

DYLEMATY SZCZUPŁEGO STEROWANIA PRZEBIEGIEM PRODUKCJI W PROCESACH PRZETWÓRCZYCH

Leszek BEDNARZ

Streszczenie: W artykule podjęto próbę ustalenia możliwości zastosowania zasad i metod szczupłego zarządzania (*Lean Management*) do usprawnienia sterowania przebiegiem produkcji w procesach przetwórczych, dominujących w wytwarzaniu określanym jako procesowe (*process manufacturing*). W oparciu o studia literaturowe skonkretyzowano i uporządkowano mechanizmy oraz modele szczupłego planowania i kontroli produkcji. Scharakteryzowano specyfikę produkcji procesowej oraz zaproponowano koncepcję wstępnego wyboru modelu szczupłego sterowania produkcją uwzględniającego istniejące uwarunkowania zewnętrzne i wewnętrzne.

Słowa kluczowe: sterowanie produkcją, lean management, procesy przetwórcze, produkcja procesowa

1. Wprowadzenie

System sterowania przebiegiem produkcji obejmujący fazę planowania (harmonogramowania) i fazę realizacji (uruchamiania, ewidencjonowania, kontrolowania i korygowania) powinien ułatwić znalezienie odpowiedzi na następujące kluczowe kwestie:

- Co zlecać do wytwarzania poszczególnym komórkom produkcyjnym (ogniwom wewnętrznego łańcucha dostaw)?
- Kiedy uruchamiać zlecenia produkcyjne i na kiedy planować terminy ich realizacji?
- Jaka powinna być wielkość zleceń produkcyjnych?
- Jakie działania należy podejmować, aby spełnić wymagania klientów odnośnie ilości
- czasu pomimo występujących zakłóceń?

Zmiany zachodzące na rynku, a w szczególności rosnące wymagania klientów odnośnie czasu i terminowości dostaw, elastyczności reagowania na specyficzne wymagania, przy stale występującej presji kosztów powodują, że sterowanie produkcją stwarza w praktyce wiele problemów [1]. Większość klasycznych systemów sterowania produkcją, a także dominujące współcześnie systemy planowania zasobów przedsiębiorstwa (*Enterprise Resource Planning-ERP*) nie są w stanie w pełni rozwiązać problemów związanych zapewnieniem wymaganego przez klientów poziomu logistycznej obsługi[2]. Jedną z przyczyn takiego stanu jest to, że systemy ERP w dużym stopniu oparte są na prognozach (szczególnie w odniesieniu do wyrobów finalnych) oraz funkcjonują na zasadzie „pchania” (*push*), tj. centralnego planowania zadań dla wszystkich ogniw łańcucha dostaw, które starają się zrealizować plan i „przepchnąć” produkcję do następnego ogniwa łańcucha dostaw niezależnie od rzeczywistych potrzeb.

Jednym z możliwych rozwiązań tych problemów może być zastosowanie innowacyjnych koncepcji opartych na zasadach szczupłego zarządzania (*Lean Management*) [3]. Biorą one swoje początki z systemu produkcyjnego Toyoty (*Toyota*

Production System) rozwiniętego w system produkcji „akurat na czas” (*Just in Time-JIT*). Według zasad szczupłego zarządzania odnoszących się do obszaru sterowania produkcją poszczególne ogniwa łańcucha dostaw powinny być planowane i działać zgodnie z następującymi zasadami szczupłego przebiegu produkcji [3]:

- ciągłego przepływu (*flow*) bez przestojów, a najlepiej pojedynczymi sztukami,
- ssania (*pull*), wytwarzania tylko tego, co w danym momencie potrzebuje odbiorca,
- poziomowania (*level*), tzn. równomiernego rozłożenia produkcji różnych wyrobów, w jak najkrótszych okresach czasu (dniach, zmianach, a nawet godzinach).

Rozwiązania oparte na tych zasadach z powodzeniem znalazły zastosowanie do usprawnienia sterowania produkcją i zapasami w różnych branżach, gdzie dominują procesy obróbczo-montażowe. Procesy tej kategorii powodują zmiany formy zewnętrznej, rozmiarów, cech powierzchni, składu przedmiotów pracy. Procesy obróbczo-montażowe charakterystyczne są dla przemysłu elektromaszynowego, odzieżowego, budownictwa, gdzie mamy do czynienia ze sztukowymi produktami wytwarzanymi w procesach określanych jako dyskretne (*discrete manufacturing*), a zachodzące transformacje przedmiotów pracy są na ogół uchwytnie dla obserwatora.

Wzywaniem jest wprowadzenie tych zasad w procesach przetwórczych, które „powodują przemiany własności fizykochemicznych surowców i często prowadzi do uzyskiwania zupełnie innych materiałów” [4 s.63], a zachodzące transformacje są najczęściej nieuchwytnie dla obserwatora. W wyniku tych procesów otrzymuje się różne produkty chemiczne, żywność, napoje, papier, materiały budowlane, szkło i porcelanę, gumę, energię. W literaturze zachodniej produkcję taką określa się jako procesową (*process manufacturing*). Według Amerykańskiego Stowarzyszenia Zarządzania Produkcją i Zapasami (APICS), produkcja procesowa jest rodzajem procesu gospodarczego polegającym na „zwiększaniu wartości materiału poprzez mieszanie, oddzielanie, formowanie lub reakcje chemiczne” [5]. Produkcja procesowa, którą można utożsamiać z procesami przetwórczymi, dominuje w takich branżach jak przemysł chemiczny, spożywczy, gdzie materiały w dominujących fazach przetwarzania występują w postaci mniej lub bardziej płynnej lub sypkiej (ciecz, zawiesina, proszek).

