

DOSKONALENIE PRZEPLYWU MATERIAŁU W LINII PRODUKCYJNEJ

Jolanta ŁOPATOWSKA, Jerzy JAROŃSKI

Streszczenie: Linie i gniazda produkcyjne z ciągłym przepływem są najbardziej efektywną formą organizacji procesu produkcyjnego. W niniejszym artykule przedstawiono etapy doskonalenia przepływu w gniazdach i liniach produkcyjnych wraz z charakterystyką podejmowanych w nich prac. Zaprezentowano również działania przeprowadzone w trakcie doskonalenia przepływu w linii produkcyjnej w przedsiębiorstwie branży elektronicznej.

Słowa kluczowe: produkcja, koncepcja Lean, przepływ jednej sztuki OPF, ciągły przepływ, doskonalenie produkcji

1. Wstęp

Zgodnie z zasadami koncepcji Lean po określeniu wartości produktu przez końcowego klienta i zidentyfikowaniu strumienia wartości, który jest zbiorem działań niezbędnych do wytworzenia produktu pochodzących z obszarów projektowania produktu, zarządzania przepływem informacji i fizycznej realizacji produktu, przychodzi czas na tworzenie przepływu. Jest on definiowany jako „systematyczne wykonywanie działań wzdłuż strumienia wartości w taki sposób, że produkt przemieszcza się od projektu do wypuszczenia na rynek, od zamówienia do dostawy i od surowców do rąk klienta bez żadnych przestojów, braków lub nawrotów” [1]. Warunkiem koniecznym uzyskania ciągłego przepływu (continuous flow, one-piece flow OPF) jest wyrównanie prędkości operacji, co daje możliwość ich zsynchronizowania [2]. Przepływowi materiałów towarzyszy oczywiście przepływ informacji. Rzeczywiste uwarunkowania procesów produkcyjnych, m.in. geograficzne położenie poszczególnych etapów procesu produkcyjnego, różne tempo wykonywania kolejnych procesów czy uwarunkowania technologiczne maszyn powodują, że uzyskanie przepływu w ramach wewnętrznego i pełnego strumienia wartości staje się zadaniem niezwykle złożonym i skomplikowanym, wręcz niewykonalnym w obecnej sytuacji. Możliwość jego tworzenia ograniczona jest do wybranych etapów procesu produkcyjnego, tworzone są dla nich realizacja gniazda i linie z ciągłym przepływem. Natomiast tam, gdzie nie jest możliwe zastosowanie ciągłego przepływu do kontrolowania procesu produkcji należy stosować supermarketów wraz z systemem kanban [3]. System ten daje również możliwość realizacji kolejnej zasady koncepcji Lean, zgodnie z którą wartość ma być wyciągana przez klienta.

Tworzenie przepływu wymaga odpowiedniego zaprojektowania procesu produkcyjnego i zastosowania licznych metod z bogatego instrumentarium koncepcji Lean. Ponadto zmieniające się uwarunkowania rynkowe i wymagania wewnętrzne wymuszają zmianę i ciągłe doskonalenie procesu produkcyjnego. Istotnym czynnikiem zmiany jest tutaj zmiana zapotrzebowania i wymagań klienta oraz potrzeba poprawy efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa. Pociąga to za sobą konieczność przeprojektowywania i doskonalenia przepływu materiałów i informacji w poszczególnych etapach procesu produkcyjnego. Działania te z kolei wymagają analizy obecnej sytuacji, identyfikacji

występującego marnotrawstwa, opracowania i wprowadzania rozwiązań doskonalących. W artykule przedstawiono etapy i związane z nimi działania ukierunkowane na doskonalenie ciągłego przepływu. Zaprezentowano również rozwiązania doskonalące przepływ zrealizowane w linii produkcyjnej przedsiębiorstwa branży elektronicznej.

2. Przepływ i jego doskonalenie

Ciągły przepływ (continuous flow) występuje wtedy, gdy w danej chwili operacji podlega tylko jedna jednostka elementu i niezwłocznie po wykonaniu niezbędnych działań jest ona przemieszczana do kolejnej operacji w procesie produkcyjnym. Ciągły przepływ jest ona najbardziej efektywną formą organizacji produkcji [3]. Wynika to przede wszystkim z faktu, że poziom zapasu produkcji w toku WIP jest stały i związany z liczbą jednostek produktu podlegających jednocześnie operacjom w gniazdach i liniach produkcyjnych. Przekłada się to na możliwie najkrótszy czas przejścia (lead time) L/T materiału przez proces produkcyjny, który jest równy lub bliski (w przypadku jeżeli należy uwzględnić czas przemieszczania elementów między operacjami) sumie cykli wykonania operacji, a tym samym czas odnowienia zapasów i realizacji zamówienia. Skutkuje również mniejszym zapotrzebowaniem na powierzchnię produkcyjną, łatwiejszym monitorowaniem procesu, poprawą wydajności i jakości oraz niższymi kosztami produkcji [4]. Pozwala również zwiększyć wielkość produkcji bez podwyższania kosztów stałych [5].

