

Marek Karkula¹, Szymon Kubal²

Wydział Zarządzania Akademia Górniczo-Hutnicza, Swansea University

Wykorzystanie symulacji strumienia wartości w identyfikacji wąskich gardeł systemu produkcyjnego w ZPC Mieszko S.A.

1. WPROWADZENIE

Obecnie w obszarze funkcjonowania firm produkcyjnych występuje bardzo duża konkurencja związana z nasyconiem rynku. Przedsiębiorstwa, które chcą należeć do czołówki, nie mogą już polegać tylko i wyłącznie na dobrym produkcie i sprawnie działającej sprzedaży, ale muszą również koncentrować się na zrównoważonym rozwoju we wszystkich pozostałych aspektach dotyczących ich działalności. Tylko doskonale funkcjonujące w każdej dziedzinie organizacje są dziś w stanie konkurować z liderami rynku.

Metody Lean Manufacturing rozpowszechniły się w Polsce w przeciągu ostatniej dekady. Przedsiębiorstwa produkcyjne, które chcą uzyskać przewagę konkurencyjną, wykorzystują zasady szczupłej produkcji do obniżania kosztów, racjonalizacji zasobów i optymalizacji procesów. Mapowanie strumienia wartości (VSM), metody oparte na 5S czy kaizen znalazły nawet szerokie zastosowanie w środowiskach biznesowych innych od produkcyjnego. Jednak wraz z rozwojem komputerowych metod sterowania produkcją, prostota stosowania narzędzi Lean Manufacturing zaczęła być ograniczeniem. Brak możliwości przeprowadzenia szerokiej analizy danych oraz problemy z uwzględnieniem czynników niedeterministycznych procesów produkcyjnych doprowadziły do poszukiwania innych metod zarządzania produkcją i przepływem materiałów w produkcji.

Również symulacja komputerowa zaczyna odgrywać coraz większą rolę w zarządzaniu produkcją. Możliwości pakietów symulacyjnych są coraz większe – symulatory posiadają wbudowane moduły do optymalizacji problemów oraz pozwalają symulować przyszłość na określonym przez użytkownika poziomie dokładności. Ponadto, udostępniają użytkownikowi mnóstwo zestawień statystycznych charakteryzujących przeprowadzone eksperymenty. Ich stosowanie w zarządzaniu produkcją możliwe jest jednak jedynie wówczas, gdy wiąże się z pewną określoną metodologią postępowania – nawet najlepszy użytkownik programów symulacyjnych, bez wiedzy na temat organizacji procesów produkcyjnych, nie będzie w stanie rozwiązać analizowanych problemów. Dlatego dopiero połączenie logiki metod szczupłej produkcji i funkcjonalności programów do symulacji komputerowej umożliwia wejście na nowy, wyższy poziom studiów nad organizacją procesów wytwórczych.

2. LEAN MANUFACTURING A SYMULACJA

Metodologia Lean Manufacturing usprawnia procesy produkcyjne poprzez eliminację marnotrawstwa, wbudowanie jakości w proces oraz ciągłe doskonalenie i podnoszenie zadowolenia klienta. Bazując na prostych schematach działania, angażuje do rozwiązywania problemów praktycznie wszystkich pracowników ze wszystkich poziomów organizacyjnych przedsiębiorstwa. Charakteryzuje ją jednak statyczne podejście do rozwiązywanych problemów – analiza następuje w wyniku obserwacji zagadnienia w czasie rzeczywistym, zbierany jest jedynie wycinek danych charakteryzujących dany proces, często brakuje uwzględnienia współzależności badanego problemu z pozostałymi operacjami produkcyjnymi.

Symulacja jest coraz częściej wykorzystywana jako narzędzie analizy, planowania i usprawniania procesów produkcyjnych. Jej największą zaletą jest możliwość sprawdzenia skutków danego usprawnienia jeszcze przed jego wdrożeniem, a więc analiza wszystkich rozwiązań alternatywnych i wybór tego

¹ mkarkula@zarz.agh.edu.pl

² 700090@swansea.ac.uk

optymalnego, w krótkim okresie czasu. Do symulacji wykorzystywane są dane historyczne, jednak dzięki zastosowaniu metod statystycznych i zapisaniu charakterystyk pracy maszyn i urządzeń w postaci języka matematycznego, możliwe jest symulowanie przyszłości z pewnym przybliżeniem. Tym samym analizowany problem sprowadzany jest do postaci ogólnej a jego rozwiązanie uwzględnia również interakcje pomiędzy pozostałymi elementami systemu, a nie jedynie jego szczególny wycinek.

Połączenie logiki metod szczupłej produkcji i siły analizy narzędzi symulacyjnych wydaje się być więc rozwiązaniem optymalnym z punktu widzenia rozwiązywania problemów produkcyjnych. Filozofia Lean proponuje gotowe sposoby analizy i usprawniania procesów wytwórczych, natomiast symulacja rozszerza funkcjonalność tych możliwości poprzez dodanie do analizy elementu losowości i poszukiwania optimum w ujęciu globalnym. Szczególnie wyraźne korzyści z połączenia tych dwóch metod widać przy symulacji strumienia wartości – nowoczesnym narzędziu analizy problemów produkcyjnych, o którym w głównej mierze traktuje ten artykuł.

