

Łukasz Hadaś, Agnieszka Stachowiak, Piotr Cyplik¹
Politechnika Poznańska

Systemy sterowania zaopatrzeniem materiałowym hali produkcyjnej – teoria i praktyka zastosowania

Klasyczny podział fazowy dzieli logistykę na sferę zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji. W każdej z tych sfer logistyka odbiła swoje optymalizacyjne piętno we współczesnych przedsiębiorstwach. W obszarze zaopatrzenia wysiłki logistyków skupione są głównie na procesach wyboru dostawców oraz zarządzania zapasami z uwzględnieniem ograniczeń rynkowych. W obszarze dystrybucji logistyka koncentruje się na obsłudze klienta poprzez kształtowanie poziomu obsługi w kanałach dystrybucji z uwzględnieniem kosztów transportu i utrzymania zapasu. Tu najsilniejsze są związki logistyki z marketingiem poprzez umiejętną realizację funkcji przed-, po- i transakcyjnych. Z kolei w obszarze logistyki produkcji możemy wyróżnić działania związane z:

- optymalizacją transportu wewnętrznego
- sterowaniem przepływem surowców, materiałów i półfabrykatów
- optymalizacją rozmieszczenia stanowisk i miejsc składowania.

Optymalizacja transportu wewnętrznego opiera się na doborze środków transportowych oraz wyznaczaniu dróg transportowych. Podstawową tych optymalizacji jest analiza kierunków i intensywności przepływu strumieni materiałowych na hali produkcyjnej oraz podatność transportowa materiałów i półwyrobów na różnych fazach produkcji. Na podobnych przesłankach opiera się optymalizacja rozmieszczenia stanowisk i miejsc składowania. W kwestii rozmieszczenia stanowisk, analizy te są jednak zwykle bardziej pogłębione, ponieważ uwzględnia się w nich wymagania i ograniczenia technologiczne oraz zdolność obciążeniową operacji dla poszczególnych grup stanowisk (technologicznie zastępowalnych). Ze względu na współzależność kwestii decydujących o rozmieszczeniu stanowisk oraz optymalizacji dróg transportowych częstą praktyką jest realizacja kompleksowego projektu logistycznego w tym zakresie, określanego jako *layout* hali produkcyjnej.

Sterowanie przepływem surowców, materiałów i półfabrykatów na hali produkcyjnej (oraz z i do magazynów ją obsługujących) jest funkcją logistyczną najsilniej powiązaną z planowaniem i sterowaniem przepływem strumieni produkcji. Projektując system sterowania przepływem produkcji podejmuje się szereg decyzji związanych z zarządzaniem zapasami na poszczególnych etapach produkcji. W ujęciu logistycznym są to decyzje związane z działaniem systemu odnawiania zapasów, czyli odpowiedzią na klasyczne pytania: co? kiedy?

ile? oraz gdzie? powinno być dostarczone na wybrane miejsce hali produkcyjnej, tak aby zachować ciągłość procesu produkcji bez nadmiernej koncentracji zapasów. Sposób realizacji tego zagadnienia zależy od wielu czynników, między innymi takich jak: wielkość i zmienność programu produkcji, forma organizacji jednostki produkcyjnej czy przyjęta strategia logistyczna w zakresie lokalizacji punktu rozdziału.

Oczywiście, zarówno w obszarze zaopatrzenia, produkcji, jak i dystrybucji realizuje się również funkcje związane z gospodarką magazynową, gdzie także nie należy zapominać o istotnym wkładzie logistyki – tak w zakresie infrastruktury, jak i zarządzania logistycznego.

Poniższy artykuł omawia kwestie związane z wybranym aspektem szeroko rozumianej logistyki produkcji, jakim jest zasilanie materiałowe hali produkcyjnej. Autorzy przedstawili tu rozważania teoretyczne oraz wybrane doświadczenia praktyczne, zdobyte w procesie projektowania systemów logistycznych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, charakteryzujących się dużą zmiennością programów produkcji, a co za tym idzie – różnorodnością strumieni materiałowych.