Wraz ze zmianą zapotrzebowania klienta ulegają zmianom parametry pracy gniazda produkcyjnego, takie jak takt pracy, liczba operatorów, co pociąga za sobą potrzebę zmiany planu pracy. Doskonalenie wymaga przeprowadzenia prac analitycznych i projektowych, których główne etapy zostały scharakteryzowane w tabeli 1.

Tab. 1. Etapy doskonalenia ciągłego przepływu w gnieździe lub linii produkcyjnej

Etap	Charakterystyka
Powołanie zespołu doskonalącego	w skład zespołu wchodzi pracownicy badanego obszaru oraz osoby z zewnątrz tego obszaru, określenie założeń projektu doskonalenia, m.in. czasu realizacji, kosztów
Analiza stanu obecnego	identyfikacja realizowanych operacji w gnieździe, określenie obecnej liczby operatorów, wyposażenia i efektywności jego wykorzystania, zapotrzebowania klienta na elementy wytwarzane w gnieździe, poziomu zapasów, zapotrzebowania na materiały i sposobu zasilania gniazda w materiały, ocena efektywności pracy gniazda/linii (z wykorzystaniem np. wskaźnika efektywności balansu, produktywności pracy), dla każdej operacji pomiar czasu cyklu CT, identyfikacja i pomiar czasu zabiegów dodających wartość VA, niedodających wartości ale koniecznych (muda I typu), niedodających wartości i zbędnych (muda II typu), określenie szczegółowych celów usprawnień
Doskonalenie operacji	eliminacja zabiegów niedodających wartości i zbędnych, doskonalenie pozostałych zabiegów z wykorzystaniem filozofii kaizen, metod koncepcji Lean (m.in. 5S, standaryzacji pracy, poka-yoke, TPM, SMED), automatyzacji
Określenie parametrów gniazda/linii	obliczenie wymaganego taktu klienta TT (takt time), obliczenie czasów cykli operacji CT, liczby stanowisk, liczby operatorów
Równoważenie (balansowanie) gniazda/linii	równomierne przydzielenie operacji operatorom (może wymagać reorganizacji operacji i ponownego łączenia zabiegów w operacje), standaryzacja operacji, skoordynowanie (przy wykorzystaniu wykresu Yamazumi) w czasie funkcjonowania poszczególnych stanowisk, tak by czas cyklu każdej operacji nie przekraczał czasu taktu klienta

Projekt struktury gniazda/linii	udoskonalenie organizacji stanowisk pracy (z zachowaniem m.in. zasad ergonomii i metody 5S), projekt rozmieszczenia stanowisk pracy, rozmieszczenia supermarketów przystanowiskowych dla materiałów w gnieździe i gotowych elementów
Projekt przepływu materiału	dążenie do przepływu jednej sztuki (one-piece-flow OPF) wewnątrz gniazda, harmonogram przepływu materiałów wewnątrz gniazda/linii, harmonogram pracy operatorów (jeden operator przy stanowisku, dzielenie pracy, odwrócony przepływ, okrążenie, kombinacja), projekt zasileń materiałowych i odbioru wykonanych elementów zgodnie z zasadami systemu pull i systemu kanban (m.in. częstotliwość zasilania, ruta motyla)
Wdrożenie i ocena zmian	zaplanowanie i realizacja wdrożenia zgodnie z metodyką zarządzania projektami i zarządzania zmianą (m.in. informowanie pracowników o zmianach, szkolenia), ocena stopnia osiągnięcia przyjętych celów doskonalenia

źródło: opracowanie własne na podstawie [3, 4, 6, 7, 8]

Doskonalenie rozpoczyna powołanie zespołu, który będzie zajmował się procesem zmian. Jednym z początkowych jego zadań jest określenie kierunków doskonalenia i przygotowanie jego członków do realizacji niezbędnych zadań (np. poprzez szkolenia). Analiza stanu obecnego przepływu wymaga zidentyfikowania operacji i dla każdej z nich pomiaru czasu cyklu CT. Należy ponadto m.in. określić wyposażenie gniazda, poziom zapasów, sposoby zasilania materiałowego, przepływu materiałów i informacji, warunki pracy. Niezbędne jest wyznaczenie czasu taktu klienta TT zgodnie z zależnością [3,4]:

$$TT = \frac{\text{czas dostępny w danym okresie}}{\text{zapotrzebowanie klienta w danym okresie}} \quad (1)$$

gdzie: czas dostępny w danym okresie wynika z liczby zmian w danym okresie i planowanych przerw (np. związanych z realizacją metody 5S, uzupełnianiem dokumentacji) w ciągu każdej ze zmian.

Takt klienta stanowi krytyczny parametr ciągłego przepływu [8]. Przepływ w gnieździe/linii produkcyjnej oceniany jest poprzez zbalansowanie (balancing) operacji i czas przejścia materiału L/T, dodatkowo z wykorzystaniem wskaźników np. produktywności, rotacji zapasów TOH (time on hand) czy wskaźnika efektywności balansu LBR, którego postać przedstawia zależność 2 [9]:

$$LBR = \frac{\sum_{i=1}^n CT_i}{TT \cdot ST} * 100\% \quad (2)$$

gdzie: ST - liczba stanowisk
 CT_i - cykl wykonania i-tej operacji
n - liczba operacji w gnieździe
TT - czas taktu

Przy idealnym zbalansowaniu gniazda wskaźnik LBR przyjmuje wartość równą 100%. Wszystkie odchylenia średniego CT w dół od czasu taktu TT zmniejszają wskaźnik LBR. LBR powyżej 100% wskazuje przeciążenie stanowisk.