3. LEAN MANUFACTURING A SYMULACJA – PORÓWNANIE ZASTOSOWANIA

W systemach szczupłej produkcji, dążących do minimalizacji strat, ograniczania zmienności i losowości oraz upłynniania przepływu, narzędzia symulacyjne znajdują coraz szersze zastosowanie. Ponieważ symulacja rozszerza możliwości i użycie zasad szczupłej produkcji, jej stosowanie staje się w przemyśle coraz bardziej popularne i ekonomicznie wydajne [1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10].

Integracja symulacji i mapowania strumienia wartości jest efektywnym i holistycznym podejściem do procesu zarządzania usprawnieniami w kontekście Lean Manufacturing [4]. VSM pomaga analizować przepływ danego typu produktów przez system produkcyjny, od magazynu surowców do miejsca przygotowania wysyłki, a następnie identyfikować te odcinki strumienia wartości, które wymagają udoskonalenia. Symulacja dyskretna sterowana zdarzeniami służy natomiast kompleksowej analizie całych systemów wytwórczych wraz ze wszystkimi produkowanymi wyrobami [9]. Symulacja może zostać wykorzystana do walidacji mapy stanu obecnego analizowanego systemu, oraz różnych propozycji usprawnień, prowadzących do stanu przyszłego. Modelowanie mapy stanu obecnego pomaga ponadto w identyfikacji ukrytych „wąskich gardeł” oraz w lepszym rozumieniu systemu i zależności między poszczególnymi jego komponentami [4]. Dzięki integracji symulacji i VSM, wszystkie propozycje usprawnień mogą zostać przetestowane, bez konieczności przerwania pracy linii produkcyjnej, inwestowania dodatkowego kapitału czy też niepokojenia pracowników zmianą, która może, ale nie musi być zaimplementowana [2, 3, 9].

Za każdym razem, gdy w przedsiębiorstwie wprowadzane są zmiany, bardzo trudno jest ocenić gdzie zainwestować poszczególne zasoby i czas, aby osiągnąć sukces. Dopiero połączenie symulacji i mapy strumienia wartości daje firmie możliwość sprawdzenia efektów potencjalnych decyzji. Modelowanie stanu przyszłego pomaga w identyfikacji odcinków, w których niezbędne zasoby muszą zostać zainwestowane. Symulacja zwiększa ponadto rozumienie konieczności wprowadzenia zmian wśród pracowników, gdyż udostępnia narzędzia wizualizacji i animacji, za pomocą których możliwe jest szybkie zaprezentowanie korzyści płynących z przyszłych usprawnień. Tym samym zmniejsza się opór pracowników wobec zmian i ich implementacja może przebiegać szybciej i skuteczniej [4].

Mapowanie strumienia wartości i symulacja dostarczają wspólnie lepszego spojrzenia na modelowany system, pomimo tego, że VSM jest narzędziem służącym do projektowania, a symulacja do analizowania procesów. Mapowanie umożliwia budowę modelu oraz dostarcza wizję stanu przyszłego, natomiast symulacja jest wykorzystywana do oceny tego modelu a następnie skonkretyzowania wizji [2, 3, 4, 9]. W tabeli 1 zaprezentowano zestawienie porównawcze cech charakteryzujących mapowanie strumienia wartości i symulację.

Powyższe porównanie pokazuje, że mapowanie strumienia wartości i symulacja mogą uzupełniać się wzajemnie i tym samym, dostarczać dodatkowej wartości do procesu rozwiązywania problemów, zgodnie z filozofią Lean Manufacturing. Pewne etapy VSM takie jak analiza i ewaluacja stanu obecnego i przyszłego, identyfikacja odcinków wymagających poprawy, czy ocena wpływu proponowanych

usprawnień, mogą a nawet powinny zostać zrealizowane z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych [2, 4]. Symulacja mapy strumienia wartości prezentuje uzyskane wyniki w identyczny sposób jak mapa powstała na skutek tradycyjnej analizy strumienia wartości. Posługując się standardowymi ikonami, przedstawia elementy systemu produkcyjnego takie jak proces/operacja, zapas bezpieczeństwa, transport, odbiorca/dostawca czy techniki szczupłej produkcji [3, 9].

Tabela 1. VSM i symulacja – porównanie własności.

| | | |
|--------------|-------------------------------|--|
| | Mapowanie Strumienia Wartości | Symulacja |
| Narzędzie | Statyczne | Dynamiczne |
| Wymagania | Papier i ołówek | Komputer i oprogramowanie do symulacji |
| Zastosowanie | Rodzina produktów | Wszystkie produkty |

Źródło: opracowano na podstawie Solding, P. & Gullander, P. (2009). Concepts for Simulation Based Value Stream Mapping.

