



Miesięcznik TNOiK
Założył Karol Adamiecki w 1926 r.

KAROLA ADAMIECKIEGO WYKREŚLNA METODA RACJONALNEGO ORGANIZOWANIA PROCESU WYTWARZANIA I JEJ WSPÓŁCZESNE KONTYNUACJE

<https://doi.org/10.33141/po.2018.05.03>

Przeгляд Organizacji, Nr 5 (940), 2018, ss. 20-28

www.przekladorganizacji.pl

©Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa (TNOiK)

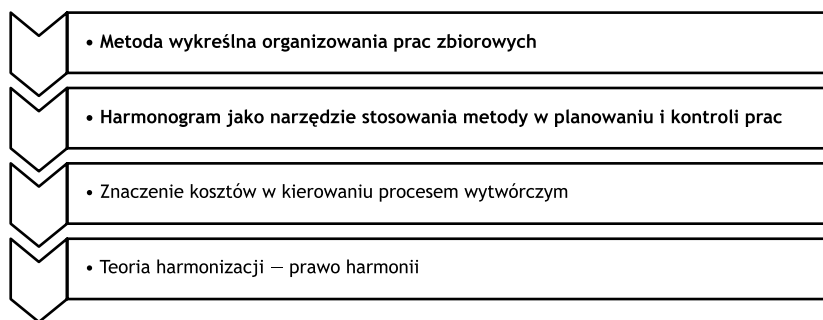
Anna Kosieradzka

Wprowadzenie

Karol Adamiecki urodził się 17 marca 1866 roku w Dąbrowie Górniczej, gdzie podjął w 1891 roku pierwszą pracę jako inżynier w Hucie Bankowej, początkowo jako rysownik w biurze technicznym, następnie jako asystent szefa oddziału walcowni (Wojdak, 2008). Usprawnianiem organizacji procesów produkcyjnych w walcowni blach cienkich Huty Bankowej zaczął się zajmować w roku 1895 (Adamiecki, 1924).

Badania nad niską, zdaniem K. Adamieckiego, wydajnością pracy w walcowni prowadzone za pomocą metody analityczno-doświadczalnej przyniosły efekty w postaci opracowania metody koordynacji pracy zespołu pracowników walcowni, wspartej narzędziem graficznym, nazwanym harmonogramem. Z jego pomocą można było

planować prace, na bieżąco je koordynować i prowadzić kontrolę ich realizacji. Inżynier Karol Adamiecki był także prekursorem patrzenia na procesy wytwórcze przez pryzmat ekonomiki wytwarzania, rozważając koszty związane z każdą operacją i uzależniając podejmowane decyzje organizacyjne od konsekwencji kosztowych. Prowadzone prace doprowadziły K. Adamieckiego do sformułowania zasad harmonii doboru, harmonii działania i harmonii duchowej, nazwanych łącznie zasadą harmonizacji, uznaną za jedną z podstaw organizacji naukowej (Adamiecki, 1924). Dokonania w zakresie organizacji pracy zbiorowej stanowią największy wkład Karola Adamieckiego w podstawy naukowej organizacji pracy (rys. 1).



Rys. 1. Wkład Karola Adamieckiego do naukowej organizacji pracy
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Czech, 2009, s. 104)