W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie jakie są możliwości zastosowania zasad i metod szczupłego sterowania produkcją w procesach przetwórczych oraz czym kierować się przy wyborze adekwatnego do istniejących uwarunkowań rozwiązania. W oparciu o studia literaturowe skonkretyzowano i uporządkowano mechanizmy i modele koncepcji szczupłego sterowania produkcją. Scharakteryzowano cechy specyficzne procesów przetwórczych mających wpływ na wybór, a następnie zaproponowano koncepcje wstępnego wyboru modelu szczupłego sterowania produkcją opartą na analizie czynników wpływających na ten wybór.

2. Analiza mechanizmów sterowania przebiegiem produkcji

W gospodarce rynkowej podstawowym czynnikiem wpływającym na sposób sterowania przebiegiem produkcji jest zapotrzebowanie klienta. Siła tego wpływu jest zróżnicowana w zależności od występującego mechanizmu zaspakajania popytu. W produkcji na zamówienie (*Make To Order-MTO*) sfera zbytu włączona jest w sferę wytwarzania. Konkretnie zamówienie klienta jest bezpośrednim sygnałem do rozpoczęcia produkcji. W zasadzie nie ma potrzeby tworzenia zapasów, ponieważ produkcję uruchamia się tylko w momencie wystąpienia zapotrzebowania ze strony klienta. W wypadku, gdy klient składa zamówienie z dużym wyprzedzeniem, pozwalającym na zakup surowców i

realizację kolejnych faz produkcji, planowanie przyszłych zadań jest w dużym stopniu ułatwione, dzięki wyeliminowaniu ryzyka zawsze związanego z prognozowaniem popytu.

Sytuacja przedstawia się mniej korzystnie, gdy walka konkurencyjna wymusza konieczność realizacji zamówień klientów w czasie krótszym niż wynosi łączny czas realizacji procesu zaopatrzenia i produkcji. Z tym zjawiskiem coraz częściej mamy do czynienia w wielu branżach produkcji procesowej. W takiej sytuacji koniecznym staje się wprowadzenie produkcji na zapas (*Make To Stock-MTS*), gdzie prognozy popytu stają się istotnym źródłem informacji o zapotrzebowaniu klientów. Występują tutaj dwa oddzielne cykle: wytwarzania (w oparciu o prognozy popytu) i zbytu (w oparciu o zamówienia klientów), co znacznie zwiększa ryzyko decyzji planistycznych. Odchylenia rzeczywistego popytu od prognoz, lub inne losowe przyczyny po stronie popytu lub podaży, powodują konieczność zmiany planów. Każda zmiana prowadzi do tworzenia nowej wersji planu, co w efekcie powoduje nierównomierność w produkcji oraz konieczność ciągłego gaszenia pożarów. Tego typu zdarzenia często występują w praktyce, co negatywnie wpływa zarówno na efektywność działania, jak i poziom obsługi klienta [1, 6].

Tradycyjnie produkcję na zamówienie utożsamiano z zasadą *pull*, a produkcję na zapas z zasadą *push*. Takie rozumienie stanowiło przyczynę wielu nieporozumień, między innymi traktowania koncepcji produkcji „akurat na czas” (*Just in Time -JIT*), jako produkcji na zamówienie, chociaż w istocie stanowi ona specyficzny rodzaj produkcji na zapas. Jeśli bieżąca produkcja jest realizowana w oparciu o prognozy prawie zawsze mamy do czynienia z zasadą *push*. Jeśli bieżąca produkcja wynika z aktualnej sytuacji w kolejnych ogniwach łańcucha popytu, to najprawdopodobniej mamy do czynienia z zasadą *pull* [6].

W różnych formach produkcji na zapas konieczne jest tworzenie zapasów surowców, półproduktów lub wyrobów finalnych oraz wprowadzenie odpowiedniego mechanizmu sygnalizującego potrzebę uzupełnienia zapasu. Tradycyjnie stosuje się tutaj model stałej wielkości zlecenia (*Fixed Order Quantity-FOQ*) lub model stałego rytmu zlecenia (*Fixed Period Order-FPO*), a także różne modyfikacje tych podstawowych modeli [8]. W koncepcji szczupłego planowania kluczowym mechanizmem sygnalizowania potrzeb są karty *kanban*.

System kart *kanban* w swojej istocie stanowi specyficzną dla środowiska szczupłego wytwarzania formę sygnalizowania potrzeby uzupełniania zapasów (karta transportowa), jak i zlecenia produkcji (karta produkcyjna) opartą na zasadzie „ssania” (*pull*) [9 s. 457-462]. Ma on gwarantować natychmiastową dostępność dowolnego produktu. Dostawca produkuje tylko to i w takiej ilości, w jakiej pobrał odbiorca. Jedynym upoważnieniem do uruchomienia produkcji jest karta *kanban*, która stanowi specyficzną formę zlecenia produkcyjnego. Z tą różnicą, że nie jest emitowana przez centralnego planistę, ale bezpośredniego odbiorcę, a wielkość zlecenia jest znacznie zredukowana, w skrajnym przypadku do jednej sztuki lub pojemności pojemnika transportowego. Termin uruchomienia wyznaczany jest przez moment otrzymania karty *kanban*. Liczba kart krążąca między dostawcą i odbiorcą jest ściśle limitowana.

Produkcja procesowa jest realizowana w systemach produkcyjnych funkcjonujących najczęściej w oparciu o zasadę *push*. W literaturze podaje się wiele różnych często nie do końca przekonujących przyczyn utrudniających zastosowanie kart *kanban*, jak i innych zasad perfekcyjnego przebiegu procesu w produkcji procesowej. Jako podstawową przyczynę podaje się specyfikę procesów przetwórczych, w wielu aspektach różniących się od procesów obróbczo-montażowych [6, 10].