Tabela 2. Analiza mocnych i słabych stron symulacji i mapowania strumienia wartości.

| Mapowanie Strumienia Wartości | |
|---|--|
| Mocne strony | Słabe strony |
| <ul style="list-style-type: none"> – szybkie, tanie i łatwe do przeprowadzenia – nie wymaga skomplikowanego szkolenia pracowników – analizuje i zbiera wszystkie dane dotyczące wybranego procesu produkcyjnego – lokalizuje wszelkie objawy marnotrawstwa | <ul style="list-style-type: none"> – służy analizie tylko jednego typu produktu – oddaje chwilowy stan procesu produkcyjnego – upraszcza zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu – trudne do zastosowania podczas analizowania projektów przyszłych systemów produkcyjnych |
| Symulacja | |
| Mocne strony | Słabe strony |
| <ul style="list-style-type: none"> – odwzorowuje przepływ wszystkich produktów i sposób działania nawet najbardziej skomplikowanych systemów wytwórczych – umożliwia uwzględnienie czasu w analizie – posiada dynamiczny charakter uwzględniający losowość i zmienność zdarzeń – analizuje stopień wykorzystania zasobów, wielkość zapasów, lokalizuje wąskie gardła – umożliwia eksperymentowanie na wirtualnym systemie zamiast na rzeczywistym organizmie | <ul style="list-style-type: none"> – wymaga dużych nakładów finansowych i czasu – wymaga dobrej znajomości technik symulacyjnych, programów komputerowych i statystyki – potrzebuje danych w określonym, często niedostępnym, formacie i ilości – zatrudnia do przeprowadzenia badań specjalistów z dziedziny symulacji, którzy mają ograniczoną wiedzę w zakresie analizowanego systemu produkcyjnego |

Źródło: opracowano na podstawie Solding, P. & Gullander, P. (2009). Concepts for Simulation Based Value Stream Mapping.

Ponadto łączna analiza VSM oraz wyników symulacji pozwala zebrać i przedstawić parametry charakteryzujące operacje produkcyjne – czas operacji, czas przezbrojenia, średnią wielkość zapasu, czas dodawania wartości, czas realizacji zamówienia – na każdym etapie procesu produkcyjnego a także zmierzyć kluczowe parametry procesu produkcyjnego takie jak [5]:

- przerób – średnia ilość wyprodukowanych wyrobów na jednostkę czasu (np. ilość wyrobów na godzinę);

- produkcja w toku – łączne zapasy półwyrobów i części pomiędzy pierwszym i ostatnim odcinkiem procesu produkcyjnego;
- czasy realizacji zamówienia – łączny okres czasu oczekiwania klienta na realizację jego zamówienia od momentu jego złożenia;
- wykorzystanie czasu pracy – rzeczywisty czas pracy maszyny po odjęciu przestojów i awarii.

W przeciwieństwie do tradycyjnej mapy, symulacja generuje analizę strumienia wartości, wraz ze wszystkimi niezbędnymi parametrami, dla wszystkich produktów jednocześnie, przy jednoczesnym zachowaniu przejrzystości prezentowania wyników [9]. Symulacja strumienia wartości ujawnia dodatkowo problemy, których samo mapowanie mogłoby nie zlokalizować, jak np. to, czy przepływ informacji, a nie przepływ wyrobów, jest przyczyną problemów procesu. Symulacja dodaje do VSM czwarty wymiar – czas – dzięki czemu mapowanie staje się narzędziem dynamicznym umożliwiającym analizę procesu w dowolnym momencie w czasie. Ponadto upraszcza analizę danych i skraca czas jej trwania, czym wpisuje się w podstawową zasadę szczupłej produkcji – eliminację marnotrawstwa [2, 3, 4, 9].

Połączenie symulacji i mapy strumienia wartości umożliwia kompleksową analizę całych systemów produkcyjnych przy jednoczesnym zachowaniu przejrzystości i łatwości interpretacji uzyskanych wyników [4, 9]. Prowadzi ponadto do wyeliminowania słabości tych dwóch technik optymalizacji procesów stosowanych osobno, przy jednoczesnym zachowaniu ich mocnych stron. Wyjątkiem jest prostota użycia mapowania strumienia wartości, którą traci się w związku ze złożonością techniczną narzędzi symulacyjnych. Natomiast zachowana zostaje przejrzysta i prosta do analizy prezentacja wyników, którą zapewnia schemat mapy strumienia [2, 9].

W tabeli 3 zestawiono wyniki, które udostępnia tradycyjna mapa strumienia wartości i symulacja VSM. Jak widać, zastosowanie symulacji umożliwia otrzymanie znacznie większej ilości danych i, co się z tym wiąże, przeprowadzenie dokładniejszej analizy systemu [8].

