tłoka przed badaniem. Skuteczność nowego urządzenia US2D determinowana liczbą wybranych wad wykrywanych na US2D w latach 2020-2022 vs US1D w latach 2018-2019 przedstawiono na rysunku 5.33.

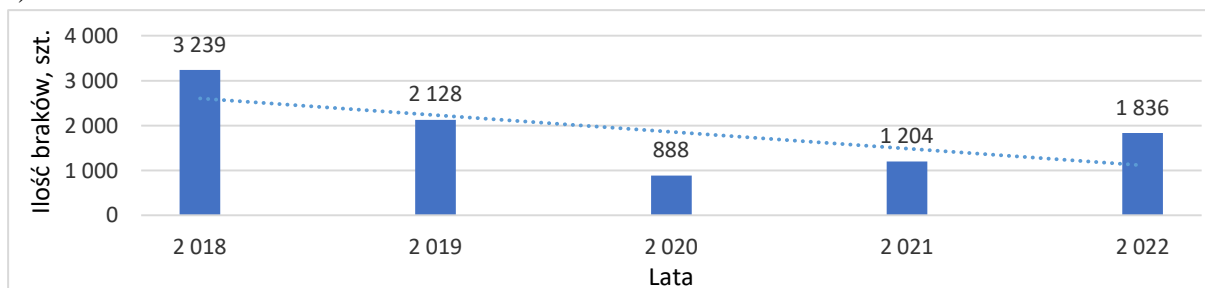
a)



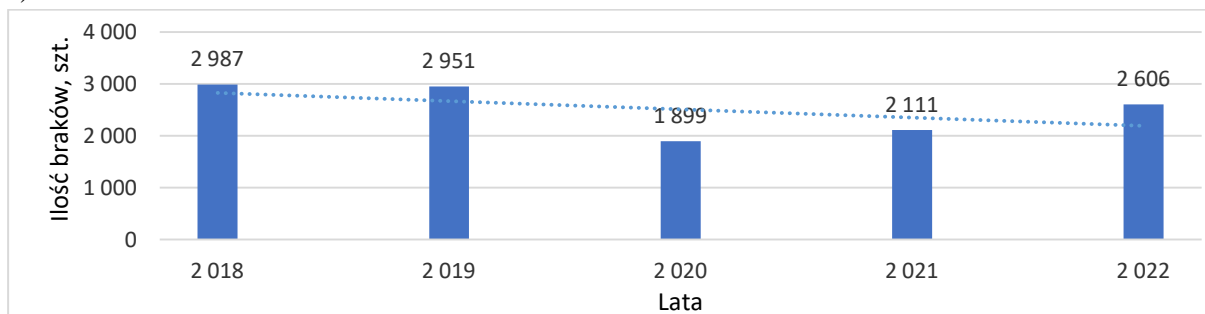
b)



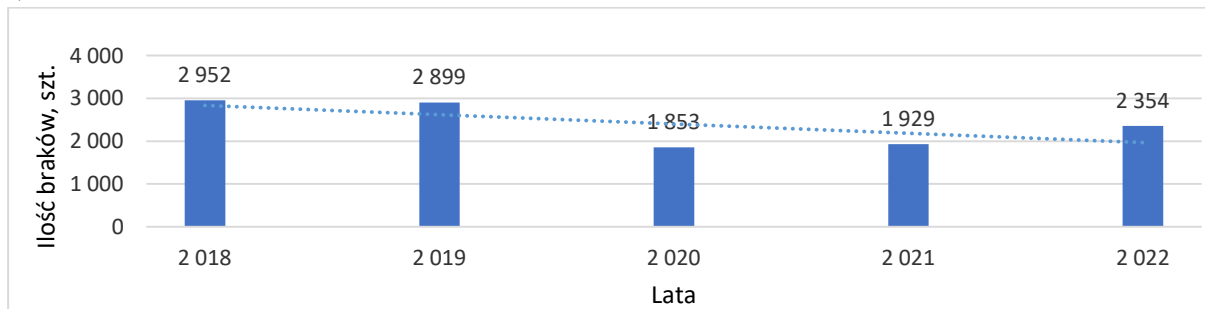
c)



d)



e)



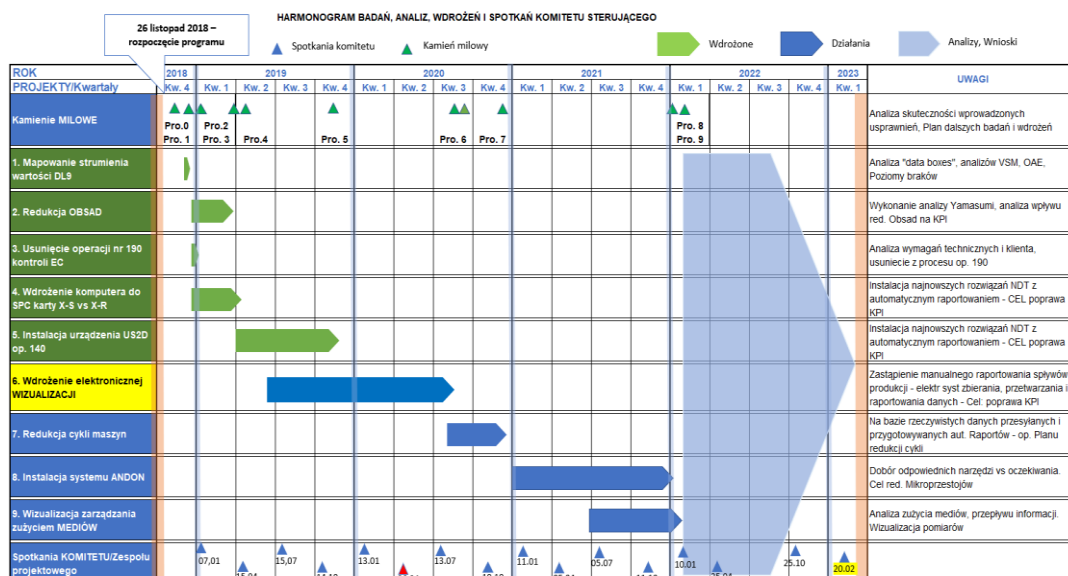
Rys.5.33. Trendy braków lub przyczyn odrzutów odlewów z urządzenia US1D i US2D: a) porowatość poza progiem og., b) za ciemny obraz, c) porowatość w progu ogniowym, d) mocowanie odlewu, e) pęknięcia pomiędzy wkładką, a kanałem chłodzącym.

Dodatkowo, uzyskana jest funkcjonalność ciągłego zbierania i prawidłowego raportowania danych w trakcie trwania procesu produkcyjnego. Wzrosła jakość detekcji oraz pojawiły się dodatkowe informacje dotyczące przyczyn odrzutów odlewów nie związanych z ich jakością, lecz z procesem mocowania odlewu i innymi zmiennymi, mającymi wpływ na wynik pomiaru (np. zbyt ciemny obraz, złe mocowanie odlewu tłoka, uszkodzona sonda, nieodpowiednia chropowatość powierzchni denka tłoka, zanieczyszczenia, itp.). Znając powyższe informacje, liderzy i operatorzy linii nie tracą czasu na analizę dodatkowych pomiarów tłoka, a skupiają się na rozwiązaniu problemów z samym pomiarem, co oszczędza czas naprawy i nie zmniejsza efektywności i zdolności ilościowej linii. Poza tym, urządzenie US2D to skuteczny sposób na obniżenie kosztów reklamacji i produkcji, stanowiąc znacznie tańszą alternatywą dla badań nieniszczących wykonywanych przy zastosowaniu tomografii RTG.

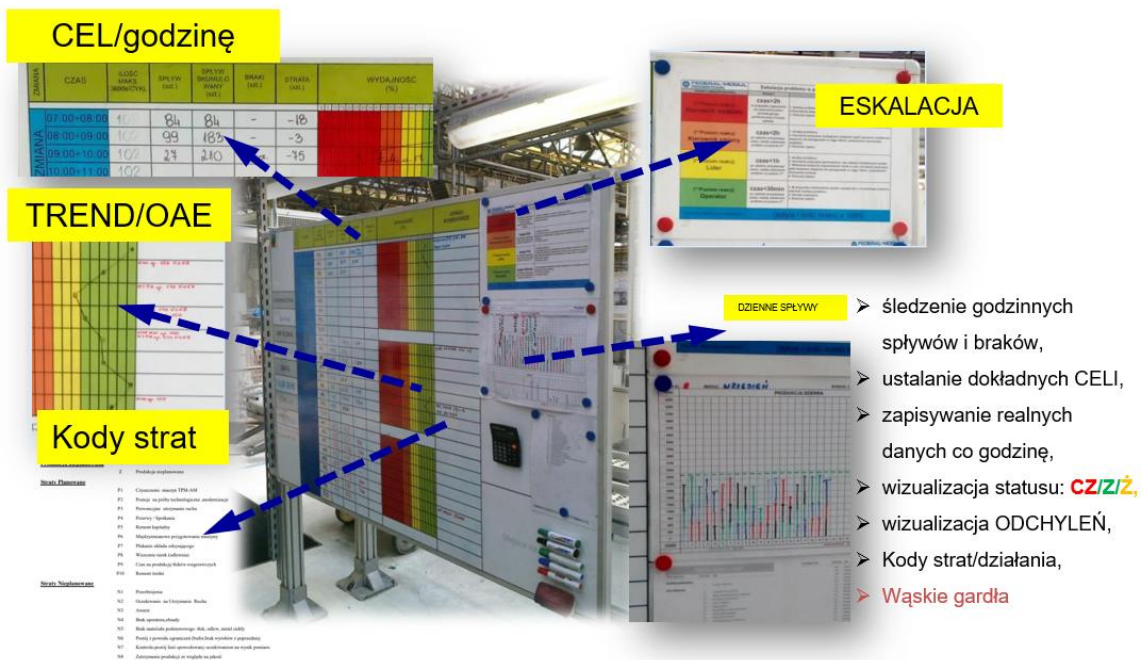
Wykresy przedstawione na rysunku 5.33 jednoznacznie pokazują, że zainstalowane nowe urządzenie US2D nie tylko poprawiło skuteczność pomiarów, ale także poprzez digitalizację obróbki danych i wizualizację wyników 3D, przyczyniło się do szybkiej diagnozy procesów odlewniczych i wprowadzenia działań doskonalących. Spowodowało to automatyczny transfer danych wykorzystując wewnątrz sieci internetowe, do działu produkcji, inżynieringu, działu jakości i ośrodka badawczo rozwojowego znajdującego się poza Polską, będąc przyczynkiem do dalszych prac badawczych usprawniających procesy wytwórcze i kontrole.

5.6. Wprowadzenie elektronicznej wizualizacji statusu obróbki skrawaniem

Jednym z kluczowych wskaźników produkcji jest liczba wyprodukowanych sztuk/godz. (tzw. wielkość „spływu” produkcyjnego). Poziom satysfakcji jest mierzony wskaźnikiem OAE czyli wielkością wykorzystania urządzeń wyliczanym co godzinę (ilość wykonanych w ciągu godziny części podzielona przez planowaną ilość do wyprodukowania). Wskaźnik ten zalicza wszystkie planowane postoje linii (np. naprawy, czyszczenie, przebrojenia) i nieplanowane (awarie, brak operatorów, brak półfabrykatów) w straty. Nie obejmuje tylko braku zamówień od klienta oraz dni wolnych od pracy (święta państwowe). Ilość sztuk wykonana i obliczony wskaźnik OAE zapisywane są co godzinę na tablicy spływów (rys. 5.34 i 5.35).



Rys.5.34. Harmonogram badań analiz i spotkań w zakresie wdrożenia elektronicznej wizualizacji.



Rys.5.35. Tablica do ręcznego zapisywania godzinnych spływów z produkcji i obliczania OAE.

W ostatnich latach, a szczególnie w roku 2018 dało się zauważyć, że linia DL9 zaczęła wykazywać mniejszą zdolność (malała liczba wyprodukowanych sztuk odlewów). Wskaźnik OAE w ciągu ostatnich 4 lat nie osiągnął 75% (rys. 2.24) co wskazuje, że wspomniana linia nie wykorzystuje swojego potencjału.

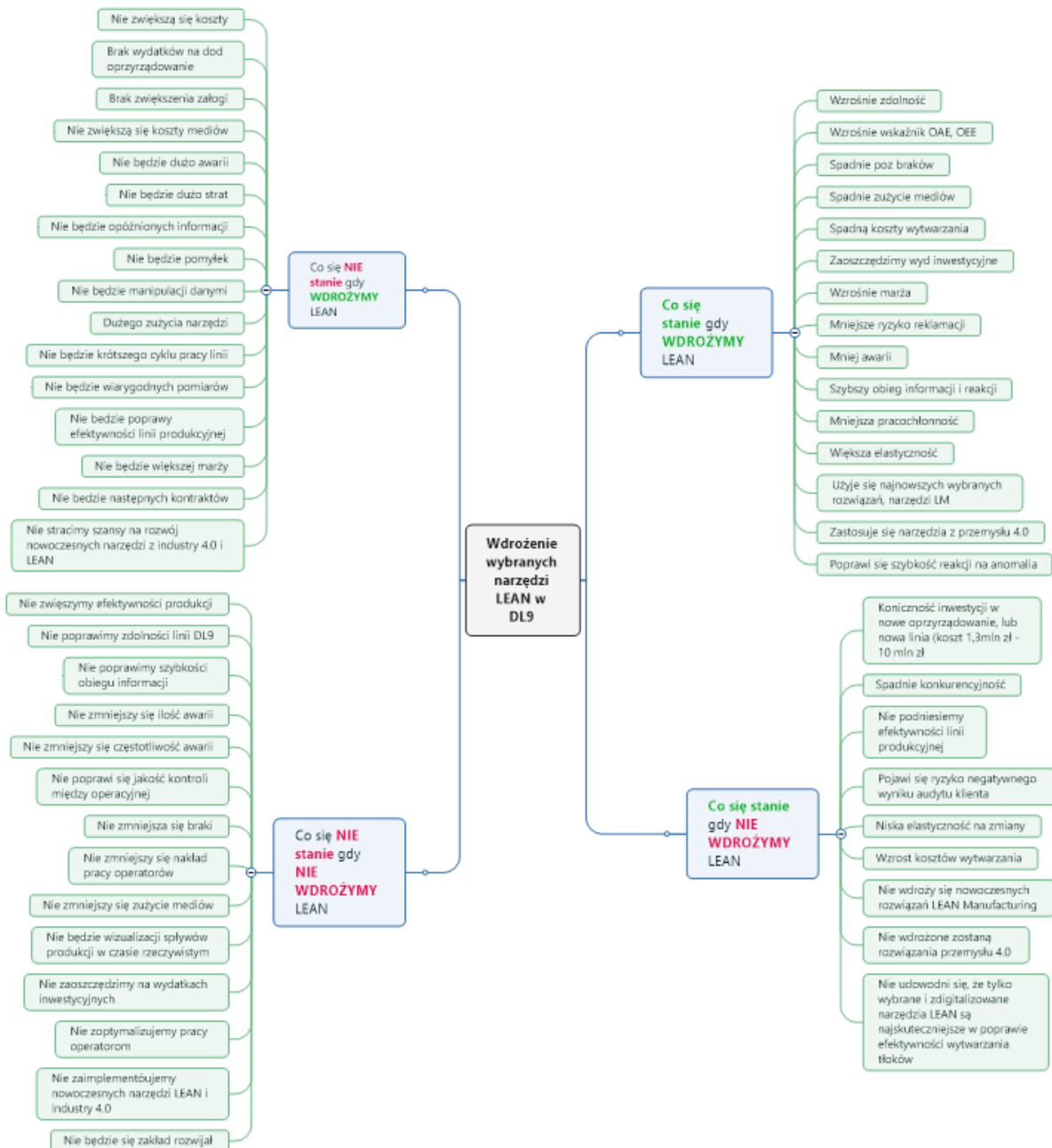
Dodatkowo na bazie prognoz otrzymanych od klienta (rys. 2.20 - badania wstępne), od 2020 roku liczba zamówień przekracza zdolność wspomnianej linii do obróbki tłoków. Zakład aby sprostać zwiększonym zamówieniom zdecydował się zwiększyć efektywność swojego parku maszynowego poprzez zaimplementowanie szeregu wybranych narzędzi Lean Manufacturing wspartych w jak największym stopniu własnymi rozwiązaniami i/lub narzędziami z zakresu przemysłu 4.0.

W związku z powyższym, kierownictwo F-M Gorzyce w składzie specjalistów z obszaru:

- inżynieringu,
- działu jakości,
- logistyki,
- technologii informatycznych (IT),
- utrzymania ruchu,
- produkcji,
- ciągłego doskonalenia,

przeanalizowało jakie korzyści może spółka uzyskać (stracić), gdy zdecyduje się wykorzystać wybrane narzędzia lean zbieżne z przemysłem 4.0, opracowanymi w dużym zakresie we własnym zakresie, używając do tego celu narzędzia diament kartezjański¹ (rys. 5.36).

¹ - to metoda, której celem jest poszerzenie perspektywy, spojrzenie na zagadnienie pod różnym kątem i rozważenie potencjalnych konsekwencji jej wdrożenia.



Rys.5.36. Diament kartezyjski. Analiza korzyści wynikających z wdrożenia wybranych narzędzi LM z funkcjonalnością przemysłu 4.0.

Wyniki wcześniejszych analiz jednoznacznie wskazują, że należy wykorzystać potencjał zespołu fachowców pracujących w F-M Gorzyce do opracowania i wdrożenia najlepszych rozwiązań mających na celu zwiększenie efektywności wybranej linii obróbczej i poprawę jej zdolności. Zespół wykorzystał istniejące dane, sugestie i pomysły z przeprowadzonego mapowania strumienia wartości. Dodatkowo zorganizowano internetową anonimową ankietę pośród załogi i zespołu interdyscyplinarnego na temat wad procesu raportowania spływów produkcji i sposobu reakcji na pojawiające się problemy. Celem zebrania i zaprezentowania problemu badawczego oraz zaprezentowania wyników i wniosków zastosowano narzędzie Design Thinking (metoda, która pomaga kreować rozwiązania spełniające oczekiwania wszystkich zainteresowanych stron) – rysunek 5.37.

ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW/TWORZENIE NOWYCH ROZWIĄZAŃ (na bazie metody DESIGN THINKING)

I ZWRÓCENIE UWAGI NA PROBLEM

1 Kluczowe informacje

Do	Jak produkt/maszyna/wyposażenie jest zaangażowany w działanie?	Zapisać/wnieść/porozumienie zgodzinnych splayów produkcj
Kiedy	Kiedy pojawił się problem? W której fazie: uruchomienie, funkcjonowanie, zatrzymanie, itp?	Ostatnie 12 miesięcy Syczeń 2018 - Syczeń 2019
Gdzie	Gdzie pojawił się problem? W wyposażeniu, procesie czy na wyrobisku?	Linia produkcyjna DL5 (stanowisko skrawaniemi)
Kto	Kto wykonuje działania? Czy dotyczy to jednego operatora czy więcej pracowników?	z operatorów z ostatniej linii produkcyjnej linii DL5
Jaki	Czy zjawisko pojawiło się w sposób przypadkowy? Czy częściej występuje (np. w poniedziałek, piątek)?	Zjawisko występuje cyklicznie, zwykle na 2-3 zmianie.
Jak	Czy wyposażenie jest kompletne? Z jaką częstotliwością pojawia się problem?	Zapisy splayu produkcj i częstotliwością zgodzinną

2 zidentyfikowanie interdyscyplinarnego zespołu - Lider LM

produkcja	PM/VSM, bygodziśta/lider/operator
inżyniering	programista/technolog
IT	programista/infrastructure IT
składowe	aspekt, wymogi ITP, kierownik
LPR	elektronika, automatyka
logistyka	logistyka/oparista
Lean manufacturing	expert LM

II DEFINICJA I SFORMULOWANIE PROBLEMU (ankieta, fishbon, pareto, burza mózgów, SWIH, ostatnie ma)

1 Wywiad, rozpoznanie problemów, rozpoznanie wpływu na inne procesy, anonimowe ankiety - strona web.

Go to www.menti.com and use the code 42 51 3

Manualne raportowanie produkcji - ranking problemów

III TWORZENIE ALTERNATYWNYCH ROZWIĄZAŃ (burza mózgów, ankietyowanie, koszty), **POOJĘCIE DECYZJI**

IV DZIAŁANIA (status)

ID	Wzrostanie %	Realizacja	Opis	Przebieg	Wzrostanie %	Zakończona	Przebieg	Wzrostanie %	Zakończona
1	100%	100%	Przebieg zespołu ekspertów	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
2	100%	100%	Zdobycie dodatkowych informacji, Ankiety, naradzie Design Thinking	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
3	100%	100%	Przebieg zespołu ekspertów	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
4	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
5	100%	100%	Zdobycie dodatkowych informacji, Ankiety, naradzie Design Thinking	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
6	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
7	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
8	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
9	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%
10	100%	100%	Opisanie problemu	1.0000	100%	100%	1.0000	100%	100%

V WERYFIKACJA

VI STANDARYZACJA - DECYZJA

FAKTYCZNE	PLAN
100%	100%
100%	100%
100%	100%

Rys.5.37. Design Thinking – narzędzie wykorzystane do analizy i rozwiązywania problemów dotyczących zbierania i wizualizacji danych splayów produkcyjnych.

Zespół Lean w pierwszym etapie skupił się na analizie i sprawdzeniu poprawności zbierania danych niezbędnych do obliczania wskaźników, opracowania działań korygujących i poprawiających produktywność. Świadomość operatorów na temat identyfikacji problemu zwykle poprawia ich odpowiedzialność, co przyczynia się do podwyższenia dyscypliny oraz wydajności pracy zgodnie z wytycznymi i oczekiwaniami kierownictwa.

Arkusz/formularz rozwiązywania problemów składa się z sześciu etapów.

1. Informacje wstępne

Arkusz zbudowano z pięciu pytań, których treść problemu przedstawia tabela 5.5.

Tab.5.5. Określenie/opisanie tematu/problemu poddanemu analizie.

Co?	Jak produkt/maszyna/wyposażenie jest zaangażowany w działanie ?
Kiedy?	Kiedy pojawił się problem? W której fazie: uruchomienie, funkcjonowanie, zatrzymanie, itp?
Gdzie?	Gdzie pojawił się problem? W wyposażeniu, procesie czy na wyrobisku?
Kto?	Kto wykonuje działania? Czy dotyczy to jednego operatora czy więcej?
Jaki?	Czy zjawisko pojawiło się w sposób przypadkowy? Kiedy częściej występuje (np. w poniedziałek, piątek)?
Jak?	Czy wyposażenie jest kompletne? Z jaką częstotliwością pojawia się problem?

2. Powołanie interdyscyplinarnego zespołu

Najlepiej skorzystać z doświadczenia operatorów i osób, które potrafią „świeżo” spojrzeć na zagadnienie, co pozwala na rozpoznanie wielu aspektów i opracowanie alternatywnych rozwiązań. W tym przypadku udział w badaniu wzięły osoby przedstawione w tabeli 5.6.

Tab.5.6. Skład interdyscyplinarnego zespołu Lean dotyczący Design Thinking.

Autor rozprawy doktorskiej	Lider LM
produkcja	PM/VSM, brygadzysta/lider/operator
inżyniering	programista/technolog
it	programista/infrastruktura it
jakość	expert: wymogi IATF, klientowskie
UR	elektronik, automatyk
logistyka	logistyk/planista
Lean manufacturing	expert LM

3. Definiowanie problemu badawczego

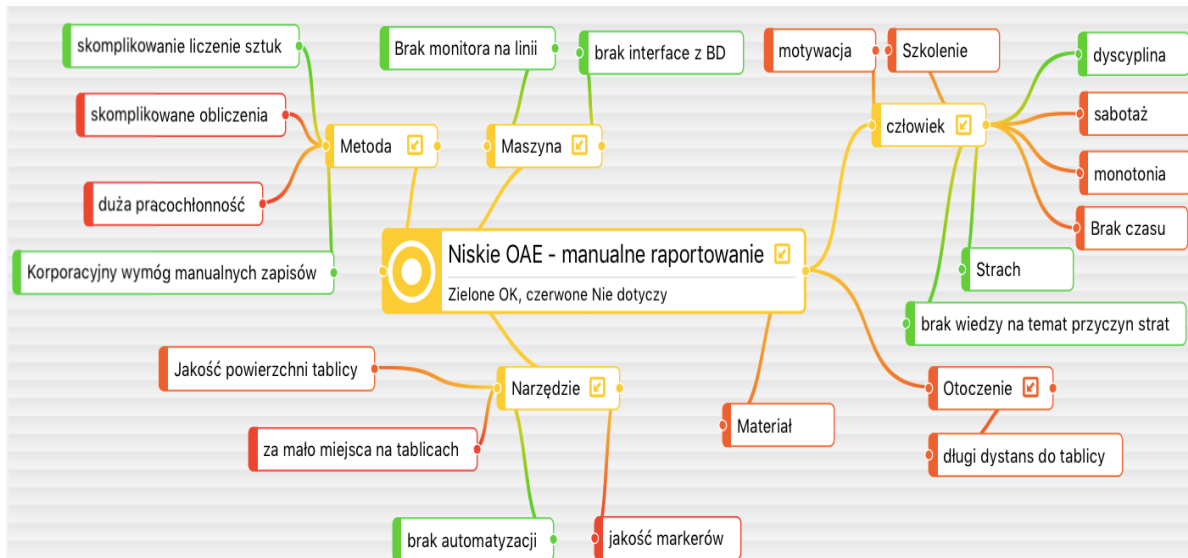
Zebranie informacji w formie ankiet daje bardzo szybkie wyniki oraz zachęca z uwagi na prostotę do wyrażania opinii. Dostęp do ankiety otrzymuje się poprzez numeryczne hasło lub poprzez kod QR. Zidentyfikowane problemy i ich klasyfikację pod kątem wpływu na proces obróbki skrawaniem odlewów tłoków przedstawiono na rysunku 5.38.



Rys.5.38. Wyniki ankiety wśród załogi linii DL9 i zespołu powołanego do elektronicznej wizualizacji wielkości produkcji (splywów) w linii obróbczej DL9 (materiały będące własnością F-M Gorzyce).

4. Zrozumienie i wybór przyczyn

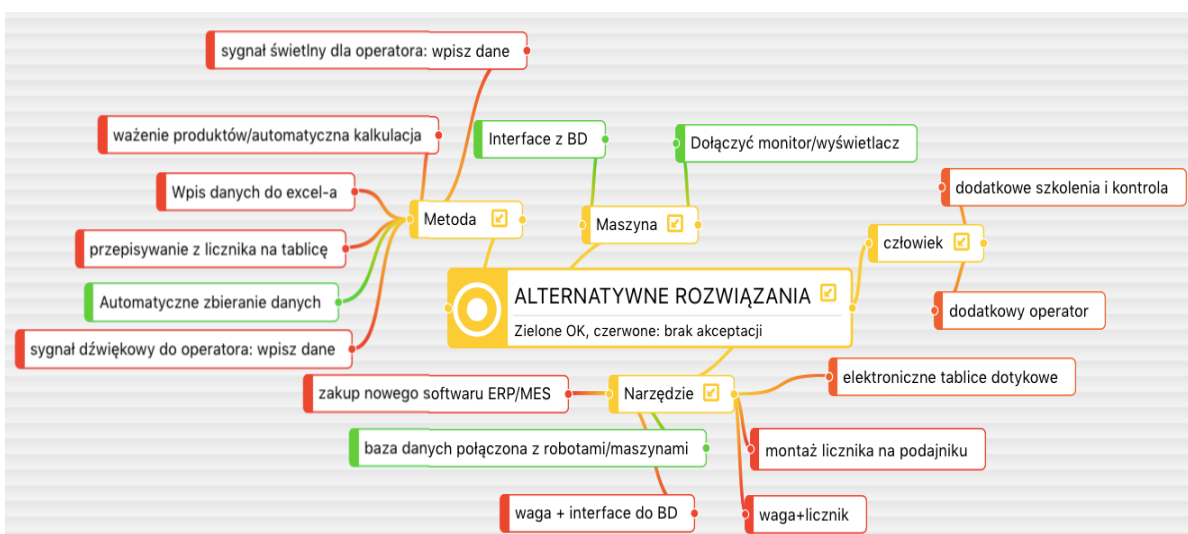
Do określenia przyczyn niskiej jakości raportowania danych o wyprodukowanych sztukach tłoków, tym samym konieczności wprowadzenia elektronicznej wizualizacji danych linii DL9, powołano interdyscyplinarny zespół Lean, który wykorzystał metodę burzy mózgów. Wyniki w postaci diagramu Ishikawy przedstawiono na rysunku 5.39.