Doskonalenie przepływu wymaga zidentyfikowania dla każdej operacji zabiegów dodających wartość VA (value adding), niedodających wartości, ale koniecznych do wykonania NVA1 (necessary but non value adding) oraz niedodających wartości i zbędnych NVA2 (non value adding). Te ostatnie należy wyeliminować, natomiast

pozostałe doskonalić wykorzystując dostępne i możliwe do zastosowania metody. Zapewni to wyeliminowanie zmienności czasu cyklu operacji i pozwoli ją standaryzować. Istotne jest ponowne wyznaczenie czasu taktu klienta (przy zmianie zapotrzebowania klienta) oraz określenie niezbędnej liczby operatorów HC_Obl zgodnie z zależnością 3 [4,5,7]:

$$HC_Obl = \frac{\sum_{i=1}^n CT_i}{TT * WOO} \quad (3)$$

gdzie: WOO - współczynnik obciążenia operatora (0,85-0,95)
pozostałe oznaczenia jak w zależności 2

Daje to podstawę do nowego zbalansowania operacji, co może przełożyć się na poprawę produktywności i efektywności przepływu. Niezbędne również może stać się w takiej sytuacji przeprojektowanie linii/gniazda produkcyjnego i sposobu zasilania w materiały oraz opracowanie harmonogramu pracy dla nowych warunków. Ponowne wykorzystanie mierników oceniających przepływ pozwoli ocenić dokonane udoskonalenia i stopień osiągnięcia założonych celów oraz kierunki dalszych doskonań.

3. Doskonalenie w gnieździe produkcyjnym systemów telekonferencyjnych w przedsiębiorstwie X

Przedsiębiorstwo X jest jednym ze światowych liderów oferujących usługi projektowania, produkcji, dystrybucji i obsługi posprzedażowej dla urządzeń elektronicznych. Organizacja nawiązała współpracę z liderami marek elektronicznych na świecie i jest podwykonawcą produkującym urządzenia dla takich firm jak Cisco, Ericsson, Microsoft, Dell, Nokia, Sony, Google, Apple, Simens. Jednym z wyrobów produkowanych w przedsiębiorstwie jest wysokiej klasy system telekonferencji (Ekran A). Jest to w pełni wystarczający system telekomunikacyjny. Posiada kamery i ekrany wysokiej rozdzielczości, czułe mikrofony oraz interfejsy umożliwiające komunikację sieciową i bezprzewodową. Zastosowanie jego podnosi komfort komunikowania się pozwalając wyświetlać na ekranie dużą ilość potrzebnych informacji. Producent wraz z urządzeniem sprzedaje odpowiednie oprogramowanie pozwalające na bezpieczne szyfrowane komunikowanie się. Zmiany (zwiększenie) zapotrzebowania klienta zainicjowały proces dostosowania i usprawnienia procesu montażu systemu telekonferencji w przedsiębiorstwie.

3.1 Organizacja zespołu

Zespół zaangażowany w projekt doskonalenia przepływu powinien składać się z osób reprezentujących wszystkie etapy procesu. Pozwala to na przeprowadzenie dokładnych analiz oraz wypracowanie rozwiązań zgodnych z założeniami wszystkich aspektów procesu produkcyjnego. Zawężanie zespołu w skrajnych przypadkach może doprowadzić do wypracowania rozwiązań niemożliwych do zastosowania w dłuższym horyzoncie czasu. W skład zespołu doskonalącego przepływ w analizowanej linii montażowej Ekranu A wchodziły osoby z produkcji (operatorzy, brygadzści, kierownik produkcji), działów jakości, Lean, inżynieryjnego, NPI oraz przedstawiciel zarządu.

Lider zespołu (w tym wypadku mistrz produkcji analizowanego gniazda) odpowiedzialny jest za pracę zespołu oraz osiągnięte wyniki. Odpowiada przed sponsorem (zarządem), który organizuje potrzebne zasoby do realizacji projektu. Lider zespołu musi

posiadać odpowiednie przygotowanie merytoryczne i praktyczne. Wymagana jest bardzo wysoka świadomość zasad szczupłej produkcji oraz bardzo dobre przygotowanie do zarządzania. Mocny i doświadczony lider zapewnia dobrą organizację pracy zespołu opartą na szacunku i nastawioną na poszukiwanie rozwiązań zbieżnych z Lean. W fazie organizacji zespołu lider ustala zasady oddelegowania przez kierowników zasobów do projektu Jego zadaniem jest również zapewnienie odpowiedniego przygotowania członków zespołu poprzez cykl szkoleń oferowanych wewnątrz organizacji. Zagadnienia objęte szkoleniami dotyczyły projektowania gniazd produkcyjnych, zarządzania wizualnego, gospodarki materiałowej, marnotrawstwa i sposobów jego eliminowania oraz metod analizy procesów.

