

Edward Michłowicz*, Andrzej Świątoniowski*

Doskonalenie ciągłości przepływu metodą mapowania VSM

1. Wprowadzenie – metoda VSM

Cechą charakteryzującą zarządzanie przedsiębiorstwami w ostatnich latach jest ciągle poszukiwanie metod poprawiających efekty prowadzonej działalności. Aktualnie coraz częściej zaleca się szczupłe podejście, szczupłe myślenie (*lean thinking*) jako środek zaradczy na eliminowanie marnotrawstwa (*muda*) przez tworzenie strumienia wartości w przedsiębiorstwie [1]. Istotą szczupłego podejścia jest transformacja marnotrawstwa *muda* w wartość, stąd określenie wartości jest pierwszym krokiem przy wdrażaniu szczupłego podejścia. W systemach produkcyjnych bardzo duży nacisk kładzie się aktualnie na zachowywanie ciągłości w przepływach materiałów podczas realizacji procesów, a także na permanentne doskonalenie (*keizen*) ciągłości [2]. Podstawowym narzędziem umożliwiającym poprawę ciągłości procesów przepływu materiałów i informacji w *lean manufacturing* jest metoda VSM – *Value Stream Mapping* – Mapowanie Strumienia Wartości.

Mapowanie strumienia wartości jest metodą służącą do analizy systemu produkcyjnego. Polega ona na ukazaniu strumienia wartości tzn. na identyfikacji wszystkich czynności (zarówno dodających wartość, jak i tych, które wartości nie dodają), podejmowanych w procesie wytwarzania wyrobu, począwszy od surowca, a skończywszy na wyrobie gotowym. Zobrazowanie strumienia wartości pozwala dostrzec w nim wszelkiego rodzaju marnotrawstwo i ukierunkować dalsze działania „wyszczuplające” w przedsiębiorstwie mające wyeliminować marnotrawstwo z obszaru działań dodających wartość. Cechą wyróżniającą mapowanie spośród innych metod analizy systemów produkcyjnych jest ujmowanie zarówno przepływów materiałowych, jak i informacyjnych.

Metoda VSM to proces składający się z trzech etapów [2]:

Etap 1. Diagnoza stanu istniejącego – *Value Stream Analysis* (VSA) – analiza stanu obecnego strumienia wartości.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Systemów Wytwarzania

Etap 2. Stworzenie wizji stanu przyszłego – *Value Stream Designing* (VSD) – budowa docelowego stanu strumienia wartości.

Etap 3. Plan doskonalenia – *Value Stream Work Plan* (VSP) – plan doskonalenia i wdrożeń rozwiązań.

Proces opracowywania pożądanego systemu produkcyjnego ma charakter usystematyzowany i przebiega w kilku fazach. Podstawą opracowania mapy stanu przyszłego jest mapa stanu obecnego oraz wiedza z zakresu metod i technik *lean manufacturing*.

Narzędziami wspierającymi koncepcję *lean* są m.in.:

- Metoda Pięciu Filarów 5S – metoda organizacji pracy wszystkich procesów polegająca na podnoszeniu jakości i produktywności poprzez eliminację strat wynikających z braku porządku w miejscu pracy.

Firmy wprowadzające szczupłe zarządzanie z reguły rozpoczynają proces od wdrożenia 5S [3].

Pięć filarów stanowią: selekcja (*Seri*), systematyka (*Seiton*), sprzątanie (*Seiso*), standaryzacja (*Seiketsu*), samodyscyplina (*Shitsuke*).

- Metoda SMED – *Single Minute Exchange of Die* – czyli Szybkiego Przebrobienia Maszyn.

To działania zmierzające do skrócenia czasu przebrojenia urządzenia (tam, gdzie to możliwe) do jednocyfrowej liczby minut, czyli poniżej 10 minut. W systemach produkcyjnych przebrojenie obejmuje całość działań koniecznych do przeprowadzenia zmiany typu produktu na danej maszynie, linii lub urządzeniu. W tym celu wprowadza się tak zwane przebrojenie zewnętrzne, obejmujące czynności wykonywane poza maszyną i przebrojenie wewnętrzne, obejmujące czynności wykonywane przy maszynie zatrzymanej.

