



Szczupłe praktyki (cz.2)

Tomasz Koch,
Tomasz Sobczyk,
Sebastian Oleksy
Centrum Zaawanso-
wanych Systemów
Produkcyjnych (CAMT),
Instytut Technologii
Maszyn i Automatykacji
Politechniki
Wrocławskiej
(<http://www.camt.pl>)

W pierwszej części artykułu („Top Logistyk” nr 4/08, s. 56) przedstawiona została ogólna charakterystyka koncepcji Lean Manufacturing, uważanej w świecie za najskuteczniejszą metodę podnoszącą produktywność i zmniejszającą jednocześnie marnotrawstwo w przedsiębiorstwie. Znana od wielu lat na Zachodzie koncepcja efektywnej produkcji robi błyskawiczną karierę w Polsce. Kluczową techniką w drodze do odchudzonej produkcji jest proces tworzenia mapy stanu przyszłego, który pozwoli optymalizować przepływ materiału i informacji w strumieniu wartości.

Czas taktu

Czas taktu to średni czas, co jaki klient zamawia w firmie jedną sztukę wyrobu gotowego, wchodzącego w skład analizowanej rodziny produktów. Obliczenie tej wielkości pozwala na określenie średniego tempa zamówień składanych przez klienta. Czas taktu jest liczbą referencyjną, z którą można porównywać tempo produkcji wzdłuż kolejnych ogniw strumienia wartości. Wartość czasu taktu otrzymuje się dzieląc efektywnie dostępny czas przypadający na jedną zmianę produkcyjną (czas trwania zmiany pomniejszony o przysługujące załozde przerwy itp.), przez śred-

nią wielkość zamówienia klienta przypadającą na pojedynczą zmianę produkcyjną. Czas taktu nie może natomiast uwzględniać przestojów będących wynikiem awaryjności, przebrojeń i innych zjawisk zakłócających funkcjonowanie poszczególnych ogniw systemu produkcyjnego. Czas taktu może się różnić dla różnych procesów w przypadku, kiedy są one dostawcami wewnętrznymi innych rodzin produktów.

Czas cyklu, a więc faktyczne tempo produkcji kolejnych procesów, wyznaczany jest z kolei na podstawie pomiarów dokonanych bezpośrednio w systemie produkcyjnym. Jest to przedział czasu,



zasobów produkcyjnych stało się adekwatne do potrzeb zgłaszanych przez klienta. Na tym etapie analizy szczególną uwagę należy zwrócić również na te ogniwa systemu produkcyjnego, których czas cyklu przewyższa czas taktu. Oznacza to, że system produkcyjny przedsiębiorstwa czy też poszczególne jego ogniwa nie są w stanie zaspokoić wymagań klienta wynikających z wielkości i tempa zamówień. Kompensowane jest to zwykle pracą załogi w nadgodzinach, powodującą dużą nierównomierność produkcji, zakłócenia w przepływie oraz naturalną tendencję do zabezpieczania się zapasami.

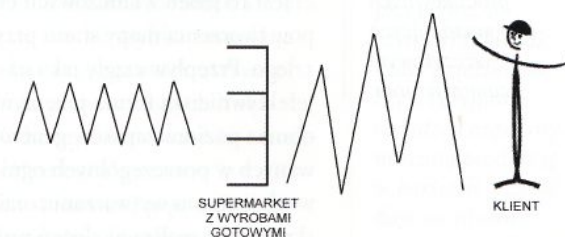
Ujawnione nieprawidłowości w funkcjonowaniu strumienia wartości na tle czasu taktu – a więc średniego tempa faktycznych zamówień – pozwalają ukierunkować działania na dostosowanie poszczególnych elementów systemu produkcyjnego do faktycznych potrzeb rynku. Kolejne etapy projektowania strumienia wartości (stanu przyszłego) służą zatem synchronizacji tempa faktycznej produkcji przedsiębiorstwa z tempem sprzedaży wzdłuż całego strumienia wartości danej rodziny wyrobów.