3.2 Analiza stanu początkowego gniazda montażowego

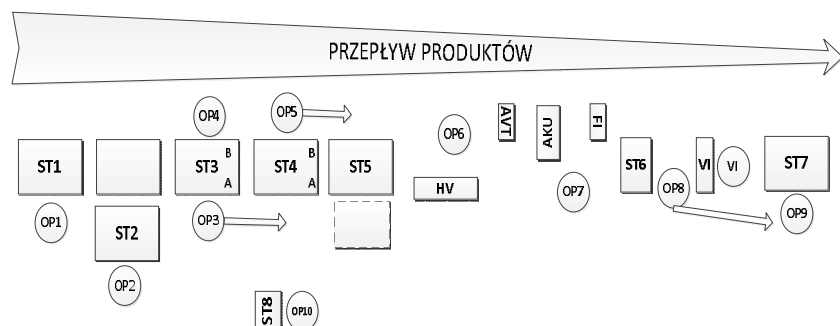
Zespół produkcyjny zajmujący się produkcją Ekranu A składał się z 10 pracowników obsługujących 8 stanowisk asemblacji i cztery stacje testowe oraz lidera koordynującego jego pracę. Skład zespołu przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Skład zespołu linii produkcyjnej Ekranu A

Lp.	Stanowisko produkcyjne	Stanowisko	Specjalne uprawnienia
0	Lider zespołu	Brygadzysta	Akademia Lidera
1	Montaż 1	Operator	Brak
2	Montaż 2	Operator	Brak
3	Montaż 3	Operator	Brak
4	Montaż 4	Operator	Brak
5	Montaż płyty	Operator	Brak
6	Test HV oraz AVT	Operator	SEP 1kV.
7	Testy Akustyczny oraz Finalny	Operator	Brak
8	Montaż Finalny	Operator	Brak
9	Pakowanie	Operator	Brak
10	Pakowanie	Operator	Brak

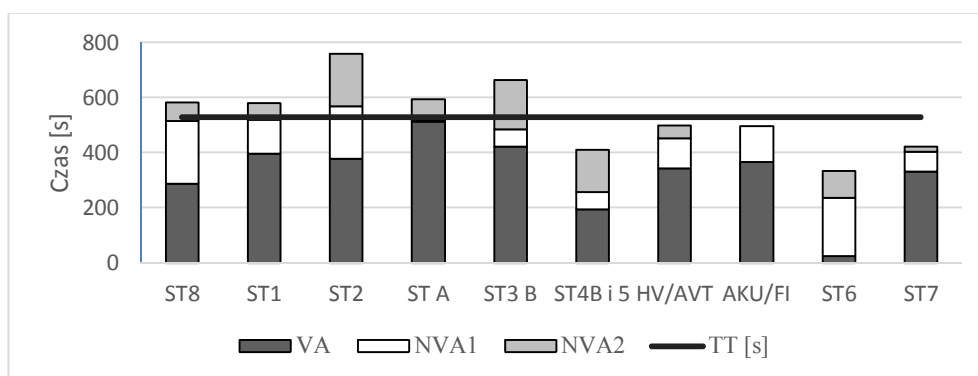
źródło: opracowanie własne

Dwa pierwsze stanowiska montażu ST1, ST2 skupiają operacje przygotowania ramy urządzenia i zmontowanie panelu LCD. ST3 to montaż płyt elektronicznych i okablowania. ST4 to przygotowanie i zamontowanie głośników i zasilaczy oraz zamknięcie urządzenia. Na ST5 urządzenie podnoszone jest do pozycji pionowej. Kolejnym krokiem są poszczególne testy HV – bezpieczeństwo prądowo-napięciowe, AVT – testy aplikacji instalowanych w płytach głównych, AKU – akustyka urządzenia, FI – testy aplikacji użytkownika. Po testach na ST6 urządzenie uzbrajane jest w końcowe elementy takie jak klapki zabezpieczające i osłony panelu LCD. ST7 to pakowanie urządzenia w kartony. Na stanowisku ST8 płyta główna przygotowana jest do montażu Organizacja pracy przedstawiona została na rysunku 1. Rysunek prezentuje również stanowiska kontroli jakości VI oraz odpowiednio rozmieszczonych operatorów (OP).



Rys 1. Rozmieszczenie stanowisk produkcyjnych linii montażowej Ekranu A
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Czasy cyklu poszczególnych operacji przedstawia rysunek 2. Na wykresie Yamazumi naniesiono również nowy czas taktu TT wyznaczony zgodnie z zależnością 1, który wymagany jest aby dostarczyć wyroby do klienta po zwiększeniu przez niego zapotrzebowania na Ekran A. Jak można zauważyć obecny system pracy nie pozwala na realizację zwiększonego zapotrzebowania.