- Metoda 5W i 1H (5 x *why* i 1 x *how*), polegająca na pięciokrotnym powtórzeniu określonego pytania *dlaczego?* Po pięciu pytaniach *dlaczego* można udzielić odpowiedzi *jak* rozwiązać zaistniały problem (*how?*).
- Metoda TPM – *Total Productive Maintenance* – Kompleksowego Utrzymania Maszyn.

Celem TPM jest dążenie do zachowania ciągłości pracy urządzeń i maszyn realizujących określone zadania, co jednocześnie oznacza poprawę ich efektywności działania. Metoda bazuje na wykorzystaniu zasobów ludzkich do analizowania przyczyn marnotrawstw i strat (muda) powstających w procesach, a ponadto wymaga systemowego rozwiązywania problemów będących przyczyną przestojów maszyn i urządzeń [4].

Doskonalenie strumienia wartości przez wykorzystywanie metod mapowania VSM jest coraz częściej stosowane w firmach o różnorodnym asortymencie produkcji i dużej liczbie przebrojeń. W wielu obszarach bardzo pomocnym narzędziem są modele LOC (*Logistic Operating Curves*), w tym POC (*Production Operating Curves*), TOC (*Transport Operating*

Curves) i SOC (*Storage Operating Curves*) [5]. Ponadto tam gdzie to możliwe warto stosować sterowanie przepływu z wykorzystaniem metody *kanban* [6].

2. Mapowanie stanu obecnego w systemie wytwarzania krzeseł ISO

W przedsiębiorstwie produkcyjnym procesem, w który angażuje się najwięcej kapitału, jest wytwarzanie wyrobów. Wytwarzanie sprawia, że główny strumień materiałów i części przepływa przez wydziały produkcyjne przedsiębiorstwa. Przepływ ten zależy od wielu czynników, z których struktura systemu produkcyjnego zdecydowanie najbardziej wpływa na procesy przepływu. Oczywiście wydaje się, że z logistycznego punktu widzenia odpowiednie sterowanie strumieniem materiałów w systemie produkcyjnym powinno należeć do podstawowych zadań logistycznych. Przez „odpowiednie sterowanie” należy tu rozumieć takie sterowanie, które gwarantuje ciągłość procesów wytwarzania zgodnie z logistycznymi zasadami 7R [7].

Podczas tworzenia pierwszych map należy przygotować następujące zestawienie wielkości:

- czas cyklu (C/T),
- czas przebrojenia (C/O),
- dostępność (dostępność stanowiska do podjęcia pracy),
- wskaźnik EPE (elastyczność procesu wytwarzania partii wyrobów wyrażona w jednostkach czasu),
- liczba operatorów,
- liczba rodzajów produktów,
- dostępny czas pracy,
- współczynnik braków.

Zakres danych, które winny zostać zidentyfikowane, a następnie umieszczone na mapie dotyczą głównie:

- poziomu miesięcznych zamówień klienta,
- formy realizacji dostaw,
- wykonywanych procesów technologicznych,
- charakterystyk tych procesów z uwzględnieniem czasów cykli,
- czasów przebrojeń, dostępności maszyn, liczby operatorów itp.,
- zapasów surowca, zapasów produkcji w toku oraz zapasów wyrobów gotowych zidentyfikowanych fizycznie w systemie produkcyjnym dla poszczególnych strumieni,
- systemu informowania o kolejności zlecanej produkcji,
- systemu wymiany informacji z klientem oraz dostawcą,
- formy przepływu materiałów (np. typu „push”) itd.

Ważnym elementem mapy jest linia czasu. Na podstawie danych pochodzących z obserwacji można określić stan bieżącego strumienia wartości. Linia czasu (w postaci meandry) służy do wyliczenia całkowitego czasu przejścia produktu przez strumień wartości, tzn. czasu potrzebnego na to, by pojedynczy wyrób przeszedł przez kompletny proces produkcyjny, począwszy od momentu nadejścia surowców, do chwili wysłania wyrobu do klienta. Czas przejścia (wyrażony np. w dniach), oblicza się jako iloraz wielkości zapasów (wyrażonych np. w sztukach) i dziennego zapotrzebowania na produkty zgłaszane przez klienta.