Rys.5.39. Diagram Ishikawy – analiza potencjalnych przyczyn niskiej jakości raportowanych danych produkcyjnych mających wpływ na obniżenie wskaźnika OAE w linii DL9. Kolor zielony oznacza zaakceptowaną przyczynę.

5. Tworzenie alternatywnych rozwiązań

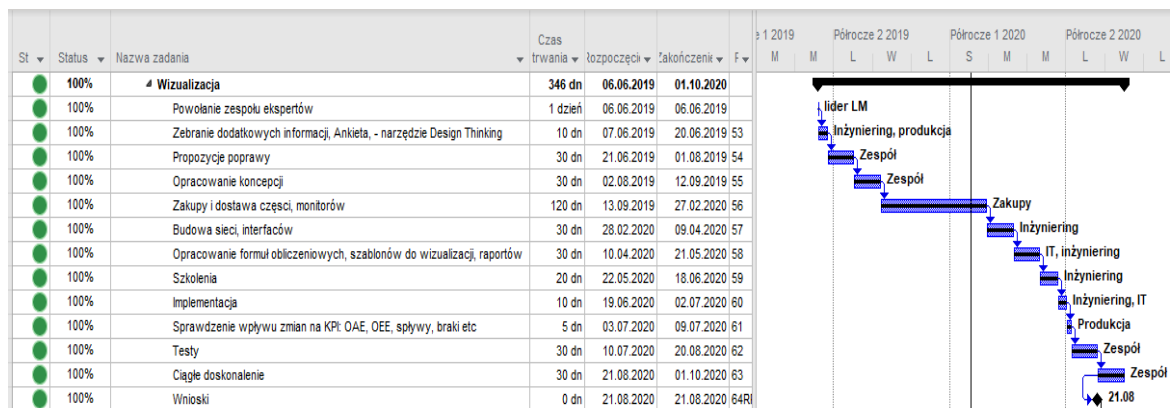
Najlepszym narzędziem do opracowania alternatywnych rozwiązań przyjętych z diagramu Ishikawy było ponowne zebranie zespołu Lean i zastosowanie burzy mózgów. Wybór zaakceptowanych przez zespół rozwiązań (zaznaczonych na kolor czerwony) przedstawiono na rysunku 5.40.



Rys.5.40. Wyniki burzy mózgów przeprowadzonej do znalezienia alternatywnych rozwiązań dla problemu z raportowaniem sphywów produkcji na linii DL9.

6. Plan działań oraz sprawdzenie statusu

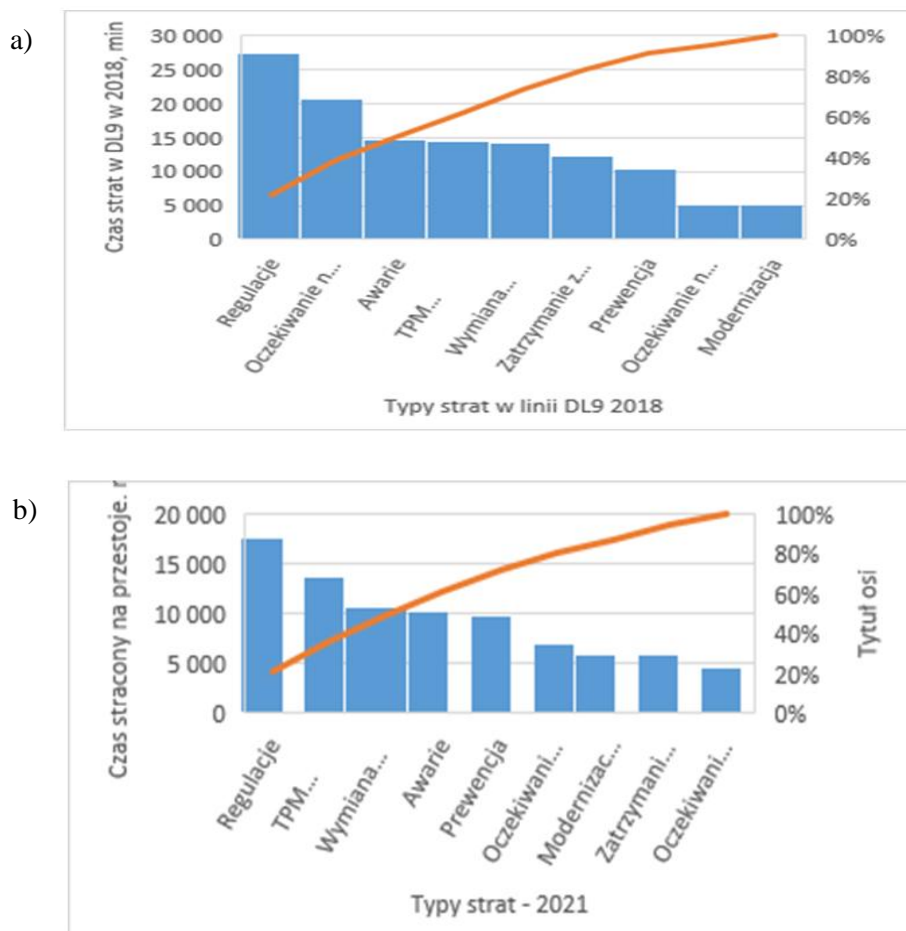
Wyznaczono zadania, czas ich wykonania i osoby odpowiedzialne. Schemat projektu dotyczący wdrożenia elektronicznej wizualizacji danych linii DL9 przedstawia rysunek 5.41.



Rys.5.41. Plan działań dotyczących wdrożenia elektronicznej wizualizacji sphywów produkcji oraz wskaźnika OAE na linii DL9.

7. Weryfikacja

Kolejnym etapem było sprawdzenie wpływu podjętych działań na poprawę wskaźnika OAE. Wyniki te, przed i po wprowadzeniu zmian, przedstawia rysunek 5.42.



Rys.5.42. Wykres Pareto-Lorenza wskaźnika OAE w roku: a) 2018; b) 2021.

8. Standaryzacja (decyzja)

Ostatnim etapem jest podjęcie decyzji o możliwości zastosowania podjętych działań (rozwiązania) na innych liniach obróbczych i obszarach produkcji tłoków w F-M Gorzyce. Przykładową formę pytania skierowanego do odpowiedniego personelu F-M Gorzyce przedstawia tabela 5.7.

Tab.5.7. Widok standaryzacji (decyzji) z możliwością przeniesienia nowego rozwiązania na inne obszary zakładu, (korporacji).

Możliwe przeniesienie/skopiowanie na inne obszary/procesy?	
<input type="checkbox"/>	TAK
<input type="checkbox"/>	NIE
Jakie?	
Kiedy?	
Kto?	

Po analizie obszaru związanego z jakością zbieranych danych produkcyjnych, stwierdzono, że wskaźniki obarczone są pewnymi błędami ilościowymi i jakościowymi. Badania skoncentrowane były na analizie zgodności z wymaganiami, procedurami i brakiem takiej zgodności. Pozwoliło to na dokładniejsze rozpoznanie całego procesu oraz uniknięcie pominięcia wszystkich potencjalnych czynników, mających negatywny wpływ na zbieranie oraz zapisywanie danych. Całość prac ujęto w rozdziale 2.1.

Przeprowadzone badania ankietowe (w wersji on-line) wykazały, że największy wpływ na jakość danych ma dyscyplina, automatyzacja zbieranych danych, zaangażowanie i motywacja pracowników obsługujących linię DL9. Czynniki ludzkie ma bardzo duży wpływ na pomyłki, opóźnienia tj. terminowość zapisów oraz skłonność do manipulacji.

Stosując szeroki wachlarz metod mapowania procesu można było przekrojowo określić przyczyny nieprecyzyjnych raportowań. Każda z metod (np. diagram Ishikawy, anonimowa ankieta), pozwoliły spojrzeć na wszystkie aspekty bez pominięcia najważniejszych z nich. Pozwoliło to na wytypowanie głównych przyczyn kreujących największe problemy, do których zaliczono:

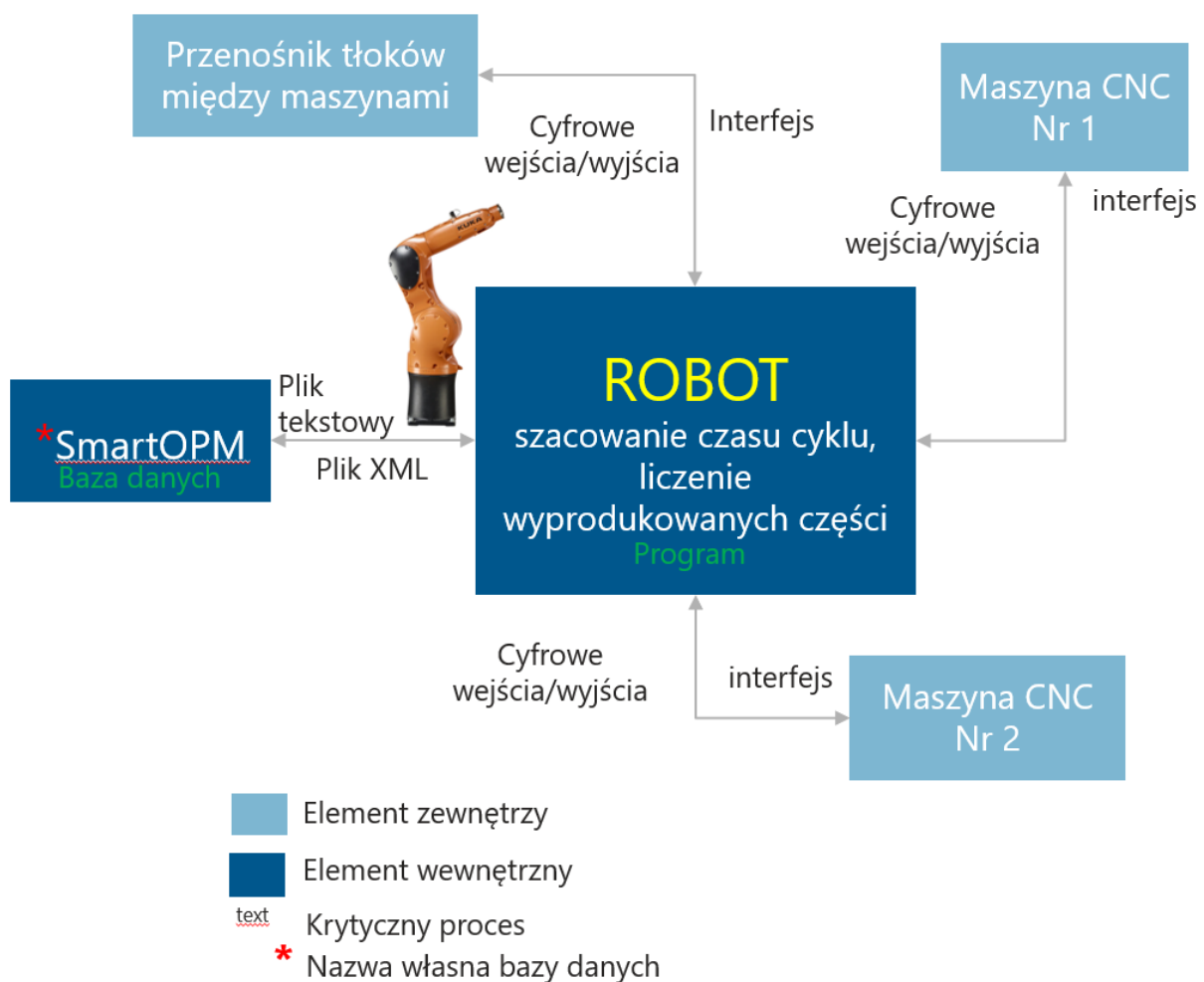
1. Przyjęta przez F-M Gorzyce koncepcja manualnego zapisywania przez operatorów danych dotyczących wskaźników produkcji, celem zwiększenia ich świadomości na temat ważności raportów oraz poprawy odpowiedzialności, NIE sprawdza się.
2. Operator nie zawsze odpowiednio zlicza wielkość produkcji przez co wpisuje zaniżoną lub zawyżoną liczbę sztuk odlewów (na każdym etapie ich obróbki mechanicznej).
3. Operator musi pamiętać o codziennych zapisach. Wymaga to od niego samodyscypliny. Często dane wpisywane są z opóźnieniem, a przyczyną tego była nieuwaga operatora lub brak czasu na zliczenie sztuk i zapis na tablicy (często nakładały się inne czynności np. wymiana narzędzi skrawających lub usuwanie drobnych usterek).
4. Aby zredukować pracochłonność operator manipuluje danymi. Np. zmianowy „spływ linii” dzieli przez 8 i wpisuje te same wyniki co godzinę, lub wszelkie „niedociągnięcia” raportuje w dwóch ostatnich godzinach symulując awarie maszyn, przeprowadzenie dodatkowych pomiarów lub brak podzespołów do produkcji tłoków.
5. Pojawiają się błędy przypadkowe (pomyłka w podsumowaniu wyniku).

6. Brak doświadczenia operatora (rotacja i fluktuacja załogi) sprawia, że często dane nie były uzupełniane z braku wiedzy lub zapomnienia.
7. Rzadko, ale występują manipulacje danymi czyli celowe zawyżenie wyniku liczby tłoków po zakończonym procesie obróbki mechanicznej (produkcji).

Mając na uwadze powyższe, zaproponowano schemat połączenia czynności manualnych, automatycznych z elektroniczną bazą danych, jako wstęp do osiągnięcia poziomu 4.0, co przedstawiono na rysunku 5.43.

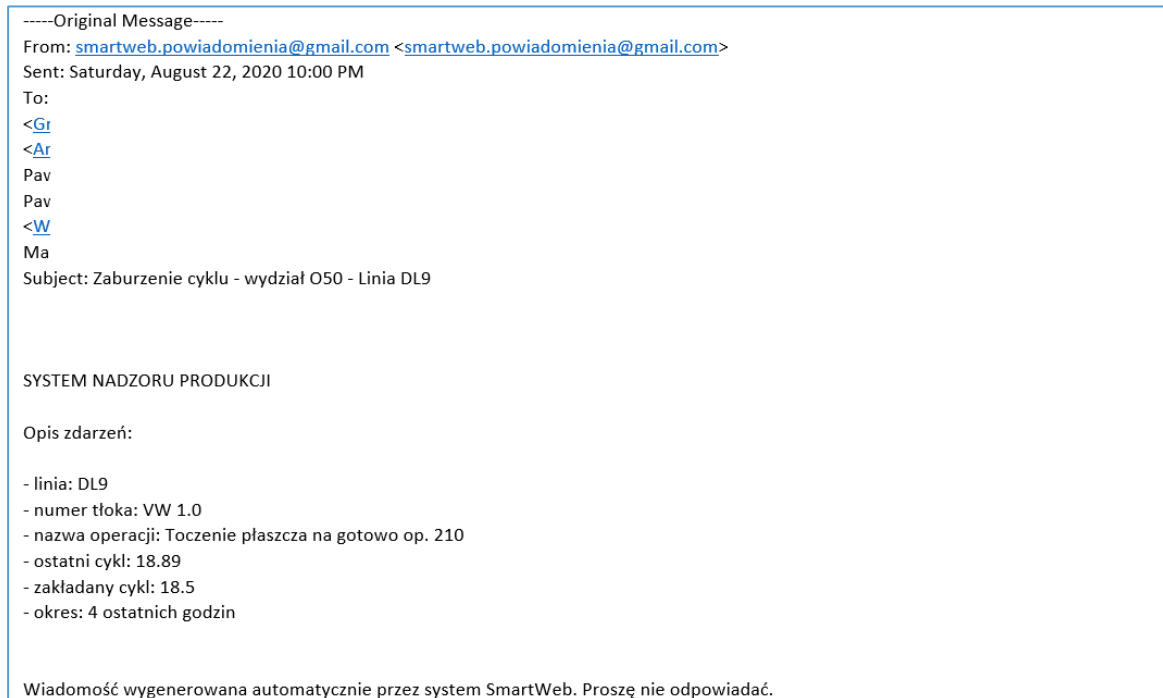
Opisane powyżej skutki mogą wywołać następujące problemy:

1. Brak natychmiastowej reakcji na pojawiające się mikroprzestoje.
2. Błędy w prognozowaniu zdolności linii obróbczych (produkcyjnych).
3. Brak jasno określonych przyczyn zmniejszonej obróbki skrawaniem (produkcji).
4. Zmniejszenie wskaźników OAE i OEE.
5. Słaba jakość zapisów na tablicy pokazującej godzinowe limity linii produkcyjnej podważa jakość opracowanych działań naprawczych, deprecjonuje dyscyplinę, solidność oraz rzetelność danych, które często kontrolowane są również przez audytorów zewnętrznych lub wewnętrznych.



Rys.5.43. Schemat połączeń: robot - maszyna - baza danych – w zakresie linii DL9.

Zaimplementowano też ciągły i automatyczny monitoring czasu cyklu dla każdej maszyny w każdym gnieździe. Informacja o wzroście cyklu względem czasu technicznie wyznaczonego pokazywana jest jako alarm na monitorze liczby obróbnionych tłoków na linii i automatycznie wysyłana w formie wiadomości (e-mail do lidera grupy operatorów, kierownika zmianowego, kierownika produkcji oraz zgodnie z planem eskalacji do dyrektora zakładu) w przypadku gdy czas cyklu na którejś z maszyn (operacji) został przekroczony (rys. 5.44).



Rys.5.44. Automatyczny e-mail wygenerowany i wysłany przez program do określonych pracowników z uwagi na przekroczony czas cyklu linii obróbczej DL9.

W ten sposób można w szybki i przejrzysty sposób śledzić wskaźniki wybierając tylko odpowiedni filtry w przypadku gdy muszą one być porównane do różnych czasookresów. System dzięki zbieranym danym pozwala na precyzyjną analizę pracy linii produkcyjnej biorąc pod uwagę różne czynniki, z których najważniejszymi są:

1. Rozkład cykli na maszynach i robotach.
2. Średnie cykle i średnie godzinowe spływy w różnych okresach: zmiana, dzień, tydzień, miesiąc – lub inny okres.
3. Średnie godzinowe spływy/cykle w wybranym okresie dla wybranej brygady, gniazda obróbczego, czynności, maszyny, itd.
4. Średnie godzinowe spływy/cykle ich rozkładu w każdej godzinie, zmianie lub dnia.

Poziom wskaźnika OAE pokazywanego na bieżąco na monitorze zainstalowanym na linii produkcyjnej zwizualizowany został poprzez odpowiednie kolory (czerwony: OAE poniżej 75%, żółty: OAE między 76-79%, zielony ponad 80%). Zastosowanie skustomizowanej wizualizacji celów, aktualnych spływów produkcji w sztukach, wskaźników (liczba i kolor), oraz kodów strat ilościowych, daje szybki status produkcji dla operatorów i kierownictwa, co pokazano na rysunku 5.45.

ZMIANA	CZAS	CEL	SPŁYW	SKRZYLOWANE	WYDAJNOŚĆ [%]	STRATY
PIERWSZA ZMIANA	07:00 ÷ 08:00	194	25	25	13%	P1; P4; N2; N3[gn.1 Fr]
	08:00 ÷ 09:00	194	154	179	79%	N3[gn.1 Fr]; N10[gn.1 Fr]
	09:00 ÷ 10:00	194	160	339	82%	N10[gn.1 Fr]
	10:00 ÷ 11:00	194	183	522	94%	N11[gn.2 weisser]
	11:00 ÷ 12:00	194	178	700	92%	N12[gn.2 weisser]
	12:00 ÷ 13:00	194	151	851	78%	N10[gn.10 weisser]
	13:00 ÷ 14:00	194	192	1043	99%	N20
	14:00 ÷ 15:00	194	190	1233	98%	N20
D	RAZEM (1 ZMIANA)	1 552	1 233	1 233	79%	
DRUGA ZMIANA	15:00 ÷ 16:00	194	184	184	95%	N4
	16:00 ÷ 17:00	194	185	369	95%	N4
	17:00 ÷ 18:00	194	147	516	76%	N3[gn.7 HS]; N10[gn.7 HS]
	18:00 ÷ 19:00	194	181	697	93%	N12[gn.7 HS]
	19:00 ÷ 20:00	194	147	844	76%	N10[gn.8 weisser]
	20:00 ÷ 21:00	194	131	975	68%	N3[gn.8 weisser]
	21:00 ÷ 22:00	194	0	975	0%	
	22:00 ÷ 23:00	194	0	975	0%	
A	RAZEM (2 ZMIANA)	1 552	975	975	63%	
TRZECIA ZMIANA	23:00 ÷ 24:00	194	177	177	91%	N6
	24:00 ÷ 01:00	194	168	345	87%	N7[gn.8 weisser]
	01:00 ÷ 02:00	194	190	535	98%	N10[gn.8 weisser]
	02:00 ÷ 03:00	194	186	721	96%	N10[gn.8 weisser]
	03:00 ÷ 04:00	194	147	868	76%	N10 [gn.3 US]
	04:00 ÷ 05:00	194	121	989	62%	N3 [gn.3 US]
	05:00 ÷ 06:00	194	158	1147	81%	N10 [gn.3 US]
	06:00 ÷ 07:00	194	186	1333	96%	N10[gn.3 US]
C	RAZEM (3 ZMIANA)	1 552	1 333	1 333	86%	

CEL	
1 552	100%
WYKONANIE CELU	
975	
PROGNOZA WYKONANIA	
1 363	88%
MATERIAŁ	
072N503AD01	
MIJSCA	ZAKŁADANY CYKL [S]
DL9	18,5

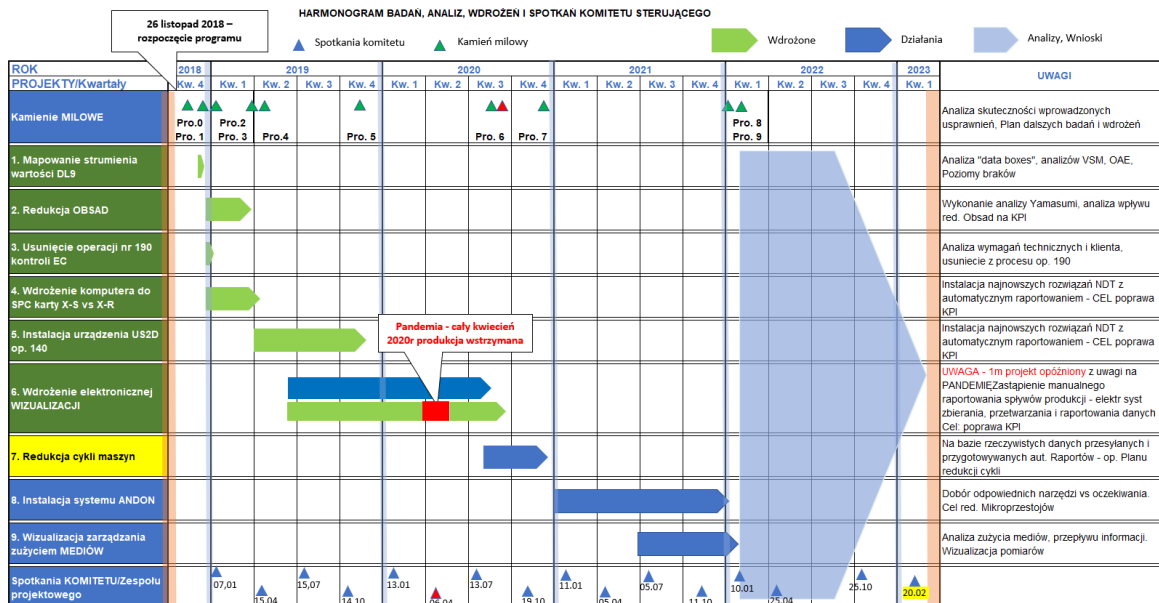
Rys.5.45. Widok ekranu pulpitu wizualizacji statusu produkcji linii obróbczej DL9 (materiały będące własnością F-M Gorzyce)..

Każde spowolnienie lub nagłe zwiększenie (nieuzasadnione) liczby sztuk wyprodukowanych tłoków można przeanalizować pod kątem technicznym (w bazie danych zbierane są informacje na temat cykli w poszczególnych celach roboczych każdej z maszyn oraz cykle robota związane z przeładunkiem tłoków: robot-maszyna-podajnik). Dzięki temu można poprawiać na bieżąco produktywność linii i zwiększać jej zdolności. Pomaga to ograniczyć wielkość inwestycji, zredukować koszty produkcji, zwiększyć wskaźnik wykorzystania maszyn OAE. Ważnym osiągnięciem jest także uniezależnienie się od operatorów w procesie raportowania danych ilościowych. Już po pierwszej godzinie nowa baza kalkuluje na bazie danych historycznych prognozę wykonania zmiany. Pozwala to odpowiednim służbom zaplanować inne procesy np. dostawy półfabrykatów, materiałów pomocniczych, narzędzi skrawających, dalszych etapów produkcji, pakowania, wysyłki itp.

5.7. Redukcja czasu cykli maszyn na linii DL9

Jednym z głównych zadań dostawcy, oprócz utrzymania wynegocjowanej ceny oraz dostarczania na czas zgodnych z wymaganiami produktów, jest ciągła optymalizacja procesu wytwarzania, której celem jest możliwość utrzymania zaplanowanej rentowności (marży) przy jednoczesnym, corocznym rabatowaniu. Ciągła poprawa produktywności pozwala uniknąć straty zysków nawet przy rosnącej inflacji cen materiałów podstawowych, pomocniczych, mediów technicznych lub wzrostu wynagrodzeń.

Harmonogram badań, analiz i spotkań zespołu sterującego w zakresie redukcji cyklu maszyn obróbczych na DL9 przedstawiono na rysunku 5.46.



Rys.5.46. Harmonogram badań analiz i spotkań w zakresie redukcji cykli maszyn do obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9.

Optymalizacja redukcji cykli maszyn obróbczych DL9 konieczna jest także do uniknięcia wydatków inwestycyjnych związanych ze wzrostem zdolności parku maszynowego wówczas gdy klient zamówi większą od zakontraktowanej liczbę produktów (przypadek linii DL9), lub gdy pojawi się inny produkt albo nowy klient, dla którego nie ma już zdolności technicznych. Taka sytuacja powoduje potrzebę wygospodarowania dodatkowych mocy produkcyjnych z już istniejących linii do produkcji tłoków na każdym etapie ich wytwarzania. Ciągła poprawa produktywności to jeden z głównych procesów wymaganych przez normę IATF 16949. Przykład schematu procesów wdrożonych i utrzymywanych przez F-M Gorzyce przedstawiono na rysunku 5.47. Na czerwono obramowany proces M7 Ciągłe doskonalenie.



Rys.5.47. Przykład schematu procesów wdrożonych i utrzymywanych przez F-M Gorzyce.

Jednym z obszarów możliwości obniżenia kosztów wytworzenia i/lub zwiększenia zdolności są cykle maszyn i urządzeń w linii wytwarzającej wyroby. Skuteczne obniżenie cyklu linii nie tylko redukuje koszt produkcji części ale pozwala również uniknąć wydatków inwestycyjnych w przypadku zwiększenia zamówień na produkty lub pojawienia się nowego produktu.