Określenie formy organizacji magazynu wyrobów gotowych

O zasadności określenia formy i zasad organizacji magazynu wyrobów gotowych stanowi potrzeba sprawnego zarządzania wyrobami o dużym stopniu przetworzenia (wartości dodanej) oraz bliskości względem klienta. Projekt strumienia wartości, bazujący na założeniu, iż przedsiębiorstwo jest w stanie produkować dokładnie według zamówień składanych przez klienta (bez potrzeby gromadzenia rezerw wyrobów gotowych), nie sprawdza się w przypadku, gdy rynek charakteryzuje się silnymi wahaniami w zamawianych ilościach. W takim modelu brak magazynu wyrobów gotowych spowodowałby konieczność utrzymywania mocy

produkcyjnych odpowiadających szczytowym zamówieniom. W sytuacji, kiedy średni poziom zamówień jest znacznie niższy, oznaczałoby to ich niewykorzystanie. Stąd strategią, jaką przyjmuje się w przypadku, kiedy strumień wartości jest zmuszony reagować na wahania rynkowe, jest zaprojektowanie magazynu wyrobów gotowych o kontrolowanym poziomie zapasów, przekazującego sygnały o bieżącym zapotrzebowaniu klienta do procesów odpowiedzialnych za ich uzupełnianie. Klient jest zaspakajany dzięki dostępności asortymentu w formie zapasów wyrobów gotowych, system produkcyjny z kolei uzupełnia asortyment w ilościach, które pobrał klient. Dzięki temu nie przenosi się zmienności powodowanej wahaniami sprzedaży na kolejne procesy w systemie produkcyjnym. Opisaną ideę przedstawiono schematycznie na rys. 4.

Ujawnione nieprawidłowości w funkcjonowaniu strumienia wartości na tle czasu taktu – a więc średniego tempa faktycznych zamówień – pozwalają ukierunkować działania na dostosowanie poszczególnych elementów systemu produkcyjnego do faktycznych potrzeb rynku. Kolejne etapy projektowania strumienia wartości (stanu przyszłego) służą zatem synchronizacji tempa faktycznej produkcji przedsiębiorstwa z tempem sprzedaży wzdłuż całego strumienia wartości danej rodziny wyrobów.



Tak więc w sytuacjach, w których utrzymywanie nadmiernych mocy produkcyjnych okazuje się bardziej kosztowne od podtrzymywania kontrolowanego poziomu zapasów wyrobów gotowych, korzystniej jest przyjąć model bazujący na rozwiązaniu, które określane jest mianem supermarketu wyrobów gotowych. Rozwiązanie to obala jednocześnie mylną, aczkolwiek dość rozpowszechnioną tezę, iż szczupła produkcja charakteryzuje się zerowym poziomem zapasów. Ustanowienie supermarketu wyrobów gotowych sprawia, że poziom zapasów wyrobów gotowych podlega kontroli ilościowej (rezerwy nie mogą przekroczyć limitów, natomiast poziom zapasów jest sygnałem do rozpoczęcia lub zaprzestania produkcji przez proces ▶

Rys. 4. Łagodzenie wahań rynkowych z wykorzystaniem idei systemu ssącego typu supermarket [8].

Projekt strumienia wartości, bazujący na założeniu, iż przedsiębiorstwo jest w stanie produkować dokładnie według zamówień składanych przez klienta (bez potrzeby gromadzenia rezerw wyrobów gotowych), nie sprawdza się w przypadku, gdy rynek charakteryzuje się silnymi wahaniami w zamawianych ilościach. W takim modelu brak magazynu wyrobów gotowych spowodowałby konieczność utrzymywania mocy produkcyjnych odpowiadających szczytowym zamówieniom.

zlokalizowany w górze strumienia wartości). Supermarket z wyrobami gotowymi musi oczywiście zostać sprzężony w toku dalszych prac z pozostałymi ogniwami strumienia wartości.