Mapowanie stanu przyszłego (drugi etap procesu) ma na celu wypracowanie planu wdrożeń, który określi pożądany stan docelowy systemu wytwarzania w perspektywie kolejnych miesięcy oraz wskaże zespół działań niezbędnych do osiągnięcia wypracowanej wizji. Zasadniczym celem tych działań jest dostosowanie tempa produkcji do tempa zamówień składanych przez klienta oraz redukcja zapasów we wszystkich ogniwach systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa.

Średnio w ciągu miesiąca (21 dni roboczych) wytwarza się 80 000 krzeseł ISO. Montaż rozpatrywanych krzeseł odbywa się w systemie dwu- lub trzymianowym zależnie od aktualnego zapotrzebowania (zamówień klientów).

Zgodnie z zamówieniami klientów, krzesła montowane są w różnych wersjach wykonania, m.in.:

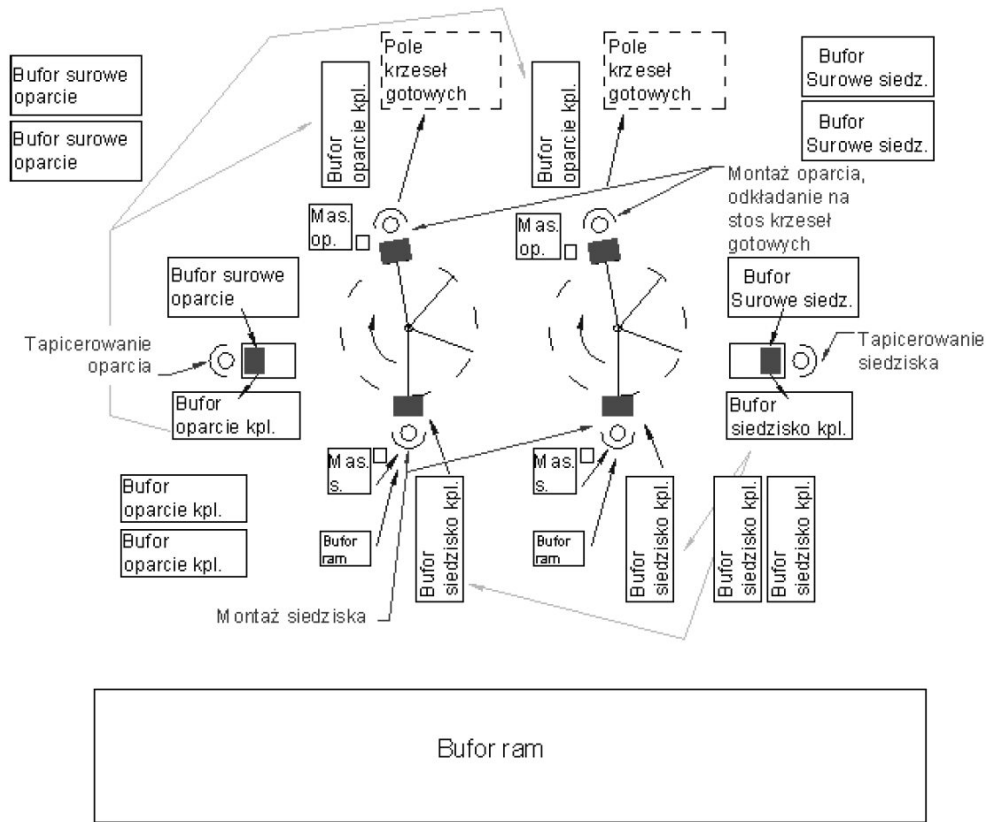
- różne kolory i rodzaje materiału obiciowego;
- różne kolory ramy (czarny, srebrny);
- różne powłoki ramy – malarska, galwaniczna (chromowana);
- różne typy siedziska i oparcia – tapicerowane, bez obicia tapicerskiego – z tworzywa sztucznego lub lakierowanej sklejki.