Pierwszym etapem jest zmapowanie całego parku maszynowego badanego obszaru (linia DL9) uwzględniając wszystkie urządzenia mające wpływ na czas cykli. Kluczowym jest zmapowanie stanu obecnego, określenie głównych kierunków zmian na bazie zebranych danych, oszacowanie ryzyka oraz kryteriów potrzebnych do akceptacji wdrożonych zmian.

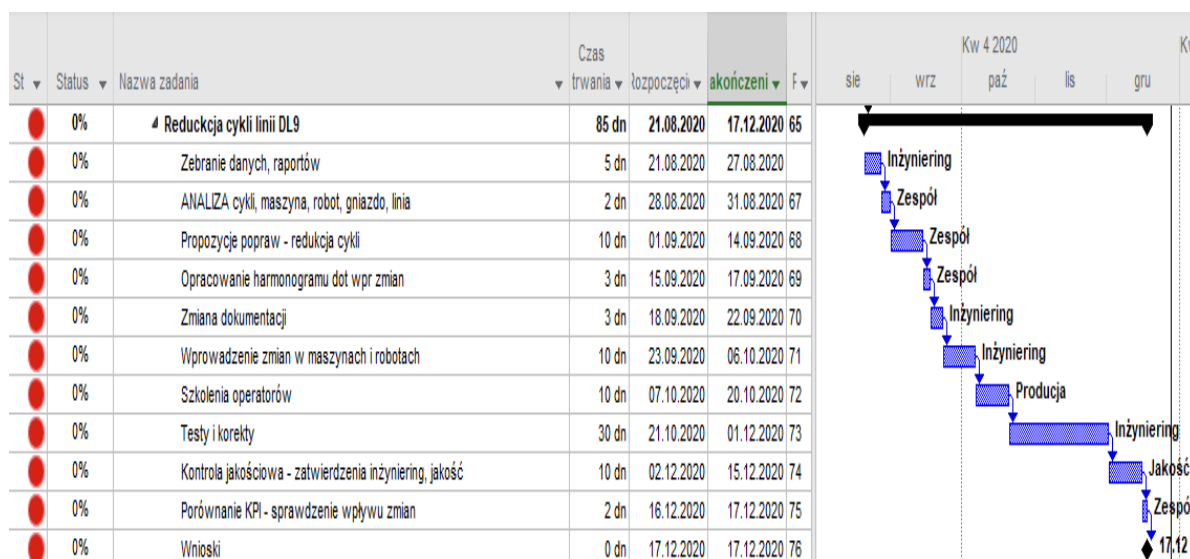
Jednym z wniosków powstałych na bazie licznych projektów związanych z redukcją cykli maszynowych jest to, że zmniejszenie to powinno nastąpić dopiero po ustabilizowaniu pracy obszaru roboczego czyli:

1. Uzyskaniu stabilnych „spływów” dobowych, tygodniowych lub miesięcznych mierzonych wskaźnikiem np. OAE. Jak wspomniano, OAE powinien wynosić od 75% do około 80%.
2. Uzyskaniu wartości wskaźników C_p , C_{pk} na poziomie minimum 1,33.
3. Ustabilizowaniu planu produkcji, co pozwoli w długim okresie na kontrolowanie wpływu wprowadzonych zmian na wydajność linii produkcyjnej oraz jakość procesu i produktu.

Badana linia DL9 ma zbyt niską zdolność ilościową, aby sprostać zapotrzebowaniom klienta w następnych latach. Mimo redukcji poziomu braków i poprawie wskaźników OAE i OEE, koniecznym było dalsze optymalizowanie wydajności. Jednym z czynników mający duży wpływ na zwiększenie wydajności jest redukcja cykli maszyn i urządzeń.

Po raz kolejny powołano do tego celu ten sam zespół ekspertów Lean z kluczowych dla programu optymalizacji działów i specjalizacji. Nad całością pracy czuwał lider zespołu - autor rozprawy doktorskiej.

Wyznaczono harmonogram prac (rys.5.48) oraz kryteria oceniające skuteczność wdrożonych zmian. Na rysunku 5.49a przedstawiono ogólne informacje dotyczące projektu oraz wstępną kontrolę badanego obszaru (rys.5.49b) oceniającą gotowość do testów pod kątem sprawdzenia oprzyrządowania mocującego oraz kontrolnego liczbę półfabrykatów, poziom wyszkolenia załogi, zdolności maszyn, poprawności przebiegu procesu oraz założonych cykli.



Rys.5.48. Harmonogram prac dotyczących redukcji cykli maszyn wchodzących w skład linii DL9.

a)

Raport po badaniu linii produkcyjnej		STATUS:	
1.0 Ogólne informacje		<input type="checkbox"/>	wprowadzanie danych
		<input type="checkbox"/>	zablokowane pola
Obszar produkcji	Linia produkcyjna DL9		
Lider projektu	Autor rozprawy doktorskiej		
Kierownik produkcji	1		
Szef jakości	1		
Kier. Lab	1		
Kierownik UR	1		
Kierownik BHP	1		
Nazwa produktu	VW 1.0L		
2.0 Potwierdzenie badania			
Oprzrzędowanie	Czy podczas badania wykorzystano istniejące oprzrzędowanie	Tak <input checked="" type="checkbox"/>	Nie <input type="checkbox"/>
Jeśli NIE to należy podać dodatkowe informacje			
Nazwa oprzrzędowania	Przyczyna braku/zmiany	Data dostawy	
Proces	Czy badanie wykonane było na zwolnionym przez klienta procesie?	Tak <input checked="" type="checkbox"/>	Nie <input type="checkbox"/>
Jeśli NIE to należy podać dodatkowe informacje			
Opis procesu	Przyczyna braku/zmiany	Data wprowadzenia	
Obsada linii produkcyjnej (zatrudnienie, szkolenie)			
(1) Czy załoga została poinformowana o projekcie		Tak <input checked="" type="checkbox"/>	Nie <input type="checkbox"/>
(2) Podać liczbę osób potrzebnych do przeprowadzenia produkcji/badań		Produkcja <input type="text" value="3"/>	Badanie <input type="text" value="6"/>
(3) Czy wszyscy członkowie załogi zostali przeszkoleni?		Tak <input checked="" type="checkbox"/>	Nie <input type="checkbox"/>
Jeśli NIE to należy podać			
Operator (specjalizacja)	Przyczyna braku	Termin uzupełnienia	
Brak operatora wspomagającego pomiary	Uczestnictwo w innym projekcie	21.10.20	
Działania specjalne: pozycjonowanie (justowanie) robotów, usuwanie drobnych usterek, przyspieszanie pracy drzw. maszyn, ustawianie ciśnień roboczych, optymalizacja przepływu chłodziwa, zastosowanie nowych narzędzi skr. itp.			
Wylistować wszystkie działania podczas badań np.: Dot. utrzymania ruchu, specjalnych kontroli, wsparcie			

b)

Pierwsze badanie/testowanie	zaznacz (x)	
	OK	NOK
> Urządzenia/maszyny zg z projektem/technologią, layoutem	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Zdefiniowane parametry maszyn	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Sekwencja produkcji zg z technologią	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Cykle maszynowe zg z zaplanowaną produkcją masową/seryjną	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> Załoga/obsada linii	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> Członkowie załogi - przeszkoleni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Standardowa operacja dla maszyny (maszyn) zdefiniowana	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Zdolność maszyn określona Cpk > 1.33	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Oprzrzędowanie do produkcji seryjnej - do użycia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Zdefiniowanie instrukcji pracy/standardów jakości	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Plan produkcji ustalony	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Dostępne mocowania kontrolne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drugie badanie/testowanie		
> Urządzenia/maszyny zg z projektem/technologią, layoutem	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Cykle zg z planem	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> Zaprojektowany system podawania i transportowanie półfabrykatów	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> MQC w pełni zaprojektowany i wprowadzony	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Zaprojektowany plan postępowania z brakami	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Wszyscy operatorzy przeszkoleni	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> Zdolności procesowe zakończone Cpk > 1.33	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Zastosowano w pełni zestrojone/zooptymalizowane urządzenia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Pokayoke zainstalowane i sprawdzone	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Opakowania ustalone	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Monitoring produkcji - zainstalowany/sprawdzony	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Graniczne części dostępne (prefabrykaty)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> Plan UR wdrożony/dostępny	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Rys.5.49. Fragment szkicu kontroli linii produkcyjnej tłoków: a) raport po badaniu; b) raport z kontroli wstępnej (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

Dział techniczny i logistyka skalkulowały czas taktu linii produkcyjnej. Jest to liczba sztuk, które muszą być wyprodukowane na linii DL9, aby sprostać zamówieniom klienta. Do kalkulacji taktu potrzebna jest informacja o wymaganych wolumenach przeznaczonych do

sprzedaży (wynikających z zamówień i prognoz klienta), czasu dostępności linii, zakładanych strat (planowane i nieplanowane), czasu przebrojenia (w przypadku gdy produkowany jest więcej niż jeden produkt), poziomu wyrobów niezgodnych (braków), czasu awarii, planowanych przerw np. dla załogi, na remonty, przeglądy TPM (preventive maintenance), sprzątanania parku maszynowego. Stosując odpowiednie wzory, należy skalkulować czas taktu, a na jego bazie liczbę sztuk wg wymagań na jednostkę czasu (w F-M to godzina) (rys.5.50).

Czas taktu i ilość sztuk produktów na godzinę					
Obszar	Linia produkcyjna DL9	Produkt			
Data	2022	Part Description:	VW 1.0L		
1.Podstawowe dane					
Czas pracy (min)					
Dostępność linii produkcyjnej/tydzień (godziny)	Czas produkcji/tydzień (hours)	drugi klient /tydzień (godziny)	Wymagany czas produkcji dla delimitera (godziny)	Wymagany czas produkcji (godz)	Dostępny czas produkcji dla tej części (godziny)
168,0		0,0	168,0	168,0	
Time					
Średni czas przebrojenia (godz.)	Ilość zdublowanych maszyn	Ilość braków - wąskie gardło (%)	Dostępność procesu	Awarijność maszyn (up time)	Wymagana ilość sztuk na tydzień
0,00	1	1,50%	83%	99,7%	28750
2.Czas taktu = Dostępny tygodniowy czas pracy / tygodniowy wolumen					
		604800	=	/	28750 części
Czas taktu	=	21,0	s		
3.Planowany cykl					
Obecny tygodniowy wolumen=					
28750	/	(1 - 1,50%)	=	29188	części
Rzeczywisty dostępny czas produkcji netto dla tej części:					
604800	x	83,00%	=	501984	secs
Planowany cykl	=	501984	s	/	aktualny tygodniowy wolumen
Planowany cykl	=	17,2	s		
4.Docełowa liczba części na godzinę					
	=	3600	/	Planowany czas cyklu	
	=	3600	/	17,2	=
Ilość sztuk/godz	=	209	Szt/godzin		

Rys.5.50. Kalkulacja czasu taktu linii DL9 dla wolumenu 1,38mln sztuk/rok.

Plan produkcyjny, który zostanie skrócony nawet o jeden dzień pomoże zredukować zużycie mediów, wygospodarować czas na remonty, naprawy, usunięcie usterek, czyszczenie maszyn, wprowadzenie usprawnień np. procesów Kaizen i sugestii pracowników produkcji lub innych. Badanie i analiza możliwości wdrożenia zmian cykli nastąpiła po zebraniu aktualnych czasów maszynowych i załadunkowych bezpośrednio z każdej maszyny należącej do linii DL9. Na rysunku 5.51 przedstawiono czasy cykli z celem do osiągnięcia i tabelę 5.8 wraz z obszarami (maszynami i robotami), w których występuje potencjał na redukcję cykli.

Do analizy wykorzystano bazę danych zawierającą informacje o średnich, (w wybranym czasie) cyklach maszyn oraz przeładunków w poszczególnych gniazdach obróbczych. Wykorzystano również kamery, aby wychwycić wszystkie istotne ruchy (robotów, maszyn, oprzyrządowania mocującego półfabrykaty i posuwy suportów), w celu określenia przyczyn wydłużenia cykl danej maszyny lub robota.

Skróty w tabeli 5.8 i na rysunku 5.51 zawierają następujące informacje:

- GN1: gniazdo nr 1.
- COM1: cykl operacji maszyny nr 1 (suma cyklu przeładunku przez robota półfabrykatu do maszyny nr 1 oraz cykl maszyny nr 1).
- Cel: planowany cykl dla całej linii DL9.
- CL: obecny cykl linii DL9.

Wybrany obszar (gniazda robocze nr 2, 3, 8 i 12) został zbadany przy uwzględnieniu ryzyka technologicznego i jakościowego, poprzez przeprowadzenie licznych badań.

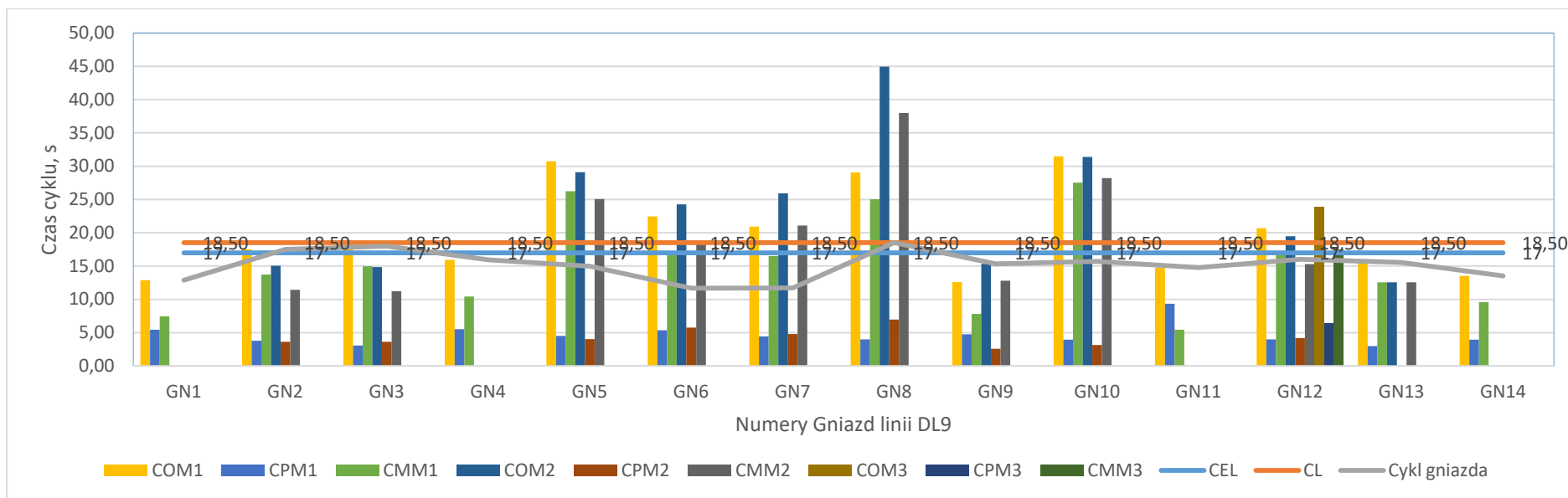
Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

1. Kontrola wymiarowa.
2. Kontrola chropowatości powierzchni.
3. Zdolność krytycznych maszyn C_m , C_{mk} (przed i po wdrożeniu zmian).
4. Sprawdzenie metodą ultradźwięków jakości połączenia wkładki żeliwnej z tłokiem ze stopu Al-Si. Kontrola dotyczy sprawdzenia stanu przylegania powierzchni żeliwnej wkładki pierścieniowej z korpusem siluminowego tłoka na skutek zwiększenia posuwu oraz prędkości toczenia.
5. Sprawdzenie poziomu drgań wrzeczona maszyny (operacja nr 210).
6. Sprawdzenie skuteczności mocowania półfabrykatu w maszynie.
7. Analiza kształtu wiórów:
 - koszty zakupu nowych narzędzi,
 - koszt przeliczenia narzędzi na sztukę wyprodukowanej części,
 - kształt wiórów (koniecznym jest uniknięcie powstania wióra tzw. „wstęgowego” powodującego blokadę podajników transportujących je do koszy oraz problemów dotyczących poprawnego mocowania półfabrykatu w maszynie skrawającej).

W trakcie testów sprawdzano też wpływ chłodziwa stosowanego do obróbki skrawaniem tłoków, to jest:

- wpływ na zużycie narzędzi,
- wpływ na obrabianą powierzchnię,
- wpływ na ciśnienie, przepływ i kierunek chłodzenia oraz
- sposób podawania chłodziwa:
 - ✓ przez narzędzie skrawające,
 - ✓ poprzez dyszę umocowaną poza narzędziem skrawającym.

Przykładowe wyniki pomiarów i kontroli koniecznych do oceny zdolności jakościowej maszyny Weisser z gniazda 8 (operacja 210) przedstawiono na rysunku 5.52.



Rys.5.51. Cykle linii, gniazd maszyn i przeładunków dla linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

Tab.5.8. Wartości cykli linii, gniazd maszyn i przeładunków dla linii DL9 pokazane na rysunku 5.51.

		CEL	CL	Cykl gniazda	COM1	CPM1	CMM1	COM2	CPM2	CMM2	COM3	CPM3	CMM3
Nadlew	GN1	17	18,50	12,89	12,89	5,43	7,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Skórowanie+Baza	GN2	17	18,50	17,50	17,50	3,79	13,71	15,07	3,62	11,45	0,00	0,00	0,00
US+Otworki olejowe	GN3	17	18,50	18,01	18,01	3,05	14,96	14,85	3,62	11,23	0,00	0,00	0,00
Otwór zgrubny	GN4	17	18,50	15,95	15,95	5,52	10,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kanałki+Kanałki	GN5	17	18,50	14,96	30,74	4,51	26,23	29,10	4,04	25,06	0,00	0,00	0,00
Komora+Komora	GN6	17	18,50	11,69	22,46	5,34	17,12	24,29	5,74	18,55	0,00	0,00	0,00
Zawory+Zawory	GN7	17	18,50	11,72	20,95	4,44	16,51	25,91	4,80	21,11	0,00	0,00	0,00
Kopiał+Kopiał	GN8	17	18,50	18,50	29,04	3,99	25,05	44,95	6,97	37,98	0,00	0,00	0,00
Wiercenie+Gratowanie	GN9	17	18,50	15,35	12,59	4,76	7,83	15,35	2,56	12,79	0,00	0,00	0,00
Otwór na gotowo L+Otwór g. P	GN10	17	18,50	15,72	31,48	3,95	27,53	31,39	3,16	28,23	0,00	0,00	0,00
Kieszzenie	GN11	17	18,50	14,78	14,78	9,33	5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Szczotka+Płukanie L+Płukanie P	GN12	17	18,50	16,01	20,70	4,00	16,70	19,48	4,19	15,29	23,85	6,35	17,50
Myjnia+Mycie aktywacyjne	GN13	17	18,50	15,55	15,55	3	12,55	12,55	0	12,55	0	0	0
Grafitowanie+Piec	GN14	17	18,50	13,54	13,54	3,96	9,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Arkusz oceny zdolności jakościowej maszyn

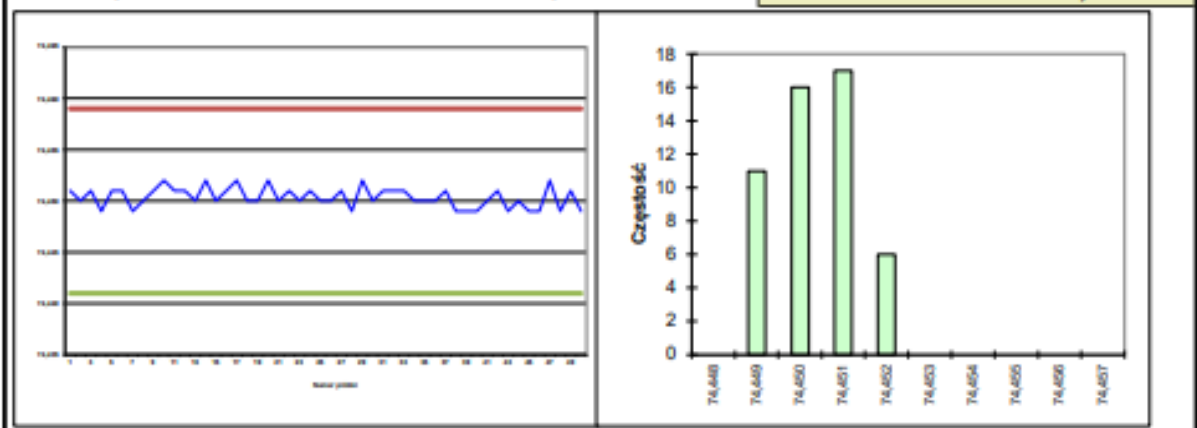
IS C1/08, załącznik nr 1.

Nazwa wyrobu	Tłok VW	Nr rysunku wyrobu	7.075N312AD10
Nr wyrobu	7.075N312AD10	Nr op. technologicznej	210
Nr linii	DL9	Nr maszyny	
Wielkość próbki	50	Cecha	D1
Wartość nominalna 74,450		Odchyłka górna 0,009	Odchyłka dolna -0,009

Lp	Wartość	Lp	Wartość	Lp	Wartość	Lp	Wartość	Lp	Wartość
1	74,451	21	74,450	41	74,450	61		81	
2	74,450	22	74,451	42	74,451	62		82	
3	74,451	23	74,450	43	74,449	63		83	
4	74,449	24	74,451	44	74,450	64		84	
5	74,451	25	74,450	45	74,449	65		85	
6	74,451	26	74,450	46	74,449	66		86	
7	74,449	27	74,451	47	74,452	67		87	
8	74,450	28	74,449	48	74,449	68		88	
9	74,451	29	74,452	49	74,451	69		89	
10	74,452	30	74,450	50	74,449	70		90	
11	74,451	31	74,451	51		71		91	
12	74,451	32	74,451	52		72		92	
13	74,450	33	74,451	53		73		93	
14	74,452	34	74,450	54		74		94	
15	74,450	35	74,450	55		75		95	
16	74,451	36	74,450	56		76		96	
17	74,452	37	74,451	57		77		97	
18	74,450	38	74,449	58		78		98	
19	74,450	39	74,449	59		79		99	
20	74,452	40	74,449	60		80		100	

\bar{X} = 74,45036 C_{mkg} = 2,99
S = 0,000964 C_{mkd} = 3,24

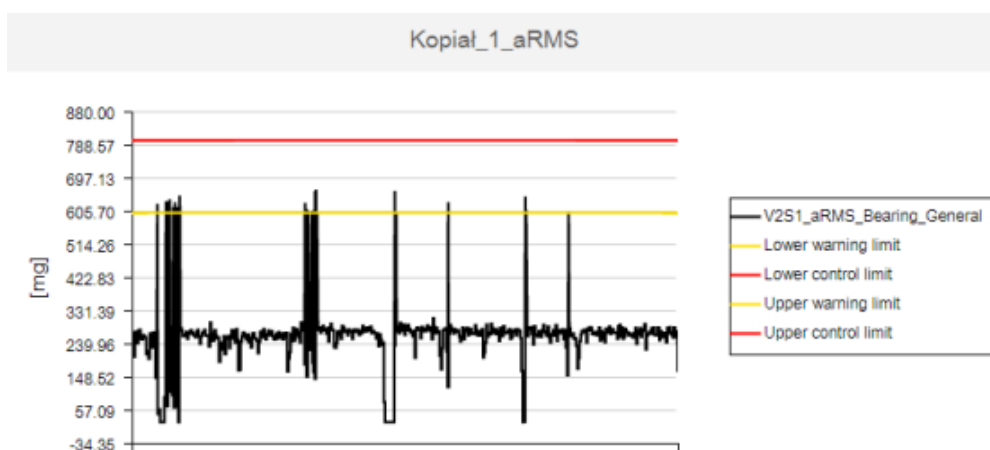
C_m = 3,11
C_{mk} = 2,99



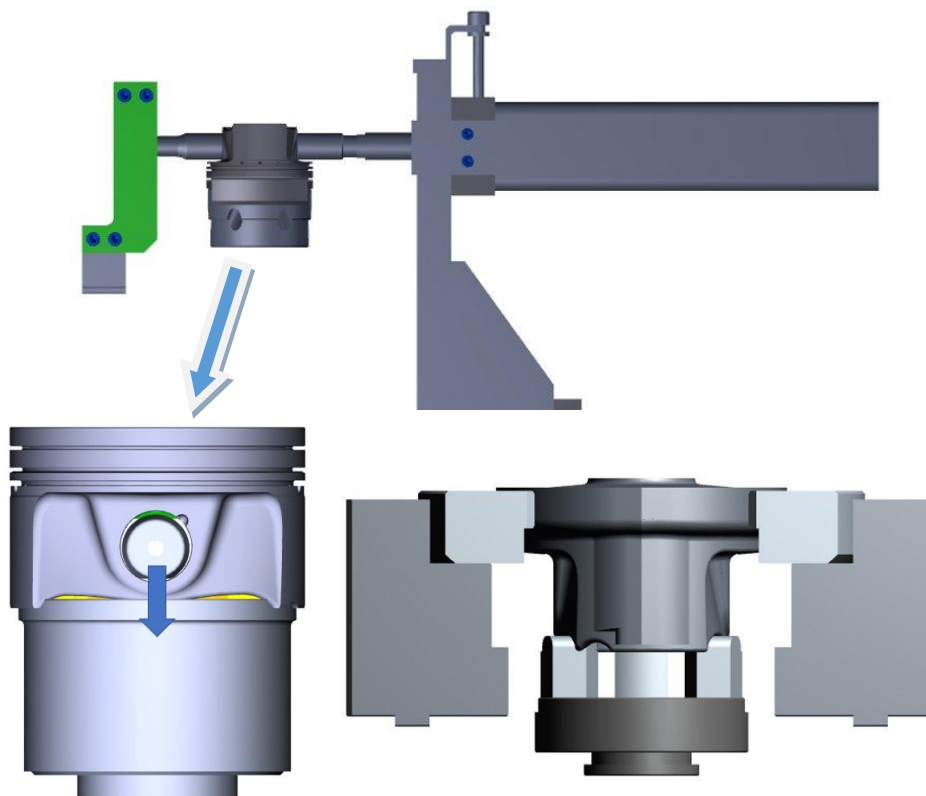
Rys.5.52. Arkusz oceny zdolności jakościowej maszyny Weisser operacja 210 na linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

5.8. Sprawdzenie poziomu drgań wybranych maszyn na linii DL9

Kolejnym etapem pełniejszego, elektronicznego wspomaganie procesu obróbki skrawaniem odlewów tłoków na linii DL9 jest pomiar poziomu drgań na wybranej maszynie wchodzącej w skład linii obróbczej DL9 przedstawiony na rysunku 5.53. Elektroniczny pomiar poziomu drgań podczas obróbki mechanicznej przyczyni się do zbliżenia sposobu zarządzania linią DL9 do poziomu 4.0, a rejestracja drgań, a zwłaszcza ich odchyłek ponad ustalone granice tolerancji pozwoli zapobiec potencjalnym awariom maszyn CNC i zmniejszy udział tłoków wybrakowanych ze względu na niedotrzymanie tolerancji wymiarowych parametrów krytycznych tłoka. Ponadto, zaproponowano nowy sposób mocowania tłoków w maszynie CNC, co pokazano na rysunku 5.54.