Tabela 3. Zestawienie możliwości tradycyjnego VSM i symulacji strumienia wartości.

| Dane wyjściowe | Mapa strumienia wartości | Symulacja strumienia wartości |
|--|--------------------------|-------------------------------|
| Czas podnoszenia wartości produktu | √ | √ |
| Czas operacji nie podnoszących wartości produktu | tylko stan chwilowy | √ |
| Czas cyklu produkcyjnego | tylko stan chwilowy | √ |
| Całkowity czas przebrojeń | √ | √ |
| Czas Taktu | √ | √ |
| Zapasy surowców | tylko stan chwilowy | √ |
| Zapasy produkcji w toku | tylko stan chwilowy | √ |
| Magazyn wyrobów gotowych | tylko stan chwilowy | √ |
| Łączny czas oczekiwania | tylko stan chwilowy | √ |
| Wykorzystanie czasu pracy | X | √ |
| Obrót zapasów | X | √ |
| Przerób | X | √ |
| OEE | X | √ |
| Łączny czas postojów | X | √ |
| Ilość wyrobów wadliwych | X | √ |

Źródło: opracowano na podstawie Shararah, M. A., El-Kilany, K. S. & El-Sayed, A. E. (2010). *Component Based Modeling and Simulation of Value Stream Mapping for Lean Production Systems*.

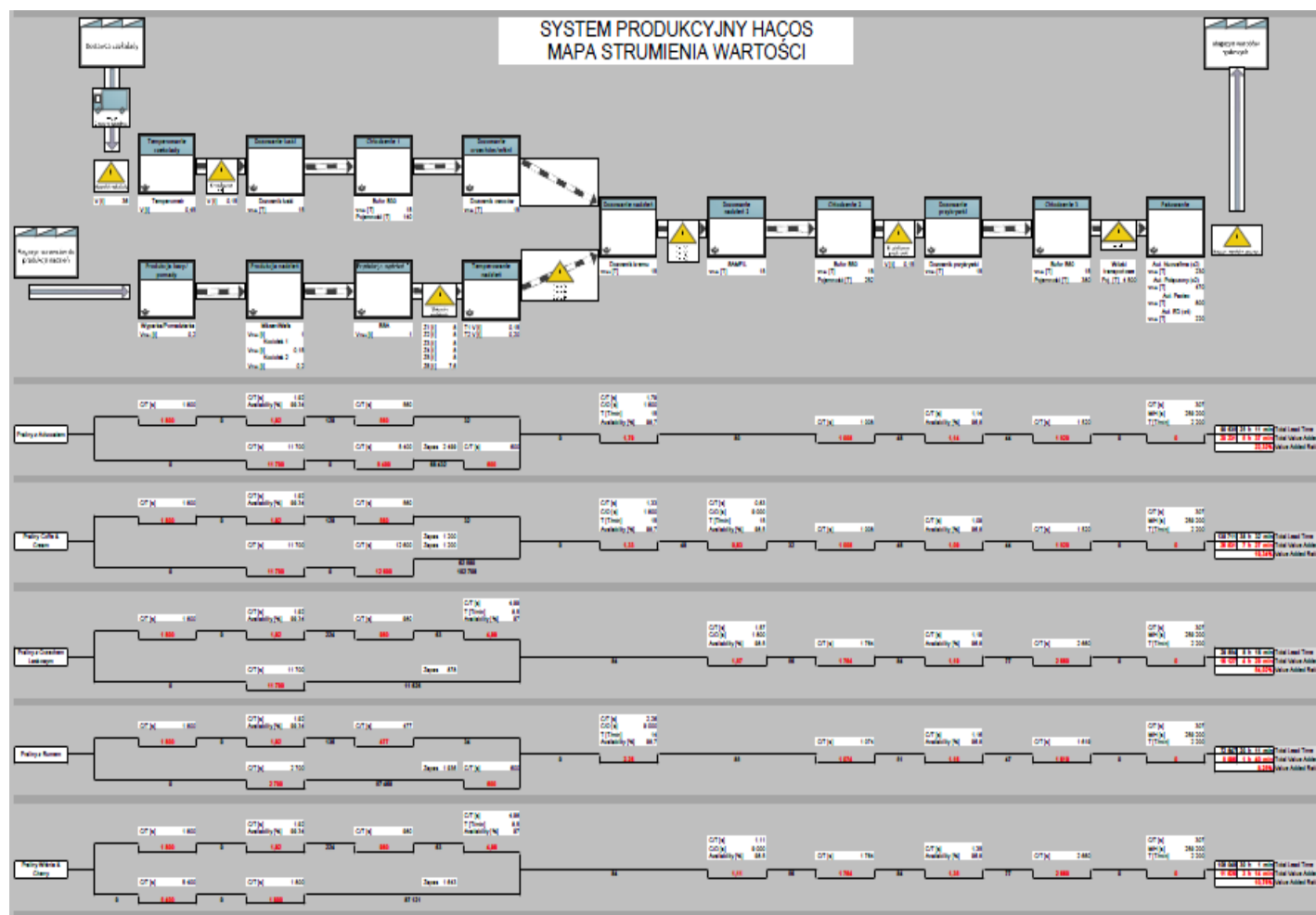
Symulacja mapy strumienia wartości łączy w sobie siłę projektowania, którą daje VSM, z narzędziami analitycznymi udostępnianymi przez symulację. W rezultacie możliwe jest podejmowanie lepszych decyzji

