

PROJEKT DOSKONALENIA SYSTEMU PRODUKCYJNEGO – STUDIUM PRZYPADKU

*Jan Duda
Paweł Wojakowski
Łukasz Gola
Dorota Warżolek¹*

Streszczenie

Artykuł prezentuje podejście do realizacji projektu badawczego z dziedziny inżynierii produkcji w ramach współpracy nauki z przemysłem. Projekt został zrealizowany w przedsiębiorstwie produkcyjnym branży motoryzacyjnej działającym na terenie Polski. Celem głównym projektu było przeprowadzenie mapowania strumienia wartości obejmujące opracowanie mapy stanu obecnego, w tym obserwację procesu przygotowania i montażu dwóch wyrobów. Opracowano stosowną dokumentację dotyczącą zaobserwowanych procesów produkcyjnych oraz wykresy porównawcze planowanego i zaobserwowanego nakładu pracy. Na tej podstawie zaproponowano zmiany doskonalące przebieg procesu produkcyjnego „od drzwi do drzwi” przedsiębiorstwa. Propozycje doskonalenia stanu obecnego są zaprezentowane na mapie stanu przyszłego.

Słowa kluczowe: projekt wdrożeniowy, doskonalenie produkcji, mapowanie strumienia wartości, VSM.

1. Wstęp

Obecnie, działania podejmowane przez przedsiębiorstwa produkcyjne na rzecz redukcji kosztów własnych produkcji mają na celu usprawnianie realizowanych przez nie procesów produkcyjnych zgodnie z koncepcją Lean Manufacturing (Liker, 2005). Koncepcja Lean Manufacturing kładzie silny nacisk na poprawę funkcjonowania organizacyjnego przedsiębiorstw drogą „małych kroczków” stosując się do 10 zasad ciągłego doskonalenia, czyli kaizen (Imai, 1995). Podążanie ścieżką wytyczoną przez pionierów zarządzania według Lean Manufacturing skutkuje osią-

¹ Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji/
Cracow University of Technology, Institute of Production Engineering and Automation.

gnięciem znacznej poprawy wydajności produkcji niezależnie od branży przemysłowej (Belekoukias i in., 2014).

Właściwe działania skierowane na poprawę funkcjonowania organizacyjnego przedsiębiorstwa produkcyjnego muszą być wcześniej właściwie przygotowane i przemyślane z uwagi na ich zgodność z przyjętym celem działalności operacyjnej przedsiębiorstwa (Goldratt, 2008). Działania doskonalące należy przygotować w odniesieniu do stanu obecnego organizacji produkcji, najlepiej ze wsparciem zewnętrznych konsultantów lub naukowców, którzy nie znają przyjętego systemu organizacyjnego, a więc nieczułych na ogólnie panujące zwyczaje operacyjne przedsiębiorstwa (Moyano-Fuentes i Sacristan-Diaz, 2012).

W odniesieniu do powyższych stwierdzeń autorzy publikacji rozpoczęli współpracę z jednym z przedsiębiorstw produkcyjnych branży motoryzacyjnej. Podjęte badania naukowe koncentrowały się na działalności organizacyjnej przedsiębiorstwa oraz poszukiwaniu możliwości poprawy stanu obecnego. Za metodę badawczą przyjęto mapowanie strumienia wartości szeroko opisywaną w literaturze (Rother i Shook, 1999, Dal Forno i in., 2014, Rohac i Januska, 2015). Ze względu na jednostkowy typ produkcji, realizowany w analizowanym przedsiębiorstwie produkcyjnym, podstawowa metoda mapowania strumienia wartości została zmodyfikowana w celu dostosowania do panujących warunków organizacyjnych (Slomp i in., 2009, Schmidtke i in., 2014).