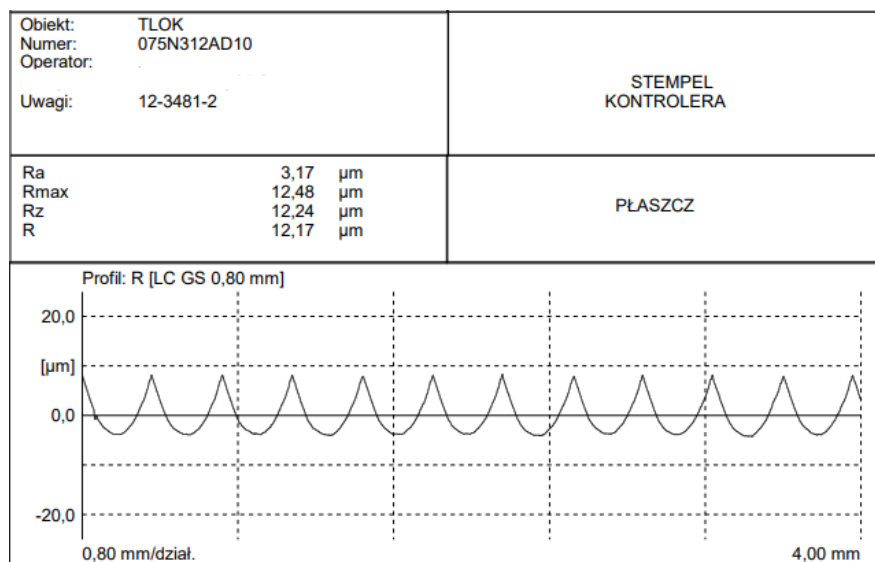
Rys.5.53. Wykres poziomu drgań w gnieździe nr 8 linii DL9, gdzie wykonywane jest finalne toczenie płaszczka tłoka.



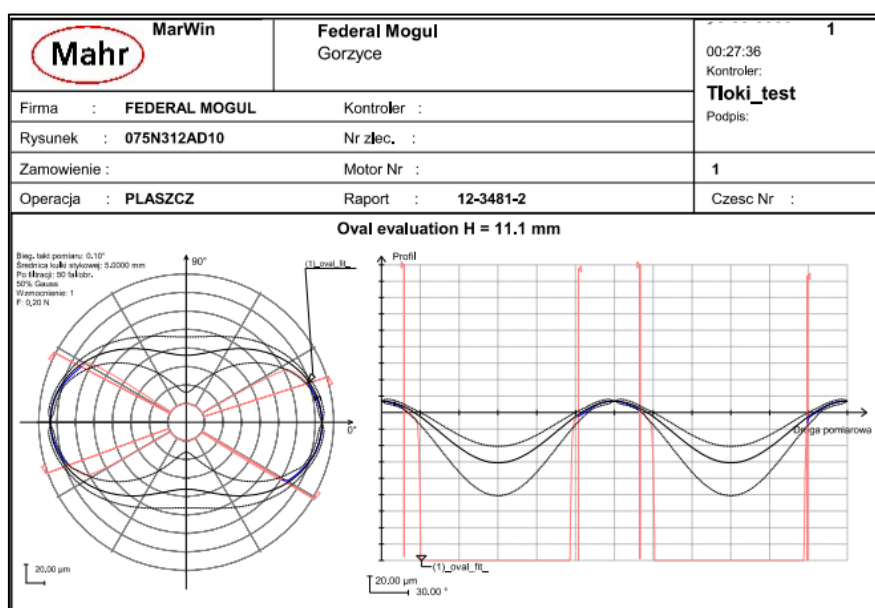
Rys.5.54. Sposoby mocowania tłoków w wybranych maszynach na linii DL9.

Konsekwencją nowego sposobu zamocowania tłoka na obrabiarce CNC na linii DL9 była mniejsza chropowatości płaszczka tłoka i jego kształt mieszczący się w tolerancji. Pomiar chropowatości płaszczka tłoka przedstawiono na rysunku 5.55a, a wykres kształtu tłoka, mieszczący się w granicach tolerancji na maszynie Mahr - na rysunku 5.55b.

a)



b)



Rys.5.55. Badanie parametrów krytycznych płaszczka odlewu tłoka po wprowadzonych zmianach (operacja nr 210) na linii DL9: a) wykres chropowatości; b) wykres kształtu płaszczka tłoka.

W procesie obróbki mechanicznej tłoków, istotną rolę odgrywa jakość wiórów, które stanowią materiał recyklingowy stopów tłokowych. Powstają podczas skrawania i muszą być na bieżąco usuwane z przyrządów mocujących. Realizowane jest to poprzez wykorzystanie strugi chłodziwa skierowanego na oprzyrządowanie mocujące tłok. Chłodziwo powoduje też odprowadzenie ciepła z narzędzi skrawających. Jeśli wióry są za długie tzw. „wstęgowe”,

wtedy osiadają i gromadzą się na obrabianej części tłoka oraz oprzyrządowaniu mocującym (rys.5.56). Skutkiem tego jest niepoprawna pozycja tłoka w przyrządzie mocującym, co wiąże się z powstaniem wady (wymiary średnic nie zgodne ze specyfikacją). Zbyt długie wióry blokują mechanizm w podajniku odprowadzającym je z maszyny, powodują awarie i przestoje linii DL9. Należy wówczas zastosować tzw. „łamacze wiórów”. Każda zmiana programu obróbczego CNC wymusza kontrolę kształtu wiórów i poziomu ich zawilgocenia. W procesie recyklingu wióry muszą być poddane procesowi osuszenia, co wiąże się z dodatkowymi kosztami i zużyciem energii elektrycznej.

a)



b)



Rys.5.56. Wióry podczas obróbki mechanicznej odlewów tłoków: a) blokujące podajnik odprowadzający oraz zalegające na oprzyrządowaniu mocującym tłoka; b) przed i po optymalizacji polegającej na zastosowaniu tzw. „łamaczy wiórów”.

Całość zaproponowanych i wdrożonych rozwiązań usprawniających zarządzanie wiórami po obróbce skrawaniem odlewów tłoków na linii DL9 przeprowadzono w warunkach ciągłej produkcji. Finalne testy odbywały się po powtórnym sprawdzeniu całego obszaru pod kątem m.in. wymagań BHP, technologii, jakości, logistyki - co potwierdza poniższy arkusz listy kontrolnej przedstawiony na rysunku 5.57.

Analiza przefiltrowanych danych średnich cykli maszyn i urządzeń na linii DL9, pozwoliła zaproponować zmiany cykli w gniazdach, gdzie zidentyfikowano wąskie gardła (gniazdo: 2; 3; 8, 12). Zespół Lean zaproponował usprawnienia (rys.5.58) i wprowadził zmiany (rys.5.59). Kluczowe dla jakości tłoka charakterystyki zostały sprawdzone po wprowadzeniu zmian (poziom wyrobów wybrakowanych, chropowatość powierzchni, wymiary tłoka, zdolność maszyn, kształt i głębokość wiórów), co pozwoliło zwolnić od strony technologicznej pracę linii zgodnie z nowymi zaleceniami (cyklami).

Lista kontrolna		Part nos:	Nr części VW 1.0
Linia produkcyjna DL9		Status	Kto
A Zapełnienie			
1	Badania	0	
2	Operatorzy pracujący zgodnie ze standardową pracą	0	
3	Operatorzy wykonują kontrolę jakości w pracy Standardyzowanej	0	J.B
4	Operatorzy wiedzą, jak przeprowadzić planową kontrolę	0	
5	Logistyka poinformowana o badaniu	0	
6	Przynter jakości dostępny na testy przy linii produkcyjnej	0	
7	UR powiadomione o próbie i dostosane	0	
8	Inżynier procesu dostępny	X	J.B UR będzie odp.
9	Członek zespołu czystości/robotnik/konserwator/operownik	0	
10	Tylko członkowie zespołu / lider zespołu w obszarze	0	
B BHP			
11	Wymagania bezpieczeństwa jasne i widoczne	0	
12	Ekonomia miejsca pracy OK	Δ	Wymaga lepszego porządku
C Tablice سپrow/monitory - wizualizacja produkcji			
13	Tablice dostępne i używane poprawnie	0	
D Pakiety/klasyfikacja podzespołów			
14	Wystarczająca liczba półfabrykatów, odlewów	0	
15	Wszystkie części sprasowane i zgodne	0	
16	Logistyka przemieszcza/transportu części zapewniona	0	
E Layout linii			
17	Wszystkie maszyny w określonej wyznaczonej pozycji	0	
18	Wszystkie narzędzia w wyznaczonej pozycji	0	
19	Polka Yokle przez cały proces i działa poprawnie	0	Wskazane przez jawał; panel białym
20	Procedura S.M.R.O. przemyślana dla operatora	Δ	Linie nie jest przemyślana
F Utrzymanie ruchu			
21	Dostępny arkusz kontroli konserwacji sprzętu TPM	X	T.K. 15/02 (max 15/01) Maintenance available
22	Dostępna i stosowana procedura SS	0	
G Data badania i czas badań/testów			
23	Ustalony czas badań	0	
H Andon system			
24	Przepręta procedura realizacji np. stop, dwa/3 części	0	
I Instrukcje robocze			
25	Instrukcje robocze pracy standardowej dostępne dla każdej operacji	Δ	Wymaga ciaglej optymalizacji
26	Dostępne i jasne standardy kontroli jakości	0	
27	Instrukcje i procedury postępowania ze zmianami/rozróżniami są doc	0	
28	Dostępna procedura uruchamiania/kontroli planowej części	0	
J Zapasy			
29	Jasno określone lokalizacje dla zapasów WIP	0	
30	Wystarczające poziomy zapasów procesowych między / min. określ	0	
K Opakowanie głowic/ części			
31	Dostępna odpowiednia ilość i wyznaczone lokalizacje	0	
32	Jakość opakowania sprawdzona i w porządku	0	
33	Dostępna i przestrzegana instrukcja pakowania	0	
34	Próbny punkt przed rozpoczęciem próby	0	
L Zbieranie danych			
35	PLUS	Δ	nie dotyczy
36	Maszynowe arkusze próbne przy linii produkcyjnej	Δ	nie dotyczy
37	Właściwe metody zbierania danych produkcyjnych	0	
M Quality documents			
38	Plan kontroli dostępny przy linii	0	
39	MOC dostępna przy linii	0	
40	Arkusz operacyjny CIP dostępny w CIP	Δ	
N Oprzyrządowanie			
41	Oprzyrządowanie dostępne i za z wys. i tech	0	
O Wyroby niezgodne (Brak)			
42	Plan czyszczenia polemicie na bieżąco dostępny w obszarze produkcji	0	
43	Ważliwe części /folki i wyznaczone wyposażenie	0	
P Po testach/badaniu			
44	Czyszczenie i wycieczki wszystkie części	0	

Rys.5.57. Lista kontrolna po redukcji cykli na linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

#Operacji	Operacja - nazwa	#GN	Cel GNIAZDA	CL	Cykl gniazda	COM1	CPM1	CMM1	COM2	CPM2	CMM2	COM3	CPM3	CMM3
120/130	Skórowanie+Baza	GN2	15,74	17,00	17,50	17,50	3,75	13,75	15,07	3,62	11,45	0,00	0,00	0,00
140/150	US+Otworki olejowe	GN3	14,85	17,00	18,01	18,01	3,05	14,96	14,85	3,62	11,23	0,00	0,00	0,00
210	Kopiał+Kopiał	GN8	17,13	17,00	18,50	29,04	3,99	25,05	44,95	6,97	37,98	0,00	0,00	0,00
250/390	Szczotka+Płukanie L+Płukanie P	GN12	12,85	17,00	16,01	20,70	4,00	16,70	19,48	4,19	15,29	23,85	6,35	17,50

Skrócenie drogi i ruchów robota o 1,8s

Skrócenie drogi i ruchów robota o 1,4s

Zmiana wiertel, przyspieszenie posuwów wiertarki o 2,22s

Skrócenie drogi i ruchów robota o 0,9s

Modyfikacja programu CNC, zmiana płytki skrawającej, dod. łamacza wiórów -

Zwiększenie obrotów szczotki - red. cyklu o 4,37s

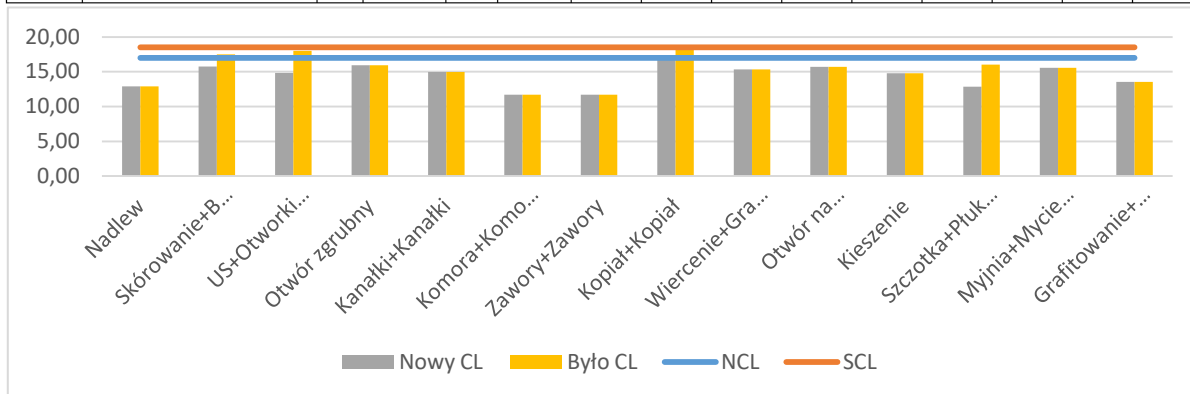
Modyfikacja dysz myjących tłoka. red. cyklu o 1,43s

Skrócenie drogi i ruchów robota o 2,25s

Zmiana środka myjącego, przyspieszeniu ruchu taśmy: 3,68s

Rys.5.58. Cykle wąskich gardeł, propozycje zmian i ich wpływ na redukcję cyklu na linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

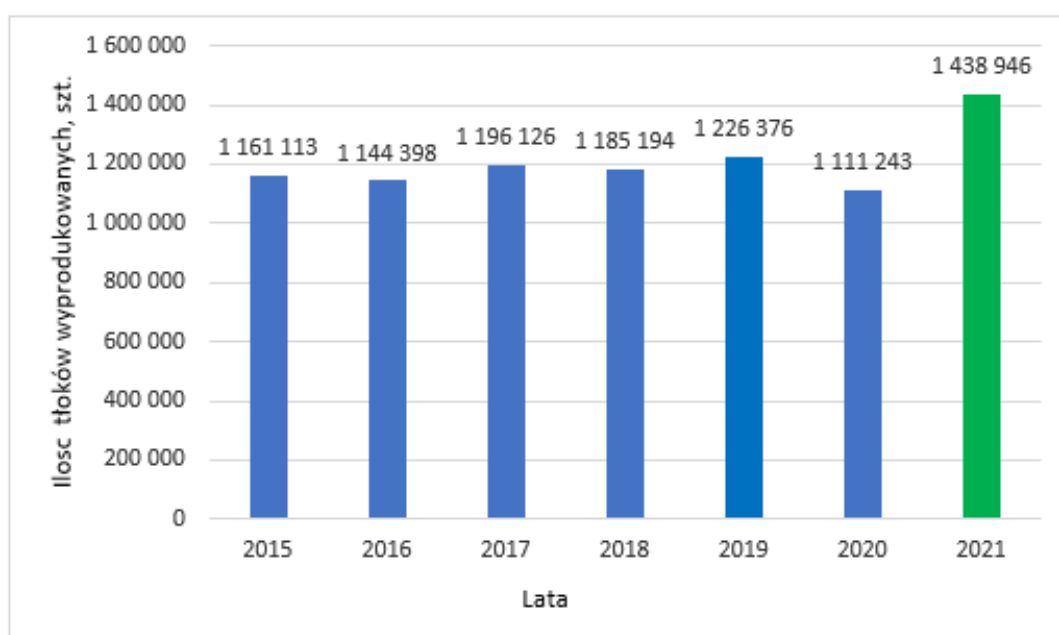
#Operacji	Operacja - nazwa	#GN	Nowy CL	Było CL	CG	COM1	CPM1	CMM1	COM2	CPM2	CMM2	COM3	CPM3	CMM3
110	Nadlew	GN1	12,89	12,89	12,89	12,89	5,43	7,46	0	0	0	0	0	0
120/130	Skórowanie+Baza	GN2	15,74	17,50	15,74	15,74	2,03	13,71	15,07	3,62	11,45	0	0	0
140/150	US+Otworki olejowe	GN3	14,85	18,01	14,85	14,36	1,62	12,74	14,85	3,62	11,23	0	0	0
160	Otwór zgrubny	GN4	15,95	15,95	15,95	15,95	5,52	10,43	0	0	0	0	0	0
170	Kanałki+Kanałki	GN5	14,96	14,96	14,96	30,74	4,51	26,23	29,1	4,04	25,06	0	0	0
180	Komora+Komora	GN6	11,69	11,69	11,69	22,46	5,34	17,12	24,29	5,74	18,55	0	0	0
200	Zawory+Zawory	GN7	11,72	11,72	11,72	20,95	4,44	16,51	25,91	4,8	21,11	0	0	0
210	Kopiał+Kopiał	GN8	17,13	18,50	17,13	23,55	3,99	19,56	44,95	6,97	37,98	0	0	0
220	Wiercenie+Gratowanie	GN9	15,35	15,35	15,35	12,59	4,76	7,83	15,35	2,56	12,79	0	0	0
230	Otwór na gotowo L+Otwór na gotowo P	GN10	15,72	15,72	15,72	31,48	3,95	27,53	31,39	3,16	28,23	0	0	0
240	Kieszenie	GN11	14,78	14,78	14,78	14,78	9,33	5,45	0	0	0	0	0	0
250/390	Szczotka+Płukanie L+Płukanie P	GN12	12,85	16,01	12,85	15,43	3,1	12,33	18,05	4,19	13,86	17,92	4,1	13,82
400/540	Myjnia+Mycie aktywacyjne	GN13	15,55	15,55	15,55	15,55	3	12,55	12,55	0	12,55	0	0	0
580	Grafitowanie+Piec	GN14	13,54	13,54	13,54	13,54	3,96	9,58	0	0	0	0	0	0



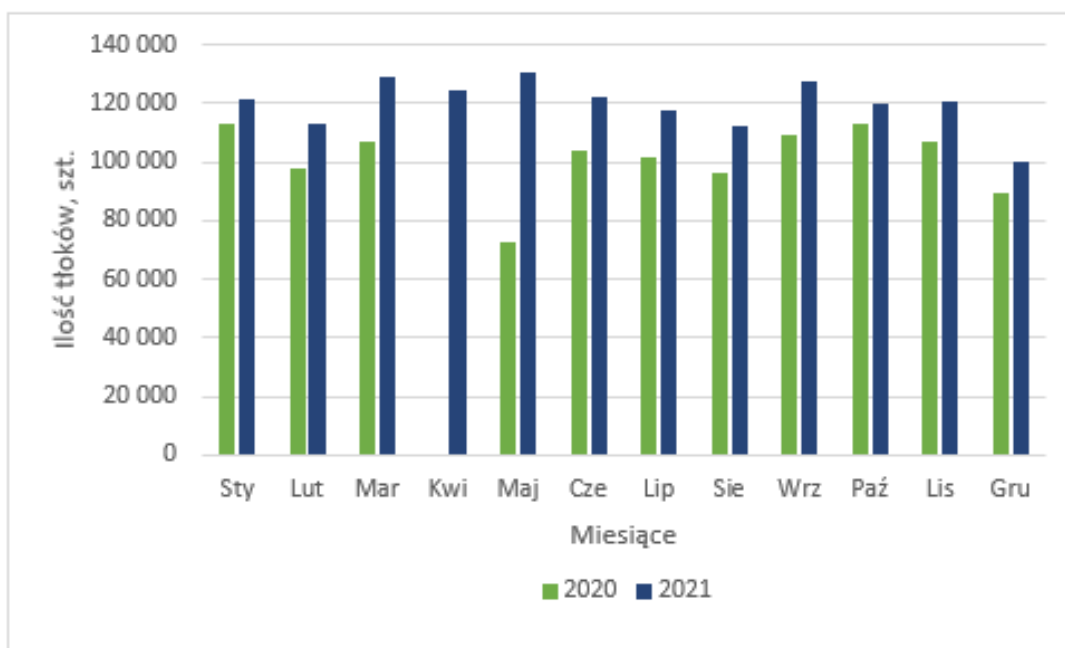
Rys.5.59. Cykle wąskich gardeł, po wprowadzeniu zmian i ich wpływ na redukcję cyklu linii DL9.

Po wdrożonych zmianach, przeprowadzono także długoterminowe badania pozostałych wskaźników:

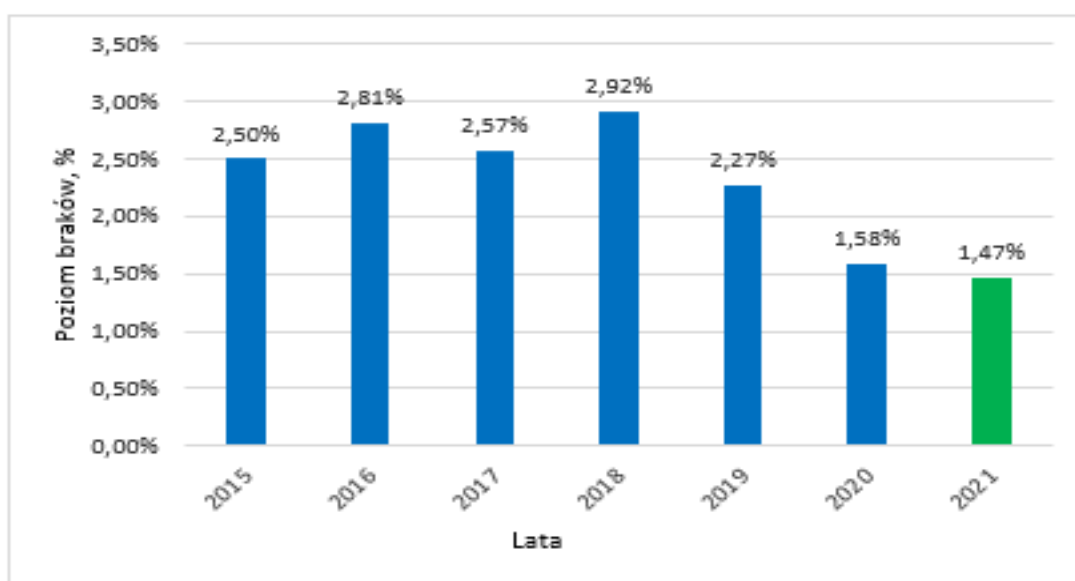
- zdolność linii DL9: liczba wyprodukowanych sztuk tłoków na rok w latach 2015÷2021 (rys.5.60),
- miesięczną produkcją tłoków w latach 2020 do 2021 (rys.5.61),
- poziom braków w latach 2015 do 2021 [%] (rys. 5.62),



Rys.5.60. Liczba tłoków poddanych obróbce mechanicznej na linii DL9 w latach 2015 do 2021.



Rys.5.61. Liczba łożków poddana obróbce mechanicznej na linii DL9 (rozbicie na miesiące).



Rys.5.62. Poziom wybrakowanych łożków obrobionych na linii DL9 w latach 2015 do 2021.

Branża motoryzacyjna wymusza na dostawcach części tzw. Tier 1 utrzymywanie wysokich standardów technologicznych oraz zarządczych. Z racji wysokich oczekiwań jakościowych, dostaw na czas i utrzymywania niskich cen, zakłady produkcyjne (tzw. OEM-y) zobowiązane są do wdrożenia i utrzymywania wielu procesów potwierdzonych certyfikatami: IATF 16949, ISO 45001, ISO 14001, ISO 50001 (zarządzanie energią). Każdy z nich wymaga ciągłego doskonalenia potwierzonego nie tylko dowodami wcześniej wspomnianymi: cena, jakość, dostawy, ale również dowodami pośrednimi tj. odpowiednimi wskaźnikami np.:

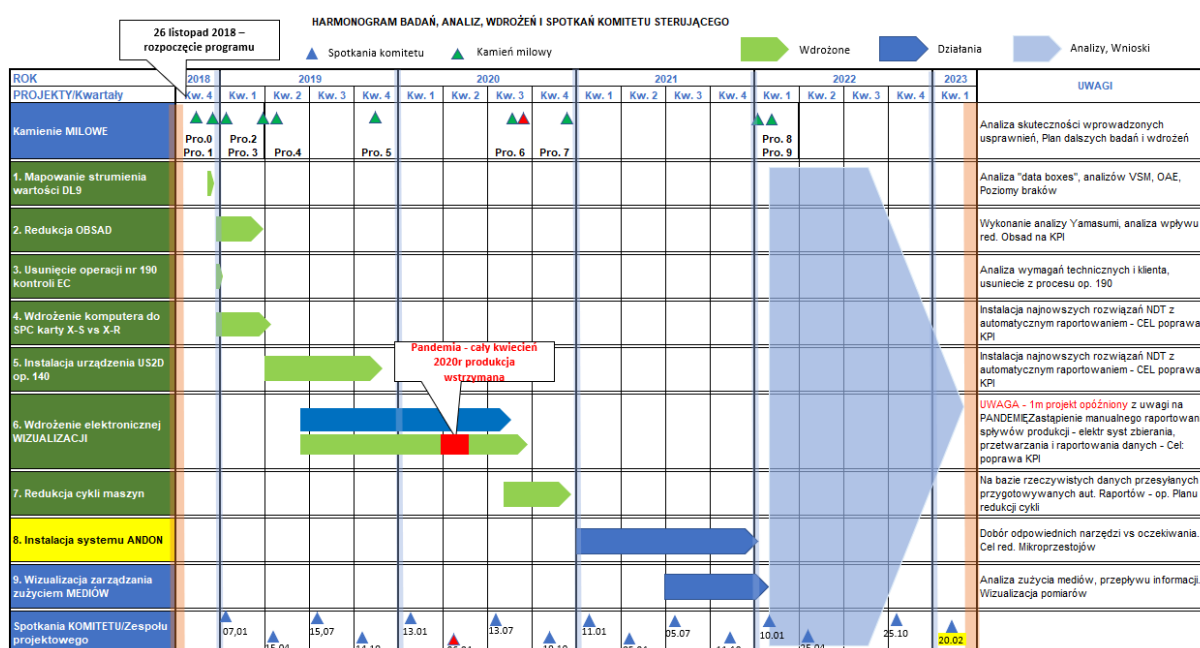
- liczba projektów produktywnościowych (cel/wykonanie),
- liczba projektów kaizen tzw. sugestii pracowniczych (cel/wykonanie),
- wartość oszczędności vs cel vs koszty standardowe.

5.9 Wprowadzenie spersonalizowanego systemu ANDON do nadzoru procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9

Mapowanie strumienia wartości na linii DL9 doprowadziło do zidentyfikowania procesów obróbczych, ich sekwencji oraz elementów, które nie wnoszą wartości do finalnego produktu. W wyniku tej analizy jedną z propozycji usprawnień, mających na celu ograniczenie (eliminację) strat i poprawę jakości produktu z wykorzystaniem wybranych narzędzi LM wraz z rozwiązaniami przemysłu 4.0, była instalacja skustomizowanego systemu Andon.

Zautomatyzowane linie produkcyjne pozwalają na zwiększenie wydajności i jakości produkcji oraz obniżenie kosztów. Jednakże, utrzymanie dużej efektywności maszyn w takiej linii wymaga dokładnego zrozumienia procesów obróbczych (produkcyjnych) i profesjonalnej kontroli nad nimi. Dlatego zdecydowano się na wprowadzenie systemu Andon, który jest narzędziem służącym do monitorowania procesów produkcyjnych i identyfikacji problemów, nad usprawnionymi procesami, np. mikroprzestoje, potrzeba regulacji maszyn, itp.

Harmonogram w zakresie wprowadzenia systemu Andon przedstawia rysunek 5.63.