prowadzących do implementacji metodologii szczupłej produkcji. Dzięki połączeniu symulacji i VSM menedżerowie mogą sprawdzić wyniki swoich decyzji jeszcze przed ich implementacją a więc przekształcić swój zakład w szczupły system produkcyjny po minimalnym koszcie [2, 3, 4].

4. WYKORZYSTANIE SYMULACJI STRUMIENIA WARTOŚCI DO ANALIZY SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Obiektem prezentowanych badań był proces wytwórczy wyrobów czekoladowych produkowanych w zakładzie przemysłowym firmy ZPC Mieszko S.A. w Raciborzu. Celem badania była analiza możliwości połączenia mapowania strumienia wartości z modelem symulacyjnym w celu identyfikacji kluczowych parametrów, a następnie usprawnienia procesu produkcyjnego.

Produkcja wyrobów czekoladowych firmy ZPC Mieszko S.A. odbywa się w Zakładzie Czekolady, w którym znajdują się dwie linie produkcyjne do produkcji pralin i bombonier – Hacos i Aasted. Proces produkcji pralin przebiega na trzech wydziałach produkcyjnych: (1) Kuchni, (2) Linii Produkcyjnej Hacos i (3) Pakowni. Według podobnego schematu przebiega produkcja bombonier – rozpoczyna się na (1) Kuchni, kontynuowana jest na (2) Linii Produkcyjnej Aasted, a kończy się na (3) Pasie do Pakowania Bombonier i (4) Automatach do Celofanowania. Obie linie technologiczne współdzielą jeden z wydziałów produkcyjnych – Kuchnię, w wyniku czego osobna analiza pracy linii produkcyjnej Hacos jest skomplikowana i przebiega z uwzględnieniem szczególnych założeń.



Rys. 1. Mapa strumienia wartości systemu produkcyjnego Hacos.

Źródło: opracowanie własne.

Tradycyjna mapa strumienia wartości prowadzi od dostawcy surowców do produkcji aż do odbiorcy finalnego – klienta – przedstawiając drogę jednego typu wyrobów. Mapa zbudowana w niniejszym opracowaniu prezentuje proces wytwarzania wszystkich typów wyrobów produkowanych na wybranym odcinku technologicznym, od momentu dostarczenia surowców do produkcji do momentu odwiezienia gotowych produktów do magazynu wyrobów końcowych. Wynika to ze wspólnego systemu zamawiania surowców dla różnych linii produkcyjnych zakładu Mieszko S.A. Tym samym analiza dostaw surowców w szczególnym przypadku linii do produkcji pralin wymagałaby przyjęcia wielu założeń i uproszczeń, które w rezultacie zamazałyby prawdziwy obraz problemu.

Mapa strumienia wartości linii do produkcji pralin zaprezentowana poniżej przedstawia statyczny obraz procesu produkcyjnego. Stany zapasów wygenerowanych w toku procesu produkcji wskazują wartości średnie, czas przebrojeń to czas wynikający z przyjętego harmonogramu produkcji determinującego kolejność produkowanych wyrobów. W statycznym ujęciu awaryjność maszyn i urządzeń została pominięta a zaprezentowanie zapotrzebowanie na roboczogodziny przedstawione w dużym uproszczeniu. Mapa pozostawia jednak możliwość dokładnej analizy tych parametrów, gdyż została zaprojektowana tak, aby w sposób przejrzysty prezentowała wyniki przeprowadzonych eksperymentów na modelu symulacyjnym systemu do produkcji pralin.

Mapa strumienia wartości ujawniła kluczowe problemy systemu produkcyjnego Hacos. Wskaźnik wartości dodanej różni się znacząco w zależności od produkowanego asortymentu. Średni czas przebywania zapasu nadzienia w zbiorniku stanowi do 80% czasu realizacji procesu. Ponadto składowanie cukierków na wózkach transportujących również negatywnie wpływa na wskaźnik wartości dodanej.

Wymienione kluczowe problemy organizacyjne w systemie produkcji pralin były elementem szczegółowej analizy podczas przeprowadzania eksperymentów. Dzięki zastosowaniu symulacji i VSM możliwe było przeanalizowanie wpływu różnych czynników na czas realizacji zamówienia i w konsekwencji na wskaźnik wartości dodanej. Symulacja umożliwiła również przeprowadzenie analizy roboczołoności i awaryjności systemu produkcyjnego a także przetestowanie różnych wariantów usprawnień. Mapa strumienia wartości była narzędziem służącym dokładnej ewaluacji proponowanych zmian oraz drogowskazem na drodze do usprawnienia analizowanego procesu.