Realizacja badań naukowych została ukierunkowana na osiągnięcie celu badawczego sformułowanego podczas ofertowania działalności naukowej w przedsiębiorstwie. Cel prowadzonych badań naukowych skupiał się na dwóch punktach:

- wykonania mapy stanu obecnego oraz przedstawienie wizji doskonalenia przepływu produkcji na mapie stanu przyszłego dla dwóch zleceń produkcyjnych wystawionych na wykonanie reprezentatywnych wyrobów gotowych. Doskonalenie ma doprowadzić do ciągłego (docelowo liniowego) przepływu wyrobów gotowych (strumienia wartości) w kolejności napływania zleceń do systemu produkcyjnego (produkcja wypoziomowana, poziomowany mix asortymentowy). Produkcja powinna odbywać się w tempie zgodnym z różnymi poziomami czasu taktu;
- ukazania różnic zaplanowanego nakładu czasu pracy w stosunku do zaobserwowanego podczas prowadzenia wizji lokalnej w trakcie realizacji zleceń produkcyjnych. Jest to związane z analizą przebiegu procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie w celu identyfikacji kluczowych źródeł pojawiającego się marnotrawstwa, które ma podlegać redukcji, a docelowo eliminacji zgodnie z procedurą wypracowaną w Systemie Produkcyjnym Toyoty (Ohno, 2008). Możliwości doskonalenia stanu obecnego mają być wykazane na mapach stanu przyszłego obrazujących wizję organizacji produkcji przedsiębiorstwa po wdrożeniu proponowanych zmian.

2. Analiza stanu obecnego

Podstawą doskonalenia systemu produkcyjnego jest mapa stanu obecnego. Opracowanie mapy stanu obecnego poprzedziło przyjęcie a szeregu ograniczeń związanych z obserwacją procesu przygotowania i montażu wyrobów w systemie. Aby w jasny sposób zaprezentować propozycje doskonalenia stanu obecnego odnoszące się do zmian konfiguracyjnych systemu produkcyjnego, przyjęto opisaną poniżej strukturę procesu i systemu wytwórczego.

2.1. Hierarchiczna struktura podstawowego procesu produkcyjnego

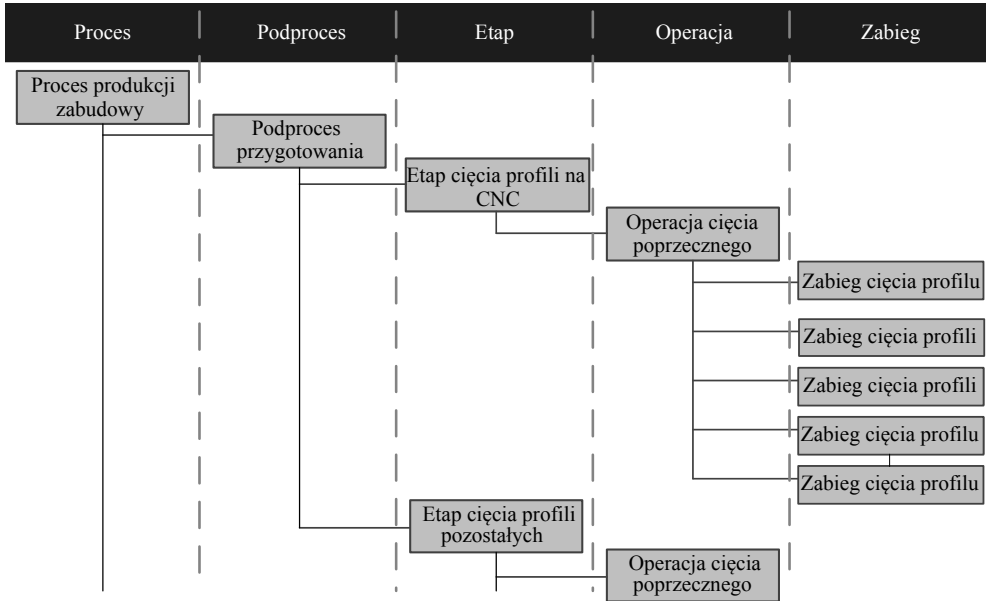
Przeprowadzenie analizy stanu obecnego wymaga zebrania wiedzy nt. realizowanych w systemie procesów produkcyjnych. Dla potrzeb projektu zaproponowano hierarchiczną strukturę procesu produkcyjnego wyrobu przyjmując następujące definicje:

- **proces** – zbiór wszystkich działań prowadzących do przekształcenia surowców i materiałów w gotowy wyrób;
- **podproces** – część procesu w wyniku którego uzyskuje się zdefiniowany stan wyrobu np. grupujący działania produkcyjne prowadzące do wytworzenia elementów składowych wyrobu, montażu wyrobu z elementów wytworzonych, pozyskanych w ramach kooperacji, zakupionych w handlu;
- **etap** – część podprocesu charakteryzująca się podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym realizowanych operacji technologicznych.