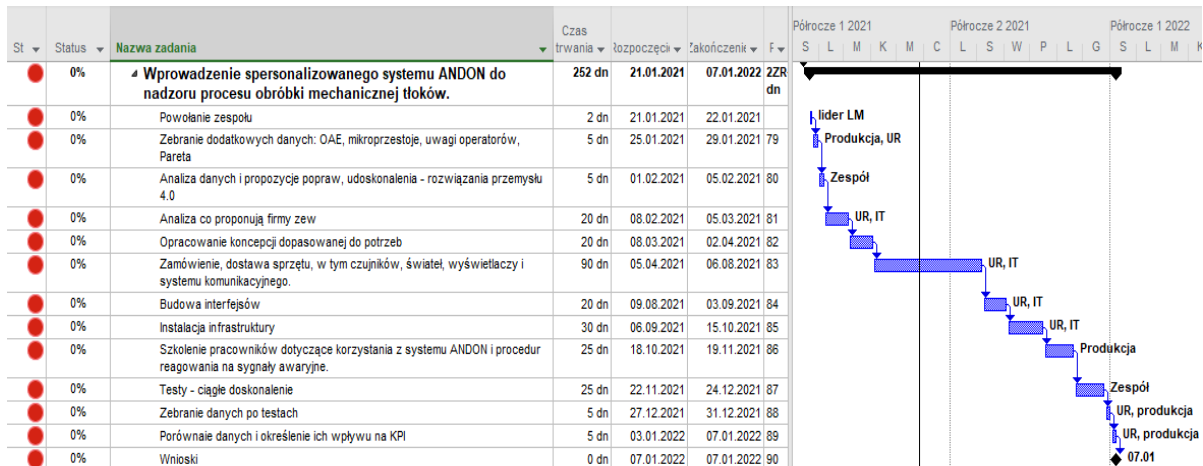


Rys.5.63. Harmonogram wdrażania systemu Andon w ramach narzędzi LM na linii DL9.

Dzięki wdrożeniu systemu Andon, pracownicy linii DL9 będą w stanie szybko i skutecznie reagować na pojawiające się problemy, co pozwoli na szybsze ich rozwiązanie i zmniejszenie strat produkcyjnych. Andon zapewnia także wczesne wykrywanie potencjalnych problemów i przewidywanie przyszłych awarii, co umożliwi podjęcie działań naprawczych przed wystąpieniem poważniejszych uszkodzeń, skutkujących zatrzymaniem produkcji.

Wdrożenie systemu Andon po wykonaniu mapowania strumienia wartości zautomatyzowanej linii DL9 wynika z potrzeby usprawnienia procesów produkcyjnych i redukcji strat. Dzięki temu, przedsiębiorstwo będzie w stanie zwiększyć efektywność (np. wskaźniki OAE), swoją konkurencyjność, jakość produktów oraz wydajność produkcji.

Etapy wprowadzania systemu Andon pokazuje plan wdrożenia, odpowiedzialności i status czynności przedstawione na rysunku 5.64.

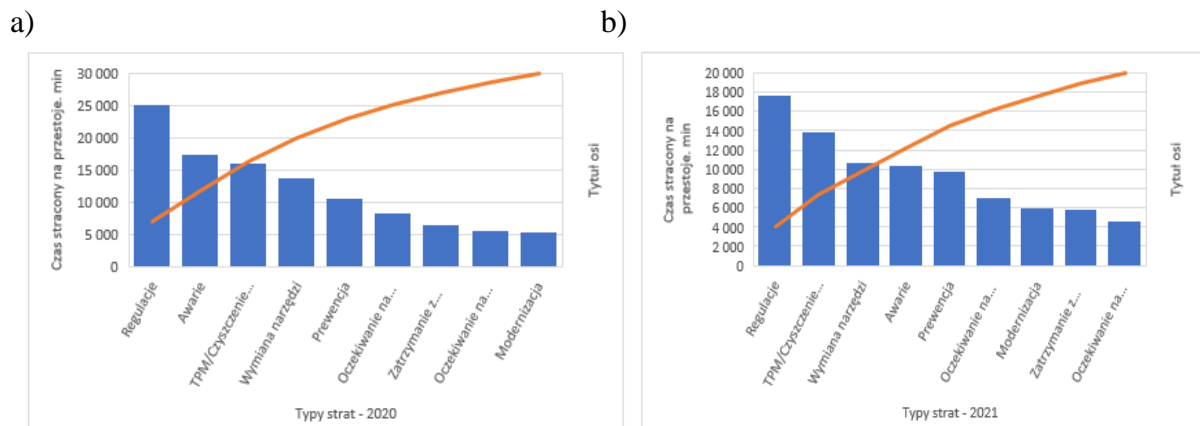


Rys.5.64. Plan działania dotyczący wdrożenia systemu Andon na linii DL9.

Wdrożenie systemu Andon składa się z następujących etapów:

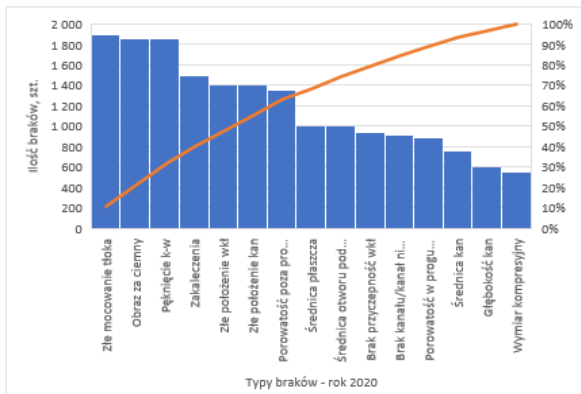
1. Powołanie zespołu ekspertów z liderem (autor dysertacji).
2. Analiza potrzeb i wymagań dotyczących monitorowania procesów obróbczych.
3. Projektowanie i konfiguracja systemu Andon zgodnie z wymaganiami określonymi dla linii obróbczej DL9.
4. Zamówienie, dostawa i instalacja sprzętu, w tym czujników, świateł, wyświetlaczy oraz systemu komunikacyjnego.
5. Uruchomienie i testowanie systemu Andon.
6. Szkolenie pracowników dotyczące korzystania z systemu Andon i procedur reagowania na sygnały awaryjne.

Sporządzone wykresy Pareta-Lorenza (rys.5.65 i 5.66) wykazują, że istnieje potencjał do podwyższenia efektywności parku maszynowego linii DL9. Po instalacji poprzednich rozwiązań (elektroniczne SPC, nowa maszyna US2D do badań NDT) wyraźnie poprawiły się kluczowe wskaźniki. Zaobserwowano jednak nowe wyzwania takie jak: zmniejszenie obsad tj. ilości operatorów obsługujących linię (projekt nr 2) i obniżenie cyklu maszyn (projekt nr 7). Linia obróbcza przyspieszyła, a liczba pracowników spadła co spowodowało zwiększenie ilości mikroprzestojów (zacięcia podajników, chwytałów itp.) oraz regulacji maszyn.

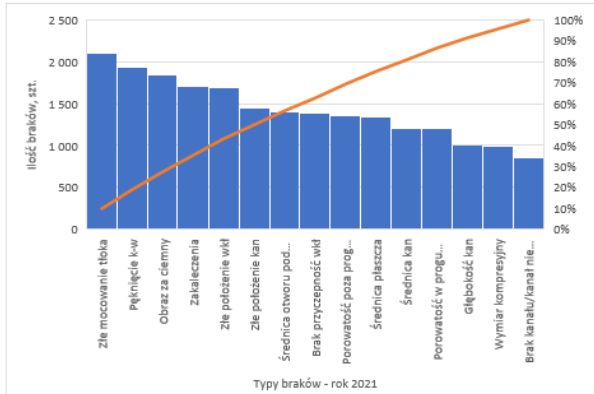


Rys.5.65. Wykres Pareta-Lorenza typów strat w roku: a) 2020, b) 2021 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

a)



b)

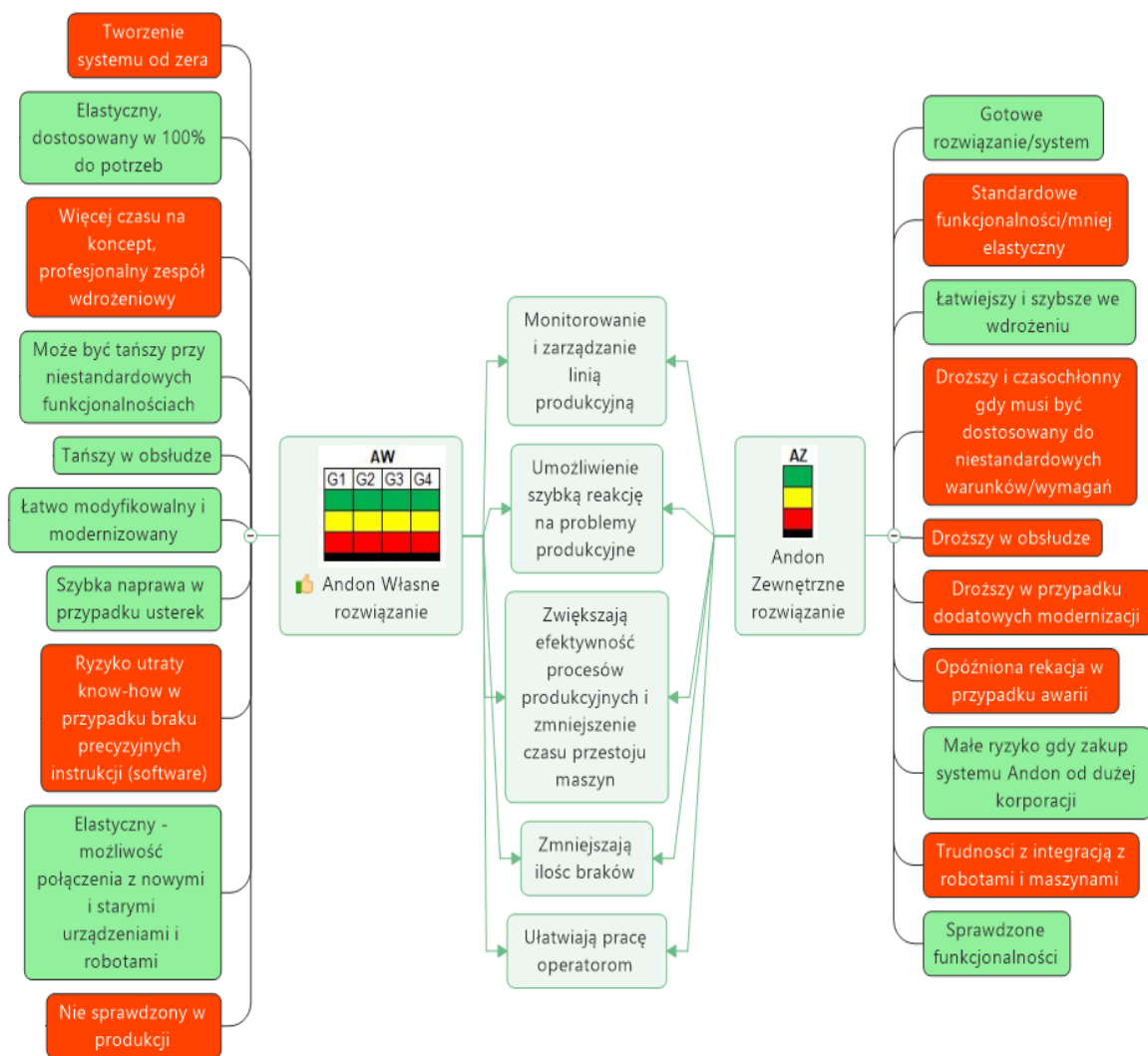


Rys.5.66. Wykres Pareto-Lorenza tłoków wybrakowanych obrobionych na linii DL9 w roku: a) 2020, b) 2021 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

Przedstawione wykresy Pareta-Lorenza (rys.5.65 i 5.66) wykazują, że w latach 2020 do 2021 główne straty na linii DL9 wiążą się z wieloma regulacjami, awariami, wymianą narzędzi skrawających oraz z brakami wynikającymi ze złego ustawienia przyrządów mocujących oraz robotów. Oznacza to, że operatorzy obrabiarek CNC nie dostrzegają i nie reagują dostatecznie szybko na mikroprzestoje lub zbliżające się konieczne czynności do wykonania.

Analiza potrzeb vs rozwiązania gotowe oraz koncepcje własne wykazała, że:

1. Każda maszyna działająca w ramach linii DL9 posiada własną sygnalizację informującą operatora o różnych zakłóceniach w procesie lub o konieczności wykonania określonych czynności (smarowanie, czyszczenie, mycie, itd.).
2. Linia DL9 wyposażona jest w wiele różnorodnych systemów uzależnionych od typu maszyny, dostawcy i roku produkcji.
3. Operatorzy mają trudności z rozpoznawaniem i reagowaniem na przekazywane informacje i sygnały świetlne.
4. Informacje świetlne nie są wystarczająco widoczne, gdyż zasłaniają je inne urządzenia.
5. Istniejące systemy na linii DL9 nie można zintegrować z uwagi na brak odpowiednich interfejsów oraz pozwoleń ze strony dostawców/producentów.
6. Rozwiązania istniejące nie mogą być unowocześniane na bieżąco i bez dużych nakładów finansowych.
7. Własna instalacja pozwala na dopasowanie systemu do specyficznych potrzeb i wymagań linii obróbczych (produkcyjnych) w F-M Gorzyce.
8. Skustomizowany system Andon jest bardziej elastyczny i lepiej dostosowany do potrzeb linii niż gotowe rozwiązania, oferowane przez wyspecjalizowanych dostawców LM.
9. Instalacja wykonana własnymi zasobami może być tańsza niż zlecenie wykonania instalacji zewnętrznej firmie.
10. Własna instalacja umożliwia pełną kontrolę nad projektem i implementacją systemu, co zwiększa efektywność i daje większą pewność co do jakości i funkcjonalności systemu.
11. Własna instalacja umożliwia szybsze reagowanie na potrzeby linii DL9 (produkcyjnej) oraz modyfikowanie systemu w razie potrzeby (rys.5.67 pokazuje porównanie pomiędzy dwoma systemami AZ – Andon zakupiony vs AW – Andon wewnątrz wykonany).



Rys.5.67. Wynik zespołowej analizy Lean dotyczącej porównania wyboru zakupionego systemu Andon vs systemu Andon opracowanego na podstawie własnych rozwiązań.

W związku z powyższym, zespół projektowy Lean pod przewodnictwem Autora rozprawy, podjął decyzję o budowie własnego systemu Andon wykorzystując szeroki wachlarz różnych funkcjonalności istniejących w branży systemów. Koncepcja własna będzie modyfikowalna, prosta, a jednocześnie dostosowana do wymagań F-M Gorzyce.

Wymagania postawione wewnątrz opracowanemu i wdrożonemu systemowi Andon to:

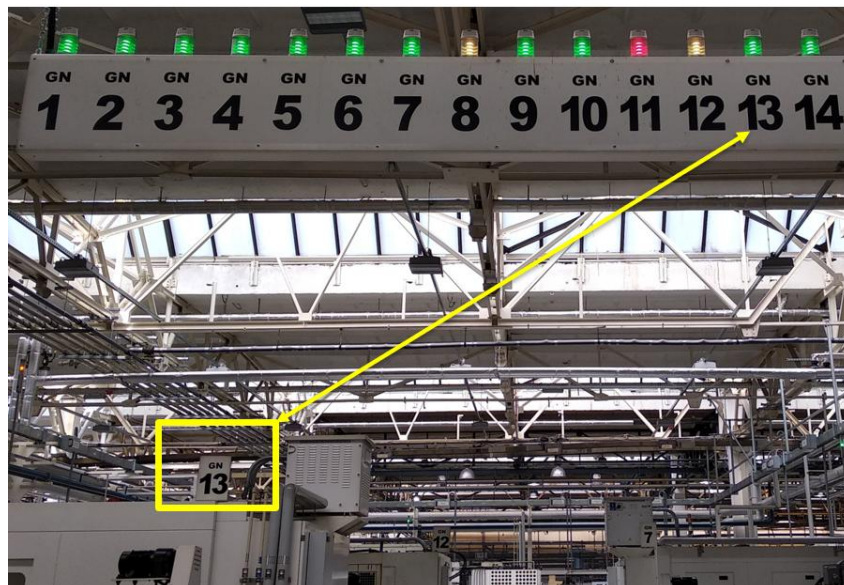
1. Każde gniazdo produkcyjne w analizowanej linii DL9 będzie miało sygnalizację świetlną. W razie potrzeby dodatkowe urządzenia będą podłączone do systemu Andon.
2. Lampy pracujące wg algorytmów opracowanych na bazie uzgodnionych kryteriów będą umieszczone poza maszynami obróbczymi w miejscu widocznym z każdej strony linii DL9 i w odległości minimum 5 m poza nią.

Informacje przekazywane pracownikom za pomocą systemu Andon to:

- a. Konieczność dostawy nowych koszy z tłokami pod linię do obróbki mechanicznej (e-mail do logistyki).
- b. Konieczność załadunku odlewów z koszy na podajnik linii do obróbki mechanicznej (zasilenie w półfabrykaty operacji nr 110), (lampa + sygnał dźwiękowy).

- c. Konieczność wymiany narzędzi skrawających dla każdej z maszyn obróbczych (lampka sygnalizacyjna).
- d. Gniazdo XX wyłączone z produkcji – nie używane w procesie obróbki tłoka (lampka sygnalizacyjna).
- e. Otwarte drzwi gniazda roboczego (lampka sygnalizacyjna).
- f. Brak sygnału z maszyny lub/i robota, transportera, drzwi do gniazda maszyny (lampka sygnalizacyjna).
- g. Awaria: robot zgłasza błąd, usterkę, lampka sygnalizacyjna, informacja do systemu SAP PM¹ i służb utrzymania ruchu.
- h. Brak zakłóceń – gniazdo procuje zgodnie z założeniami (lampka sygnalizacyjna).
- i. Linia, maszyna ma wydłużony czas cyklu – niezgodny z założeniami (wizualizacja na ekranie monitora + e-mail do zainteresowanych służb).
- j. Kontrola ilości wiórów - kosz z wiórami jest pełny (lampka sygnalizacyjna).
- k. Poziom drgań na krytycznych częściach kluczowych maszyn gdy przekroczy wartość graniczną ostrzegawczą (wizualizacja na monitorze, e-mail do utrzymania ruchu).
- l. Kontrola liczby gotowych produktów opuszczających linię DL9 (lampka),
- m. Konieczność wykonania pomiaru tłoka wg planu kontroli (lampka sygnalizacyjna lub wibrująca opaska na rękę).
- n. Uwaga wózek widłowy (kamery i rzutnik): obraz na posadzce przy wyjściu z linii DL9 (pojawia się gdy jedzie wózek widłowy, a pracownik stoi w zasięgu linii).
- o. Osiągnięcie zakładanego celu produkcji (spływu) na koniec zmiany (melodia).

Widok części systemu Andon na linii DL9 w F-M Gorzyce zawierający zaimplementowane, własne rozwiązania przedstawia rysunek 5.68, a systemy kontrolne - rysunek 5.69.



Rys. 5.68. System Andon w F-M Gorzyce: lampy sygnalizacyjne na linii DL9.

¹ - SAPP - to program do zarządzania, monitorowania i automatyzacji wszystkich działań produkcyjnych. SAP MES jest odpowiednim narzędziem dla przedsiębiorstw wymagających cyfryzacji procesów produkcji oraz dostępu do bieżących i historycznych danych wymaganych do usprawniania wydajności linii obróbczej lub produkcyjnej, a zwłaszcza do optymalizacji produkcji.

a)

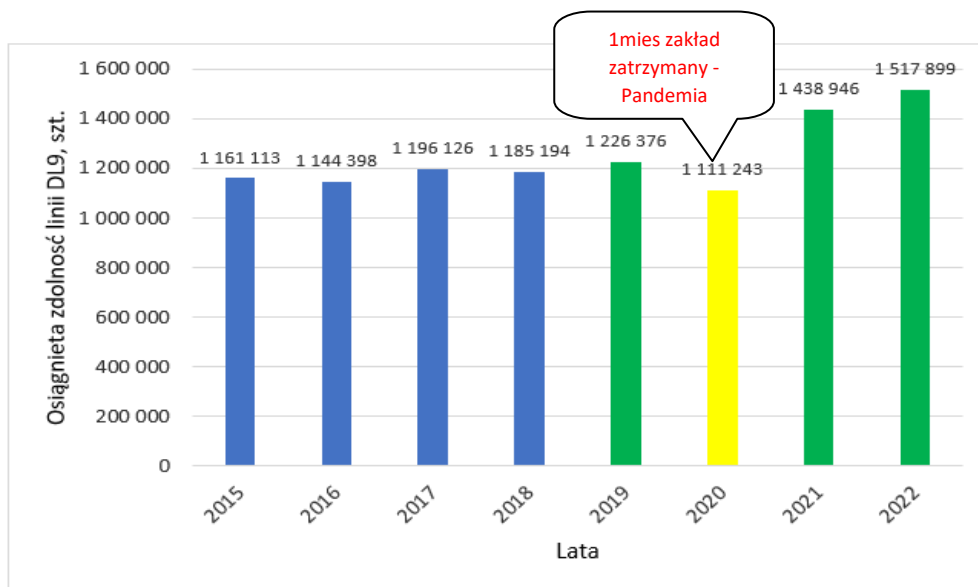
Kolor		Stan gniazda
Zielony ciągły		Brak zakłóceń – gniazdo pracuje zg z założeniami
Przerwany żółty	Przerwany biały	Proces zatrzymany przez 20 s – np. z uwagi braku półfabrykatu z poprzedniego gniazda, czas żywotności narzędzi skrawających osiągnął limit
Żółty ciągły		Proces zatrzymany przez 120 s – np. z uwagi braku półfabrykatu z poprzedniego gniazda, czas żywotności narzędzi skrawających osiągnął limit
Przerwany czerwony	Przerwany niebieski	Proces zatrzymany przez 240 s – np. z uwagi braku półfabrykatu z poprzedniego gniazda, czas żywotności narzędzi skrawających osiągnął limit
Niebieski ciągły		Operator i/lub UR w środku gniazda (drzwi ochronne otwarte)
Czerwony ciągły		Brak sygnału z maszyny, robota, podajnika, drzwi – status
Czerwony przerywany	Biały przerywany	Awaria/usterka (maszyna, robot zgłasza błąd/usterkę)
Biały ciągły		Gniazdo nie używane w procesie produkcji dla danego produktu

b)

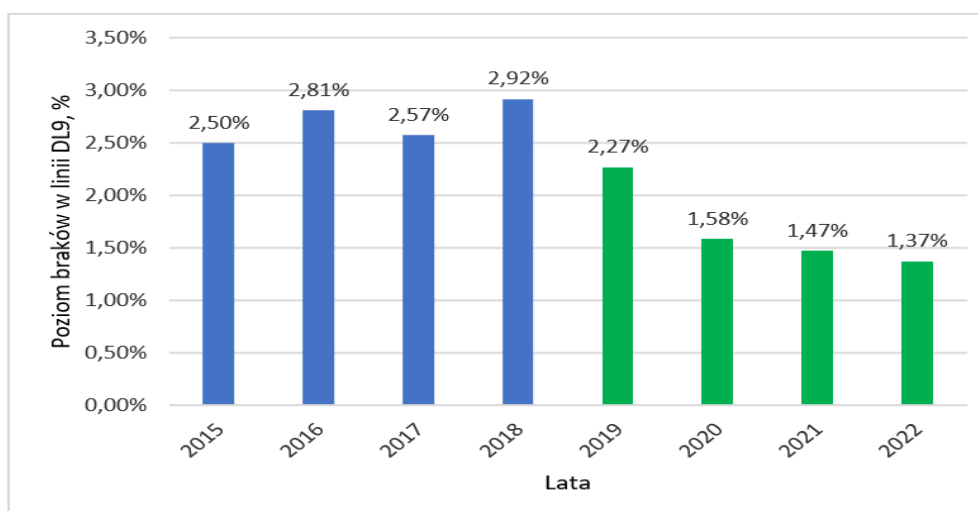


Rys. 5.69. Systemy kontrolne Andon: a) legenda opisująca sygnały świetlne; b) system monitorujący drgania wybranych części maszyny linii DL9.

Opracowany i wdrożony system Andon, przetestowany przez załogę, kierownictwo oraz zespół specjalistów z inżynieringu, IT i utrzymania ruchu pod przewodnictwem lidera projektu (autor rozprawy doktorskiej) pokazał, że decyzja o rezygnacji z zakupu gotowego rozwiązania Andon była słuszna. Wykonany według własnych rozwiązań system Andon spowodował podwyższenie zdolności linii DL9. Załoga łatwiej osiąga założone cele obróbki mechanicznej tłoków. Widoczne jest to także zmniejszeniem liczby tłoków wybrakowanych (rys. 5.71) co wykazuje, że znacząco poprawiła się również reakcja załogi na informacje przekazywane przez system Andon i zwiualizowany w czasie rzeczywistym status linii DL9. Automatyzacja i digitalizacja wykorzystująca narzędzia Lean manufacturing oraz elementy przemysłu 4.0 powodują, iż kluczowe procesy produkcji są ze sobą powiązane i współzależne. Przyczynia się to do wzrostu transparentności, poziomu wymiany danych i komunikacji, przez co jakość produktu, koszt jego wytwarzania i efektywność parku maszynowego jest na optymalnym do osiągnięcia poziomie.



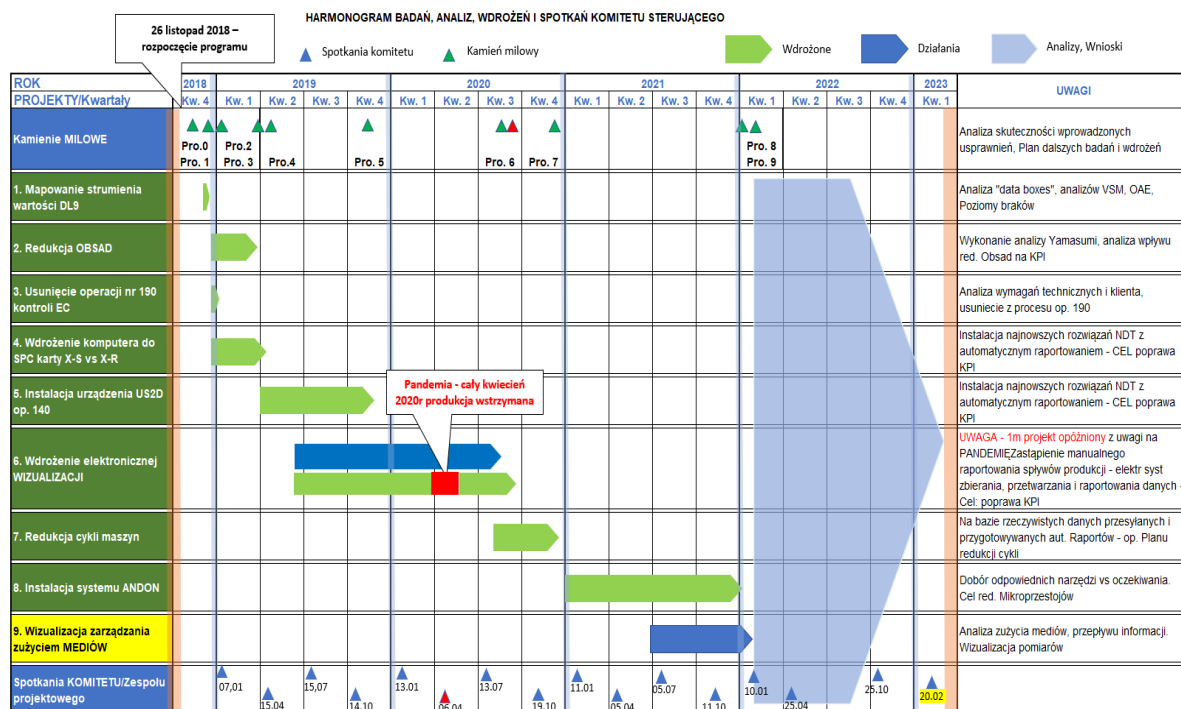
Rys.5.70. Zdolność linii DL9 po uwzględnieniu systemu Andon w latach 2015 do 2022 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).