Systemy sterowania zaopatrzeniem hali produkcyjnej

Wybór metody sterowania zaopatrzeniem hali produkcyjnej ma bezpośredni wpływ na ostateczną postać systemu produkcyjno – logistycznego. Realizacja zadania zaopatrzenia procesu produkcyjnego w materiały, części i podzespoły potrzebne do produkcji, tak zwanego wewnętrznego zapotrzebowania materiałowego, różni się zasadniczo tym, czy jest ono sterowane zapotrzebowaniem czy zużyciem, oraz czy zaopatrzenie jest sprowadzane przez pracownika do danego stanowiska pracy, czy dostarczane przez wyspecjalizowanych w tym zadaniu pracowników (zob. np. [7]).

Zaopatrzenie materiałowe hali produkcyjnej sterowane zapotrzebowaniem oznacza, że:

- zapotrzebowanie na materiały określa się na podstawie planu produkcji
- sporządza się kwity pobrań materiału z magazynu, na podstawie których pobiera się materiał z magazynu
- materiał jest kompletowany w magazynie zgodnie z wielkością zlecenia i kierowany dalej do jednostki produkcyjnej.

¹ Dr inż. Ł. Hadaś, dr inż. A. Stachowiak, dr inż. P. Cyplik pracują w Katedrze Zarządzania Produkcją i Logistyki na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Artykuł recenzowany (*przyp. red.*).

Jest to scentralizowana forma sterowania produkcją, ponieważ zaopatrzenie hali produkcyjnej powiązane jest z scentralizowanym planem produkcji (zwykle głównym harmonogramem produkcji i jego uszczegółowieniami w postaci planów uruchomień oraz listą materiałową dla danych pozycji asortymentowych). Komunikacja w tej metodzie dokonuje się na podstawie klasycznych dokumentów rozchodu materiałowego (RW) i wymaga dużej liczby dokumentów na etapie jej realizacji.

Zaopatrzenie materiałowe hali produkcyjnej sterowane zużyciem oznacza, że:

- przepływ materiału zawsze jest spowodowany przez zużycie w jednostce produkcyjnej
- przepływ materiału dokonuje się zatem na zasadzie „wyciągania” („pull”) przez stanowiska, co dzieje się neutralnie względem zamówień produkcyjnych, to znaczy materiał nie jest sprowadzany na określone zamówienie.

Zaopatrzenie materiałowe sterowane zużyciem jest zatem zdecentralizowaną formą sterowania produkcją, ponieważ pracownicy zużywając materiał na stanowiskach jednocześnie sygnalizują potrzebę jego uzupełnienia zgodnie z tempem ich pracy. System dobrze sprawdza się w przypadku produkcji potokowej, seryjnej oraz dla operacji montażowych, gdzie mamy do czynienia z dużą liczbą części i strumieni materiałowych koncentrujących się w tej fazie. Zarządzanie zapasami przy stanowiskowymi częściami i materiałów realizowana jest tu według zasady sterowania ilością odpływającą, to znaczy wielkość dopływu jest zależna od wielkości odpływu (konkretnie w tym przypadku od wielkości popranej do zużycia). Praktyczna realizacja tej zasady sterowania odbywa się przy zastosowaniu tak zwanego [7]:

- „systemu dwóch pojemników”, co oznacza, że na każdym stanowisku znajdują się po dwa pojemniki przeznaczone na każdą potrzebną część. Po zużyciu pierwszego pojemnika, zbierany jest on przez operatora transportu, co stanowi sygnał zapotrzebowania na podstawie którego dostarczany jest nowy pojemnik z częściami
- „systemu jednego pojemnika” (z użyciem tak zwanej karty Kanban, zwanej również kartą „pull”), gdzie w pojemniku znajduje się „karta zużycia”. W przypadku pobrania pojemnika z częściami przez pracownika, wyciągana jest również z niego karta zużycia i odkładana na miejsce widoczne dla operatora transportu, stanowiąc sygnał zapotrzebowania na materiał.