3. Specyfika produkcji procesowej jako determinant wyboru systemu sterowania produkcją

W produkcji procesowej wyroby mają zwykle prostą strukturę w porównaniu z wieloma złożonymi wyrobami wytwarzanymi w procesach obróbczo-montażowych. Liczba surowców jest ograniczona, w skrajnym przypadku może to być jeden surowiec (np. mleko), z którego można uzyskać wiele różnych produktów finalnych. Występują jednak również branże, w których liczba składników wchodzących w skład produktu finalnego może być znacząca.

Produkcję procesową często utożsamia się z produkcją ciągłą, w trakcie której ograniczone do minimum są przerwy i oczekiwania w procesie przetwarzania materiału. Przebieg produkcji ma z natury charakter ciągły, z tego względu można zakładać, że nie ma konieczności podejmowania działań w celu uzyskania tej cechy szczupłego przepływu.

Wymienione cechy charakterystyczne produkcji procesowej stanowiły podstawę traktowania jej jako jednolitej formy. Jednakże w praktyce produkcja procesowa występuje w wielu odmianach, stąd podejmowano próby jej klasyfikacji. Pierwszą, ogólną klasyfikację produkcji procesowej zaproponowali Fransso i Rutten, którzy wyróżnili dwie skrajne jej formy [10 s. 52]:

- produkcję procesową nieprzerywaną (*process/flow*),
- produkcję procesową przerywaną (*batch/mix*).

W produkcji procesowej nieprzerywanej, pomiędzy kolejnymi fazami procesu występują ściśle powiązania czasowe, tzn. moment zakończenia jednego etapu jest momentem rozpoczęcia następnego. Powiązania te mają charakter sztywny i ustala się je na etapie projektowania procesu. Również w sposób ciągły produkt gotowy, najczęściej o niewielkim stopniu złożoności, spływa z procesu w dużych seriach z powodu długich czasów przebrojeń.

W produkcji procesowej przerywanej, transformacja dostarczanych partiami surowców następuje stopniowo, przechodząc przez większą liczbę faz, a otrzymywany produkt charakteryzuje się większą złożonością. Asortyment wytwarzanych produktów jest szerszy, co wymaga stosowania urządzeń o większym stopniu uniwersalności, marszruty procesu są bardziej złożone i mogą być zmienne. Cykle produkcji są długie, zapasy produkcji w toku wysokie. Rozmiary partii determinowane są nie tylko czasami przebrojeń, ale także wymaganiami technicznymi, np. pojemnością aparatury. Pomędzy tymi dwiema formami skrajnymi występuje wiele form pośrednich, które w tej klasyfikacji nie są dokładnie zidentyfikowane, stąd też trudno przy takim stopniu ogólności ocenić istotność poszczególnych zasad oraz przydatność praktyk szczupłego sterowania produkcją w poszczególnych przypadkach.

Bardzo istotną cechą procesów przetwórczych, determinującą możliwości zastosowania szczupłego sterowania, jest złożoność przepływu materiałów wynikająca ze sposobu grupowania i rozmieszczenia wyposażenia (maszyn, urządzeń, środków transportu oraz magazynowania). Złożoność przepływu materiałów wynika w dużym stopniu ze sposobu doboru, grupowania i rozmieszczenia wyposażenia. Ogólnie wyposażenie w systemie produkcyjnym dzieli się na specjalizowane i uniwersalne. Obie kategorie wyposażenia mogą mieć charakter dedykowany do realizacji tylko określonych zadań produkcyjnych lub mogą być wykorzystywane w różnych procesach.

Z punktu widzenia sposobu grupowania i rozmieszczenia wyposażenia, wyróżnia się trzy podstawowe formy organizacji produkcji: gniazda technologiczne (*job shop*), gniazda przedmiotowe (*batch shop*), linie produkcyjne (*flow shop*) [9 s.98-100]. Produkcja

procesowa kojarzona jest ze specyficzną formą linii produkcyjnych, składających się z odpowiedniej aparatury połączonej ze sobą urządzeniami technicznymi, najczęściej transmisyjnymi. Proces technologiczny przebiega według ściśle określonego, stałego reżimu technologicznego, przez który rozumie się następstwo reakcji chemiczno-fizycznych realizowanych w sposób ciągły.

Oprócz tej dominującej formy sztywnego ciągu produkcyjnego w pewnych branżach lub na pewnych etapach procesu, spotyka się różne formy produkcji realizowane w oparciu o przedmiotowy układ gniazdowy. Możliwe są różne warianty przebiegu procesu zależne od specyficznych wymagań. Produkty są wytwarzane w partiach, a pomiędzy poszczególnymi etapami przetwarzania mogą wstępować zapasy buforowe. W tym wypadku większe zastosowanie znajdują urządzenia specjalistyczne niededykowane oraz uniwersalne dedykowane. Taka forma pozwala na większą elastyczność.

W pewnych branżach, np. produkcji kosmetyków, możliwe jest zastosowanie w całym procesie lub w niektórych jego etapach struktury technologicznej. W jednej komórce organizacyjnej grupuje się jednorodne urządzenia najczęściej uniwersalne (mieszalniki, wirówki), w których realizuje się określone fazy produkcji na różnych wyrobach.