Definicje pozostałych elementów strukturalnych w odniesieniu do obróbki i montażu ujmuje PN-83/M-01250:

- **operacja obróbki** – zamknięta część procesu technologicznego realizowana na określonej części lub zespole przez jednego pracownika lub grupę pracowników na jednym stanowisku bez przerwy na wykonanie innej pracy;
- **zabieg obróbkowy** – część operacji realizowana za pomocą tych samych środków technicznych, przy niezmiennych parametrach obróbki, ustawienia i zamocowania;
- **operacja montażu** – zamknięta część procesu technologicznego montażu obejmującą działania wykonywane bez przerwy na jednym stanowisku montażowym na określonych jednostkach montażowych;
- **zabieg montażowy** – zamknięta część operacji montażowej, wykonywana w jednym, ściśle określonym miejscu połączenia, jednym narzędziem (lub zespołem narzędzi), nad dwiema lub więcej jednostkami montażowymi, bez zmiany położenia tych jednostek, przy czym miejsce połączenia jest wyznaczone zespołem powierzchni ustalających montowanych jednostek.

Fragment hierarchicznej struktury procesów wytwórczych w badanym przedsiębiorstwie przedstawiono na rys. 1.



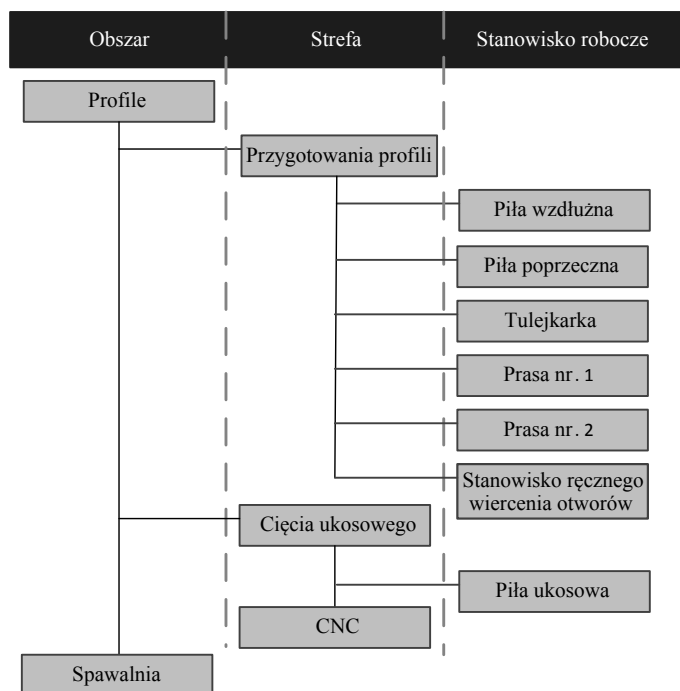
Rys. 1. Hierarchiczna struktura procesu technologicznego w systemie produkcyjnym

Procesy produkcyjne mogą być realizowane w wyodrębnionych jednostkach systemu. Podział podsystemu wytwórczego analizowanego systemu produkcyjnego został ustanowiony w postaci trypoziomowej hierarchicznej struktury. Aby w jasny sposób zaprezentować propozycje doskonalenia stanu obecnego odnoszące się do zmian konfiguracyjnych systemu wytwórczego, został podzielony na obszary, strefy oraz stanowiska robocze. Poniżej znajdują się przyjęte definicje struktury systemu wytwórczego, w którym realizowane są badane realizowane procesy produkcyjne.

Obszar – część systemu wytwórczego wydzielona i zarządzana przez jednego brygadzystę z uwagi na jednorodny charakter realizowanych zadań produkcyjnych określonych rodzajem wytwarzanych elementów i montowanych zespołów i podzespółów wyrobu i/lub dominującą technologią wytwarzania (np. obszar *Profile* – metodami cięcia, tulejkowania, wybijania otworów, obróbki CNC, obszar *Spawalnia*, gdzie prowadzony jest montaż nierozłączny metodami spawania MIG (stal) oraz TIG (aluminium), a także obróbka słupów stalowych), obszar *Lakiernia*, itd.