Na potrzeby niniejszej analizy, mapa strumienia wartości została zbudowana w programie MS Excel, natomiast do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych wykorzystano program DOSIMIS-3, który umożliwia przeprowadzanie symulacji systemów produkcyjnych i logistycznych. DOSIMIS-3 to uniwersalne i wszechstronne narzędzie, które pozwala na łatwą i skuteczną optymalizację procesów. Dzięki zastosowaniu prostego interfejsu graficznego system jest przejrzysty i łatwy do opanowania dla użytkownika. Wysoka wydajność oraz zastosowanie szerokiego wachlarza metod statystycznych umożliwia szybką analizę systemu produkcyjnego. Możliwe jest prześledzenie działania badanego systemu w dowolnym okresie czasu, od momentu dostarczenia materiału aż do momentu wysyłki [7].

Model symulacyjny wykonany w programie Dosimis-3 odwzorowuje pracę systemu produkcyjnego Hacos. Podobnie do rzeczywistego systemu, model składa się z trzech wydziałów produkcyjnych: Kuchni, Linii Hacos oraz Pakowni. Każdy z wydziałów, oprócz modułów naśladujących pracę urządzeń produkcyjnych i maszyn, składa się również z elementów kontrolnych mierzących czas operacji, nadzorujących pracę poszczególnych stacji roboczych a także symulujących pracę ludzi i występowanie awarii. Dzięki dokładnemu odwzorowaniu logiki działania systemu oraz zastosowaniu elementów kontrolnych możliwe było wyznaczenie wartości wskaźników, których dokładne zmierzenie w warunkach rzeczywistych jest bardzo trudne lub niemożliwe. W ten sposób obliczono chwilowe oraz średnie stany zapasu nadzienia oraz zapisano pełny przebieg procesu magazynowania nadzienia w postaci wykresu. Problemy składowania nadzienia nie były do tej pory przedmiotem analizy w firmie Mieszko. Ponadto zasymulowano pracę operatorów automatów pakujących dzięki czemu możliwa była ewaluacja dotychczasowego planowania roboczołoności dla Pakowni. Zebrane wyniki zostały przedstawione w postaci mapy strumienia wartości i posłużyły dalszej analizie systemu produkcyjnego na drodze do jego usprawnienia.

5. ANALIZA WYNIKÓW

Celem badań symulacyjnych była ocena zasadności usprawnień systemu produkcyjnego Hacos, zaproponowanych po analizie statycznej mapy strumienia wartości. Połączenie symulacji i mapy strumienia wartości wykorzystano do analizy wpływu produkcji mniejszych partii na Linii Hacos, oraz nowej organizacji pracy na Pakowni, na wydajność całego systemu produkcyjnego. W tym celu w modelu symulacyjnym założono następujące zmiany:

- zmniejszono partie produkowane na Linii Hacos o 50%;
- wyeliminowano czynności manualne związane z odbiorem, przechowywaniem oraz podawaniem cukierków do pakowania.

W ramach eksperymentu zasymulowano realizację przykładowego, tygodniowego planu produkcji dla Linii Hacos.

Tabela 4. Wyniki – średni poziom nadzienia i średni czas magazynowania.

| Asortyment | Statyczna VSM | | Symulacja VSM | | | |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | Średni poziom nadzienia [kg] | Średni czas magazynowania [hh:mm] | Średni poziom nadzienia [kg] | Zmiana [%] | Średni czas magazynowania [hh:mm] | Zmiana [%] |
| Advocat | 3 508 | 44:17 | 2 499 | 29% | 19:00 | 57% |
| Coffee & Cream | 3 506 | 54:57 | 1 200 | 66% | 22:57 | 58% |
| Orzech | 4 362 | 36:17 | 878 | 80% | 03:14 | 91% |
| Rum | 3 976 | 35:34 | 1 936 | 51% | 15:58 | 55% |
| Wiśnia & Cherry | 4 454 | 59:59 | 1 643 | 63% | 24:12 | 60% |

Źródło: opracowanie własne.

Produkcja mniejszych partii na Linii Hacos doprowadziła na zmniejszenia średniego poziomu nadzienia [kg] oraz średniego czasu magazynowania o ponad 50%. Najlepszy rezultat uzyskano w przypadku nadzienia orzechowego – średni poziom nadzienia został zredukowany o 80%, natomiast średni czas magazynowania o 91%. Nieco gorzej, prezentują się dane dotyczące nadzienia advocat – średni poziom nadzienia i średni czas magazynowania zostały zredukowane kolejno o 29% i 57%.