Ostatnią grupą czynników branż pod uwagę przy wyborze metody sterowania są cechy otoczenia rynkowego wpływające na stronę popytową. Z jednej strony wynikają one z potrzeb i wymagań klientów odnośnie różnorodności asortymentowej oferowanych produktów, stopnia ich kustomizacji, wielkości i zmienności zapotrzebowania. Z drugiej strony determinowane są przyjętą strategią zaspokajania tych wymagań. Produkcję procesową kojarzy się z wytwarzaniem na masową skalę standardowych produktów zazwyczaj na zapas. Jednakże oprócz zakładów, gdzie produkcja ma charakter masowy, jak np. w przetwórstwie ropy naftowej czy produkcji piwa, występują również zakłady, gdzie skala produkcji jest mniejsza (seryjna, a nawet w szczególnych przypadkach jednostkowa). Wynika to zarówno ze zróżnicowania wymagań klientów, jak i coraz większych możliwości technicznych wytwarzania wielu produktów na małą skalę, dla ograniczonych segmentów rynku. Ze zjawiskiem takim mamy do czynienia w przemyśle kosmetyków, gdzie pewne rodzaje produktów, produkuje się na niewielką skalę, często na konkretne zamówienie odbiorców. Ponadto w tej branży w coraz większym stopniu stosuje się kustomizację produktu w ostatniej fazie procesu wytwarzania lub konfekcjonowania, co powoduje zwiększenie asortymentu wyrobów finalnych oraz zmniejszenie skali produkcji poszczególnych wyrobów.

4. Istota i formy szczupłego sterowania w środowisku produkcji procesowej

Pomimo specyficznych uwarunkowań, które mogą utrudniać bezpośrednie zastosowanie metod szczupłego sterowania w produkcji procesowej, podejmowane są próby wprowadzania w obszarze sterowania produkcją innowacyjnych rozwiązań zgodnych z zasadami szczupłego zarządzania [6]. Oparte są one na idei klasycznych kart *kanban* oraz planowania cyklicznego, którego pierwowzorem była skrzynka *heijunka*, jako narzędzie poziomowania produkcji dyskretniej.

Smith [11 s.184] zaproponował rozwiązanie określane jako *kanbany* funkcjonalne (*Functional Kanbans*), które stanowią modyfikację klasycznej karty *kanban*, przypisanej nie do jednego, ale wielu produktów. Rolę kart *kanban* pełni specjalnie oznaczona powierzchnia magazynowa, której stopień zapełnienia sygnalizuje konieczność uruchomienia produkcji. Z kolei Packowski [12 s.163-164] przedstawił rozwiązanie zastosowane w zakładzie farmaceutycznym, w którym wstępowały bardzo długie czasy

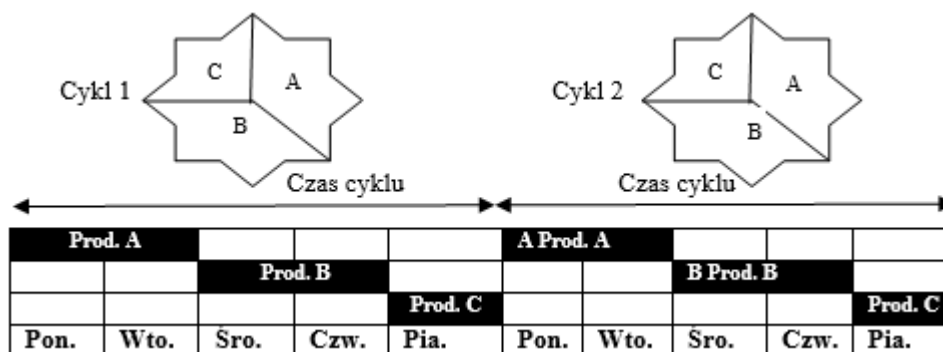
przebrojeń w dużym stopniu zależne od sekwencji uruchamianych produktów. W takim wypadku niemożliwe było zastosowanie klasycznego systemu *kanban* funkcjonującego według zasady FIFO, zgodnie z którą zlecenia są realizowane w kolejności napływu. Podstawowa zmiana polegała na tym, że zlecenia produkcyjne są gromadzone do momentu osiągnięcia poziomu gwarantującego efektywne wykorzystanie urządzenia. Produkty były uruchamiane w kolejności minimalizującej łączny czas przebrojeń. Rozwiązania te można stosować w odniesieniu do stosunkowo prostych systemów produkcyjnych. W wypadku złożonych systemów należy zastosować bardziej wyrafinowane podejście, określone jako cykliczne planowanie.

Cykliczne planowanie stanowi specyficzne podejście do zlecenia produkcji, pozwalające na wytwarzanie w różnych partiach szerokiego asortymentu produktów finalnych. Stosowana metodologia planowania ma charakter powtarzalny, a jej celem jest łagodzenie negatywnego wpływu zmienności popytu na funkcjonowanie systemu produkcyjnego [1, 12]. Punktem wyjścia planowania cyklicznego była koncepcja skrzynki *heijunki*, jako narzędzia poziomowania produkcji, polegającego na planowaniu wytwarzania wszystkich oferowanych asortymentów w jak najkrótszych przedziałach czasu. Przy zastosowaniu skrzynki *heijunki* karty *kanban* od odbiorcy (klienta) nie są przesyłane bezpośrednio do dostawcy, ale są przekierowywane do pewnego rodzaju sortowni, w której porządkowane są w taki sposób, aby uzyskać poziomowanie zarówno w odniesieniu do wariantów produktów, jak i ich ilości. Poziomowanie wariantów polega na równomiernym rozłożeniu wszystkich oferowanych asortymentów w jak najkrótszym przedziale czasu, poziomowanie ilości oznacza wytwarzanie zbliżonych ilości w każdym okresie czasu. Najbardziej oczywistymi przesłankami poziomowania produkcji są: możliwość obsługi wielu różnych klientów w krótkim czasie oraz ograniczenie „efektu bicza”. Polega on na tym, że każda nierównomierność w ostatnich ogniach łańcucha, powoduje jej narastanie w raz z posuwaniem się w górę łańcucha dostaw. Poziomowanie zapewnia większą stabilność wszystkim ogniom łańcucha dostaw, ułatwia stosowanie zasady ciągłości przepływu i ssania. Poziomowanie produkcji uznaje się za kluczowy, a jednocześnie najtrudniejszy do zrozumienia i wprowadzenia element całej koncepcji szczupłego zarządzania [6].