Strefa – część obszaru wydzielona z uwagi na określony typ stosowanych maszyn i urządzeń technologicznych dedykowanych do realizacji określonych technologii wytwórczych lub z uwagi na terytorialne rozdzielenie obszaru w systemie produkcyjnym (np. obszar *Profile* podzielony jest na strefy: *Przygotowania profili*, *CNC* oraz *Cięcia ukosowego*; obszar *Spawalnia* podzielony jest na strefy: *Spawania stali*, *Spawania aluminium* i *Przygotowania stali* itd.

Stanowisko robocze – przestrzeń wyodrębniona ze *Strefy* w wyniku połączenia maszyn lub urządzeń (środków pracy), komponentów wchodzących w skład zabudowy (przedmiotów pracy) i operatorów (np. w obszarze *Spawalnica*, w strefie Przygotowania stali znajdują się następujące stanowiska robocze: Piła poprzeczna do profili stalowych, Piła poprzeczna do rur, Wiertarka nr 1, Wiertarka nr 2, Prasa nr 1 – pod małe otwory, Prasa nr 2 – pod duże otwory). Fragment hierarchicznej struktury wydzielonych obszarów, stref i stanowisk roboczych podano na rys. 2.



Rys. 2. Hierarchiczna struktura wydzielonych obszarów, stref i stanowisk roboczych

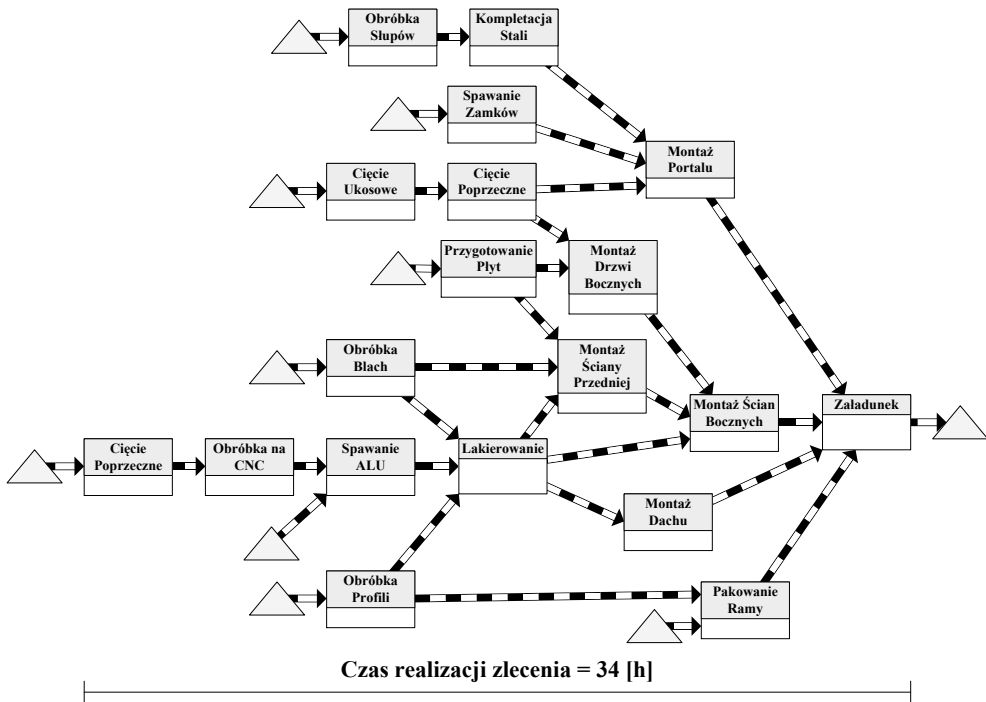
Zidentyfikowane obszary, strefy i stanowiska robocze naniesiono na layout analizowanego systemu wytwórczego. Zastosowano oznaczenie, w którym cyfry na kolejnych miejscach (poziomie hierarchii) oznaczają: poziom 1 – **obszar**, poziom 2 – strefa, poziom 3 – *stanowisko robocze*.

2.2. Opracowanie mapy stanu obecnego

W celu identyfikacji źródeł marnotrawstwa w trakcie realizacji procesu produkcyjnego w ujęciu globalnym (w całym systemie produkcyjnym) dokonano mapowania strumienia wartości na poziomie pierwszym („od drzwi do drzwi” systemu produkcyjnego). W pierwszej fazie mapowania strumienia wartości przygotowano mapę stanu obecnego obrazującą aktualny stan organizacji produkcji. Z uwagi na

występujący jednostkowy typ produkcji za główny miernik, podczas mapowania strumienia wartości, przyjęto czas realizacji zlecenia produkcyjnego od chwili dostawy komponentów zamawianych aż do chwili wysyłki gotowego wyrobu do klienta (tzw. *Lead Time*). Za cel mapowania strumienia wartości przyjęto redukcję tego czasu w odniesieniu do przebiegu procesu produkcyjnego w zakresie przedstawionym na mapie stanu obecnego.