W rozpatrywanym gnieździe odbywa się montaż wyłącznie krzeseł w wersji tapicerowanej i czarnej ramie. Podczas analizy konieczne jest wykonanie następujących czynności:

- a) zebranie danych:
 - pomiar czasów poszczególnych operacji, czynności; określenie liczby detali w buforach pomiędzy kolejnymi operacjami; odnotowanie wszelkich problemów pojawiających się w procesie produkcyjnym;
- b) utworzenie szczegółowej mapy stanu obecnego uwzględniającej powyższe dane;
- c) utworzenie Planu Dla Każdej Części (PDKC), czyli zbioru istotnych informacji dla każdego detalu wchodzącego w skład gotowego produktu;
- d) analiza sposobów przepływu informacji.

Schemat procesu montażu przedstawiono na rysunku 1.

W tabeli 1 zestawiono czasy trwania poszczególnych operacji montażu krzesła ISO.

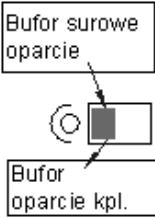
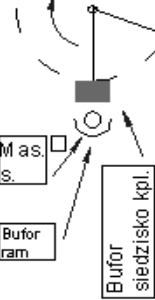
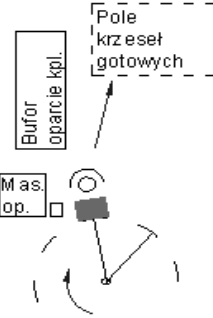


Rys. 1. Schemat procesu montażu krzesła ISO

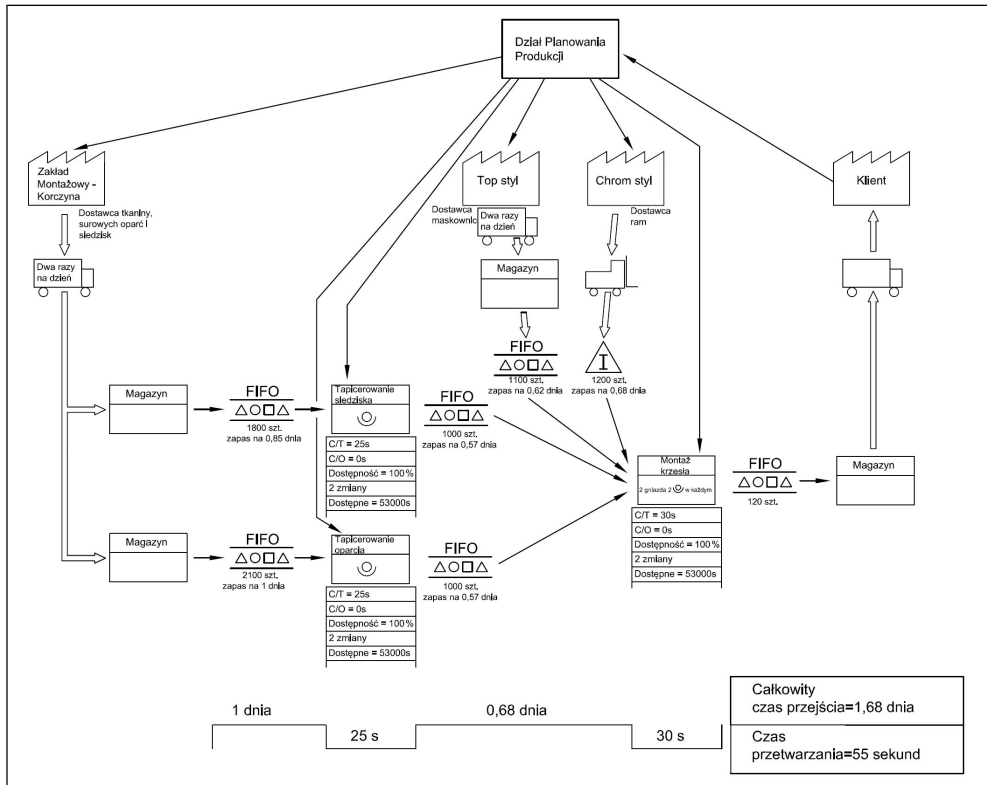
Tabela 1
Zestawienie czasów trwania operacji montażu krzesła ISO