Od kilkunastu lat podejmowane są próby zastosowania tego podejścia w różnych branżach przemysłu przetwórczego. Smith [11], King [7] i Packowski [12], Glenday [1] rozwinęli i upowszechnili koncepcję koła produktów wprowadzając różne innowacyjne mechanizmy w ich funkcjonowaniu. Można wyróżnić trzy podstawowe modele cyklicznego planowania opartego na mechanizmie koła produktu. Oprócz klasycznego koła produktów, Packowski [12] zaproponował dwa nowe modele, a mianowicie dynamiczne koło (*Rhythm Breathing Wheel*) oraz wieloasortymentowe koło (*High-Mix Rhythm Wheel*).

Klasyczne koło produktów, którego schemat funkcjonowania przedstawiono na rysunku 1 sprowadza się dla produktów o niskiej zmienności popytu. Jego parametry (sekwencje produktów, wielkość partii, cykl) ustalane są w oparciu o prognozy popytu. Trudno uznać takie rozwiązanie za w pełni zgodne z zasadą *pull* z uwagi na to, że prognozy stanowią podstawę zarówno planowania, jak i realizacji produkcji.

Dynamiczne koło produktów zostało opracowane dla sytuacji, gdy popyt ma bardziej zmienny charakter, a wielkość uruchomień chcemy powiązać z rzeczywistym popytem, aby rozwiązanie było zgodne z zasadą *pull*. Zasadnicza różnica między kołem klasycznym, a dynamicznym polega na tym, że wielkości uruchomień w kolejnych cyklach nie są stałe, ale ustalane dynamicznie przy uwzględnieniu rzeczywistego popytu.



Rys. 1. Schemat funkcjonowania klasycznego koła produktów
 Źródło: [12]

W obu wcześniej prezentowanych modelach koła w każdym cyklu wytwarzany jest każdy produkt w ściśle ustalonej kolejności. W wypadku bardzo szerokiego asortymentu produktów przydzielonych do wytwarzania na określonym zasobie, takie rozwiązanie nie zawsze jest optymalne. Łączny czas przebrojeń może stanowić znaczący udział w czasie całego cyklu. Kiedy nie jest możliwe podzielenie asortymentu na podgrupy i przydzielenie ich do równoległe pracujących zasobów, rozwiązaniem może być zastosowanie wieloasortymentowego koła produktów. W tym modelu koła, w poszczególnych jego cyklach mogą wystąpić sekwencje różnych produktów wytwarzanych w różnych ilościach. Dzięki temu redukuje się czas przeznaczony na przebrojenia. Ten typ koła produktów może być połączony z różnymi modelami uzupełniania zapasów, a nawet być stosowany w produkcji na zamówienie. Przy ustalaniu wielkości uruchomień można zastosować różne formy *kanban* lub różne modele stochastycznego uzupełniania zapasów [8]. Dynamiczne i wieloasortymentowe koło produktu w powiązaniu z odpowiednim modelem sterowania zapasami, pozwala na realizowanie zasady ssania przy zapewnieniu równomierności przebiegu produkcji.

Jeżeli rzeczywisty popyt nie odbiega od prognozowanego, zlecenie następuje w planowanych terminach i ilościach w oparciu o prognozy popytu. Jeżeli występują znaczące odchylenia od prognozowanego popytu, zmusza to personel zarządzający do podejmowania odpowiednich decyzji [11 s.192]. Niskie zużycie określonej pozycji powoduje wzrost poziomu zapasów, co stanowi sygnał do przyspieszenia obrotu koła co się wiąże z wytwarzaniem w mniejszych partiach. Z uwagi na mniejsze zapotrzebowanie możliwe jest przeprowadzanie częstszych przebrojeń, przy większej liczbie obrotów koła produktów. W sytuacji zwiększonego zapotrzebowania (lub zakłóceń w splywie produktów) stan zapasów zmniejsza się, co stanowi sygnał do zwolnienia obrotu koła i wiąże się z wytwarzaniem w większych partiach. Dzięki temu mniej czasu traci się na przebrojenia, a więcej na produktywnie wytwarzanie co w sytuacji zwiększonego popytu jest bardzo pożądane. Aby zachować poziomowanie produkcji i wynikające z tego korzyści wahania długości cyklu koła produktu nie mogą przekraczać pewnych z góry ustalonych granic [12 s.162].