Przebieg realizacji każdego analizowanego zlecenia produkcyjnego pokazano na mapie stanu obecnego w formie uproszczonej. Przykładowa mapa stanu obecnego dla wybranego zlecenia została zobrazowana na rys. 3.



Rys. 3. Mapa stanu obecnego

Mapa stanu obecnego dla wybranego zlecenia produkcyjnego ukazuje duży stopień skomplikowania związany z przepływem materiałów przez system produkcyjny. Wiele materiałów „płyne” przez system produkcyjny w sposób nieskoordynowany. Występują nawroty na stanowiska robocze, co silnie dezorganizuje produkcję. Dezorganizację w systemie produkcyjnym również potwierdza obserwacja przebiegu procesu produkcyjnego, co zostało opisane w kolejnym podrozdziale.

2.3. Obserwacja przebiegu procesu produkcyjnego

Badania zrealizowano z kilkutygodniowym odstępem czasowym na podstawie zamówień złożonych przez klientów. Za główny cel przeprowadzonych obserwacji uznano konieczność pozyskania, w normalnych warunkach produkcyjnych panujących w badanym przedsiębiorstwie, ściśle określonych danych związanych z przepływem materiałów w ramach realizowanych procesów produkcyjnych, objętych obserwacją. Posiadanie tych danych uznano bowiem za niezbędne dla osiągnięcia wcześniej zdefiniowanych wspólnie z dyrekcją przedsiębiorstwa celów. Warto w tym miejscu wspomnieć również o tym, że w przedsiębiorstwie, o którym mowa obowiązuje partiowo-kolejkowy przepływ materiałów przez system produkcyjny. Natomiast z uwagi na mnogość wersji oraz konfiguracji konstrukcji wyrobów, tj. zabudów samochodów ciężarowych w tym przedsiębiorstwie produkowanych, a także na możliwe ich gabaryty (zmieniające się w zakresie 4000÷13500 mm długości ścian bocznych) badany system produkcyjny cechuje się niskim poziomem automatyzacji. Oznacza to, że dominuje w nim praca ludzka narażona na wszelkiego rodzaju marnotrawstwa widoczne podczas jej obserwacji. Biorąc natomiast pod uwagę typ produkcji i organizację pracy obowiązującą w badanym systemie produkcyjnym danymi, które zdecydowano się zebrać podczas przeprowadzonych obserwacji były m.in.:

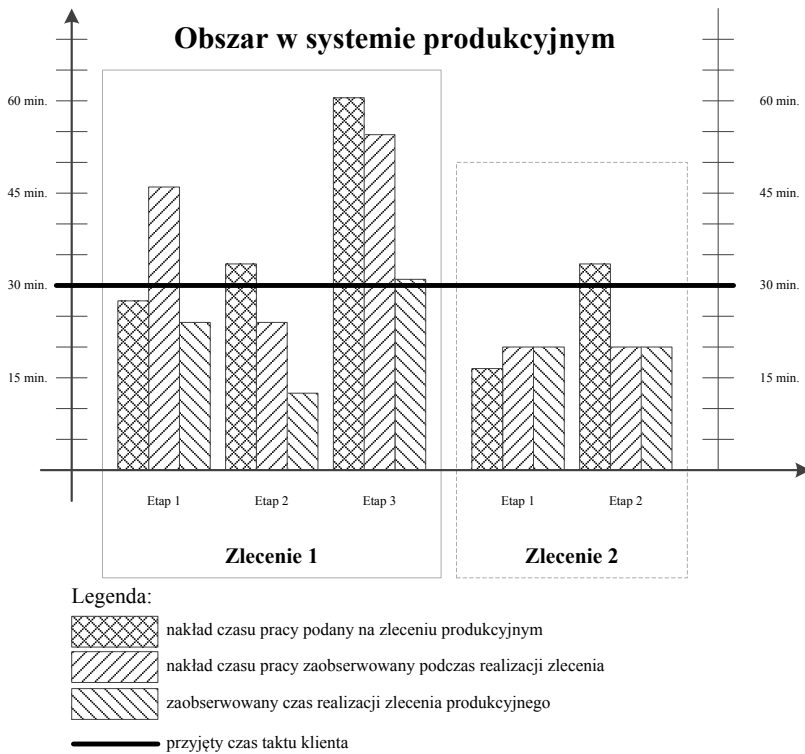
1. czas realizacji poszczególnych etapów procesu produkcyjnego uzyskany przez pomiar czasu od chwili rozpoczęcia do chwili zakończenia prac w poszczególnych, uprzednio wyspecyfikowanych etapach procesu produkcyjnego (tzw. *Lead Time*),
2. czas trwania operacji technologicznych związanych z wytwarzaniem wyrobu, dla którego prowadzono obserwację,
3. liczbę pracowników obecnych podczas realizacji poszczególnych etapów obserwowanych procesów produkcyjnych,
4. środki transportu, długości dróg transportu i czasy transportu materiałów pomiędzy poszczególnymi etapami obserwowanych procesów produkcyjnych,
5. liczbę pracowników odpowiedzialnych za obsługę transportu pomiędzy poszczególnymi etapami analizowanych procesów produkcyjnych.