Za najistotniejszy wkład Karola Adamieckiego do naukowej organizacji pracy uważa się teorię harmonizacji. Jej części składowe to wykreślna metoda organizacji pracy zbiorowej i sformułowane na jej podstawie prawo harmonii (Heidrich, 1970, s. 341). J.F. Mee napisał: „Adamiecki jest najbardziej znany za jego teorię harmonizacji, która określa ramy i zasady rządzące planowaniem i kontrolą pracy zespołów w produkcji. Dla stosowania teorii zaprojektował harmonogram, graficzny środek wykreślenia równoczesnych, licznych, skomplikowanych operacji w celu ujęcia wielkiej ich liczby w harmonijną całość” (Czech, 2009, s. 104). Celem niniejszego opracowania jest przypomnienie przełomowego osiągnięcia, jakim był harmonogram Adamieckiego, oraz identyfikacja kierunków, w jakich rozwijały się metody planowania i organizowania procesów wytwarzania od czasów Adamieckiego po dzień dzisiejszy. Przedmiotem analizy są metody, koncentrujące się na budowaniu praktycznych narzędzi koordynacji procesów pracy bez konieczności wykorzystywania modeli matematycznych i wsparcia komputerowego, ale warto podkreślić, że w stosunku do tych metod były także podejmowane próby implementacji komputerowej. Podstawę dla podjętej próby usystematyzowania i porównania skuteczności praktycznych metod koordynowania procesów pracy wywodzących się z harmonogramu Adamieckiego stanowią literatura przedmiotu oraz wieloletnie doświadczenie autorki w projektowaniu rozwiązań w obszarze organizacji i zarządzania procesami produkcyjnymi.

Wykreślna metoda organizowania pracy zbiorowej

W latach 1895 i 1896 Karol Adamiecki prowadził w walcowni blach cienkich Huty Bankowej w Dąbrowie Górniczej badania nad niską produktywnością walcowni. Zauważył, że dotychczasowe prace mające na celu usprawnienie pracy walcowni koncentrowały się na aspektach technicznych, natomiast nikt nie zwracał uwagi na aspekty organizacyjne. W wyniku badań doszedł do wniosku, że niska produktywność walcowni wynika z „braku uzgodnienia poszczególnych operacji (mnóstwo przerw w robocie, także trudno dostrzegalnych, pochodzących z rozbieżności pracy tak robotników, jak i aparatów)” (Adamiecki, 1924, s. 552). W procesie produkcyjnym blach brały

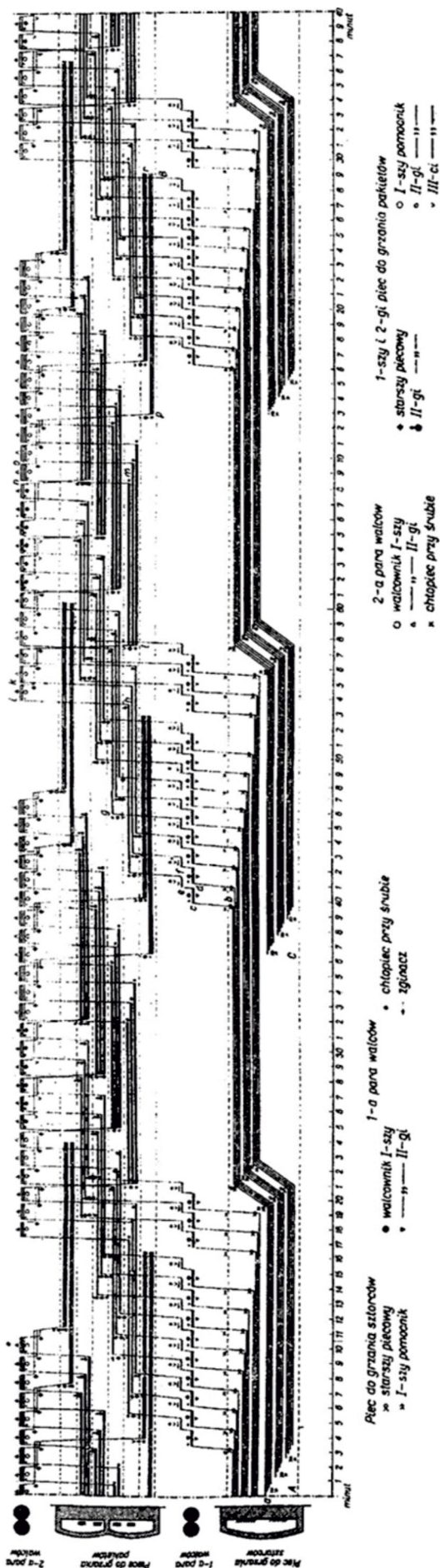
udział: 2 pary walców oraz 3 piece, obsługiwane przez brygadę złożoną z 16 osób. Rozwiązaniem problemu niskiej produktywności walcowni był zaprojektowany przez K. Adamieckiego graficzny obraz współzależności pracy nazwany przez autora harmonogramem (rys. 2) (Adamiecki, 1909, Nr 19, s. 230–231). Prezentowany rysunek jest kopią oryginalnego harmonogramu z tamtego okresu, stąd jego niezadowalająca czytelność.