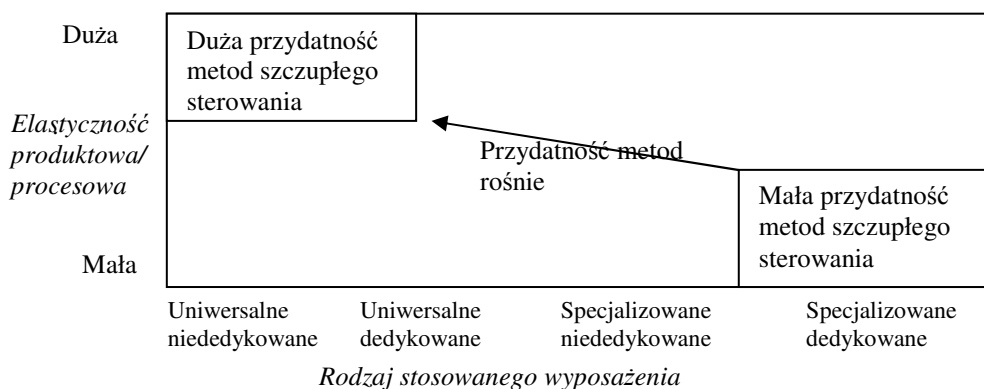
5. Koncepcja wstępnego wyboru modelu szczupłego sterowania produkcją w procesach przetwórczych

Na pytanie, jaki jest najkorzystniejszy model sterowania produkcją w procesach przetwórczych nie ma jednoznacznej odpowiedzi. Przy rozstrzyganiu tego dylematu należy rozpatrywać szereg czynników, które można podzielić na trzy grupy [12 s. 176-182]:

- czynniki strategiczne związane z przyjętymi kryteriami konkurowania,
- czynniki związane ze stroną popytową determinowane cechami produktu, wielkością i zmiennością zapotrzebowania na wyroby w różnych fazach jego życia,
- czynniki związane ze stroną podażową determinowane specyfiką produkcji.

Wprowadzany model sterowania produkcją powinien być zgodny z przyjętymi na poziomie strategicznym kryteriami konkurowania. Tradycyjnie w produkcji procesowej najistotniejsze znaczenie odgrywało konkurowanie cenami, co powodowało ukierunkowanie na koszty oraz wytwarzanie na zapas przy wykorzystaniu systemów opartych na zasadzie *push*. Współcześnie, w coraz większej liczbie branż przemysłu konkurencyjnego, w walce konkurencyjnej znaczącą rolę zaczynają odgrywać takie kryteria konkurowania, jak czas dostawy, jej terminowość, a przede wszystkim elastyczność, rozumiana jako zdolność reagowania na potrzeby i wymagania klienta odnośnie samego produktu, jak i szeroko rozumieją obsługi logistycznej. Taka zmiana uwarunkowań rynkowych przemawia za stosowaniem modeli sterowania opartych na zasadzie *pull*.

Przy wyborze modelu sterowania produkcją zdolnego sprostać wymaganiom strategicznym, należy brać pod uwagę czynniki po stronie podaży i popytu. Z punktu widzenia strony podażowej ważnym czynnikiem jest elastyczność produktowa i procesowa zależna od rodzaju stosowanego wyposażenia oraz formy organizacji produkcji (rys. 2).

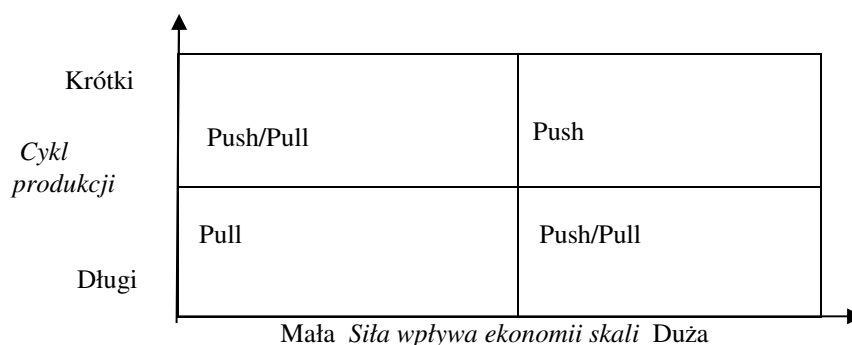


Rys. 2. Przydatność metod szczupłego sterowania z punktu widzenia rodzaju stosowanego wyposażenia oraz elastyczności produktowej i procesowej

Specjalizowane i dedykowane wyposażenie zapewnia najmniejszy stopień elastyczności. Wraz z przechodzeniem do wyposażenia uniwersalnego, niededykowanego, elastyczność rośnie. Stosowanie uniwersalnego wyposażenia wiąże się z występowaniem struktur technologicznych oraz gniazd przedmiotowych. W takim środowisku podstawowe praktyki związane ze zwiększaniem ciągłości przebiegu, stosowaniem kart kanban oraz poziomowaniem produkcji są warte rozważenia. Wraz ze zmniejszaniem się elastyczności

systemu produkcyjnego, co wiąże się z występowaniem specjalizowanego dedykowanego wyposażenia oraz występowaniem form liniowych, zmniejszają się możliwości stosowania szczupłego sterowania produkcją. Wymienione cechy systemu produkcyjnego winny być odpowiednio kształtowane w ramach programu ciągłego doskonalenia, co może umożliwić lub ułatwić wdrożenie szczupłego sterowania [3].

Przy rozpatrywaniu kwestii czy zasadne może być wprowadzenie zasady *pull*, kluczowe znaczenie mają cykl produkcji oraz możliwe do uzyskania efekty skali działania (rys. 3).