Zespół badawczy po wstępnym zapoznaniu się ze stopniem skomplikowania procesów produkcyjnych obu wyrobów, na które składały się procesy przygotowania i montażu w badanym systemie produkcyjnym podjął decyzję, że przy obserwacji przebiegu realizacji każdego ze zleceń produkcyjnych będą uczestniczyć po cztery osoby jednocześnie.

Wyniki obserwacji przebiegu realizacji procesów produkcyjnych przedstawione zostały zarejestrowane na arkuszach obserwacji i posłużyły do wykonania porównania:

- nakładu czasu pracy zaplanowanego na zleceniu z nakładem czasu pracy zaobserwowanym podczas realizacji poszczególnych etapów procesu produkcyjnego;
- zaobserwowanego czasu realizacji poszczególnych etapów procesu produkcyjnego wykonywanych w ramach obserwowanych zleceń z przyjętym czasem taktu klienta.

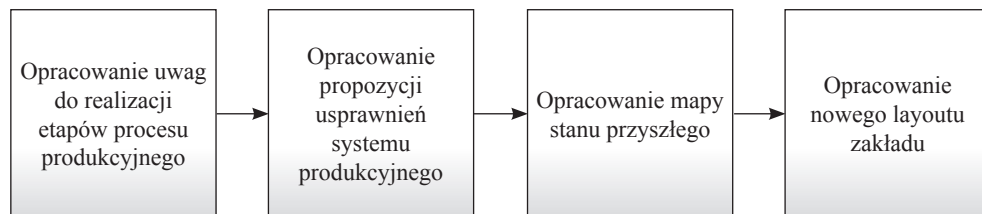
Na rys. 4 przedstawiono jeden z wykresów Yamazumi, sporządzonych w czasie badań, na którym zestawiono obok siebie cztery badane parametry czasowe na podstawie których dokonano dalszych analiz i wniosków.



Rys. 4. Wykres Yamazumi wyników badań w wydzielonym obszarze produkcyjnym

3. Wizja stanu przyszłego

Bazując na pracach przedstawionych we wcześniejszych rozdziałach niniejszego artykułu, opracowano wizję stanu przyszłego funkcjonowania systemu produkcyjnego w przykładowym zakładzie produkcyjnym. Procedura opracowania wizji stanu przyszłego przebiegała wg kolejności przedstawionej na rys. 5.



Rys. 5. Procedura opracowania wizji stanu przyszłego

Na podstawie przeprowadzonych analiz i interpretacji wyników obserwacji procesów w obszarach i strefach systemu produkcyjnego, przygotowano tabelaryczne zestawienie uwag do realizacji procesów dwóch analizowanych produktów. Zaproponowana forma przedstawienia uwag jednoznacznie pokazuje, którego obszaru/strefy systemu produkcyjnego dana uwaga dotyczy. Fragment tabeli z uwagami pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Fragment tabeli z uwagami do realizacji procesów