Rys 2. Wykres Yamazumi dla Ekranu A - stan przed zmianami
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Tabela 3 przedstawia rzeczywistą liczbę operatorów przed zmianami, wskaźnik efektywności balansu i wymaganą liczbę operatorów (dla taktu pracy przed zmianami $TT=825$ s/szt) wyznaczone na podstawie zależności 2 i 3 oraz wykonanych pomiarów.

Tab. 3. Wskaźniki produkcyjne dla Ekranu A

Wskaźnik	Ekran A
LBR	65%
HC_Obl [osoby]	6,9
HC [Osoby]	10

źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Niska wartość wskaźnika LBR wskazuje na słabe wykorzystanie zasobów w procesie produkcji Ekranu A. Tylko 65% czasu spędzanego na linii produkcyjnej było wykorzystywane na wykonywanie czynności przez operatorów. W połączeniu ze zdefiniowanymi głównymi rodzajami marnotrawstwa (NVA1 i NVA2) przedstawionymi na wykresie Yamazumi (rys. 2) można stwierdzić, że proces produkcji posiada rezerwy możliwości produkcyjnych. Zidentyfikowane marnotrawstwo przedstawia tabela 4.

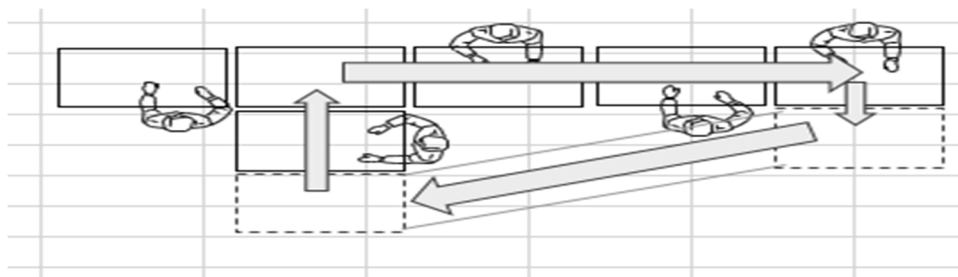
Tab.4. Kluczowe marnotrawstwa zdefiniowane w procesie asemblacji.

Lp.	Marnotrawstwo	Przyczyna	Usprawnienie
1.	Chodzenie, przenoszenie, oczekiwanie	Bardzo dużo stanowisk, uciążliwy powrót tacki na ST1, ciężka tacka	Zaprojektować nowy rozkład stanowisk
2.	Mało miejsca na wykonywanie operacji w obszarze asemblacji	Powracająca tacka z ST5 na ST1	Zaprojektować nowy rozkład stanowisk
3.	Długi czas docinania taśmiek	Brak automatyzacji	Zaprojektować automatyczne docinanie taśm
4.	Rozpakowywanie komponentów	Brak gospodarki materiałowej na linii produkcyjnej	Zastosować supermarket i system kanban tak, aby materiał pojawiał się na linii zgodnie z zasadami JIT
5.	Dostarczanie komponentów		
6.	Bardzo duża ilość komponentów na stanowiskach		

źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Jednym z powodów pojawienia się czynności niedodających wartości była duża liczba stanowisk i ich rozmieszczenie. Uwarunkowane to było m.in. przepływem tacki montażowej na linii produkcyjnej, co obrazuje rysunek 3. Była ona przemieszczana przez operatorów w obie strony, przemieszczanie wymagało dodatkowego wózka wykorzystywanego do powrotu. Układ stanowisk wymuszał obchodzenie ich przez operatorów w celu wykonania operacji na wszystkich stronach wyrobu.

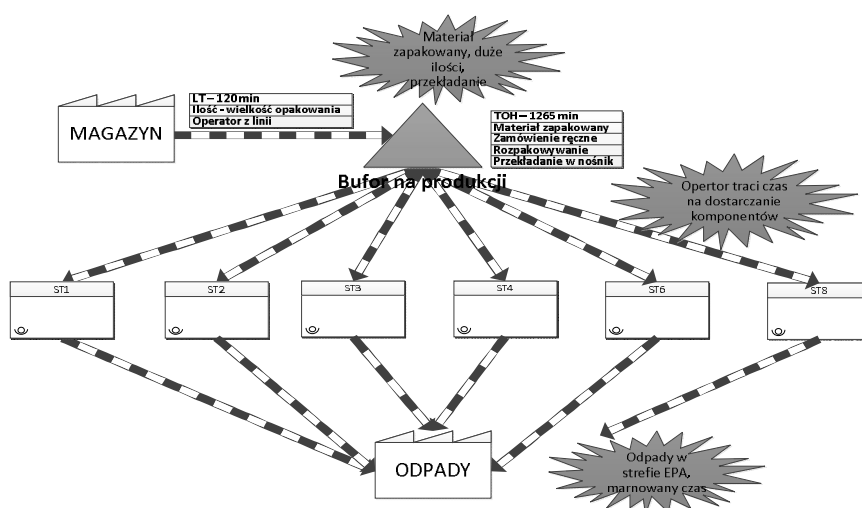
Problem stanowił również długi czas docinania taśmiek. Operatorzy ręcznie za pomocą nożyczek docinali potrzebne taśmy, wymagało to dużo operacji pobierania i odkładania oraz zaangażowania w utrzymywanie jakości w dobieraniu długości taśmy.