W sytuacji stabilnych i przewidywalnych zamówień korzystniejszym rozwiązaniem okazać się może wspomniana produkcja na zamówienie (tzw. produkcja na wysyłkę). Rozwiązanie takie będzie szczególnie uzasadnione w przypadku przedsiębiorstw, w których montaż w procesie dodawania wartości odgrywa bardzo istotną rolę kosztową lub też gdy występuje bardzo duża różnorodność wariantów wyrobów. Strategia taka wymusza zwykle poprawę elastyczności systemu montażowego, m.in. poprzez maksymalną redukcję czasów przebrojeń oraz poprawę kwalifikacji załogi.

Przepływ ciągły

Jest to jeden z kluczowych etapów tworzenia mapy stanu przyszłego. Przepływ ciągły jako najefektywniejsza forma przepływu obniża poziom zapasów generowanych w poszczególnych ogniwach systemu wytwarzania oraz skraca czas realizacji zleceń produkcyjnych. Jakkolwiek ustanowienie przepływu ciągłego w całym strumieniu wartości w perspektywie kilkunastu kolejnych miesięcy, ze względu na szereg uwarunkowań i ograniczeń, jest zwykle mało realne, to zmiany w zakresie poszczególnych jego ogniw przynoszą zwykle wiele korzyści. Podkreślić przy tym należy, iż zmiany te wspomagają analizowany strumień wartości przez pryzmat całego systemu wytwarzania, nie zaś w perspektywie jego pojedynczych procesów.

Doświadczenie pokazuje, że procesy montażu (a w szczególności montaż ręczny), stanowią zwykle najbardziej elastyczne ogniwa, które nie wymagają skomplikowanych i czasochłonnych przebrojeń. Przebrojenia – o ile występują – mogą zostać stosunkowo łatwo wyeliminowane, natomiast nietrudna w realiza-

cji reorganizacja stanowisk pracy pozwala na szybkie dostosowanie montażu do potrzeb organizacji przepływu ciągłego. Przepływ jednej sztuki wymusza elastyczność nie tylko samych stanowisk, lecz również załogi, której kwalifikacje muszą ulegać ciągłemu doskonaleniu. Dlatego ważnym aspektem przyjętego kierunku zmian są również działania zorientowane na podnoszenie świadomości pracowników.

Analiza systemu produkcyjnego z wykorzystaniem mapowania strumienia wartości ujawnia często problem, jakim staje się koordynacja przepływu pomiędzy stanowiskami zorganizowanymi w formie gniazd. Mimo iż są one łączone z myślą o usprawnieniu przepływu, to czynniki takie jak czasy przebrojeń czy awaryjność urządzeń często wymuszają produkcję w partiach. Często daje się również zauważyć brak sprzężenia z procesami zlokalizowanymi zarówno w górze, jak i w dole strumienia wartości. Innym elementem niepoprawnego funkcjonowania tego typu gniazd jest brak zbilansowania kolejnych operacji wynikający z różnej wydajności maszyn. Co ciekawe, często okazuje się, iż potrzeby klienta mogą zostać z powodzeniem zaspokojone przez spowolnienie tempa produkcji na urządzeniach o wysokiej wydajności. W każdym systemie produkcyjnym istnieją również takie procesy, których nie daje się połączyć z pozostałymi w formie przepływu ciągłego. Dlatego muszą one zostać zintegrowane z systemem wytwarzania za pomocą systemu ssącego.

Przepływ materiałów i informacji na zasadzie ssania

System ssący typu supermarket to forma zintegrowania procesów zlokalizowanych w górze danego strumienia wartości, o ile nie mogą one zostać połączone w formie przepływu ciągłego. Celem stosowania systemu ssącego typu supermarket jest utrzymywanie