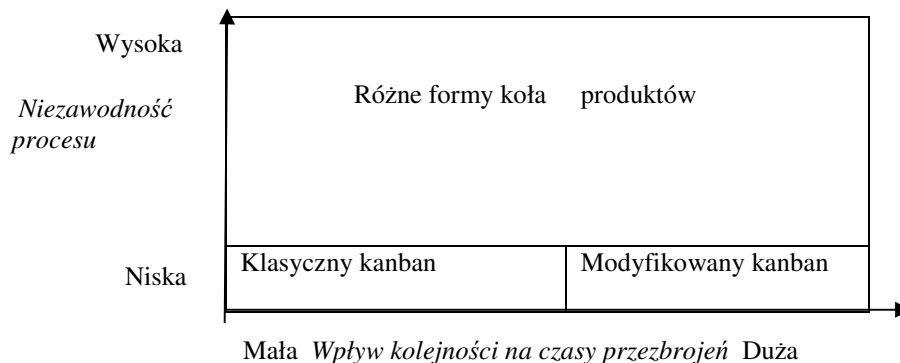
Rys. 3. Wpływ cyklu i efektu ekonomii skali na wybór modelu sterowania produkcją
Źródło: [12]

Jeżeli wpływ ekonomii skali jest niewielki, wytwarzanie w małych partiach nie powoduje dodatkowych kosztów. Przy małych partiach, sfera produkcyjna może szybko reagować na zmiany popytu, co faworyzuje modele uzupełniania, w których mechanizm uruchamiania produkcji bazuje na aktualnym popycie. Z drugiej strony duży wpływ ekonomii skali faworyzuje model *push*, przy stosowaniu którego popyt z kilku okresów może być agregowany i zaspokajany dużymi jednorazowymi partiami, co może dawać potencjalnie duże korzyści.

Z punktu widzenia drugiego czynnika, w odniesieniu do produktów wymagających długiego cyklu realizacji, sfera produkcyjna nie jest w stanie szybko reagować na zmiany popytu. W takiej sytuacji uzupełnianie w oparciu o aktualną konsumpcję nie jest zalecane. Przeciwnie należy stosować uzupełnianie oparte na zasadzie *push*. Jednakże, krótkie cykle realizacji umożliwiają szybkie reagowanie na zmiany popytu, co przemawia za stosowaniem zasady *pull*.

Przy ustalaniu czy sterowanie powinno być realizowane w oparciu o mechanizm koła produktu, bierze się pod uwagę niezawodność procesu produkcyjnego oraz zależność czasów przebrojeń od kolejności ich wykonywania (rys. 4).

Koszty przebrojeń zależne od kolejności i czasu realizacji procesów określają stopień w jakim suboptymalne sekwencje produkcji oddziałują na takie kluczowe mierniki, jak wykorzystanie zdolności czy koszty produkcji. Niezawodność procesów produkcyjnych wskazuje, że awarie maszyn występują rzadko, a poziom braków jest niski. W takich warunkach plany produkcji mogą być realizowane zgodnie z przyjętymi ustaleniami. Ponieważ koncepcja koła produktów pozwala danemu ogniwu łańcucha dostaw na ciągłe produkowanie w optymalnej kolejności, jej zastosowanie daje znaczące korzyści wówczas, gdy kolejność produkcji na duży wpływ na koszty. Nawet jeżeli taka zależność nie występuje, korzyści wynikające z koła produktów przemawiają za tym rozwiązaniem.



Rys. 4. Wpływ czasu cyklu i efekty ekonomii skali na wybór modelu sterowania produkcją
 Źródło: [12]

Jednak koło produktów nie stanowi panaceum w każdej sytuacji. W warunkach niskiej niezawodności procesów, przykładowo występowania częstych przerw z powodu awarii, niemożliwym jest uzyskanie oczekiwanych korzyści. Wynika to z dwóch przyczyn. Po pierwsze koło produktów prawdopodobnie będzie zmieniać się w dużym zakresie, co zakłóca stały rytm produkcji oraz uniemożliwia osiągnięcie spodziewanych korzyści. Po drugie, w takich warunkach, często przebrojenia będą prawdopodobnie potrzebne, aby unikać niedoboru określonych pozycji. Przy wysokiej zawodności procesów produkcyjnych należy szukać alternatywnych rozwiązań, np. kart kanban, przy których stosowaniu zlecenia produkcyjne są dynamicznie przydzielane do substytucyjnych zasobów, zapewniając wymaganą elastyczność w istniejących warunkach. Jednakże podstawowa koncepcja kanban stosuje regułę FIFO w harmonogramowaniu. Jeżeli koszty przebrojeń zależne od kolejności są wysokie, należy zastosować zaawansowany model kart kanban.

Końcowym etapem wyboru jest ustalanie typu koła produktów, gdzie kluczowe znaczenie odgrywa skala produkcji i zmienność popytu. Na rys. 4 przedstawiono w układzie współrzędnych hipotetyczne rozkłady tych dwóch czynników dla różnych grup produktów oraz zalecane modele koła produktów.

Dla grupy produktów, gdzie dominują wyroby o dużym wolumenie i małej zmienności (rozkład 1) zalecanym modelem jest klasyczne koło produktu, dające wszystkie wcześniej omawiane korzyści związane z tym rozwiązaniem. Przy występowaniu powtarzalności produkcji, optymalna sekwencja przebrojeń jest powtarzana w sposób ciągły, co pozwala na poziomowanie produkcji i wysoką przewidywalność w horyzoncie planowania. Ponieważ wolumeny są bardzo stabilne, planowane w oparciu o dokładne prognozy, wymagany poziom obsługi może być uzyskiwany przy stosunkowo niskim poziomie zapasów. Przy rozkładzie 2 większa elastyczność jest wymagana, aby dane ogniwo mogło reagować skutecznie na rzeczywisty popyt. Dynamiczne koło produktów stanowi lepsze rozwiązanie dla takiego portfolio produktów, ponieważ pozwala na dynamiczne zmiany wielkości produkcji, zachowując korzyści koncepcji koła produktów. Jeżeli w danym ogniwie musi być wytwarzana grupa produktów o różnorodnym rozkładzie wielkości i zmienności, co obrazuje rozkład 3, zalecane jest wieloasortymentowe koło produktów. W przeciwieństwie do innych modeli koła produktów, to rozwiązanie pozwala na różne rytmy dla wytwarzanych w danym ogniwie produktów, tzn. produkty wytwarzane małych ilościach nie muszą występować w każdym cyklu. To powoduje ograniczenie