TAPICEROWANIE SIEDZISKA		
	Czas	Kolejne czynności
	1,5 s	1. Pobranie prawą ręką siedziska surowego;
	1 s	2. Włączenie prawą ręką dociskacza pneumatycznego;
	1,5 s	3. Pobranie prawą ręką pistoletu do tapicerowania;
	4 s	4. Tapicerowanie;
	1 s	5. Odłożenie pistoletu;
	2 s	6. Odłożenie lewą ręką kompletnego siedziska na wózek;
	3 s	7. Średnio po wykonaniu dwóch siedzisk, uzupełniane są naboje w pistolecie;

Tabela 1 cd.

TAPICEROWANIE OPARCIA																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Czas</th> <th>Kolejne czynności</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,5 s</td> <td>1. Pobranie lewą ręką oparcia surowego;</td> </tr> <tr> <td>1 s</td> <td>2. Włączenie prawą ręką dociskacza pneumatycznego;</td> </tr> <tr> <td>1,5 s</td> <td>3. Pobranie prawą ręką pistoletu do tapicerowania;</td> </tr> <tr> <td>4 s</td> <td>4. Tapicerowanie;</td> </tr> <tr> <td>1 s</td> <td>5. Odłożenie pistoletu</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>6. Odłożenie prawą ręką kompletnego oparcia na wózek;</td> </tr> <tr> <td>3 s</td> <td>7. Średnio po wykonaniu dwóch oparc, uzupełniane są naboje w pistolecie;</td> </tr> </tbody> </table>	Czas	Kolejne czynności	1,5 s	1. Pobranie lewą ręką oparcia surowego;	1 s	2. Włączenie prawą ręką dociskacza pneumatycznego;	1,5 s	3. Pobranie prawą ręką pistoletu do tapicerowania;	4 s	4. Tapicerowanie;	1 s	5. Odłożenie pistoletu	2 s	6. Odłożenie prawą ręką kompletnego oparcia na wózek;	3 s	7. Średnio po wykonaniu dwóch oparc, uzupełniane są naboje w pistolecie;				
	Czas	Kolejne czynności																			
	1,5 s	1. Pobranie lewą ręką oparcia surowego;																			
	1 s	2. Włączenie prawą ręką dociskacza pneumatycznego;																			
	1,5 s	3. Pobranie prawą ręką pistoletu do tapicerowania;																			
	4 s	4. Tapicerowanie;																			
	1 s	5. Odłożenie pistoletu																			
	2 s	6. Odłożenie prawą ręką kompletnego oparcia na wózek;																			
3 s	7. Średnio po wykonaniu dwóch oparc, uzupełniane są naboje w pistolecie;																				
MONTAŻ SIEDZISKA																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Czas</th> <th>Kolejne czynności</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,5 s</td> <td>1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;</td> </tr> <tr> <td>3 s</td> <td>2. Pobranie siedziska prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>3. Pobranie maskownicy siedziska lewą ręką i ułożenie jej na siedzisku;</td> </tr> <tr> <td>4 s</td> <td>4. Pobranie ramy i ułożenie jej na stanowisku montażowym;</td> </tr> <tr> <td>1,5 s</td> <td>5. Pobranie lewą ręką wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>6 s</td> <td>6. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcanie wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>7. Przekazanie półproduktu kolejnemu operatorowi poprzez „karuzelę”;</td> </tr> <tr> <td>40 s</td> <td>8. Co 180 zmontowanych półproduktów, wymiana wózka „Bufor siedzisko kpl.”</td> </tr> </tbody> </table>	Czas	Kolejne czynności	1,5 s	1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;	3 s	2. Pobranie siedziska prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;	2 s	3. Pobranie maskownicy siedziska lewą ręką i ułożenie jej na siedzisku;	4 s	4. Pobranie ramy i ułożenie jej na stanowisku montażowym;	1,5 s	5. Pobranie lewą ręką wkrętów;	6 s	6. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcanie wkrętów;	2 s	7. Przekazanie półproduktu kolejnemu operatorowi poprzez „karuzelę”;	40 s	8. Co 180 zmontowanych półproduktów, wymiana wózka „Bufor siedzisko kpl.”		
	Czas	Kolejne czynności																			
	1,5 s	1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;																			