Obszar/Strefa	Uwagi do realizacji procesu
Profile/ Przygotowania profili	<ul style="list-style-type: none"> • magazyn profili, zakleszczanie się koszy, • długi czas transportu koszy z profilami aluminiowymi z magazynu profili pod piłę poprzeczną, z automatycznym systemem załadunku/rozładunku koszy z profilami aluminiowymi. Zdarza się, że pobranie z magazynu właściwych profili do cięcia poprzecznego trwa nawet do 10 minut, • nieergonomiczna praca operatorów piły poprzecznej związana z utrudnionym pobieraniem profili z koszy dostarczanych z prawej strony piły poprzecznej (BHP), • podajnik rolkowy stwarza problemy (słabo napięty łańcuch podajnika), • nieprawidłowe rozmieszczenie maszyn (prasa i tulejkarka ustawione tyłem do piły poprzecznej)

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie opracowanych uwag, zaproponowano szereg propozycji usprawnień w całym systemie produkcyjnym. Propozycje usprawnień ukierunkowane były na skrócenie czasu realizacji zleceń produkcyjnych w zakładzie. Stąd też co najmniej połowa propozycji doskonalenia dotyczyła modyfikacji w ustawieniu stanowisk roboczych oraz w zmianie sposobu organizacji i zarządzania obszarami produkcyjnymi, tak aby uprościć w jak największym stopniu (skrócić rzeczywistą drogę pokonywaną każdorazowo przez komponenty wchodzące w skład zabudowy) przepływ materiałów oraz dostosować go do przyjętego czasu taktu wynoszącego 30 minut. Jeżeli zakres prowadzonych prac w obszarach produkcyjnych wykracza

ponad czas taktu, wówczas proponowane są modyfikacje w zakresie technicznym lub konstrukcyjnym maszyn i urządzeń.

Podobnie jak przypadku uwag do realizacji procesów, propozycje usprawnień przygotowano w postaci tabelarycznej z podziałem według obszarów i stref systemu produkcyjnego. Przedstawione propozycje, to możliwe środki zaradcze w odniesieniu do uwag do realizacji etapów procesu. Fragment tabeli z propozycjami udoskonaleń przedstawiono w tabeli 2.

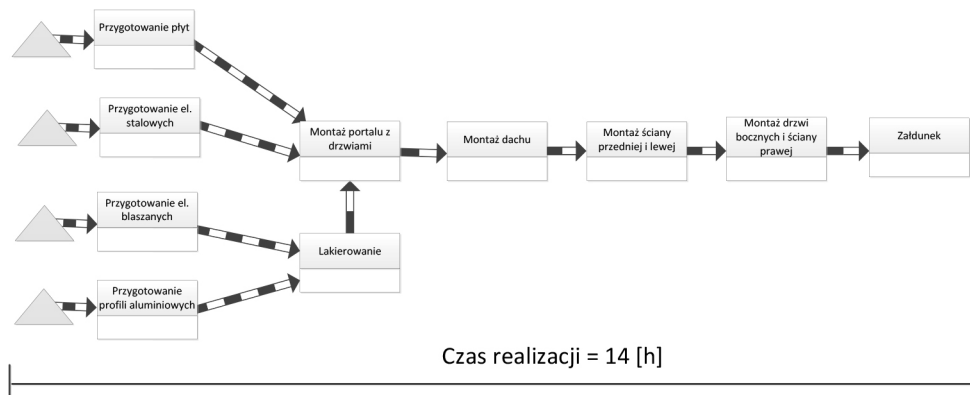
Tabela 2. Fragment tabeli z propozycjami udoskonaleń

Obszar/Strefa	Propozycje udoskonaleń
Profile/ Przygotowania profili	<ul style="list-style-type: none"> • zakup drugiej piły poprzecznej w celu uniknięcia wywłaszczenia piły znajdującej się w strefie przygotowania profili; • odejście od systemu pobierania profili z magazynu profili w sposób automatyczny na system przygotowywania kompletu profili przez magazyniera; • zmiana lokalizacji magazynu profili aluminiowych, • zmiana ustawienia maszyn, nowe zorientowanie tulejkarki i prasy względem piły poprzecznej tak, aby maszyny były skierowane strefami pracy do siebie; • wprowadzenie systemu 100% kontroli profili przed ich dostarczeniem do piły poprzecznej (obowiązek magazyniera); • uruchomienie projektu <i>poka yoke</i> celem wyeliminowania błędów operatorów popełnianych w obszarze Profile w strefie przygotowania profili