Rys.5.71. Wskaźnik poziomu braków po uwzględnieniu systemu Andon dla linii DL9 od 2015 do 2022 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

5.10 Elektroniczne zbieranie danych dotyczących zużycia mediów technicznych na linii DL9 oraz działania mające na celu zmniejszenie ich wykorzystania

Z uwagi na rosnące ceny mediów oraz potrzebę ochrony środowiska (śląd węglowy), coraz większą wagę przywiązuje się do monitorowania zużycia mediów podczas procesu produkcji. Kluczowym elementem jest wprowadzenie digitalizacji procesów produkcyjnych i narzędzi lean manufacturing, które umożliwią optymalizację zużycia mediów. Ponadto, coraz większą rolę w tej dziedzinie odgrywa przemysł 4.0, który oferuje szereg narzędzi pozwalających na monitorowanie zużycia mediów w czasie rzeczywistym i analizę danych w celu poprawy efektywności procesów produkcyjnych. Harmonogram badań w zakresie wizualizacji zużycia mediów technicznych w obszarze linii GL9 w F-M Gorzyce przedstawiono na rysunku 5.72.



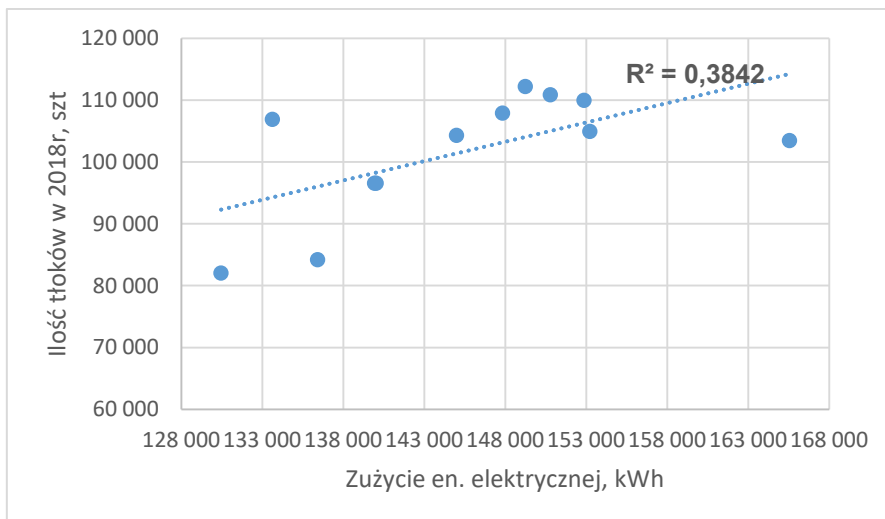
Rys.5.72. Harmonogram wizualizacji zarządzania zużyciem mediów technicznych w obszarze linii GL9 w F-M Gorzyce.

Badania skoncentrowano na aspektach związanych z ochroną środowiska, w szczególności redukcją emisji gazów cieplarnianych oraz oszczędnością wody i energii elektrycznej. Celem była identyfikacja strat oraz zastosowanie najlepszych praktyk i narzędzi do skutecznego monitorowania i optymalizacji zużycia mediów potrzebnych do działania linii DL9, co wpłynie na poprawę efektywności procesów obróbczych na niej realizowanych i oszczędności finansowe F-M Gorzyce. Ważnym dla dalszych działań są także badania i zebrane informacje na temat procesu monitorowania kosztów obróbki tłoków na linii DL9, w szczególności pomiarów i redukcji zużycia energii elektrycznej, wody i sprężonego powietrza. Motywem podjęcia badań (wprowadzenia zmian w tym zakresie) była niska korelacja, mierzona wartością współczynnika R^2 , pomiędzy zużyciem mediów, a ilością wyprodukowanych sztuk tłoków. Niekceptownie niska wartość współczynnika R^2 , oznaczało, że infrastruktura nie jest szczelna (woda, sprężone powietrze). Stwierdzono także, że dyscyplina wyłączania urządzeń obróbczych na linii DL9 podczas przestoju linii produkcyjnej do obróbki odlewów tłoków była bardzo niska.

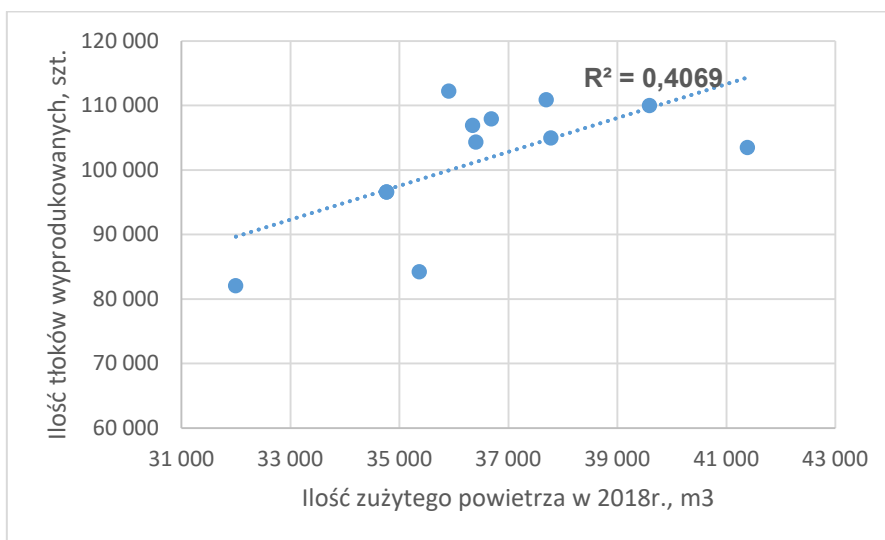
W tym celu ponownie powołano zespół ekspertów w składzie:

1. Lider LM (autor pracy doktorskiej).
2. Główny energetyk.
3. Specjalista IT.
4. Kierownik/elektronik działu UR.
5. Kierownik produkcji obróbki mechanicznej.
6. Kierownik Ochrony Środowiska i BHP.
7. Lider (brygadzysta) linii DL9.

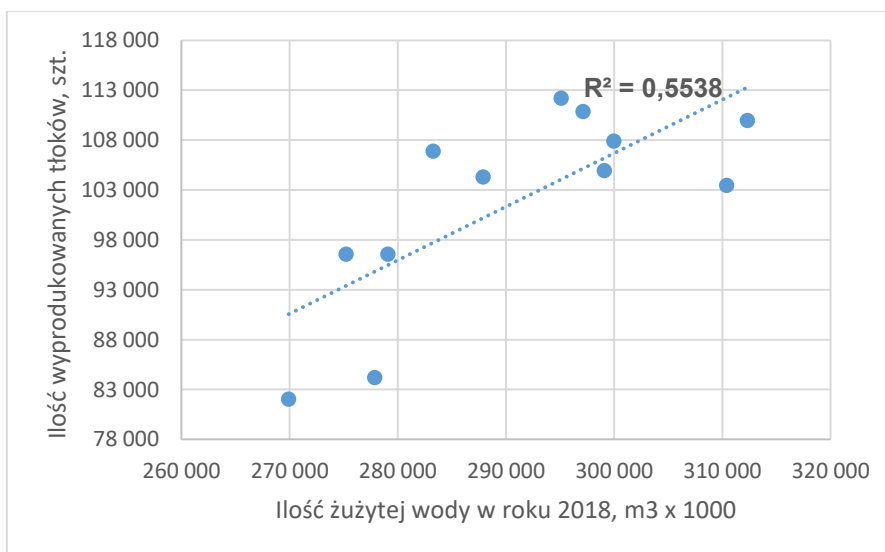
a)



b)



c)



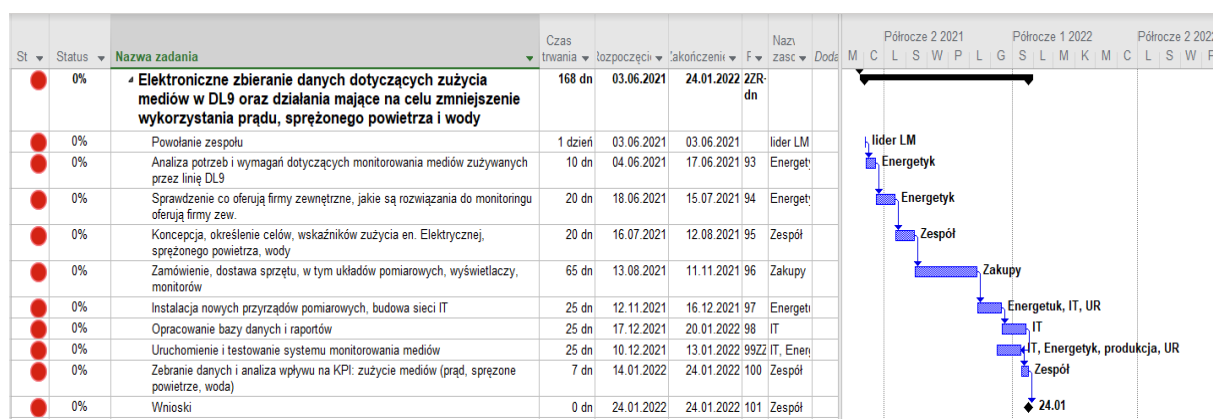
Rys.5.73. Współczynnik korelacji R^2 pomiędzy zużyciem: a) energii elektrycznej; b) sprężonego powietrza; c) wody, a liczbą wyprodukowanych odlewów tłoków w roku 2018 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

W pierwszej kolejności przy pomocy burzy mózgów zespół Lean na czele z liderem, opracował listę celów jakie należy spełnić, aby skutecznie z wykorzystaniem najnowszych rozwiązań przemysłu 4.0 i Lean Manufacturing, móc zarządzać zużyciem mediów na linii do obróbki mechanicznej DL9 - rysunek 5.74.



Rys.5.74. Burza mózgów na temat udoskonalenia procesu zarządzania zużyciem mediów na linii DL9.

Po przeprowadzeniu burzy mózgów, zespół Lean opracował harmonogram prac dotyczących przydzielenia odpowiedzialności (rys.5.75). Zespół specjalistów zdecydował o zakupie układów pomiarowych do zużycia sprężonego powietrza, wody i energii elektrycznej.

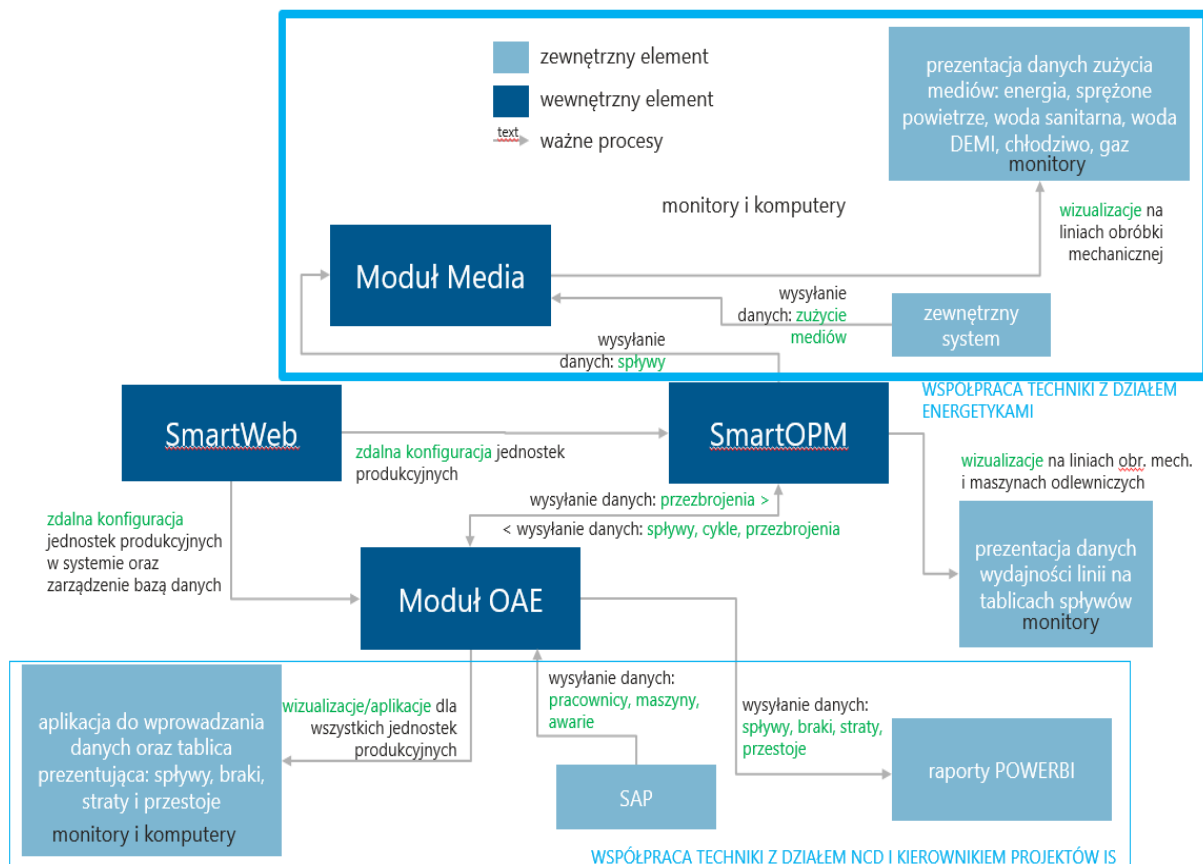


Rys.5.75. Harmonogram poprawy procesu zarządzania zużyciem mediów na linii DL9.

Mapując infrastrukturę pomiarową oraz przyłącza mediów do linii DL9, zidentyfikowano następujące problemy:

1. Wszystkie mierniki mediów technicznych były analogowe.
2. Zużycie wody mierzone przy użyciu jednego wodomierza dla 5 linii. Wyniki zużycia obliczono algorytmem na bazie opracowanej technologii. Odchyłki liczone jako straty.
3. Miernik zużycia powietrza nie był dobrze dobrany, a przez to wyniki były nieprecyzyjne.
4. Urządzenie myjące będące w zasobach sąsiadującej linii produkcyjnej było podłączone pod szynoprzewód linii DL9 przez co zużycie energii elektrycznej było zawyżane.
5. Rozpoznano również, że często, z uwagi na nie sprawny układ pomiarowy, odkręcano zasilanie linii DL9 sprężonym powietrzem z innego obwodu przez co wynik zużycia tego medium również był niezgodny z rzeczywistym poborem.

Analiza potrzeb i wymaganych raportów pozwoliła zespołowi specjalistów opracować koncepcję i strukturę zbierania i zarządzania danymi o zużyciu mediów technicznych, co schematycznie przedstawiono na rysunku 5.76.



Rys.5.76. Struktura zarządzania danymi: komunikacji – kontrola zużycia mediów w linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

Mierniki zainstalowane do sczytywania danych zużycia mediów przekazują informacje do bazy danych Scome, z której co godzinę podawane są dane do Modułu MEDIA, skąd prezentowane są na monitorze zainstalowanym na linii DL9 oraz na platformie Power BI. Dane można filtrować generując wiele raportów (rys. 5.77 i 5.78).

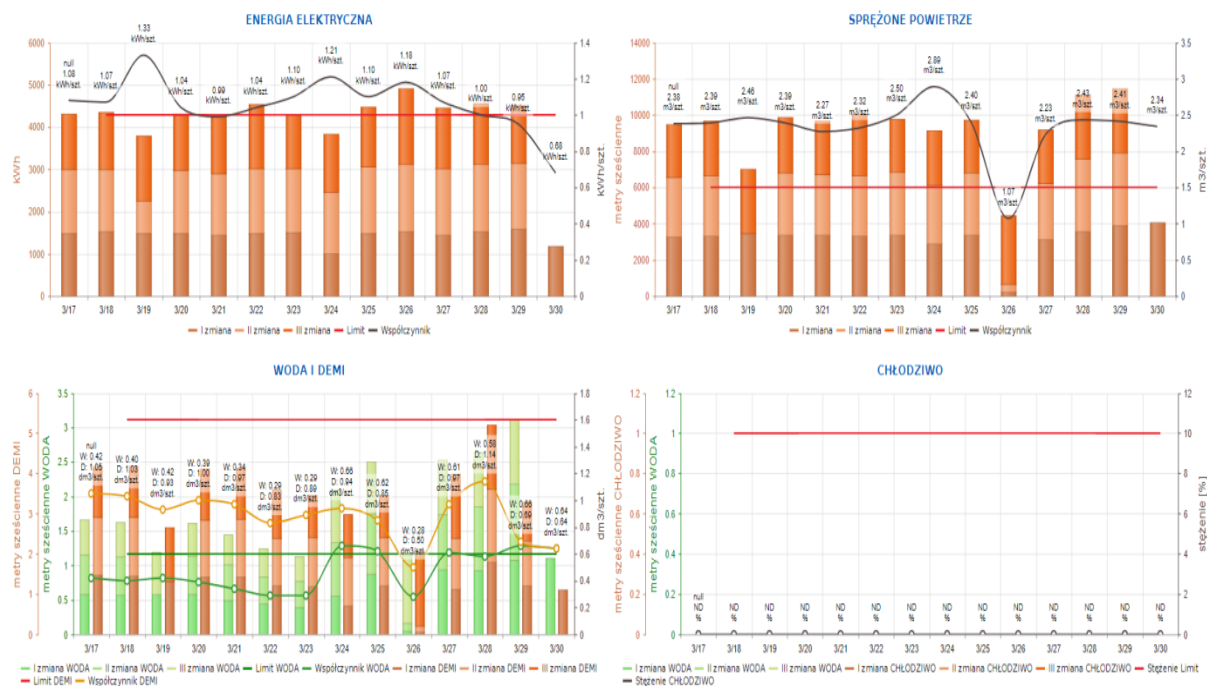


Rys.5.77. Wizualizacja zużycia mediów na linii DL9.



Rys.5.78. Zrzut widoku ekranu wizualizacji zużycia mediów na linii DL9 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

Wykresy zużycia mediów technicznych na linii DL9 przedstawiono na rysunku 5.79.

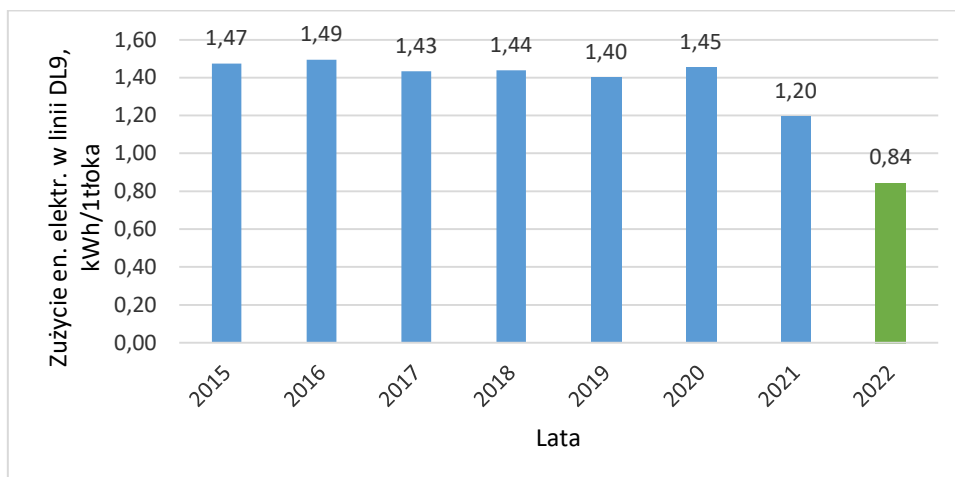


Rys.5.79. Wizualizacja zużycia mediów na linii DL9 – wykresy trendów wskaźników: energia elektryczna, woda, sprężone powietrze (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).

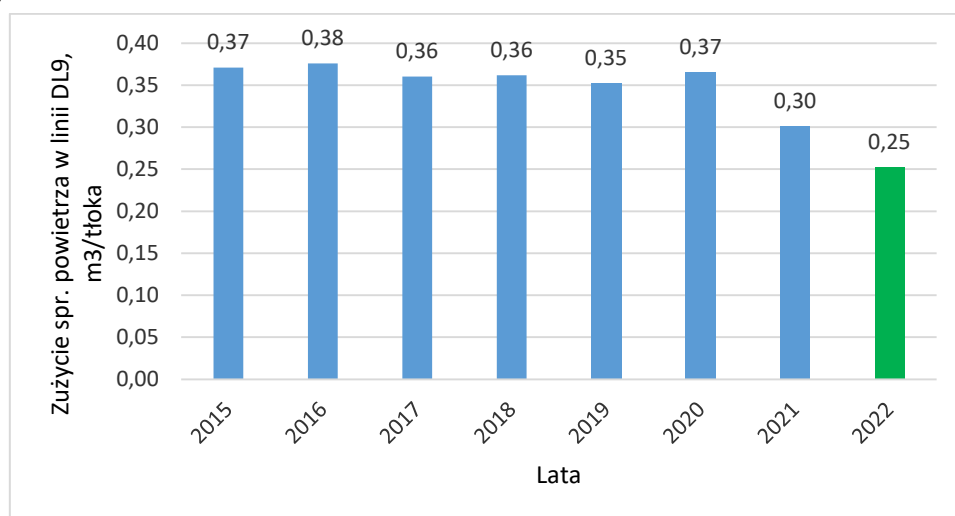
Wprowadzone rozwiązania służące do zarządzania zużyciem mediów tj.: energią elektryczną (rys.5.80a), wodą (rys.5.80b) i sprężonym powietrzem (rys.5.80c) na linii DL9 do obróbki skrawaniem tłoków przyczyniły się do znacznej redukcji kosztów, poprawy wskaźników oraz:

- skrócenia czasu reakcji w przypadku wystąpienia nawet małych ubytków,
- poprawy świadomości załogi i kierownictwa o wielkości strat związanych z mediami,
- lepszego planowania działań naprawczych i prewencyjnych w zakresie zarządzania mediami technicznymi,
- redukcji negatywnego wpływu na środowisko (mniej ścieków, mniejsza emisja CO₂),
- zmniejszenia kosztów obróbki mechanicznej tłoka, a przez to całego procesu jego produkcji (koszty konwersji),
- poprawy dyscypliny związanej z wyłączeniem zasilania urządzeń podczas przerw (braku) produkcji,
- ograniczenia pracochłonności związanej z odczytem liczników i opracowaniem raportów,
- wyeliminowania błędów i pomyłek w raportach na temat stanu mediów,
- poprawy świadomości załogi o konieczności ochrony środowiska,
- poprawy wizerunku F-M Gorzyce w zakresie dbałości o środowisko,
- znaczącej poprawy współczynnik korelacji R² dla parametrów: ilość wyprodukowanych sztuk vs ilość zużytego medium (rys.5.81),
- poprawy warunków BHP, zwłaszcza w zakresie:
 - zmniejszenia hałasu (uszczelnienie układów sprężonego powietrza),
 - zmniejszenia ryzyka upadku z uwagi na śliską powierzchnię posadzki pokrytą wodą np. z nieszczelnych rur.

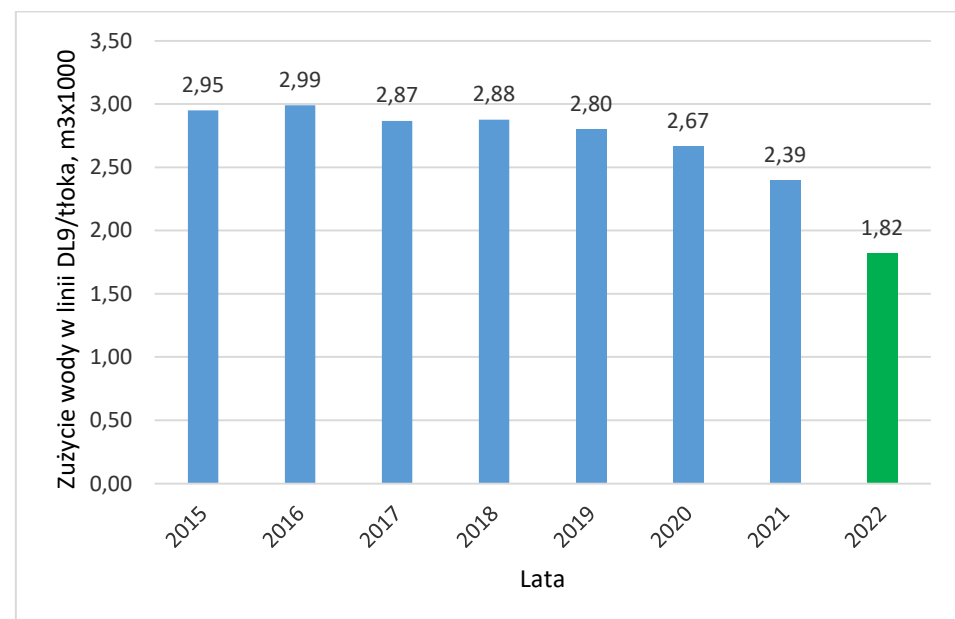
a)



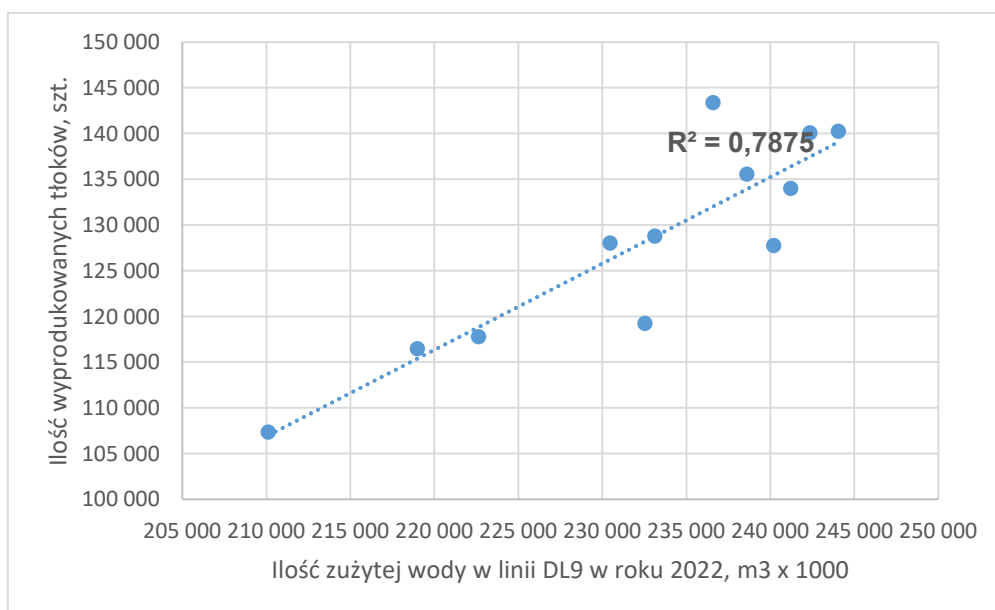
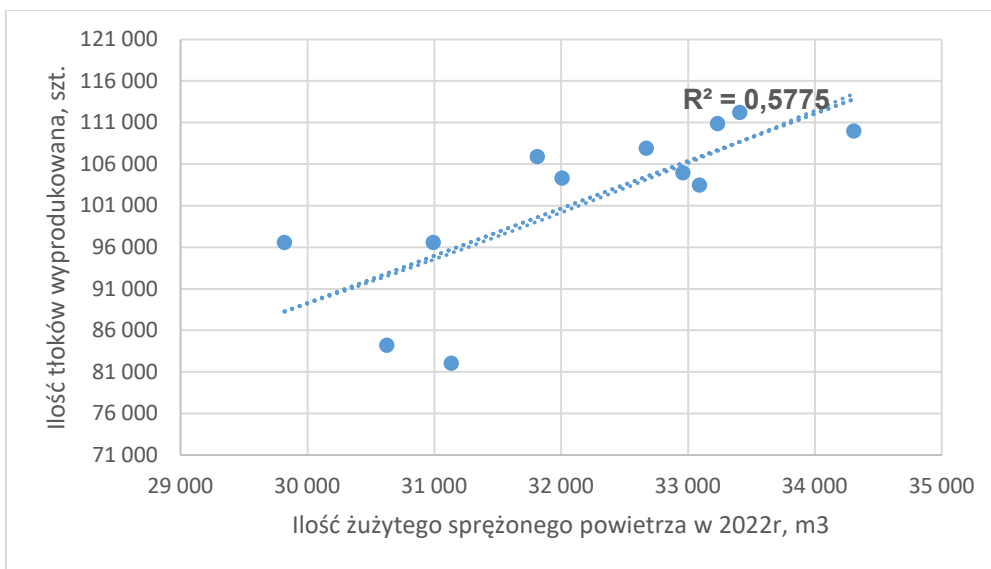
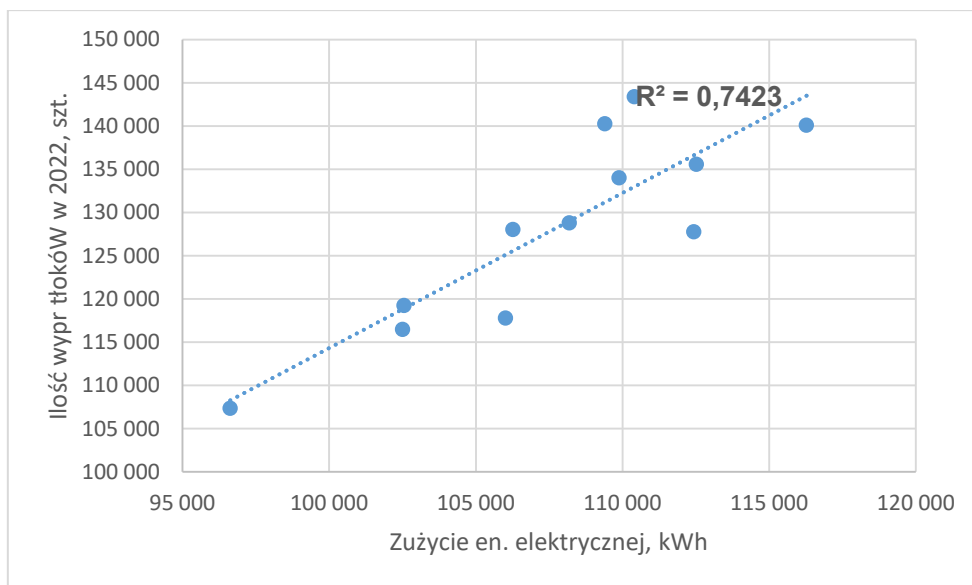
b)



c)



Rys.5.80. Zużycie: a) energii elektrycznej; b) sprężonego powietrza; c) wody w przeliczeniu na sztukę tłoka obrobionego na linii DL9 w latach od 2015 do 2022 (materiały będące własnością Federal-Mogul Gorzyce).