	3 s	2. Pobranie siedziska prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;																			
	2 s	3. Pobranie maskownicy siedziska lewą ręką i ułożenie jej na siedzisku;																			
	4 s	4. Pobranie ramy i ułożenie jej na stanowisku montażowym;																			
	1,5 s	5. Pobranie lewą ręką wkrętów;																			
	6 s	6. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcanie wkrętów;																			
2 s	7. Przekazanie półproduktu kolejnemu operatorowi poprzez „karuzelę”;																				
40 s	8. Co 180 zmontowanych półproduktów, wymiana wózka „Bufor siedzisko kpl.”																				
MONTAŻ OPARCIA																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Czas</th> <th>Kolejne czynności</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,5 s</td> <td>1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>2. Pobranie oparcia prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>3. Pobranie lewą ręką wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>4 s</td> <td>4. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>5. Pobranie lewą ręką maskownicy oparcia i odpowiednie ułożenie jej;</td> </tr> <tr> <td>2 s</td> <td>6. Pobranie lewą ręką wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>4 s</td> <td>7. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;</td> </tr> <tr> <td>4,5 s</td> <td>8. Pobranie gotowego krzesła, ułożenie go na stosie krzeseł gotowych, ułożenie na oparciu krzesła kartonu zabezpieczającego;</td> </tr> <tr> <td>40 s</td> <td>9. Co 180 zmontowanych krzeseł, wymiana wózka „Bufor oparcie kpl.”</td> </tr> </tbody> </table>	Czas	Kolejne czynności	1,5 s	1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;	2 s	2. Pobranie oparcia prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;	2 s	3. Pobranie lewą ręką wkrętów;	4 s	4. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;	2 s	5. Pobranie lewą ręką maskownicy oparcia i odpowiednie ułożenie jej;	2 s	6. Pobranie lewą ręką wkrętów;	4 s	7. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;	4,5 s	8. Pobranie gotowego krzesła, ułożenie go na stosie krzeseł gotowych, ułożenie na oparciu krzesła kartonu zabezpieczającego;	40 s	9. Co 180 zmontowanych krzeseł, wymiana wózka „Bufor oparcie kpl.”
	Czas	Kolejne czynności																			
	1,5 s	1. Przyciągnięcie prawą ręką ramienia „karuzeli”;																			
	2 s	2. Pobranie oparcia prawą ręką i umieszczenie go na stanowisku;																			
	2 s	3. Pobranie lewą ręką wkrętów;																			
	4 s	4. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;																			
	2 s	5. Pobranie lewą ręką maskownicy oparcia i odpowiednie ułożenie jej;																			
	2 s	6. Pobranie lewą ręką wkrętów;																			
	4 s	7. Pobranie prawą ręką wkrętarci pneumatycznej i wkręcenie wkrętów;																			
4,5 s	8. Pobranie gotowego krzesła, ułożenie go na stosie krzeseł gotowych, ułożenie na oparciu krzesła kartonu zabezpieczającego;																				
40 s	9. Co 180 zmontowanych krzeseł, wymiana wózka „Bufor oparcie kpl.”																				

Zakończeniem etapu pierwszego (diagnoza stanu istniejącego – Value Stream Analysis (VSA) – analiza stanu obecnego strumienia wartości) jest sporządzenie mapy strumienia. Na rysunku 2 przedstawiono fragment mapy strumienia wartości dla montażu krzeseł ISO.



Rys. 2. Mapa strumienia wartości – stan obecny montażu krzeseł ISO

W dalszej części opracowania przedstawiono wybrane problemy tworzenia poprawy ciągłości przepływu materiałów na przykładzie montażu krzeseł ISO.

3. Koncepcja projektowania stanu przyszłego – VSD

Planowanie wizji stanu przyszłego (*Value Stream Designing*) wymaga m.in.