W praktyce karta Kanban może zostać zastąpiona sygnałem przekazywanym drogą elektroniczną (na przykład w ramach systemu Andon lub niezależnie). Niezależnie jednak od formy realizacji tego systemu sterowania zaopatrzeniem materiałowym, kluczowa jest tu prostota funkcjonowania oraz małe zapotrzebowanie na dokumentację na etapie jej realizacji. Z kolei, z punktu widzenia sterowania procesem produkcji, najistotniejsza jest efektywna kontrola poziomu robót w toku, co wynika tu z przewagi przepływu według logiki „pull” w stosunku do logiki „push” (zob. np. [3],[4]).

Praktyczne aspekty zastosowania koncepcji sterowania zaopatrzeniem

Segmentacja pozycji asortymentowych oraz określenie zasad zarządzania nimi.

Podjęte prace w przedsiębiorstwie produkcyjnym w celu reorganizacji systemu produkcyjno – logistycznego w ramach podniesienia jego efektywności, na wydziale montażu obejmowały między innymi projekt systemu sterowania zaopatrzeniem w części do montażu. Analizując dotychczasową praktykę przedsiębiorstwa w tym zakresie podjęto decyzję o przejściu z systemu zarządzania zaopatrzeniem materiałowym w oparciu o zapotrzebowanie na system zarządzania zaopatrzeniem materiałowym w oparciu o zużycie. Główny cel, jaki postawiono w projekcie, to:

- eliminacja marnotrawstwa braku dostępności materiału
- ograniczenie czynności administracyjnych (związanych z edycją i archiwizacją dokumentacji dotyczącej procesu).

Była to największa słabość tradycyjnie funkcjonującego systemu, opartego na zcentralizowanym sterowaniu zaopatrzeniem z opcją samodzielnego sprowadzania materiałów przez pracowników danych stanowisk pracy.

Pierwszym krokiem analizy jest analiza zapotrzebowania na części składowe w ujęciu ilościowym oraz czasowym (patrz np. [1],[2],[6]). Ze względu na dużą liczbę części składowych wynikających z dużej różnorodności asortymentowej wyrobów gotowych (zidentyfikowano około kilkadziesiąt pozycji sprzedawanych w okresie ostatnich kilku lat) nie istniała fizyczna możliwość zgromadzenia przy stanowiskach montażu wszystkich potrzebnych części w postaci regałów typu „supermarket”². W związku z tym należało posłużyć się rozwiązaniem hybrydowym, czyli mieszkanką systemu sterowania zapotrzebowaniem w oparciu o zapotrzebowanie i w oparciu o zużycie. W tym celu należało podzielić asortyment wyrobów gotowych w każdej z istniejących grup technologicznych (wyróżniono 17 grup z ich przedstawicielami) na pozycje:

- grupa „A” – o dużej liczbie produkowanych sztuk, a co za tym idzie, codziennej powtarzalności produkcji
- grupa „B” – o małej liczbie produkowanych sztuk i niskiej powtarzalności.

Grupa A powinna być obsługiwana według systemu zaopatrzenia sterowanego zużyciem, z pełną dostępnością części na stanowisku. Odnawianie części na stanowisku odbywa się w cyklu przeglądu dziennego lub zmianowego (zależnie od wielkości produkcji i liczby zmian roboczych na stanowisku). Sygnalizacja zużycia odbywa się na zasadzie systemu jednego lub dwóch pojemników (zasada działania omówiona powyżej).