Rys.5.81. Współczynnik korelacji R^2 pomiędzy zużyciem: a) energii elektrycznej; b) sprężonego powietrze; c) wody a ilością wyprodukowanych sztuk tłoków w roku 2022.

6. PODSUMOWANIE

W dużych przedsiębiorstwach produkcyjnych koniecznym jest wykorzystywanie narzędzi lean szczególnie wtedy gdy technologia produkcji jest kompleksowa, nacechowana wieloma parametrami i procesami, mająca bardzo rozległy park maszynowy (np. w F-M Gorzyce jest 2550 maszyn i urządzeń). Standardowe podejście „leanowe” musi być wspomagane przez założenia przemysłu 4.0. Nie sposób używać tylko stopera do zbierania danych w przypadku bardzo licznego parku maszynowego, gdyż wszelka analiza danych trwa zbyt długo, angażuje wiele zasobów ludzkich i technicznych.

Z badań wstępnych wynika, że dotychczasowy sposób zarządzania linią do obróbki mechanicznej odlewów tłoków (tzw. linią DL9) w F-M Gorzyce był mało skuteczny. Pomimo stosowanych narzędzi LM (5S, Kaizen, TPM, Kanban, Poka-Yoke) w latach od 2015 do 2018/19 linia DL9 była mało efektywna. Do najważniejszych problemów można zaliczyć:

- wysoki poziom wyrobów niezgodnych ze specyfikacjami (tzw. braków) spowodowany manualnym sposobem statystycznej kontroli jakości (papierowe karty typu X-R) oraz zastosowaniem urządzenia US1D o ograniczonym zakresie kontroli parametrów tłoka bez możliwości przesyłania danych w czasie rzeczywistym,
- niewystarczająca zdolność produkcyjna linii DL9,
- zbyt duża obsada operatorów maszyn CNC,
- niska liczba zgłaszanych usprawnień (projektów kaizen),
- brak bieżących informacji dotyczących liczby obrabianych tłoków i pracujących maszyn,
- brak rzetelnej wiedzy na temat zużycia mediów technicznych np. (energia elektryczna, sprężone powietrze, woda techniczna),
- zbyt niska wartość wskaźników OAE, OEE, TEEP przed wprowadzonymi zmianami.

Ze względu na powyższe problemy i stale rosnące zamówienia tłoków do benzynowych silników VW1.0L (rys.2.1.a), linia DL9 stanowiła tzw. „wąskie gardło” w całym procesie produkcji odlewów tłoków w F-M Gorzyce. Poza tym, brak zastosowania nowoczesnych narzędzi LM powodował, że nie można było reagować na dynamicznie zmieniające się, głównie w krótkim czasie, potrzeby rynkowe przemysłu motoryzacyjnego z zakresu OEM-ów. W związku z powyższym, zgodnie z przyjętą koncepcją pracy doktorskiej analizie poddano sposób zarządzania linią DL9, stosując spersonalizowane i zdygitalizowane narzędzia lean, stanowiące próbę dostosowania wybranej linii obróbczej do poziomu 4.0 (przemysłu 4.0).

W tym celu w pierwszym etapie dokonano mapowania strumienia wartości (VSM) linii DL9 (rys. 5.1) z którego wynika, iż wymagane jest dokonanie szeregu usprawnień. Dotyczyły one poprawy zdolności produkcyjnej i jakościowej linii DL9 do obróbki tłoków.

Oceną zdolności produkcyjnej linii DL9 była analiza wskaźników KPI tj. OAE, OEE, TEEP (tab. 2.3), które oznaczają:

- OEE: całkowita efektywność linii do obróbki mechanicznej tłoków bez uwzględnienia strat wynikających z planowanych przestoju np. przerwy dla operatorów, przezbrojenia, próby technologiczne, itp,
- OAE: całkowita efektywność linii do obróbki mechanicznej tłoków z uwzględnieniem wszystkich strat (planowanych i nieplanowanych),

- TEEP: całkowita efektywność linii do obróbki mechanicznej tłoków z uwzględnieniem braku wykorzystania linii wynikającego z niedoboru zamówień produkcyjnych.

Z dokonanej analizy procesu mapowania strumienia wartości (VSM) linii DL9 wynika, że należy zwrócić szczególną uwagę na następujące aspekty zarządzania obróbką mechaniczną odlewów tłoków w F-M Gorzyce. Są to:

- redukcja czasu cykli produkcyjnych,
- zmniejszenie zapasów w toku produkcji,
- optymalizacja czasu pracy operatorów,
- usprawnienie przepływu informacji w zakresie linii i poza nią (produkcja, jakość, inżyniering, logistyka, BHP/ochrona środowiska),
- poprawa skuteczności międzyoperacyjnej kontroli jakości tłoków.

W tym celu powołano zespół Lean, którego liderem był autor pracy. W skład zespołu wchodziła przedstawiciele odpowiednich działów w zależności od wdrażanego rozwiązania. Za każdym razem opracowano harmonogram badań, analiz, wdrożeń oraz spotkań komitetu sterującego Lean, który wykorzystując różne narzędzia (burza mózgów, wykres Yamazumi, Design Thinking, Diament Kartezjański, Diagram Ishikawy) analizował wybór najlepszego rozwiązania i możliwości jego wdrożenia w warunkach przemysłowych.

Do wdrożonych rozwiązań zaliczono:

1. Zmniejszenie liczby operatorów koniecznych do obsługi linii DL9.
2. Usunięcie z procesu badań kontrolnych (operacja nr 190 z gniazda nr 5).
3. Zastąpienie papierowych kart X-R elektronicznym systemem SPC X-S.
4. Zastąpienie starego urządzenia US1D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów tłoków, nowym urządzeniem US2D.
5. Wprowadzenie elektronicznej wizualizacji statusu produkcji.
6. Redukcja czasu cyklu maszyn.
7. Wprowadzenie spersonalizowanego systemu Andon do nadzoru procesu obróbki tłoków.
8. Elektroniczne zbieranie danych dotyczących zużycia mediów w DL9 i działania mające na celu zmniejszenie wykorzystania prądu, sprężonego powietrza i wody.

Każde z zaproponowanych ulepszeń w zakresie obróbki mechanicznej tłoków zweryfikowano wartościami wskaźników KPI (OAE, OEE i TEEP) przed i po wdrożonymi rozwiązaniami.

Podsumowanie badań dotyczących zmniejszenia liczby operatorów

Zaproponowane i wdrożone rozwiązanie polegające na zmniejszeniu liczby operatorów przyczyniło się głównie do:

- lepszej organizacji prac dotyczących obróbki mechanicznej odlewów tłoków,
- redukcji kosztów robocizny (jedna osoba mniej na jedną zmianę w systemie cztero brygadowym). Pozwala to na zmniejszenie całej załogi pracującej na wszystkich zmianach o czterech operatorów,
- lepszej komunikacji pomiędzy załogą,
- zmniejszenia wpływu czynnika ludzkiego na organizację pracy (chorobowe, urlopy itd.).

Wdrożone rozwiązanie oceniono wyliczając średnią ilość sztuk tłoków na godzinę oraz poziom braków przez miesiąc (rys. 5.11 i 5.12).

Na początku po wprowadzeniu zmiany liczby operatorów stwierdzono, że pracownicy wykazywali niechęć, objawiającą się niską motywacją do osiągnięcia zakładanych celów. Zespół projektowy na bieżąco monitorował i wprowadzał usprawnienia, które redukowały pracochłonność wykonywanych czynności - przez co dodatkowy nakład pracy przestał być uciążliwy dla operatorów, a zakładane cele z czasem zostały osiągnięte.

Wymiernym wynikiem wprowadzanego usprawnienia była również analiza wartości wskaźnika OAE (rys. 5.13). W tym przypadku zaobserwowano podobny trend. Wdrożone rozwiązanie nie spowodowało pogorszenia jakości oraz zdolności linii DL9.

Podsumowanie badań dotyczących usunięcia z procesu obróbki mechanicznej badań kontrolnych (operacja nr 190 z gniazda nr 5)

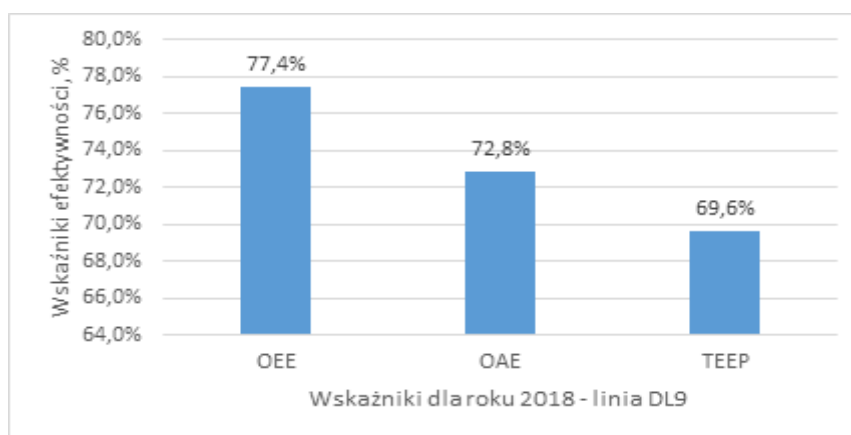
W wyniku procesu mapowania i wymagań technicznych stwierdzono, że jedna z maszyn dedykowanych do kontroli międzyoperacyjnej wad odlewniczych w obszarze krawędzi komory spalania jest zbędna. Dzięki temu stwierdzono następujące korzyści:

- zmniejszenie liczby obsługiwanych maszyn,
- zmniejszenie ilości zużycia energii elektrycznej,
- zmniejszenie kosztów utrzymania ruchu,
- skrócenie czasu obróbki mechanicznej (lead time).

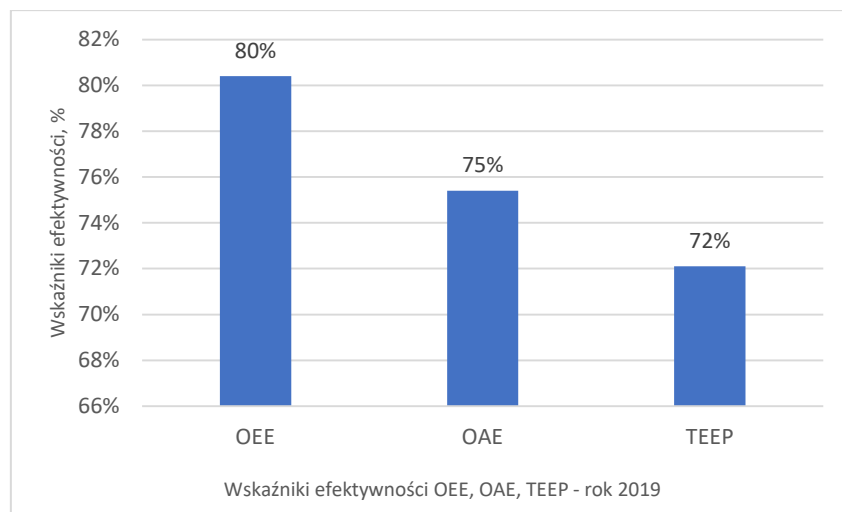
Podsumowanie badań dotyczących zastąpienia papierowych kart X-R elektronicznym systemem SPC (rys.6.1 i 6.2)

Zastąpienie papierowych kart X-R, elektronicznym systemem SPC wpłynęło na poprawę:

- jakości wykonywanych pomiarów kontrolnych, głównie parametrów wymiarowych tłoka,
- usprawnienia przepływu informacji dot. statystycznych parametrów procesu i krytycznych wymiarów tłoka (produkcja, jakość, inżynieringu),
- zmniejszenie ilości wyrobów niezgodnych (rys. 5.21 i 5.22),
- skrócenie przestoju linii wynikających z dodatkowych nadmiarowych regulacji przyrządów pomiarowych i nastaw maszyn,
- poprawę wskaźników C_p i C_{pk}



Rys.6.1. Wskaźniki efektywności OEE, OAE i TEEP linii DL9 – 2018 rok.



Rys.6.2. Wskaźniki efektywności OEE, OAE i TEEP linii DL9 – 2019 rok.

W 2019 roku wdrożono część narzędzi LM (mapowanie VSM, optymalizacja pracy operatorów, eliminacja nadmiarowej kontroli, wdrożenie nowego systemu SPC). Wykres na rysunku 6.2 pokazuje pierwszy sukces tj. wzrost wszystkich wskaźników względem roku 2018. Wyniki te potwierdziły, że zaplanowane działania i usprawnienia skutecznie poprawiają efektywność badanej linii produkcyjnej DL9.

Podsumowanie badań dotyczących zastąpienia urządzenia US1D urządzeniem US2D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów tłoków

Punktem wyjścia wdrożenia tego rozwiązania była analiza czasu strat z podziałem na typy strat w roku 2018 (rys. 5.24 i 5.25) oraz w roku 2019 (rys. 5.26 i 5.27).

Z rysunków tych wynika, że urządzenie US1D było jednym z największą liczbą regulacji wpływających na poziom produktów wybrakowanych oraz długość czasu przestoju linii DL9. Na tej podstawie zespół lean przeanalizował najnowsze rozwiązania w zakresie urządzeń do badań nieniszczących i podjął decyzję o zakupie nowego urządzenia US2D (rys. 5.30).

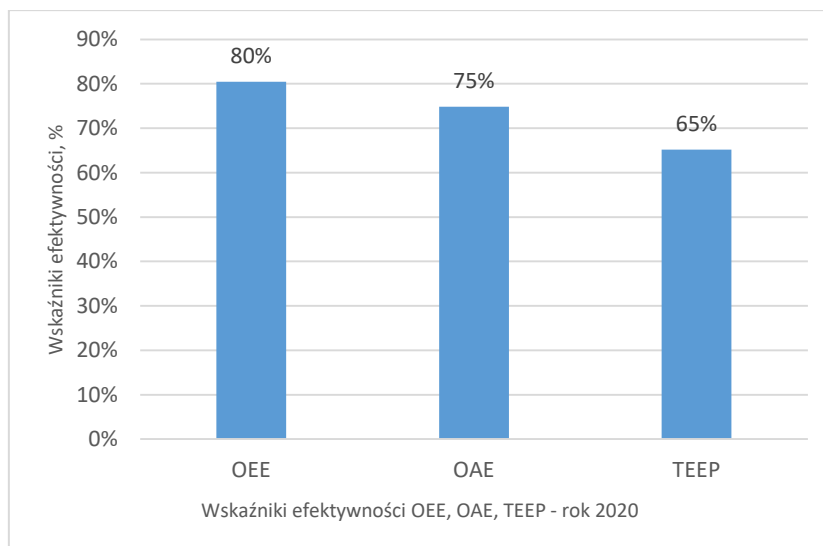
Urządzenie to pozwala na:

- lepszą detekcję wad odlewniczych,
- zwiększenie badanego obszaru odewu, w którym mogą występować potencjalne wady materiałowe,
- pełniejszą informację odnośnie typu i dokładnego miejsca wystąpienia wady,
- zwiększenie wykrywalności wad wewnętrznych (ultrasonograf),
- automatyczny transfer w czasie rzeczywistym danych pomiarowych do zainteresowanych działów (kontrola jakości, produkcja, UR).

Wymiarną korzyścią wdrożonego usprawnienia jest zmniejszenie liczby braków w latach 2018 – 2022 (rys. 5.33).

Trendy przedstawione na rys 5.33 pokazują, że zainstalowane nowe urządzenie US2D nie tylko poprawiło skuteczność pomiarów ale również poprzez cyfryzację danych i wizualizację wyników, przyczyniło się do szybkiej diagnozy problemów na odlewni oraz wprowadzenia działań korygujących i prewencyjnych.

Automatyczny transfer danych wykorzystując wewnątrz sieci internetowe, do kierownictwa produkcji, inżynieringu, działu jakości oraz ośrodka badawczo rozwojowego znajdującego się poza Polską był przyczynkiem do dalszych prac badawczych usprawniających procesy wytwórcze i kontrolne. Wyniki wskaźników OAE podano po wdrożeniu kolejnego usprawnienia jakim była elektroniczna wizualizacji statusu obróbki skrawaniem (rys.6.3).



Rys. 6.3. Wskaźniki OEE, OAE i TEEP linii DL9 - 2020 rok.

Z powodu pandemii, zmniejszenia ilości zamówień zwłaszcza w okresie kwiecień – sierpień 2020, oraz zatrzymania całego zakładu w kwietniu. Zaplanowany wzrost wskaźnika OAE po wprowadzeniu pierwszych rozwiązań nie został osiągnięty. Trudności wynikające z braku inżynierów oraz pracowników (chorobowe, praca zdalna) uniemożliwiły ciągły monitoring i kontrolę działań doskonalących proces obróbki mechanicznej odlewów tłoków i opóźniły zaharmonogramowaną w pracy ich implementację.

Podsumowanie badań dotyczących wprowadzenia elektronicznej wizualizacji statusu obróbki skrawaniem tłoków

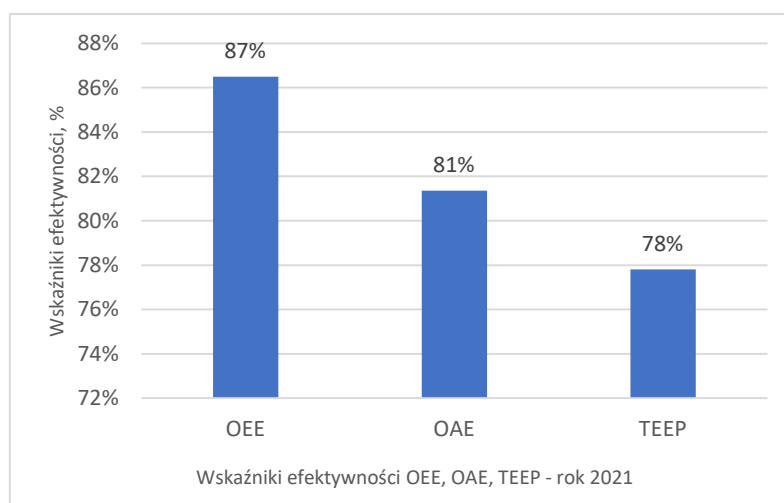
Wprowadzenie wizualizacji opartej na danych wyznaczanych automatycznie, daje szybką informację do stosownych służb na temat aktualnego stanu procesu, jakości produkowanych części i stanu maszyn. Automatycznie zbierane dane pozwalają szybko formułować wnioski poprzez natychmiastowe porównania: wynik vs cel, wynik vs najlepsze praktyki itd. Dobrze dobrane wskaźniki wspomagają m.in. predyktywne utrzymanie ruchu, pomagają w prognozie wyników cel-wykonanie oraz potencjalną liczbę wyrobów na koniec dnia lub zmiany produkcyjnej. System nadzorujący cykle na każdej maszynie i urządzeniu zapobiega również manipulacjom i wychwytuje wszelkie anormalne zachowania. Zdigitalizowane narzędzia Lean Manufacturing pozwalają na szybsze optymalizowanie procesu produkcyjnego, lepsze tj. precyzyjniejsze planowanie produkcji oraz zapewniają potencjał do zwiększania zdolności produkcji. Wiarygodne dane jak czasy cykli każdego urządzenia i każdego procesu np. czasy przeładunków, średnie (i mediany) spływów i cykli godzinowych oraz minimalne czasy cykli osiągnięte w wybranym okresie badawczym są podstawą do opracowania działań doskonalących procesy wytwarzania, obniżając koszty produkcji oraz nakłady inwestycyjne.

Kluczowym jest określenie rodzaju zebranych informacji i sposobu ich zwizualizowania aby sprostać potrzebom. Najważniejsze z tych informacji dotyczą:

- obsługi linii produkcyjnej tj. załogi (liczby operatorów),
- liderów brygad,
- działów technologicznych, jakościowych oraz kierownictwa.

Wszelkie wskaźniki powinny być tak dobrane, aby jasno, czytelnie i w czasie rzeczywistym opisywały stan zachodzących procesów, a przez to były faktycznie wykorzystywane do ciągłego doskonalenia procesu.

Wartości wskaźników OEE; OAE i TEEP po wprowadzeniu elektronicznej wizualizacji statusu obróbki skrawaniem tłoków na linii DL9 przedstawiono na rysunku 6.4.



Rys.6.4. Wskaźniki OEE, OAE i TEEP linii DL9 - 2021 rok.

W roku 2021 zauważyć można duży wzrost zdolności linii DL9 (rys. 6.4). Przyczyną tego były zaimplementowane działania usprawniające w latach 2020-2021 oraz zwiększenie zamówień i rynku sprzedaży samochodów po okresie pandemii. Mniejsza fluktuacja załogi oraz zamówień od klientów zaowocowała również stabilnym i sukcesywnym wzrostem produktywności w badanej linii DL9.

Zastosowanie nowego „leanowego” formularza do poprawy produktywności (tzw. Design Thinking), pozwoliło dokładnie zdefiniować przyczyny braku poprawnego raportowania odpowiedniej jakości danych dotyczących obróbki mechanicznej tłoków, wpływ na pozostałe kluczowe wskaźniki oraz, co najważniejsze, umożliwiło opracowanie działań, które znacząco (prawie w 100%) wyeliminowały problem z raportowaniem poziomu produkcji oraz określeniem stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń. Ważnym punktem z dostosowanej do specyfiki zakładu metody Design Thinking jest zaproponowanie na bazie oczekiwań wielu zainteresowanych alternatywnych rozwiązań, które w następnych etapach były analizowane pod kątem przydatności i funkcjonalności przez interdyscyplinarny zespół lean.

Kluczowe było zaprojektowanie specjalnej bazy danych połączonej odpowiednim interfejsem z maszynami i robotami mającej na celu zebranie danych produkcyjnych bezpośrednio z urządzeń oraz automatyczną kalkulację wskaźnika OAE i wizualizację w rzeczywistym czasie wykorzystania maszyn i urządzeń należących do linii obróbczej DL9.

Podsumowanie badań dotyczących redukcji czasu cykli i sprawdzenia poziomu drgań maszyn na linii DL9

Redukcja czasu cykli pozwoliła na zwiększenie zdolności linii produkcyjnej bez pogorszenia jakości wyrobów końcowych. Bez wykorzystania wcześniej wprowadzonych rozwiązań LM oraz digitalizacji, nie byłaby możliwa dogłębna analiza danych w czasie rzeczywistym i formułowanie wniosków racjonalizatorskich. Zastosowanie rozwiązań dotyczących redukcji cykli pozwala na szybszą i elastyczną reakcję na fluktuacje rynkowe tj. zwiększenie zamówień na produkty bez konieczności inwestycji w nowy park maszynowy i wzrostu poziomu zatrudnienia, co pozwala na zwiększenie przewagi nad konkurencją.

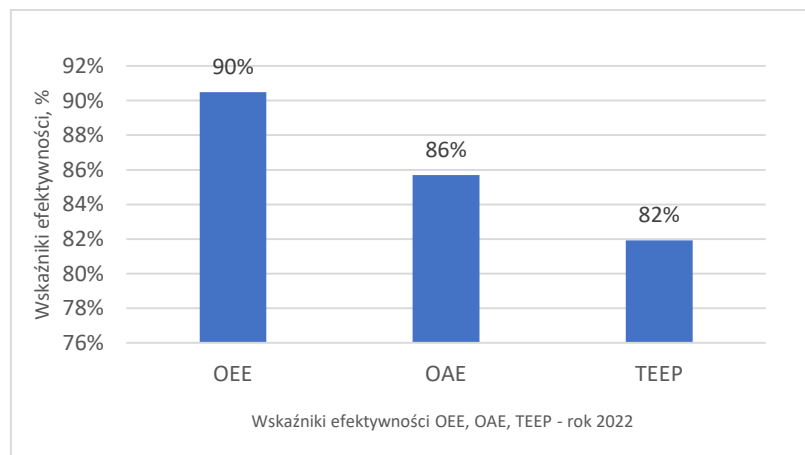
Podsumowanie badań dotyczących wprowadzenia spersonalizowanego systemu ANDON do nadzoru procesu obróbki mechanicznej tłoków na linii DL9

Kolejnym usprawnieniem zarządzania linią DL9 było wdrożenie spersonalizowanego systemu Andon. Cechą charakterystyczną było zastosowanie tego systemu do każdej celi obróbczej zintegrowanej z linią DL9 (rys. 5.68). Dzięki wizualizacji świetlnej i dźwiękowej system Andon przekazuje załodze informacje o:

- awariach urządzeń wchodzących w skład linii DL9,
- braku półfabrykatów i związanych z tym zakłóceń,
- konieczności wymiany narzędzi skrawających,
- przeprowadzenie międzyoperacyjnej kontroli jakości tłoków.