Rys 3. Organizacja transportu wyrobu na stanowiskach przy produkcji Ekranu A
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Pracę linii utrudniała też niewłaściwa gospodarka materiałowa. Rysunek 4 przedstawia schemat przepływu materiału na linii. W całym przepływie materiał był wypychany do

kolejnych procesów. Ilości nie były kontrolowane, a pracownik zamawiał materiał bez jasno określonych zasad. W obrębie linii znajdowała się duża ilość odpadów z opakowań. Pracownicy tracili sporo czasu na rozpakowywanie i przekładanie komponentów w nośniki produkcyjne.



Rys 4. Dostarczanie materiału dla Ekranu A przed zmianami
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Marnotrawstwo przedstawione w tabeli 4 posiada przypisane działania eliminujące. Ich wykonanie ma doprowadzić do uzyskania założonych wyników poprawy procesu. Tabela 5 zestawia wyniki procesu oraz cele określone po etapie analizy stanu wyjściowego wraz z procentowym stopniem poprawy dla nowego zapotrzebowania klienta i taktu pracy TT=528 s/szt. Finalnym wynikiem tej fazy pracy zespołu jest wykonania VSM dla zastanej sytuacji.

Tab. 5. Cele dla projektu poprawy przepływu w gnieździe produkcyjnym - Ekran A

Oznaczenie	Jednostki	Stan obecny	Cel	Poprawa
Produkcja_A	szt./zmianę	32	50	56%
HC	Liczba	10	9	10%
Produktywność_A	szt/operator	3,2	5,6	74%
Liczba_ST	szt.	8	6	25%
TOH	Dni	1432	500	65%
5S	%	87	95	9%

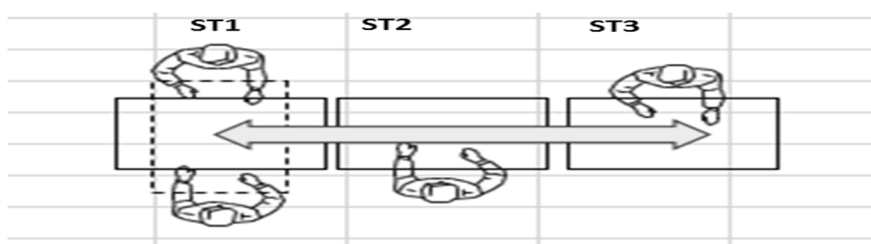
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

3.3 Doskonalenie operacji – przykłady rozwiązań

Doskonalenie operacji związane było z eliminowaniem zidentyfikowanego marnotrawstwa. Jednym z największych problemów na linii Ekran A jest organizacja

stanowisk pracy, która bardzo mocno wpływa na czasy wykonywanych operacji. Ekran A w uproszczeniu to duży 55 calowy telewizor wymagający sporych rozmiarów nośników i miejsca do transportu.

Rozwiązaniem tego problemu jest opracowany przez zespół nowy system stanowisk pracy przedstawiony na rysunku 5. Zapewnia on zmniejszenie liczby stanowisk w ogólnym ujęciu z 10 do 9, dostęp do wszystkich stron wyrobu poprzez obrotowy stół, bezproblemowy powrót nośnika na początek procesu poprzez system rolek i dźwigni. Poprawia ergonomię pracy i upraszcza przepływ wyrobu poprzez proces asemblacji.



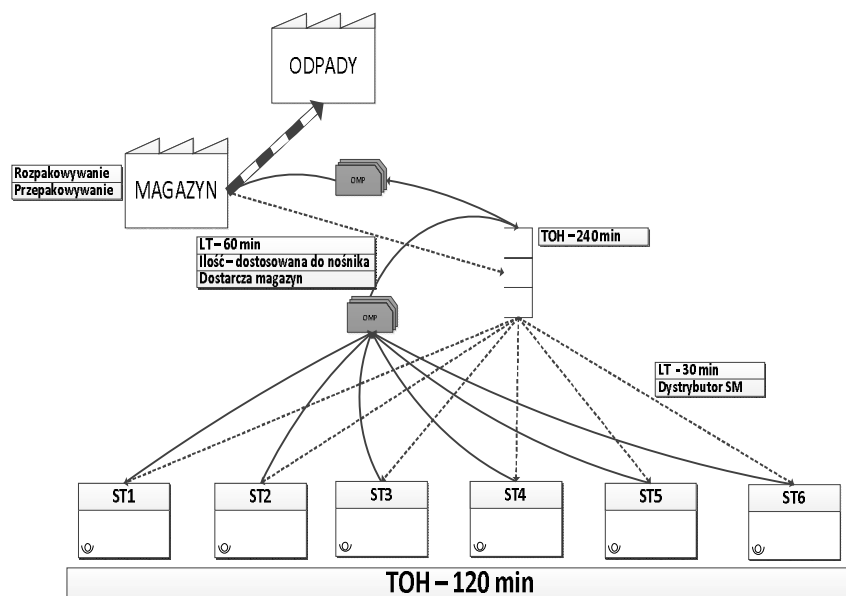
Rys.5. Nowa organizacja transportu wyrobu na stanowiskach przy produkcji Ekranu A
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych prac projektowych

Zastosowanie nowych rozwiązań wymagało opracowanie lżejszego nośnika dla Ekranu A. Zespół przy wsparciu inżynierów z działu obróbki metali opracował nowe rozwiązanie – tackę ważącą 7 kg (stary nośnik ważył 19 kg).