Skrócenie czasu składowania nadzienia w zbiorniku doprowadziło do skrócenia cyklu produkcyjnego, średnio o 50%. Największą redukcję czasu potrzebnego do realizacji zadania produkcyjnego odnotowano w przypadku Pralin z Orzechem, gdzie cykl produkcyjny skrócono z prawie 42h do 8h. Skrócenie czasu trwania czynności nie podnoszącej wartości produktu, doprowadziło do wzrostu wartości wskaźnika wartości dodanej. Przy produkcji zorganizowanej w dwóch seriach partii produkcyjnych, najwyższy wskaźnik wartości dodanej miały Praliny z Orzechem oraz Praliny z Advocatem. Wyniki parametrów dla pozostałych asortymentów zestawiono w tabeli 5.

Dzięki zastosowaniu automatycznego podawania cukierków na automaty pakujące, zmniejszyła się roboczość Pakowni. Ponadto, wyeliminowanie zapasu cukierków w postaci wózków transportowych i organizacja pracy wydziału w taki sposób, aby praliny schodzące z Linii Hacos były pakowane na bieżąco, doprowadziły do zmniejszenia obciążenia pracą wszystkich pracowników.

Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne pozwoliły dokonać dokładnej analizy systemu produkcyjnego Hacos. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji poczynionych w wyniku analizy statycznej mapy strumienia wartości, przygotowano plan usprawnień, który przetestowano w eksperymencie symulacyjnym.

Dzięki rozbudowanym statystykom z przeprowadzonych badań, dostępnym w programie symulacyjnym Dosimis-3 oraz prostocie analizy mapy strumienia wartości, możliwa była szczegółowa ewaluacja

Tabela 5. Wyniki – czas cyklu produkcyjnego, wskaźnik wartości dodanej.

| Asortyment | Statyczna VSM | | Symulacja VSM | |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Cykl produkcyjny [hh:mm] | Wskaźnik wartości dodanej | Cykl produkcyjny [hh:mm] | Wskaźnik wartości dodanej |
| Praliny z Advocatem | 51:03 | 11,09% | 25:11 | 22,32% |
| Praliny Coffee & Cream | 63:33 | 11,41% | 38:32 | 19,34% |
| Praliny z Orzechem | 41:57 | 10,77% | 08:01 | 54,02% |
| Praliny z Rumem | 38:23 | 4,51% | 20:11 | 8,25% |
| Praliny Wiśnia & Cherry | 64:24 | 4,95% | 30:01 | 10,76% |

Źródło: opracowanie własne.

zaproponowanych zmian oraz przygotowanie gotowych rozwiązań prowadzących do usprawnienia procesu produkcji. Tym samym nadano pożądane cechy szczupłości wykonywanym operacjom – przy użyciu mniejszej ilości zasobów osiągnięto lepsze rezultaty. Ponadto, otrzymane wyniki eksperymentów prowadziły do nowych konkluzji, których testowanie powinno pomóc w dalszym usprawnianiu procesu produkcyjnego, zgodnie z przyjętą metodologią PDCA (Plan-Do-Check-Act).

6. PODSUMOWANIE

Połączenie logiki zasad Lean Manufacturing wraz z możliwościami analitycznymi programu do symulacji komputerowej Dosimis-3 umożliwiło przeprowadzenie studiów nad efektywnością systemu produkcyjnego Hacos. Mapa strumienia wartości przedstawiła ogólny zarys sprawności analizowanego systemu, wraz z parametrami definiującymi jego problemy. Następnie zastosowanie kolejnych technik szczupłej produkcji – SMED-u, eliminacji marnotrawstwa, redukcji wielkości partii produkcyjnych – doprowadziło do przygotowania planu usprawnienia organizacji procesu produkcyjnego. Zastosowanie symulacji pozwoliło na błyskawiczne uzyskanie wyników proponowanych zmian oraz ich ocenę, bez konieczności ich wdrażania. W ten sposób zaoszczędzono czas oraz zasoby produkcyjne, jednocześnie unikając możliwości popełnienia błędu.

Przeprowadzony eksperyment symulacyjny dowiódł słuszności dwóch zaleceń z pierwszej fazy badań – (1) zmniejszenia partii produkcyjnych na Linii Hacos oraz (2) wydłużenia taśmy transportowej pomiędzy linią produkcyjną a Pakownią. W rezultacie tych zmian uzyskano poprawę kluczowych parametrów charakteryzujących analizowany proces: czasu magazynowania nadzienia w zbiorniku, średniego stanu zapasu w toku produkcji, czasu cyklu produkcyjnego, wskaźnika wartości dodanej oraz roboczołłonności. Następstwem wprowadzonych usprawnień było również skrócenie czasu potrzebnego na realizację całego planu produkcyjnego z 21 do 18 zmian roboczych i uporządkowanie pracy poszczególnych wydziałów produkcyjnych cyklu technologicznego.

Celem niniejszej pracy było stworzenie narzędzia, które umożliwiłoby podejmowanie najlepszych decyzji produkcyjnych w warunkach przemysłowych. Z punktu widzenia organizacji czasu pracy oraz wykorzystania zasobów cel pracy został osiągnięty.