kontrolowanych zapasów pomiędzy kolejnymi operacjami oraz przekazywanie sygnału produkcyjnego procesom zlokalizowanym w górze strumienia wartości. System ssący typu supermarket wymusza więc potrzebę utrzymywania pewnej ilości zapasów, których wielkość zależy od uwarunkowań zarówno dostawcy, jak i klienta (wewnętrznego i zewnętrznego). W praktyce procesami, które trudno jest zorganizować w formie przepływu ciągłego i które powinny zostać połączone za pomocą supermarketów, są procesy wymagające długich przebrojeń, procesy, które dzieli znaczny dystans od swojego następcy w dole strumienia wartości, procesy wymagające wsadów w partiach oraz te, które nie są w 100 proc. niezawodne. Po stronie czynników uzasadniających wprowadzenie systemu ssącego, leżących po stronie klienta, można wyróżnić wielkość pobieranej partii wyrobów oraz wahania w realizowanych zamówieniach. Za przykład posłużyć mogą procesy obróbki cieplnej, przetwórstwo tworzyw sztucznych, procesy wykonywane przez kooperantów oraz specjalizowane procesy obróbki mechanicznej o stosunkowo długich czasach przebrojeń, zasilające szereg strumieni wartości w przedsiębiorstwie (różne rodziny produktów).

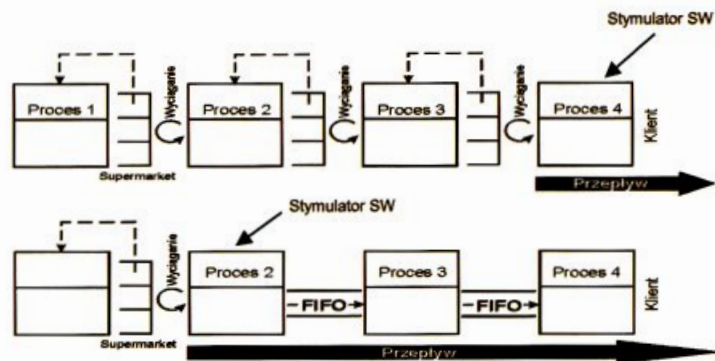
Ustanowienie supermarketów daje możliwość sterowania mniejszymi partiami, przez co osiąga się sprawniejszą koordynację przepływu wewnątrz całego strumienia wartości oraz znacząco wpływa na redukcję zapasów produkcji w toku. Problem długich czasów przebrojeń w konfrontacji z koniecznością częstych zmian asortymentowych oraz sprzedaży małych partii to kluczowe zagadnienie, jakie ma zasadniczy wpływ na wielkość zapasów w systemie produkcyjnym. Mimo iż ustanowienie supermarketu sprzyja kontrolowaniu wielkości zapasów, to obniżanie czasów przebrojeń przyczynia się

do obniżenia poziomu utrzymywanych zapasów. Dlatego wiele działań usprawniających zorientowanych jest właśnie na skracanie czasów przebrojeń celem płynniejszej i bardziej elastycznej realizacji zamówień klienta.

Sterowanie strumieniem wartości z jednego punktu w systemie

Wspomniana przy okazji omawiania systemu ssącego możliwość przekazywania sygnału produkcyjnego procesom zlokalizowanym w górze strumienia wartości daje możliwość wytypowania procesu, który jako jedyny zarządzać będzie obiegiem informacji produkcyjnej w całym strumieniu wartości. Pełni on rolę tzw. stymulatora strumienia wartości, czyli procesu, do którego jako do jedynego wysyłany jest harmonogram produkcyjny i który wyznacza tempo produkcji poprzez przekazywanie sygnału produkcyjnego do procesów zlokalizowanych zarówno w górze (poprzez system ssący), jak i w dole (za pomocą kolejek FIFO) strumienia wartości. Koncepcję stymulatora strumienia wartości schematycznie przedstawiono na rys. 5.

Na proces stymulatora typowane są zazwyczaj procesy zlokalizowane najbliżej klienta, co pozwala szybko reagować na jego bieżące zamówienia. W układzie, gdy stymulator stanowi montaż końcowy, produkcja realizowana jest na wysyłkę, a montaż odbywa się na zamówienie. Warunkiem koniecznym, jaki musi spełniać proces wskazany jako stymulator strumienia wartości, jest, aby jego czas przebrojeń był bliski 0. Ponadto w górze strumienia wartości począwszy od stymulatora muszą znajdować się supermarkety przekazujące sygnał produkcyjny (system ssący). Nie mogą się one z kolei znajdować w dole stymulatora za wyjątkiem supermarketu wyrobów gotowych. Jeśli stymulator jest procesem zlokalizowanym w środku strumienia



Rys. 5. Dwa warianty sterowania strumieniem wartości z jednego punktu w przepływie [8].

wartości, przekazywanie sygnału produkcyjnego w dół strumienia odbywa się na zasadzie kolejki FIFO.