Źródło: opracowanie własne

Wizję stanu przyszłego przedstawiono w postaci dwóch map stanu przyszłego, po jednej dla każdego z dwóch analizowanych zleceń produkcyjnych. Głównym celem mapowania stanu przyszłego było pokazanie jak docelowo będzie wyglądał przepływ zleceń produkcyjnych po wdrożeniu propozycji usprawnień organizacyjnych w rozpatrywanym zakładzie produkcyjnym. Z uwagi na bardzo duży format oryginalnych map, w artykule przedstawiono jedynie jedną mapę stanu przyszłego w formie uproszczonej przedstawioną na rys. 6.

Implementacja zaproponowanych udoskonaleń pociąga za sobą radykalną zmianę również w zakresie rozmieszczenia stanowisk roboczych w zakładzie. Aby zobrazować te zmiany został opracowany nowy, koncepcyjny layout zakładu, gdzie schematycznie pokazano lokalizację obszarów, stref i stanowisk według nowej zaproponowanej wizji.



Rys. 6. Mapa stanu przysłego

4. Podsumowanie

Prowadzone w przedsiębiorstwie prace zmierzające do doskonalenia systemu produkcyjnego obejmowały opracowanie map stanu obecnego dla dwóch reprezentatywnych wyrobów i przeprowadzenie analiz porównawczych czasów realizacji zleceń produkcyjnych w wyodrębnionych obszarach. Sformułowane uwagi do realizacji procesów były podstawą do zaproponowaniu usprawnień i opracowania map stanu przyszłego. Zaproponowane usprawnienia wymagają weryfikacji przez zleceniodawcę pod kątem technicznej i ekonomicznej możliwości realizacji co pozwoli na opracowanie planu wdrożeń doskonalących.

Bibliografia

1. Belekoukias I., Garza-Reyes J.A., Kumar V. (2014) *The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organizations*, International Journal of Production Research nr 52, s. 5346–5366.
2. Dal Forno A.J., Pereira F.A., Forcellini F.A., Kipper L.M. (2014) *Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, nr 72, s. 779–790.
3. Goldratt E. (2008) *Cel I. Doskonałość w produkcji*. Wydawnictwo Mint Books, Warszawa.
4. Imai M. (1995) *Gemba Kaizen. Zdroworozsądkowe, niskokosztowe podejście do zarządzania*. Wydawnictwo MT Biznes, Warszawa.
5. Liker J.K. (2005) *Droga Toyoty: 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata*. Wydawnictwo MT Biznes, Warszawa.
6. Moyano-Fuentes J., Sacristan-Diaz M. (2012) *Learning on lean: a review of thinking and research*, International Journal of Operations & Production Management, nr 32, s. 551–582.
7. Ohno T. (2008) *System Produkcyjny Toyoty: Więcej niż produkcja na dużą skalę*. Wydawnictwo ProdPress.com, Wrocław.

8. Rohac T., Januska M. (2015) *Value stream mapping demonstration on real case study*. *Procedia Engineering*, nr 100, s. 520–529.
9. Rother M., Shook J. (1999) *Learning to see: Value Stream Mapping to add value and eliminate muda*. The Lean Enterprise Institute, Brookline, MA, USA.
10. Schmidtke D., Heiser U., Hinrichsen O. (2014) *A simulation-enhanced value stream mapping approach for optimisation of complex production environments*, *International Journal of Production Research*, nr 52, s. 6146–6160.
11. Slomp J., Bokhorst J. A.C., Germs R. (2009) *A lean production control system for high-variety/low volume environments: a case study implementation*, *Production Planning & Control*, nr 20, s. 586–595.

IMPROVEMENT PROJECT OF PRODUCTION SYSTEM – A CASE STUDY

Abstract

The article presents an approach to the research project in the field of production engineering in the framework of cooperation between science and industry. The project was conducted in a manufacturing company of automotive industry that operates in Poland. The main objective of the project is to conduct value stream mapping, including development of current state map including the observation of the process of preparing and assembling two products, working out the documentation of observed production processes and developing charts to compare planned and observed working time. Based on the current state map some suggestions to improve production process “from door to door” of the company are demonstrated. Suggestions for improvement of the current state are presented on the future state map.

Key words: implementation project, continuous improvement, value stream mapping, VSM.