Grupa B powinna być obsługiwana według systemu zaopatrzenia sterowanego zapotrzebowaniem. Części do montażu powinny być wydawane w sposób tradycyjny na podstawie zle-

² Supermarket – regał dostępny z dwóch stron (z magazynu części i ze stanowisk obróbczych), przygotowany by pomieścić pojemniki zgodne przyjętym standardem (o supermarketcie Autorzy piszą też w artykule „Racjonalizacja przepływu materiałów i informacji jako podstawa efektywnej logistyki produkcji – studium przypadku” w tym wydaniu „Logistyki” (przyp. red.).

ceń produkcyjnych. Można również zastosować zasadę wydawania według zleceń części dedykowanych, a tak zwane „normalia” (części znormalizowane i używane do wielu wyrobów) pozostawić dostępne na stanowisku.

Po dokonaniu segmentacji pozycji asortymentowych przystąpiono do określenia częstotliwości przeglądu i uzupełniania stanu części na stanowiskach dla pozycji sterowanych zużyciem (grupy A). W przypadku wymaganej dużej liczby sztuk potrzebnych do realizacji produkcji, a jednocześnie braku możliwości ich fizycznego zmieszczenia, należy zwiększyć częstotliwość dostaw na przykład poprzez wydzielenie podgrup w ramach wcześniej dokonanej segmentacji:

- grupa „A1” – dostawy co godzinę
- grupa „A2” – dostawy zmianowe
- grupa „A3” – dostawy codzienne.

Częstotliwość ta powinna być modyfikowana w zależności od zmian programu produkcji wynikających na przykład z istotnego wzrostu liczby zamówień w sezonie popytowym. Następnie należy dokonać wydzielenia części wspólnych i części dedykowanych pod konkretne pozycje asortymentowe, co powinno istotnie zredukować wymaganą różnorodność części przy stanowiskach pracy.

W kolejnym kroku wdrażania koncepcji należy określić zasady ewidencji rozchodu materiałowego. Ponieważ system zaopatrzenia materiałowego sterowanego zużyciem w komórce montażowej nie zakłada wydań części w oparciu o plany produkcyjne i kwity pobraną z magazynu (w celu uproszczenia procesu), istnieje potrzeba czasowej weryfikacji liczby wydawanych części. Należy zastosować procedurę „wstecznego wyliczenia liczby części składowych” (ang. „back flushing”). Stan rzeczywisty części (spis z natury) porównywany jest z liczbą części, która powinna zostać zużyta do montażu. W tym ce-

lu, na podstawie zrealizowanych zleceń produkcyjnych, wylicza się „wstecznie” liczbę części, która powinna zostać zużyta do ich montażu i porównuje z rzeczywistym ubytkiem magazynowym. Procedura wykrywa ewentualne niezgodności, które mogą wynikać z:

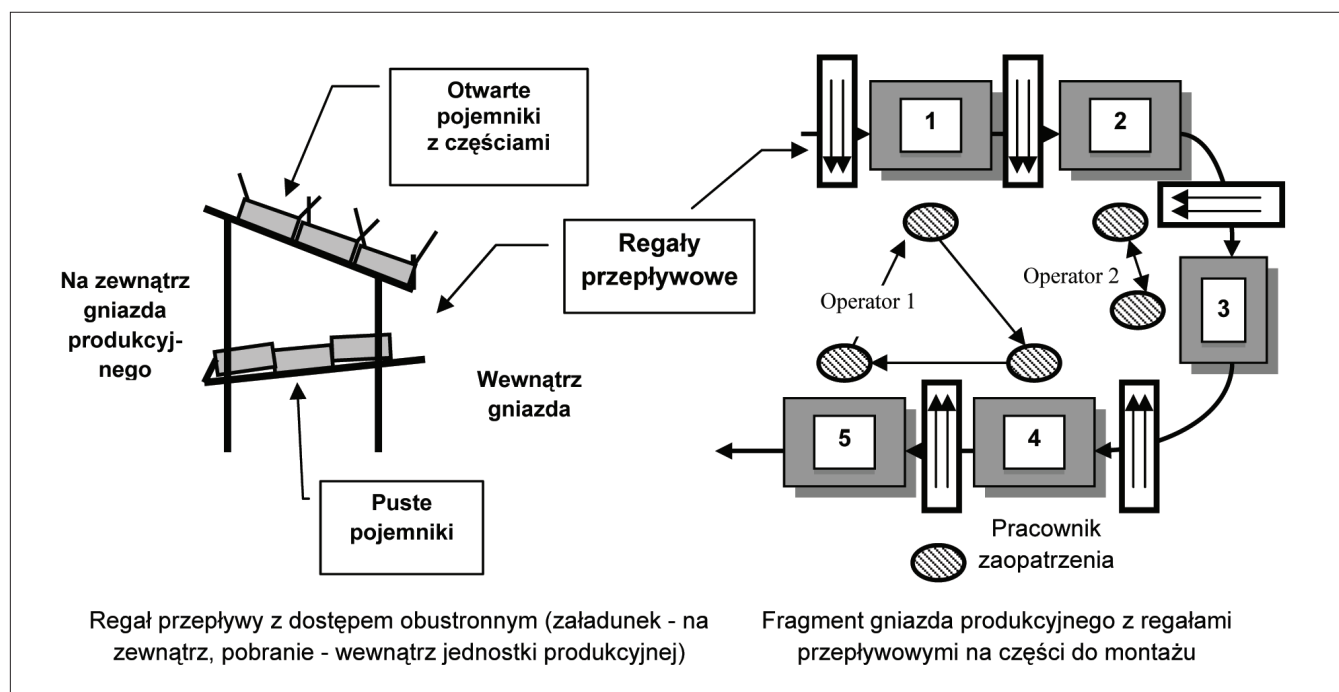
- nieprecyzyjnej struktury wyrobu (na przykład liczby wymaganych części składowych)
- kradzieży części ze stanowisk i magazynu.

Przeliczenie wsteczne powinno uwzględniać kwestię brakowości części oraz nieprecyzyjnego rozliczania liczby sztuk drobnych elementów typu normalia (pozycje rozliczane wagowo).

Fizyczna reorganizacja miejsca pracy.

Reorganizacja miejsca pracy (patrz na przykład [5]) polega na takiej jego organizacji, aby ograniczyć marnotrawstwo wynikające z utrudnionego dostępu do części oraz umożliwić łatwe ich uzupełnianie przez pracowników zaopatrzenia hali produkcyjnej.

Regały przepływowe pełnią istotną rolę w procesie ułatwienia dostępu do części czyli eliminacji marnotrawstwa w zakresie zbędnego ruchu. Pracownik montażu ma „na wyciągnięcie ręki” potrzebne części, a ich zużycie na stanowisku jest „widoczne gołym okiem”, co stanowi wizualny sygnał do uzupełnienia ich zapasu (analogia półki z przegródkami w supermarkecie). Uzupełnienie zapasu części odbywa się z kolei z zewnętrznej strony regału (patrz rysunek 1) przez pracownika transportu. Jeżeli nie ma możliwości zastosowania regałów przepływowych na przykład ze względu na brak miejsca (na przykład na podejście operatora transportowego na zewnątrz gniazda lub dużej liczby części, których nie można zmieścić w najbliższym sąsiedztwie stołu montażowego), można zastosować klasyczne regały z korytkami na części. Nie



Rys. 1. Regały przepływowe oraz ich rozmieszczenie w jednostce produkcyjnej z łatwym dostępem do części przez operatorów maszyn oraz pracowników zaopatrzenia. Źródło: opracowanie własne.



mniej ich uzupełnianie nie powinno utrudniać pracy pracownika montażu. W takim przypadku lepiej sprawdzi się system jednego pojemnika i karty Kanban. W sytuacji dużej różnorodności gabarytowej części można zastosować regały przepływowe dla drobnych części, a regały korytkowe wszędzie tam, gdzie liczba części (czyli zmienność asortymentowa) jest większa.