Odpowiednie zarządzanie stymulatorem strumienia wartości (poziomowanie produkcji i mieszanie asortymentu), pozwala na redukcję zapasów produkcji w toku w przekroju całego strumienia wartości.

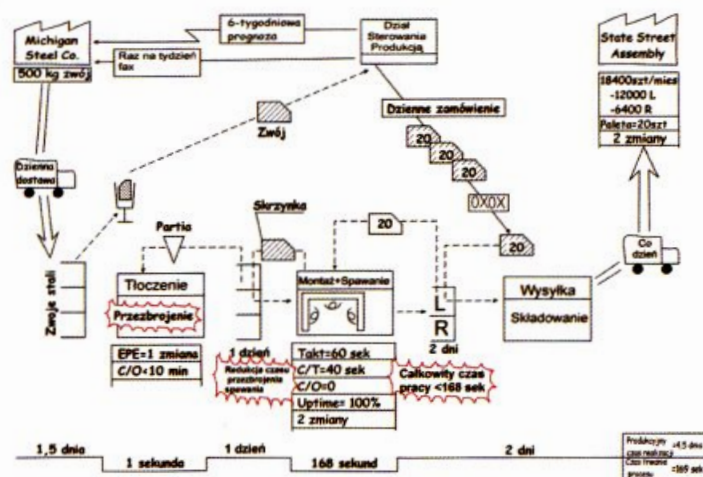
Potrzeba mieszania i poziomicowania produkcji w stymulatorze

W przypadku, kiedy wytworzona produkcja przekazywana jest do supermarketu wyrobów gotowych, należy dodatkowo zastosować mechanizm poziomicowania produkcji i mieszania asortymentu. Wynika to z faktu, iż zamówienia klienta są zwykle realizowane jednorazowo (raz na dzień lub raz na kilka dni). Jednorazowe opróżnienie magazynu wyrobów gotowych mogłoby spowodować uruchomienie produkcji kolejnych asortymentów w partiach odpowiadających wielkości pobranych wyrobów

gotowych. Dla przykładu, zakup 10 partii wyrobu A i 20 partii wyrobu B spowodowałby uruchomienie produkcji kolejno 10 partii wyrobu A i 20 partii wyrobu B. Aby zabezpieczyć się przed zmianami w poziomie zamówień klienta, korzystniejszym byłoby jednak rozwiązanie polegające na mieszaniu asortymentu poprzez uwalnianie mniejszych partii produkcyjnych według reguły ABBABBABB itd. Dzięki temu nagła i nieprzewidywalna zmiana w zamówieniach klienta może zostać szybko zaspokojona bez konieczności utrzymywania podwyższonych buforów bezpieczeństwa. Mieszanie asortymentu powinno być również stosowane w przypadku, gdy produkcja odbywa się na wysyłkę według analogicznego schematu.

Omówione projekty zmian zostają odwzorowane na mapie stanu przyszłego, przy czym zachowana zostaje perspektywa „od drzwi do drzwi”. Przykładową mapę stanu przyszłego przedstawiono na rys. 6.

Analiza systemu produkcyjnego z wykorzystaniem mapowania strumienia wartości ujawnia często problem, jakim staje się koordynacja przepływu pomiędzy stanowiskami zorganizowanymi w formie gniazd. Mimo iż są one łączone z myślą o usprawnieniu przepływu, to czynniki takie jak czasy przebrojeń czy awaryjność urządzeń często wymuszają produkcję w partiach. Często daje się również zauważyć brak sprzężenia z procesami zlokalizowanymi w górze, jak i w dole strumienia wartości.



Rys. 6. Przykład mapy stanu przyszłego [4].