Redukcja mudy wymagała uproszczenia operacji docinania taśm montażowych wykorzystywanych w procesie produkcji. W zasobach przedsiębiorstwa wyszukano i przywrócono do działania maszynkę, która automatycznie docina i obiera taśmy. Zadaniem operatora pozostaje jedynie pobrać i umieścić taśmę w wyrobie.

Nowa organizacja pracy pozwoliła na redukcję liczby stanowisk na linii produkcyjnej. Oznacza to mniej miejsca na materiał na stanowiskach pracy. Aby sprostać nowym założeniom zastosowano nowy system dostarczania materiałów na linię produkcyjną przedstawiony na rys. 6.

Materiały te są rozpakowywane i opakowania dostawcy są rozdzielone na odpowiednio dostosowane nośniki. Ich liczba wynika z zapotrzebowania klienta i tempa pracy linii montażowej. Trafiają one do supermarketu. Odpady z opakowań dostawcy są przekazywane do utylizacji przez magazyn. Czas dostawy z magazynu od momentu złożenia zamówienia wynosi 60 minut. W supermarkecie przechowywany jest materiał, który wystarcza średnio na 240 min. produkcji a na linii produkcyjnej na 120 min. Całościowo daje to ilość materiału wystarczającą na 360 min produkcji, co w zestawieniu z poprzednią ilością materiału na poziomie produkcji 1265 min jest wynikiem imponującym. Czas dostarczenia materiału z supermarketu na linię produkcyjną wynosi 30 min. Rolę kanbanu materiałowego pełni aplikacja OMP, która obsługuje zamawianie materiału na poziomie supermarketu i linii oraz pełni rolę eskalatora nierealizowanych zleceń.



Rys. 6. Dostarczanie materiału dla Ekranu A po zmianach
 źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych prac projektowych

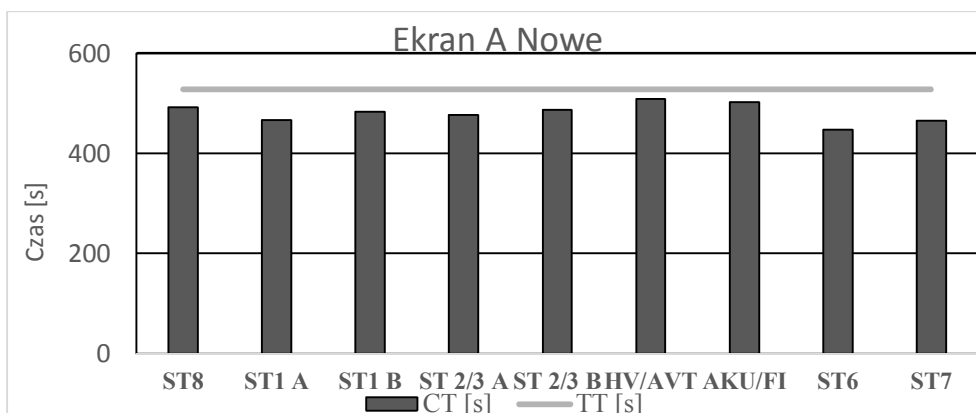
3.4 Określenie parametrów linii, balansowanie i projekt struktury linii

Wykonanie zadań związanych z doskonaleniem procesu montażu Ekranu A pozwala na określenie parametrów dla nowego procesu produkcji. Skrócenie operacji oraz usprawnienia związane z obsługą procesów na linii produkcyjnej powinny zostać potwierdzone pomiarami na produkcji. Wyniki pomiarów CT dla „odchudzonych operacji” przedstawia rysunek 7. Jak można zauważyć linia produkcyjna została zbalansowana i może pracować zgodnie z nowym taktem pracy.

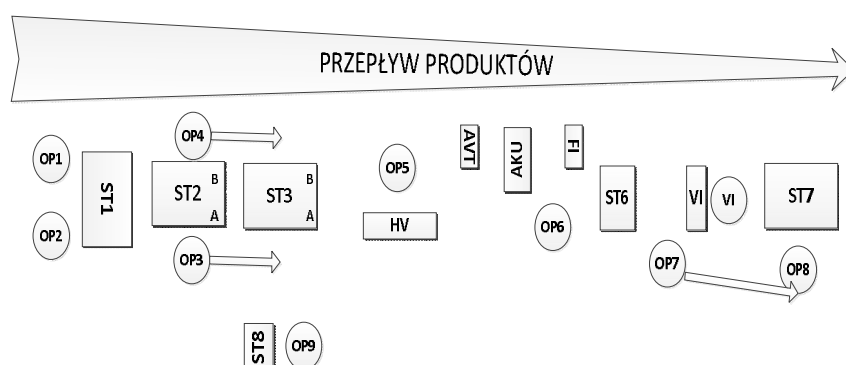
Zastosowane rozwiązania pozwoliły na przygotowanie nowej organizacji pracy na linii, którą przedstawia rysunek 8.