W pracy potwierdziły się możliwości analityczne narzędzi symulacyjnych. Dzięki dokładnemu odwzorowaniu logiki pracy całego systemu produkcyjnego możliwe było mierzenie parametrów, które do tej pory w ogóle nie były obserwowane. W związku z powyższym możliwe było przeanalizowanie systemu wytwarzania i składowania nadzień do produkcji cukierków. Jak się później okazało, redukcja czasu magazynowania nadzienia w zbiorniku głównym była kluczowym czynnikiem na drodze do znaczącego usprawnienia pracy całego systemu.

Funkcjonalność zbudowanego modelu symulacyjnego, pod kątem analizy i organizacji procesu produkcyjnego jest ogromna. Symulacja umożliwi m.in. analizę wrażliwości systemu na przewidywany poziom awarii, analizę wpływu losowości czasu wykonania operacji produkcyjnej na produktywność linii, badanie udziału przebrojeń i przestojów w całkowitym czasie pracy maszyn i urządzeń. Zaprezentowane wyniki przeprowadzonych badań jedynie w małym stopniu prezentują możliwości opisanego narzędzia symulacyjnego wskazując jednocześnie dalsze kierunki badań i analizy. Przykładowo, po ustabilizowaniu pracy systemu produkcyjnego pod względem awarii, model symulacyjny mógłby posłużyć zaprojektowaniu i wdrożeniu systemu kanban, regulującego produkcję Kuchni względem Linii Hacos.

Reasumując należy stwierdzić, że mapowanie strumienia wartości, stosowane łącznie z technikami modelowania symulacyjnego, stanowią skuteczne narzędzia wspierające wdrażanie Lean Manufacturing i usprawnianie przepływu materiałów w przedsiębiorstwie.

Streszczenie

W artykule omówiono możliwość wspólnego zastosowania metod symulacji dyskretnej sterowanej zdarzeniami (DES) oraz mapowania strumienia wartości do kontroli wybranych parametrów oraz identyfikacji wąskich gardeł w procesie produkcyjnym. Dokonano przeglądu literatury odnoszącej się do powyższej tematyki oraz metod tzw. szczupłej produkcji. W drugiej części opracowania zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Słowa kluczowe: symulacja, mapa strumienia wartości, VSM, lean manufacturing.

Application of simulation based value stream mapping for identification of bottlenecks of the production system in ZPC Mieszko S.A.

Abstract

The possibility of combined application of the methods of Discrete Event Simulation (DES) and Value Stream Mapping (VSM) in identification of bottlenecks of the production system were discussed in the article. Literature review on the various practices of Lean Manufacturing was also carried out. In the second part of the work, the results of the conducted simulation studies were presented and discussed.

Key words: simulation, value stream mapping, VSM, lean manufacturing.

LITERATURA

- [1] Detty, R. B. & Yingling, J. C. (2000). Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: A case study. *International Journal of Production Research*, Vol. 38, pp. 429–445.
- [2] Donatelli, A. J. & Harris, G. A. (2001). Combining Value Stream Mapping and Discrete Event Simulation. *Proceedings of the Huntsville Simulation Conference*, [online, 21.02.2012]: <https://rsic.redstone.army.mil/hsc/papers/hsc003.pdf>.
- [3] Lian, Y.-H. & Van Landeghem, H. (2002). An Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing. *Proceedings of 14th European Simulation Symposium*, pp. 300–307.
- [4] McDonald, T., Van Aken, E., Butler R. & Rentes, A. (2000). Integration of Simulation and Value Stream Mapping in Transformation to Lean Production. *Proceedings of Industrial Engineering Research Conference 2000*.
- [5] Rother, M. & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Brookline: Lean Enterprise Institute.
- [6] Schroer, B. J. (2004). Simulation as a Tool in Understanding the Concepts of Lean Manufacturing. *Simulation*, Vol. 80, No. 3, pp. 171–175.
- [7] SDZ GmbH. (2011). *Dosimis-3. User Manual, V6.0*. Dortmund.
- [8] Shararah, M. A., El-Kilany, K. S. & El-Sayed, A. E. (2010). Component Based Modeling and Simulation of Value Stream Mapping for Lean Production Systems. *FAIM Conference 2010, Section: Re-Engineering, Lean and Agile Manufacture*, pp. 881–888.

- [9] Solding, P. & Gullander, P. (2009). Concepts for Simulation Based Value Stream Mapping. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, pp. 2231–2237.
- [10] Standridge, Ch. R. & Marvel, J. H. (2006). Why Lean needs Simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 1907–1913.

Podziękowania

Autorzy opracowania pragną podziękować specjalistom z firmy ZPC Mieszko S.A. – Panu Krzysztofowi Morgale, Kierownikowi Działu Mieszko Manufacturing Systems oraz Panu Bogdanowi Badowskiemu, Liderowi Produkcji – za pomoc w zebraniu danych oraz przygotowaniu szczegółowej analizy rzeczywistego systemu.