Rezultaty zastosowania tej metody były spektakularne. Przed wdrożeniem harmonogramów przeciętna produkcja wynosiła 2800–3000 kg na dniówkę dwunastogodzinną. Po wprowadzeniu organizacji pracy według opracowanej przez siebie metody wykreślniej Adamiecki uzyskał wynik 5200 kg na dwunastogodzinną dniówkę (przy czym w tym drugim przypadku odliczono dodatkowo 2 godziny na przerwę obiadową) (Czech, 2009, s. 111). Oznaczało to wzrost produktywności o ponad 70%. Wprowadzając dodatkowy harmonogram pracy robotników, udało się podnieść wydajność walcowni nawet do poziomu 8500 kg na dniówkę.

Harmonogram wpływa na takie miary efektywności procesów produkcyjnych, jak: cykl produkcyjny i cykl dostawy, terminowość dostawy, poziom zapasów produkcji w toku, wykorzystanie zasobów, które z kolei mają wpływ na koszty produkcji, produktywność i konkurencyjność przedsiębiorstwa.

Wadą harmonogramu jest to, że krótko zachowuje aktualność. Winne są temu ogólne i specjalne przyczyny zmienności procesów. Przyczyny ogólne wpływają na to, że rzeczywiste czasy wykonania operacji różnią się od czasów normatywnych w losowy, trudny do przewidzenia sposób, natomiast przyczyny specjalne to różnorodne zakłócenia występujące w procesach, powodujące odstępstwa od harmonogramu. W związku z powyższym w harmonogramy „wbudowuje się” rezerwy, które są wykorzystywane do kompensacji odchyłeń i zakłóceń. Pomimo tego harmonogramy wymagają częstej aktualizacji.

Zauważył to już Karol Adamiecki, projektując urządzenie nazwane harmonografem, dzięki któremu aktualizacja nie wymagała każdorazowego żmudnego rysowania nowego harmonogramu. Zasada konstrukcji harmonografu polega na tym, że harmonogramu nie rysuje się na jednolitej powierzchni papieru, ale zestawia się go z pasków o szerokości 25 mm, ułożonych pionowo obok siebie. Paski te są przymocowane na górze i na dole do specjalnego



Rys. 2. Harmonogram pracy walcowni blach cienkich
Źródło: (Adamiecki, 1909 s. 230-231)

uchwyty w taki sposób, że każdy z nich może być założony i zdjęty niezależnie od innych. Na paskach zaznaczona jest poziomymi liniami skala czasu (Adamiecki, 1931). Na lewym brzegu każdego paska zakłada się wąskie, 5-milimetrowe paski z cienkiej blachy lub tworzywa sztucznego, zwane krawężnikami, które przycina się na odpowiednią długość w zależności od czasu trwania danej czynności. Na każdym pasku zaznaczony jest czas trwania jednej czynności (operacji). Paski układa się względem siebie i mocuje w uchwytych tak, jak tego wymaga kolejność i przebieg czynności. Nad każdym paskiem umieszczona jest metalowa kieszonka, w której umieszcza się kartki z objaśnieniami (Zbichorski, 1972, s. 78–79). To proste urządzenie umożliwiło przyspieszenie prac nad sporządzaniem harmonogramów, a także możliwość ich korygowania i aktualizacji poprzez przesuwanie krawężników.