Złożone procesy produkcyjne wymagają dobrej organizacji pracy. Widoczne to jest szczególnie w pierwszym okresie po wdrożeniu rozwiązań. Różnica w wyszkoleniu operatorów, złożoność nowych rozwiązań i przełamywanie barier zmian może prowadzić do dużych różnic w czasie pracy pracowników. Bardzo ważna jest prezentacja na bieżąco osiągniętych wyników pracy. W tym celu zastosowano rozwiązanie nazwane w organizacji „WinNoWin”. Jest to oprogramowanie współpracujące z systemem raportowania produkcji na linii produkcyjnej. Obrazuje ono online sytuację na linii produkcyjnej.

Prace projektowe zakończyło opracowanie mapy VSM zakładającej wprowadzenie wszystkich usprawnień na linii produkcyjnej. Przeprowadzenie prac analitycznych, projektowych i wdrożeniowych zajęło 15 dni roboczych. Uzyskane wyniki po wdrożeniu zmian i stopień realizacji celów przedstawia tabela 6.



Rys. 7. Wykres Yamazumi dla Ekranu A - stan po zmianach
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań



Rys. 8. Nowa organizacja pracy na linii produkcyjnej - Ekran A.
źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych prac projektowych

Tab.6. Zestawienie wyników zmian

Oznaczenie	Jednostki	Stan początkowy	Cel	Wynik	Realizacja celu
Produkcja_A	szt./zmianę	32	50	50	100%
HC	liczba	10	9	9	100%
Produktywność_A	szt./operator	3,2	5,6	5,6	100%
Liczba_ST	Szt.	8	6	6	100%
TOH	dni	1432	500	500	100%
5S	%	87	95	93	75%

źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań

Jak można zauważyć wdrożone rozwiązania pozwoliły na osiągnięcie założonych celów. Jedynym obszarem wymagającym usprawnień jest organizacja stanowisk pracy

4. Wnioski

Z punktu widzenia przepływu materiałów, poziomu zapasów i wykorzystania zasobów szczególnie korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie w procesie produkcji ciągłego przepływu. Raz zaprojektowany i funkcjonujący system produkcyjny podlega dalszemu doskonaleniu. Jego potrzeba może wynikać ze zmian zapotrzebowania klienta i wymagań rynku lub kultury organizacyjnej i wewnętrznych nacisków na poprawę efektywności funkcjonowania.

Doskonalenie wymaga dobrego rozpoznania obecnej sytuacji. Wiąże się to z określeniem kluczowego parametru ciągłego przepływu jakim jest takt produkcji oraz poziomu zbalansowania linii lub gniazda produkcyjnego. Niezbędna przy tym staje się szczegółowa analiza przebiegu operacji w celu zidentyfikowania występującego marnotrawstwa. Jego wyeliminowanie przekłada się na potrzebę ponownego zaprojektowania gniazda lub linii produkcyjnej i zaplanowania jego pracy. Dobre efekty można przy tym uzyskać stosując rozwiązania organizacyjne z zakresu koncepcji Lean. Jak potwierdza przedstawiony w niniejszym artykule przykład rozwiązania te wymagają zaangażowania pracowników, natomiast nie muszą wiązać się ze znaczącymi nakładami finansowymi. Mogą przynieść istotną poprawę produktywności pracy i obniżenie poziomu zapasów.

Literatura

1. Womack J.P., Jones D.T.: Lean Thinking - szczupłe myślenie. ProdPress.com, 2008.
2. Hadaś Ł., Cyplik P.: Theory of Constraints i Lean Production. Idea, narzędzia, praktyka zastosowania, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2013.
3. Rother M., Shook J.: Learning to see. Value stream mapping to create value and eliminate muda. The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, 1999.
4. Czerska J.: Pozwól płynąć swojemu produktowi. Tworzenie ciągłego przepływu. Placet, Warszawa, 2011.
5. Balle F., Balle M.: Kopalnia złota. Powieść o zarządzaniu firmą w oparciu o Lean Management, Wyd. Lean Enterprise Institute Polska, 2013.
6. Czerska J.: Podstawowe narzędzia Lean Manufacturing. LeanQ Team, Gdańsk, 2014.
7. The Productivity Press Development Team: Kanban for the Shopfloor. Productivity Press, Portland, 2002.
8. Rother M., HarrisR.: Creating continuous flow. An action guide for managers engineers & production associates. Wyd. Lean Enterprise Institute, Cambridge, 2001.
9. Grzechca W.: Metoda doboru i oceny struktury linii montażowej. Mechanik 7/2014, s.209-216.

Dr inż. Jolanta ŁOPATOWSKA

Inż. Jerzy JAROŃSKI

Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego
Politechnika Gdańska

80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12

tel./fax: (0-58) 3472228

e-mail: Jolanta.Lopatowska@zie.pg.gda.pl

jurekjaronski@gmail.com