Oznaczenie pojemników.

Pojemnik używany w obrocie materiałowym powinien posiadać jednoznaczne oznaczenie zawartości dotyczące typu oraz ilości części, jak i miejsca docelowego, to znaczy gniazda montażu i półki w regale z częściami. Zaleca się używanie kolorów – dla wizualnej kontroli poprawnej identyfikacji części i jej przeznaczenia. Na przykład: jeden typ wyrobu = jeden kolor pojemników na części lub części „uniwersalne” (normalia) = jeden kolor, a części dedykowane do asortymentu (typu wyrobu) – różne kolory. Oczywiście według zasady, że wizualizacja ma pomagać w opanowaniu różnorodności, co ma dać w efekcie eliminację pomyłek i strat czasu na szukanie i identyfikację części.

Podsumowanie

Reasumując rozważania na temat zastosowania konkretnych systemów sterowania zaopatrzeniem materiałowym hali produkcyjnej należy stwierdzić, że ich wybór powinien być każdorazowo poprzedzony analizą charakterystyki asortymentowo – ilościowej zużywanych części. Mimo panującej w ostatnim okresie swoistej „mody” na systemy sterowania zużyciem (wraz z narzędziem Kanban) należy jednoznacznie stwierdzić, że nie zawsze i nie w każdych warunkach jest to rozwiązanie optymalne. Interesującą alternatywą jest tu zastosowane rozwiązanie hybrydowego, łączącego oba z analizowanych systemów. Podział na pozycje asortymentowe obsługiwane jednym lub drugim z systemów może przebiegać zarówno na podstawie

analizy charakterystyki ilościowo – czasowej produkcji wyrobów gotowych, jak i na podstawie charakterystyki części składowych i ich powtarzalności w całym strumieniu wyrobów gotowych.

Streszczenie

Artykuł prezentuje zarówno teoretyczne podstawy, jak i praktyczne aspekty funkcjonowania systemów sterowania zaopatrzeniem materiałowym hali produkcyjnej. Omówiona jest idea funkcjonowania systemów: sterowania zapotrzebowaniem oraz sterowania zużyciem (a także ich wpływ na logistykę produkcji w zakresie zapotrzebowania na transport), sterowania procesem uruchomień zleceń czy kontroli robót w toku. Przedstawione zostały też wybrane aspekty praktyczne w oparciu o proces implementacji w warunkach przedsiębiorstwa budowy maszyn o szerokim asortymencie wyrobów gotowych i restrukturyzującą jego wydziału montażu.

LITERATURA

1. Cyplik P., Hadaś Ł., Klasyfikacja asortymentów, czyli jak to się robi w przedsiębiorstwach MSP?, „Logistyka” nr 2/2008.
2. Hadaś Ł., Klimarczyk G., Wyniki analizy ABC/XYZ w przedsiębiorstwie montażowym o wysokim stopniu kastomizacji – studium przypadku, „Logistyka” nr 1/2010.
3. Hadaś Ł., Domański R., Mechanizmy kontroli poziomu robót w toku w systemach produkcyjnych wg koncepcji Lean Management i Theory of Constraints, „Logistyka” nr 2/2008, (artykuł w wersji elektronicznej na CD).
4. Hadaś Ł., Cyplik P., Analiza porównawcza logiki przepływu „Push”, „Pull”, „Pull/Push” w obszarze produkcji – wyniki badań, „Logistyka” nr 5/2007.
5. Hirano Hiroyuki, JIT Factory Revolution. A Pictorial Guide to Factory Design of The Future, Productivity Press, Portland, Oregon 1988.
6. Krzyżaniak S., *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, ILiM, Poznań 2005.
7. Pfohl H.-Ch., *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*, ILiM, Poznań 2001.