- a) określenia szczegółowych celów, które należy osiągnąć, m. in.;
 - zmniejszenie do możliwego minimum wszelkich zapasów;
 - minimalizacja przestrzeni produkcyjnej;
 - tworzenie ciągłego przepływu materiałów w toku produkcyjnym, w tym celu tworzy się komórki produkcyjne, o ciągłym przepływie detali pomiędzy kolejnymi operacjami (maszynami), eliminuje się tym samym tzw. odizolowane wyspy produkcyjne [8];

- zmniejszenie liczby braków;
- skrócenie czasu produkcji;
- b) wyznaczenia dokładnego planu działania dla wdrożenia ww. celów;
 - określenie sposobów przepływu informacji;
 - stworzenie mapy stanu przeszłego z przewidywanymi wartościami czasów oraz liczb zapasów;
 - wyznaczenie planu działań krótko-, średnio- i długofalowych.

Po wykonaniu wszystkich przewidzianym planem działań sporządza się mapę stanu przeszłego, która uwzględni zmiany zaproponowane zarówno przez zespół projektujący, jak i przez operatorów poszczególnych stanowisk roboczych.

W planie osiągnięcia celów powinno się uwzględnić:

- zastąpienie obecnej konfiguracji gniazda montażowego pojedynczą komórką produkcyjną o ciągłym przepływie materiałów;
- dokładne określenie wielkości buforów w celu ich zminimalizowania;
- zastąpienie obecnie stosowanych „karuzel” montażowych zajmujących dużą powierzchnię stołami montażowymi znacznie oszczędzającymi powierzchnię produkcyjną;
- takie ukształtowanie komórki produkcyjnej, aby pracownicy transportu wewnętrznego dostarczali części bez kłopotu dokładnie na miejsca, gdzie są one potrzebne.

Kolejne etapy planowania wyszczuplonej produkcji obejmują plan doskonalenia (*Value Stream Work Plan*), w którym należy uwzględnić:

- Wdrożenie
Wdrażanie winno być poprzedzone szkoleniem pracowników, przekonaniem ich, że konieczność zmian niesie za sobą korzyści dla obydwu stron (pracowników fizycznych jak i kadry kierowniczej).
- Kontrolę
Regularna kontrola, skrupulatne sprawdzanie czy zmiany odbywają się zgodnie planem; śledzenie danych produkcyjnych i określanie czy pokrywają się one z założeniami.
- Kaizen
Jeśli system funkcjonuje poprawnie, zgodnie z narzuconym planem, filozofia kaizen (ciągła poprawa – małymi krokami) nakazuje by powrócić do punktu pierwszego i ciągle szukać nowych udoskonaleń.

Literatura

- [1] Womack J.P., Jones D.T., *Lean Thinking – szczupłe myślenie*. Wydawnictwo ProdPress.com, Wrocław 2008.
- [2] Czerska J., *Doskonalenie strumienia wartości*. Centrum Doradztwa i Informacji Difin, Warszawa 2009.
- [3] Kornicki L., Kubik Sz., *5S dla operatorów. 5 filarów wizualizacji miejsca pracy*. Wydawnictwo ProdPress.com, Wrocław 2008.

- [4] Kornicki L., Kubik Sz., *OEE dla operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia*. Wydawnictwo ProdPress.com, Wrocław 2009.
- [5] Nyhuis P., Wiendhal H.-P., *Fundamentals of Production Logistics. Theory, Tools and Applications*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
- [6] Michłowicz E., *Nowe wyzwania dla logistyki produkcji*. Gospodarka Materiałowa & Logistyka, r. 62, nr 12, 2010, 58–61.
- [7] Michłowicz E., *New challenges in production logistics*. Monograph Innovative and intelligent manufacturing systems. Logistics&Production. Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań 2010, 7–22.
- [8] Drabowski M., Wantuch E., *Coherent Concurrent Task Scheduling and Resource Assignment in Dependable Computer System Design*, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, vol. 13, no. 1, World Scientific Publishing, 15–24, 2006.