Zmienność Popytu	Wielkość popytu : (D-Duża D, Ś-Średnia, M-Mała														
	M	Ś	D		M	Ś	D		M	Ś	D		M	Ś	D
Duża													☆		
Średnia					☆				☆				☆		
Mała		☆	☆		☆	☆			☆	☆	☆				
Model Zleceni	1 Klasyczne koło produktów			2 Dynamiczne koło produktów			3. Wielosortymento we koło produktów			4 Niecykliczny model zlecenia					

Legenda: ☆ - dominująca liczba produktów z analizowanej grupy

☆ - pozostałe produkty z analizowanej grupy

Rys. 4. Wpływ wielkości i zmienności popytu na wybór systemu zlecenia

Źródło: [12]

częstotliwości czasu przebrojeń dla małych partii, co pozwala na produktywne wykorzystanie zasobów. Jeżeli grupa składa się tylko z dużej liczby wyrobów, wytwarzanych w małych ilościach przy dużej zmienności popytu koło produktu nie stanowi odpowiedniego rozwiązania. Korzyści z poziomowania produkcji i powtarzalnej sekwencji produktów mogą być stracone z powodu zbyt wielu sporadycznych uruchomień. W takiej sytuacji lepiej zdecydować się na inny model zlecenia produkcji.

6. Zakończenie

W praktyce wybór modelu sterowania produkcją nie jest prosty z uwagi na to, że wyniki poszczególnych cząstkowych analiz mogą być niespójne lub sprzeczne. Przykładowo analiza z punktu widzenia strony popytowej może wskazywać zastosowanie klasycznego koła produktów w sytuacji stabilnego popytu. Z kolei analiza strony podaźowej faworyzuje kanban, ponieważ niezawodność procesu jest niska. W takiej sytuacji konieczne jest uważne rozpatrzenie wad i zalet każdego alternatywnego rozwiązania w kontekście przyjętej strategii przedsiębiorstwa oraz celów szczupłego zarządzania. Ogólnym przesłaniem koncepcji szczupłego zarządzania jest łączenie zewnętrznych i wewnętrznych celów organizacji odnoszących się zarówno do ludzi (pracowników, partnerów, klientów), jak i do samej firmy z rozbiciem na cele krótko i długoterminowe.

Te wzajemnie powiązane cele należy realizować poprzez identyfikowanie, analizowanie i wprowadzanie ciągłego doskonalenia w całym łańcuchu dostaw. Dla firm sektora produkcji procesowej oprócz zawsze ważnego celu jakim jest zwiększanie efektywności działania poprzez racjonalne wykorzystanie zasobów, coraz istotniejszego znaczenia nabiera skuteczność działania, rozumiana jako stopień w jakim organizacja jest w stanie sprostać potrzebom i wymaganiom klienta w odniesieniu do jakości, terminowości, czasu oraz elastyczności.

Zaprezentowana koncepcja wyboru modelu szczupłego sterowania przebiegiem produkcji jest aktualnie testowana w małym zakładzie wytwarzającym szeroki asortyment kosmetyków. Wyniki analiz mają stanowić podstawę wyboru i opracowania szczegółowego modelu sterowania przebiegiem produkcji uwzględniającego istniejące uwarunkowania wewnętrzne i zewnętrzne.

Literatura

1. Glenday I. Przejdź na logikę przepływu. Przestań gasić pożary i popraw obsługę klienta.. Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław, 2010.
2. Galant-Pater M.: Przyczyny porażek i sukcesów informatyzacji biznesu w świetle badań empirycznych. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2009, s.314-323.
3. Womack P., Jones D.T.: Lean thinking - szczupłe myślenie: eliminowanie marnotrawstwa i tworzenie wartości w przedsiębiorstwie. Wrocław, ProdPress.com, Wrocław, 2008.
4. Durlik I. Inżynieria Zarządzania. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych. Część 1, Placet, Warszawa, 2007.
5. Blackstone J.H. APICS dictionary, APICS, Alexandria, 2008
6. Lyons A.Ch., Vidamour K., Jain R Sutherland M.: Developing an understanding of lean thinking in process industries. Production Planning & Control, Vol 24, No. 6, 2013, s. 475-494.
7. King, P. L., King, J. S. . The Product Wheel Handbook: Creating Balanced Flow in High-mix Process Operations: CRC Press, Boca Raton, Florida,2013
8. Krzyżaniak S. Podstawy zarządzania zapasami w przykładach. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2003.
9. Brzeziński M. (red).: Organizacja. Sterowanie produkcja. Placet, Warszawa, 2002.
10. Franco J. C., Rutten W. G.M.M.: A Typology of Production Control Situations in Process Industries. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14. No 12, 1994, s. 47-57.
11. Smith W. K.: Time Out. Using Visible Pull Systems to Drive Process Improvement. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
12. Packowski, J. . LEAN Supply Chain Planning: The New Supply Chain Management Paradigm for Process Industries to Master Today's VUCA World. CRC Press., Boca Raton, Florida, 2013.

Dr inż. Leszek BEDNARZ
Instytut Organizacji i Zarządzania
Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
53-345 Wrocław ul. Komandorska 118/120
tel./fax: (071) 3680665
e-mail: leszek.bednarz@ue.wroc.pl