System ssący typu supermarket to forma zintegrowania procesów zlokalizowanych w górze danego strumienia wartości, o ile nie mogą one zostać połączone w formie przepływu ciągłego. Celem stosowania systemu ssącego typu supermarket jest utrzymywanie kontrolowanych zapasów pomiędzy kolejnymi operacjami oraz przekazywanie sygnału produkcyjnego procesom zlokalizowanym w górze strumienia wartości.

System ssący typu supermarket wymusza więc potrzebę utrzymania pewnej ilości zapasów, których wielkość zależy od uwarunkowań zarówno dostawcy, jak i klienta



Podsumowanie

Mapowanie strumienia wartości jest metodą stosunkowo nową, jej nowatorstwo zaś polega na możliwości zobrazowania przepływu materiałowo-informacyjnego dla poszczególnych rodzin produktów przedsiębiorstwa w perspektywie wszystkich kroków produkcyjnych, począwszy od surowca, a skończywszy na wyrobie gotowym. Podejście

takie umożliwia przyjrzenie się istniejącym problemom produkcyjnym z perspektywy systemu wytwarzania jako całości, włączając w ten proces zarówno dostawcę, jak i klienta. Metoda przełamuje więc paradygmat widzenia przepływu z perspektywy pojedynczych ogniw produkcyjnych. Dzięki możliwości analizy systemu produkcyjnego z tej perspektywy wypracowane zmiany

w strukturze systemu wytwarzania poprowadzą do usprawnienia przepływu w całym strumieniu wartości, uwidaczniając możliwości w zakresie redukcji zapasów produkcji w toku i wyrobów gotowych, jak również możliwe do osiągnięcia skrócenie czasu przebywania wyrobu w systemie wytwarzania.

Większość zmian wypracowanych na etapie mapowania stanu przyszłego ma zwykle charakter czysto organizacyjny i może się dokonać bez ingerencji w istotę wykorzystywanych procesów technologicznych. Podsumowując, nośnikami zmian, które stanowią o kształcie przyszłych strumieni wartości, są: przepływ ciągły, sterowanie na zasadzie systemu ssącego oraz zarządzanie strumieniami wartości poprzez stymulator. Odejście od systemu opartego na pchaniu materiałów, przepływ jednej sztuki oraz sterowanie strumieniem z jednego punktu w systemie pozwala na efektywniejsze zarządzanie zasobami, obniżenie zapasów oraz przyspieszone przejście materiału przez system produkcyjny.

Literatura

- 1 WOMACK J.P., JONES D.T., ROOS D., *The Machine That Changed the World*, Rowson Associates, New York 1990.
- 2 WOMACK J.P., JONES D.T., *Lean thinking – Banish waste and create wealth in your corporation*, Simon & Schuster, New York 1996.
- 3 WOMACK J.P., JONES D.T., *Odchudzanie firm – Eliminacja marnotrawstwa kluczem do sukcesu*, CIM, Warszawa 2001.
- 4 ROTHER M., SHOOK J., *Learning to see – value stream mapping to create value and eliminate muda*, The Lean Enterprise Institute, Brookline Massachusetts, USA 1999.
- 5 <http://www.lean.org/>.
- 6 MACDUFFEE D., *What is Lean Manufacturing*, Lean Manufacturing, 6 czerwca 2000, materiały konferencyjne, WCTT PWR, Wrocław 2000.
- 7 LICHTARSKI J. (red.), *Podstawy nauki o przedsiębiorstwie*, wydanie 4, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. O. Langego, Wrocław 2001.
- 8 ROTHER M., SHOOK J., *Training to See*, The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, USA 2000.
- 9 KOCH T., *Lean Manufacturing, czyli jak wdrażać konkurencyjność*, II Konferencja Lean Manufacturing, materiały konferencyjne, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002.
- 10 SOBczyk T., OLEKSY S., *Współpraca Politechniki Wroclawskiej z przemysłem – doświadczenia z warsztatów „Mapowanie Strumienia Wartości”*, II Konferencja Lean Manufacturing, materiały konferencyjne, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002.