Dzięki powyższym informacjom możliwe jest uniknięcie lub poprawa:

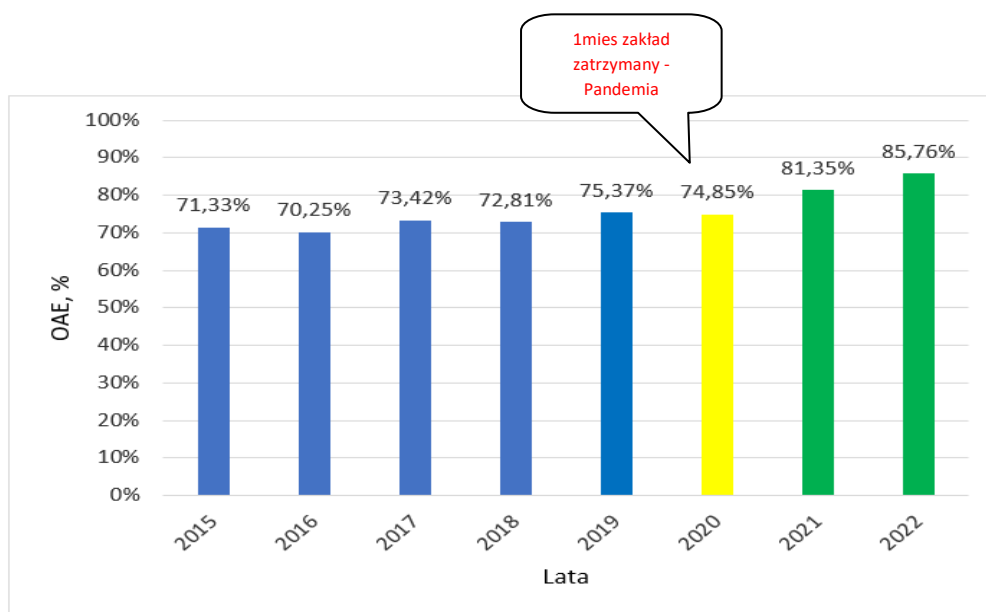
- wskaźników OAE; OEE i TEEP (rys. 6.5),
- zdolności produkcyjnej linii obróbczej DL9 (rys. 5.70),
- jakości determinowanej zmniejszeniem poziomu produktów niezgodnych ze specyfikacją (rys. 5.71).



Rys.6.5. Wskaźniki OEE, OAE i TEEP linii DL9 - 2022 rok.

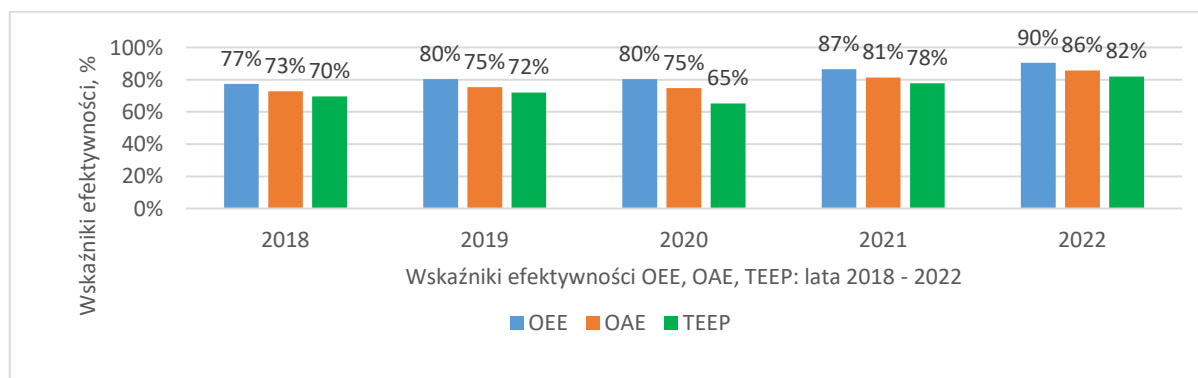
Efektywność wykorzystania parku maszynowego w linii DL9 w 2022 mierzona trzema wskaźnikami pokazuje wysoki poziom, a zaplanowane i wdrożone usprawnienia będą skalowane na pozostałe linie produkcyjne w zakładzie.

Zbiornicze zestawienie kluczowego dla F-M Gorzyce wskaźnika OAE w latach 2015 do 2022 i wszystkich analizowanych wskaźników (OAE; OEE i TEEP) dla linii obróbczej DL9 przedstawiono na rysunkach 6.6 i 6.7.



Rys.6.6. Wskaźnik OAE dla linii DL9 2015- 2022

Linia DL9 w latach 2015-2018, cechowała się dość niskim poziomem efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń. Współczynnik OAE oscylował między 71% a 73%, co było poniżej oczekiwań i wytycznych korporacji tj. mniej niż 75%. Oprócz chęci podwyższenia wskaźnika OAE dodatkową potrzebą było uniknięcie wydatków inwestycyjnych, dotyczących zwiększenia zdolności produkcyjnej z uwagi na wzrost zamówień. Po wdrożeniu pierwszych usprawnień w roku 2019 nastąpił wzrost efektywności linii DL9. Niestety z powodu pandemii w 2020 r. zakład napotkał wiele trudności: gwałtowny spadek zamówień, zatrzymanie produkcji, znaczący wzrost urlopów chorobowych, brak mikroprocesorów itp. Wszystko to spowodowało, że OAE pomimo wprowadzonych rozwiązań LM obniżył się w porównaniu do roku 2019 (żółty słupek). W dalszych latach linia DL9 osiągała sukcesywnie wraz ze wdrażaniem następnych usprawnień coraz lepsze wyniki, dochodząc w roku 2022 do poziomu 85,76% wskaźnika OAE. Wyniki jednoznacznie pokazują skuteczność przyjętych działań potwierdzonych danymi z produkcji w linii DL9.



Rys.6.7. Wskaźniki OEE; OAE i TEEP linii DL9 w latach 2018 do 2022.

Powołany i kierowany przez autora pracy zespół lean skupił się głównie na dokładnej analizie wskaźnika OAE zbierając i analizując dla niego przyczyny strat wykorzystując do tego celu np. Pareto-Lorenza. Wskaźniki OEE i TEEP także były obliczane w trakcie i po wszystkich wdrożeniach, ale z uwagi na fakt, że korporacja do której należy zakład nie wymaga dokładnych analiz współczynników OEE i TEEP, zespół z liderem ograniczył się tylko do ich kalkulacji. Niemniej jednak rysunek 6.7 pokazuje pozytywny i wzrastający trend poprawy: OEE i OAE wzrosło od 2018 do 2022 o 13 pp, a wskaźnik TEEP o 12 pp. Może to świadczyć o słuszności podjętych działań, głównie o prawidłowym doborze narzędzi LM w doskonaleniu procesu zarządzania obróbką mechaniczną odlewów tłoków na linii DL9 w F-M Gorzyce.

Podsumowanie badań dotyczących elektronicznego sposobu zbieranie danych dotyczących zużycia mediów technicznych na linii DL9

Zastosowanie narzędzi Lean Manufacturing i Przemysłu 4.0 przyczyniło się do znaczącej redukcji zużycia energii elektrycznej, wody i sprężonego powietrza w zautomatyzowanej linii obróbczej (produkcyjnej). Dzięki temu udało się zmniejszyć koszty produkcji poprzez spadek ilości zużywanych mediów na jedną sztukę wyprodukowanego tłoka.

Wdrożenie wyżej wymienionych narzędzi pozwoliło również na poprawę warunków BHP, co jest bardzo ważne dla załogi oraz zwiększyło efektywność produkcji. Redukcja negatywnego wpływu na środowisko jest również korzystna, ponieważ pozwala na poprawę wizerunku firmy oraz zwiększa świadomość ekologiczną wśród pracowników.

Wprowadzenie narzędzi Lean Manufacturing umożliwiło poprawę procesów produkcyjnych poprzez eliminację marnotrawstwa i optymalizację procesów. Natomiast narzędzia przemysłu 4.0 pozwoliły na automatyzację procesów obróbczych, co z kolei miało wpływ na zwiększenie precyzji i szybkości produkcji oraz na zmniejszenie ryzyka błędów.

Analiza ta pokazuje, że wykorzystanie narzędzi Lean Manufacturing oraz narzędzi przemysłu 4.0 przyczynia się do zwiększenia efektywności produkcji, redukcji kosztów oraz poprawy warunków pracy. Jest to kluczowe dla firm, które chcą pozostać konkurencyjne na rynku, jednocześnie dbając o środowisko i dobre relacje z pracownikami oraz klientami.

Kolejną zaletą elektronicznego nadzoru nad zużyciem mediów technicznych było zwiększenie współczynnika korelacji przed wdrożonym usprawnieniem (rys. 5.73) w porównaniu do okresu po wdrożeniu usprawnieniu (rys. 5.81).

7. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, sformułowano następujące wnioski:

1. Zmniejszenie liczby operatorów z czterech do trzech spowodowało poprawę przepływu informacji i zmniejszenie robocizny, bez pogorszenia jakości obrabianych tłoków.
2. Wprowadzenie elektronicznego systemu SPC spowodowało poprawę jakości procesu obróbki mechanicznej tłoków mierzoną wskaźnikami (C_p i C_{pk}) oraz efektywności linii mierzonej wskaźnikami OEE; OAE i TEEP.
3. Zainstalowanie nowoczesnego urządzenia US2D do międzyoperacyjnej kontroli jakości odlewów metodą ultradźwięków spowodowało zmniejszenie liczby wyrobów wadliwych oraz poprawiło wskaźniki, zwłaszcza OEE i OAE.
4. Zaimplementowanie elektronicznej wizualizacji statusu linii DL9, poprawia przepływ informacji pomiędzy linią do obróbki, a innymi wydziałami i zwiększa szybkość reakcji na zakłócenie w procesie oraz zamienność zapotrzebowania rynkowego.
5. Redukcja czasu cykli maszyn i urządzeń przyczyniła się do skrócenia procesu wytwórczego oraz zwiększenia zdolności linii.
6. Instalacja spersonalizowanego systemu Andon poprawiła efektywność linii mierzoną wskaźnikami OEE i OAE oraz predyktywne zarządzanie obróbką mechaniczną.
7. Zastosowanie innowacyjnych metod kontroli mediów technicznych pozwala na wykazanie korelacji pomiędzy ich zużyciem, a wielkością produkcji w linii DL9 w czasie rzeczywistym. Przyczynia się to również do zmniejszenia kosztów wytworzenia oraz pozytywnego wpływu na środowisko i poziom BHP.
8. Ocena wdrożonych narzędzi Lean Manufacturing przy zastosowaniu niefinansowych, ilościowych wskaźników efektywności KPI (OAE; OEE i TEEP) okazała się słuszna, co potwierdza przyjęte cel i tezę pracy.

SPIS LITERATURY

- [1] Womack J.P., Jones D.T., Roos D.: The machine that changed the world. *Bus. Horiz.* 35, no. 3, 81–82, 1992. Wydanie krajowe: Womack J.P., Jones D.T., Roos D., *Maszyna, która zmieniła świat*, ProdPress.com, Wrocław, 2008.
- [2] Hines P.: *Kierunek – organizacja Lean*, Tłum. Czerska J., Wyd. LeanQ Centrum, Gdańsk, 2003.
- [3] Bogacz P., Migza M.: *Zastosowanie Lean Six Sigma w doskonaleniu procesów produkcyjnych w przemyśle wydobywczym*, Elamed Media Group, *Inżynieria Górnicza* nr 4, 2016.
- [4] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzecieliński S.: *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010.
- [5] Wieczorek S.: *Ergonomia*, wyd. III. Rarbonus. Warszawa 2014.
- [6] Abdullah F.: *Lean manufacturing tools and techniques in the process industry*. Dissertation. University of Pittsburgh, School of Engineering, USA 2003.
- [7] Oakland J.S.: *Total Quality Management*. Butterworth-Heinemann: Oxford 1996.
- [8] Zimniewicz Z.: *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*. PWE. Warszawa 1999.
- [9] Waclawik Ł.: *Chronometraż jako tradycyjna i współczesna technika organizatorska*, 2018, <http://katalog.nukat.edu.pl/lib/item?id=chamo:4329048&theme=nukat>
- [10] Michalski E.: *Zarządzanie przedsiębiorstwem*. WN PWN Warszawa, 2022.
- [11] Walentynowicz P.: *Uwarunkowania skuteczności wdrażania Lean Management w przedsiębiorstwach produkcyjnych*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013.
- [12] Gajdzik B., Kowal E.: *Lean w przemyśle 4.0. Inżynieria zarządzania: Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze / Knosala R. (red.)*, PWE, Warszawa 2020.
- [13] Powell D., Romero D., Gaiardelli P., Cimini Ch., Cavalieri S.: *Towards Digital Lean Cyber-Physical Production Systems: Industry 4.0 Technologies as Enablers of Leaner Production*, 2021.
- [14] Bhasin S., Burcher P.: *Lean viewed as a philosophy*. *Journal of Manufacturing and Technology Management* nr 17, 2006.
- [15] Lipecki J.: *Lean management metodą restrukturyzacji przedsiębiorstwa*. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa* nr 12, 1997.
- [16] Czerska J.: *Doskonalenie strumienia wartości*. Wyd. Difin, Warszawa 2009.
- [17] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzecieliński S.: *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010.
- [18] Maciąg J.: *Kultura Lean Management w polskich szkołach wyższych (wyniki badań pilotażowych)*. *Nauka i Szkolnictwo Wyższe* nr 1/51, 2018.
- [19] Hamrol A.: *Strategie i praktyki sprawnego działania: Lean, Six Sigma i inne*. WN PWN, Warszawa 2015.
- [20] Parkes A.: *Kulturowe uwarunkowania Lean Management*. Wyd. Difin, Warszawa 2017.
- [21] J.K Liker, *Droga Toyoty: 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata*. MT Biznes, Warszawa 2005.
- [22] Piasecka-Głuszak A. na podstawie: Zimniewicz K.: *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*. PWE, Warszawa 2009.
- [23] Bicheno J., Holweg M., *The lean toolbox. A handbook for lean transformation*. Fifth edition, PICSIE Books, Buckingham 2016.
- [24] Ćwiklicki M., Obora H., *Metody TQM w zarządzaniu firmą. Praktyczne przykłady zastosowań*, Poltext, Warszawa 2009.
- [25] Witkowski J.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, Procedury, Doświadczenia*. PWE, Warszawa 2003.

- [26] De Treville S., Antonakis J., Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues, „Journal of Operations Management” nr 24, 2006.
- [27] Czerska J.: Doskonalenie strumienia wartości. PWE, Gdańsk 2014.
- [28] Durlik I.: Inżynieria zarządzania, cz. I. Placet, Warszawa 2007.
- [29] Romaniuk P.: Zastosowanie Lean Management w nowoczesnym zarządzaniu administracją publiczną, Journal of Modern Science 2, 2018, DOI: 10.13166/jms/89777, na podstawie: Radnor, Z.: Transferring Lean into Government, „Journal of Manufacturing Technology Management”, t. 21, nr 3. <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17410381011024368> (dostęp: 9.09.2017).
- [30] Kruczek M., Żebrucki R.: Wykorzystanie narzędzi lean manufacturing w logistyce produkcji. Prace Politechniki Warszawskiej, zeszyt 64. Transport, 2008.
- [31] Samuel D., Found P., William S. J.: How did the publication of the book The Machine That Changed The World change management thinking? Exploring 25 years of lean literature, „International Journal of Operations & Production Management” nr 35, 2015.
- [32] Pieńkowski M.: Model oceny dojrzałości Lean Manufacturing. Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów (rozprawa doktorska). Wrocław 2019.
- [33] Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J.: Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. Journal of Industrial Engineering and Management, JIEM 9(3), 2016.
- [34] Beifert A., Prause G.: Lean and Smart Manufacturing Networks in the Shipbuilding Sector for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322070659>.
- [35] Liker J.: Droga Toyoty. 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata. MT Biznes, Warszawa 2005.
- [36] Imai M., Gemba Kaizen, MT Biznes, Warszawa 2005.
- [37] Rewers P., Trojanowska J., Chabowski P.: Analiza wykorzystania narzędzi Lean Manufacturing – wyniki badań. Logistyka nr 3, 2015.
- [38] Rother M., Shook J.: Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute. Brookline, USA 1999.
- [39] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzcieleński S.: Metody i narzędzia Lean Manufacturing. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010.
- [40] J. M. Janiszewski, K. Siemieniuk, Lean management jako koncepcja wspomagająca zarządzanie innowacjami w przedsiębiorstwie, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania nr 30, 1999.
- [41] Janiszewski J.M., Popławska A., Siemieniuk K.: Ciągłe doskonalenie systemu Kanban na przykładzie przedsiębiorstwa Metal-Fach sp. z o. o. Wybrane aspekty zarządzania jakością i personelem, red. St. Minta, Leaderway, Wrocław 2011.
- [42] Hopiej M., Szloch M.: Lean Management – nowa koncepcja zarządzania. Przegląd organizacji nr 2, 1994.
- [43] Gajdzik B.: Zastosowanie metody 70-20-10 w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zarządzanie Przedsiębiorstwem nr 1 (R. XIX), 2016, s. 8-12;
- [44] Gajdzik B.: Przykłady zastosowania modelu 70-20-10 w organizacjach dążących do doskonałości. Zarządzanie Zasobami Ludzkimi nr 3-4, 2018, s. 27-42, ISSN 1641-0874.
- [45] Gajdzik B.: Zrównoważone praktyki biznesu w systemie zaopatrzenia przedsiębiorstwa – kryteria środowiskowe i społeczne oceny i segmentacji dostawców (rozdział 5): Innowacje w łańcuchach dostaw źródłem przewagi konkurencyjnej XXI wieku, 2016, (red.) B. Ocicka, M. Zięba, Uniwersytet Łódzki, ISBN 978-83-8088-496-0/978-83-8088-497-7, s. 51-58.

- [46] Gajdzik B.: Przegląd systemów oceny i plasowania dostawców. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka R. LXVII (67)*, nr 2, 2015, ISSN 1231-2037, s. 15-21.
- [47] Gajdzik B.: Samoocena dostawców w odpowiedzialnym pozyskiwaniu zasobów, „Organizacja i Zarządzanie”, *Kwartalnik Naukowy Politechniki Śląskiej*, nr 3931, ISSN 1899-6116, 2015.
- [48] Dudek M.: Projektowanie szczupłych systemów wytwarzania. Difin, Warszawa 2016.
- [49] Antczak A., Gębczyńska A.: Analiza efektywności procesu produkcyjnego za pomocą kluczowych wskaźników (KPI) na podstawie firmy XYZ. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie* nr 9, Politechnika Śl., Gliwice 2016.
- [50] Lean Enterprise Institute Polska <https://lean.org.pl/zaczelo-sie-od-branzy-motoryzacyjnej-czyli-rozwoj-ruchu-lean-w-polsce/>: T. Koch, R. Horbal, R. Kagan, T. Sobczyk: Zaczęło się od branży motoryzacyjnej czyli rozwój ruchu Lean w Polsce (13.03.2022).
- [51] Kisiel P.: Koncepcja wdrożenia wybranych metod Lean Production w przedsiębiorstwie produkcyjnym. *Autobusy* nr 6, 2017.
- [52] Janocha M.: Zarządzanie procesem produkcyjnym zgodne z koncepcją Lean Management w branży motoryzacyjnej. *Journal of Modern Management Process*, 2(1)/2016 | journalmmp.com, s. 44-53 za: Kolińska K., Koliński A., Trojanowska J.: Stosowanie narzędzi Lean w przedsiębiorstwie produkcyjnym jako skuteczny sposób walki z kryzysem gospodarczym. *Problemy Zarządzania* 31(1), 2011.
- [53] Hamrol A.: Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, six sigma i inne. WN PWN, Warszawa 2015.
- [54] Czarska J.: Doskonalenie strumienia wartości, Gdańsk 2014.
- [55] Antosz K.: Lean Manufacturing doskonalenie produkcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2018.
- [56] Kosieradzka A.: Zarządzanie produktywnością przedsiębiorstwa. C. H. Beck, Warszawa 2012.
- [57] Trzecieliński S.: Przedsiębiorstwo zwinne. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- [58] Niekurzak M., Kubińska-Jabcoń E.: Wpływ procesu produkcji na jakość płytek drukowanych PCB dla branży motoryzacyjnej. *Autobusy* 10–11, 2019, DOI: 10.24136/atest.2019.213. Data zgłoszenia: 07.01.2020. Data akceptacji: 08.01.2020.
- [59] Kornicki L., Kubik S.: 5S dla Operatorów - 5 filarów wizualizacji miejsca pracy. *ProdPress.com* Wrocław 2008.
- [60] Michłowicz E., Karwat B.: Implementation of Total Productive Maintenance – TPM in Enterprise. *Scientific Journals* 24, 2010.
- [61] Bertolini M., Braglia M., Romagnoli G., Zammori F.: Extending value stream mapping: the synchro-MRP case. *International Journal of Production Research* vol. 51, Issue 18, 2013, ISSN: 0020-7543.
- [62] Janocha M.: Zarządzanie procesem produkcyjnym zgodne z koncepcją Lean Management w branży motoryzacyjnej. *Journal of Modern Management Process* 2(1), 2016, <https://journalmmp.com>.
- [63] *Parmenter D.: Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI). Tworzenie, wdrażanie i stosowanie. Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2015.*
- [64] <http://leanactionplan.pl/wp-content/uploads/2018/02/TPM-Red-Tag.xlsx>
- [65] Brian H. Roberts: The Third Industrial Revolution: Implications for Planning Cities and Regions, <https://www.researchgate.net/publication/278671121>.
- [66] Greenwood J.: The Third Industrial Revolution: Technology, Productivity, and Income Inequality, *Economic Review* 1999 Q2, <http://clevelandfed.org/research/review>.
- [67] Rifkin J.: The Third Industrial Revolution, Letra Libre, Inc., October 2011, Printed in the United States of America.

- [68] Fitzsimmons J.: Information technology and the third industrial revolution. *The Electronic Library* vol. 12, No. 5, 295-297, 1994.
- [69] Initiating the third industrial revolution. European Environmental Bureau (EEB) version 1, July 2022.
- [70] Robert A. Manning: *Rising Robotics and the Third Industrial Revolution*. Atlantic Council of the United States, 2013.
- [71] Zakoldaev D.A., Shukalov A.V., Zharinov I.O., Zharinov O.O.: Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 537, 032005, 2019.
- [72] Li Da Xu, Eric L. Xu & Ling Li: Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research* vol. 56, No. 8, 2941–2962, 2018.
- [73] Ebru Gökalp, Umut Şener, P. Erhan Eren: Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. Springer International Publishing AG, A. Mas et al. (Eds.): SPICE, 2017.
- [74] Devansh Sanghavi, Sahil Parikh, S., Raj A.: Industry 4.0: Tools and Implementation. *Management and Production Engineering Review* vol. 10, No 3, September 2019, 3-13.
- [75] Tjahjono B., Esplugues C., Ares E., Pelaez G.: Manufacturing Engineering Society. *International Conference 2017. Procedia Manufacturing* 13, 1175–1182, 2017.
- [76] Popkova E.G., Ragulina Y.V., Bogoviz A.V.: *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019.
- [77] Canas H., Mula J., Díaz-Madronero M., Campuzano-Bolarín F.: Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & Industrial Engineering* 158, 1-17, 2021.
- [78] Tariq Masood, Paul Sonntag: *Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs* Tariq. *Computers in Industry* 121, 1-12, 2020.
- [79] Bartodziej C. J.: *The Concept Industry 4.0*, BestMasters. Springer Fachmedien Wiesbaden, GmbH 2017.
- [80] Lucas Santos Dalenogare, Guilherme Brittes Benitez, Néstor Fabián Ayala, Alejandro Germán Frank: The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics* 204, 383-394, 2018.
- [81] Diego Castro Fettermann, Caroline Gobbo Sá Cavalcante, Tatiana Domingues de Almeida, Guilherme Luz Tortorella: How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering* 1-15, 2018.
- [82] Morteza Ghobakhloo: Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 252, 1-21, 2020.
- [83] Tessaleno Devezas, João Leitão, Askar Sarygulov: *Industry 4.0 Entrepreneurship and Structural Change in the New Digital Landscape*. Springer International Publishing AG 2017.
- [84] Zakoldaev D. A., Shukalov A. V. Zharinov I. O.: From Industry 3.0 to Industry 4.0: production modernization and creation of innovative digital companies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 560, 012206, 2019.
- [85] Dates Luca, Valer-Ioan Dolga: From Industry 3.0 to Industry 4.0. *The International Journal of Engineering and Science* vol. 10, Issue 9, 44-49, 2021.
- [86] Michael Kanisuru Adeyeri: From Industry 3.0 to Industry 4.0: Smart Predictive Maintenance System as Platform for Leveraging, *Arctic Journal* 71(11), 64-81, 2018.
- [87] Zengqiang Jiang, Shuai Yuan, Jing Ma, Qiang Wang: The evolution of production scheduling from Industry 3.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research* 1-22, 2021, DOI: 10.1080/00207543.2021.1925772.
- [88] Parmenter D.: *Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI). Tworzenie, wdrażanie i stosowanie*. Wyd. HELION, Gliwice 2015.

- [89] Gajewska T.: Wybrane metody i wskaźniki pomiaru jakości usług logistycznych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe nr 6, Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM, Radom 2016.
- [90] Grycuk A.: Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI), jako narzędzie doskonalenia efektywności operacyjnej firm produkcyjnych zorientowanych na lean. Przegląd Organizacji nr 2, 2010.
- [91] Rydzewska- Włodarczyk M., Sobieraj M.: Pomiar efektywności procesów za pomocą kluczowych wskaźników efektywności. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 864. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia nr 76, t. 2. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2015.
- [92] Sierpińska M., Jachna T.: Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych. Wydanie drugie. WN PWN, Warszawa 1997.
- [93] Laffi M., Boschma R.: Does a local knowledge base in Industry 3.0 foster diversification in Industry 4.0 technologies? Evidence from European regions. Pap Reg Scientific 101, 2022.
- [94] Kjelsrud J.: A Secure Transition from Industry 3.0 to Industry 4.0 for Manufactures, Recommendations from a security perspective. Department of Informatics Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Oslo 2022. [https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/95669/1/Thesis_Kjelsrud.pdf\(02.2023\)](https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/95669/1/Thesis_Kjelsrud.pdf(02.2023)).
- [95] Czarski A., Satora K.: Statystyczna kontrola procesu. Materiały szkoleniowe. Kraków, Stat-Q-Mat s.c., 1998.
- [96] Dahlgaard J.J., Kristensen K., Kanji G.K.: Podstawy zarządzania jakością. PWN, Warszawa 2002.
- [97] Grant E.L., Leavenworth R.S.: Statistical quality control. McGraw-Hill, 1996.
- [98] Hamrol A. Zarządzanie jakością z przykładami. PWN, Warszawa 2005.
- [99] Kończak G.: Zastosowanie kart kontrolnych do oceny jakości procesu produkcji. Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2000.
- [100] Kończak G.: Statystyczne metody kontroli jakości produkcji. Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2007.
- [101] Maliński M.: Komputerowe metody weryfikacji hipotez statystycznych. Wyd. Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Gliwice 2004.
- [102] Chrapoński J.: Podstawy statystycznego sterowania procesami. Wyd. Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego w Polsce, Katowice 2010.
- [103] Statistical Process Control SPC Edycja II. AIAG, Berlin-London, July 2005.
- [104] Polska Norma PN-ISO 8258+AC1: Karty kontrolne Shewharta. PKN, 1996.
- [105] Krępa A., Piątkowski J.: Application of X-S Control Cards to Parameter Control in the Machining Process of Piston Castings for Internal Combustion Engines. Archives of Foundry Engineering 2021, no.4, 2021. DOI: 10.24425/afe.2021.139759.