Kierunki rozwoju prac započetkowanych przez Karola Adamieckiego

Prace nad graficzną metodą koordynowania prac w czasie, zapocętkowane przez Karola Adamieckiego, rozwijały się w dwóch kierunkach:

- **Kierunek teoretyczny**, zwany teorią harmonogramowania (*Theory of Scheduling*), znajdujący odzwierciedlenie w bardzo wielu publikacjach (Conway i in., 1967; Błażewicz i in., 1983; Kalinowski, 2013), polegał na poszukiwaniu modeli i metod optymalizacji harmonogramów z wykorzystaniem różnych działów matematyki, np.:
 - » programowanie liniowe,
 - » grafy i sieci,
 - » metoda podziału i ograniczeń,
 - » teoria kolejek i reguły priorytetu,
 - » algorytmy genetyczne i sztuczna inteligencja,
 - » symulacja komputerowa.
- **Kierunek praktyczny** koncentrował się na poszukiwaniu praktycznych modeli i metod organizowania procesów pracy, wśród których najważniejsze nurty, to:
 - » harmonogram i cyklogram,
 - » metoda wyprzedzeń kalendarzowych,
 - » diagramy sieciowe, ścieżka krytyczna i łańcuch krytyczny,
 - » rozdzielnictwo robót i reguły priorytetu,
 - » system kanban i jego odmiany,
 - » teoria ograniczeń (TOC), aplikacja „werbel-bufor-lina”

W.J. Hopp i M.L. Spearman (2000, s. 493–501) uzasadniają, dlaczego teoretyczne podejście do harmonogramowania na gruncie różnych działów matematyki jest trudne. Wraz ze wzrostem liczby detali i operacji, dla których szukamy optymalnego harmonogramu, rośnie złożoność algorytmów i czas poszukiwania optymalnego harmonogramu jest długi, nawet przy wsparciu współczesnej techniki obliczeniowej. Zalecają oni stosowanie metod prowadzących do wyznaczenia „dobrego” rozwiązania suboptymalnego, uzyskanego w relatywnie krótkim czasie, zamiast poszukiwania wyrafinowanych metod generowania rozwiązania optymalnego.

W następnych częściach artykułu zostanie przedstawiona ewolucja metod praktycznych – od klasycznych harmonogramów i cyklogramów wzorcowych, zaliczanych do metod typu *push* (tłoczących), poprzez systemy tłocząco-ssące (np. aplikacja teorii ograniczeń o nazwie werbel-bufor-lina), aż po różne odmiany systemu kanban, działające zgodnie z systemem *pull* (ssącym). Wybór prezentowanych szerzej instrumentów wynika z ich znaczenia dla praktyki i powszechnego stosowania w różnych okresach. Na rysunku 3 pokazano systematykę narzędzi operatywnego planowania produkcji, wywodzących się z wykreślonej metody organizowania procesów pracy, opracowanej przez Karola Adamięckiego.

Harmonogramy i cyklogramy, metoda wyprzedzeń kalendarzowych

Prace naukowe nad wykorzystaniem harmonogramów w praktyce ewoluowały w różnych kierunkach. S. Lis (1984, s. 129–137) proponuje harmonogramy w układzie szeregowym, szeregowo-równoległym, równoległym z wielostrumieniowością w zależności od różnych wariantów przebiegu partii produkcyjnej wyrobów w procesie produkcyjnym i podkreśla wady i zalety każdego z układów z punktu widzenia cyklu produkcyjnego, zapasów produkcji w toku i wykorzystania zasobów.

Sterowanie przepływem produkcji niepowtarzalnej może być realizowane według harmonogramów, które są zmienne w czasie i nazywa się je niekiedy harmonogramami dynamicznymi.

Odmianą harmonogramu jest cyklogram. Przedstawia w formie graficznej cykl produkcyjny wyrobu złożonego, odniesiony do terminów kalendarzowych. Cyklogram może być opracowany jako szczegółowy, określający kalendarzowe terminy rozpoczęcia i zakończenia produkcji z dokładnością do detalooperacji lub jako ramowy, ujmujący terminy wykonania części, podzespołów, zespołów i wyrobu finalnego.

Harmonogramy okazały się szczególnie przydatne w produkcji powtarzalnej, gdzie wykonywany jest ten sam

lub podobny asortyment wyrobów, według tego samego procesu technologicznego i w podobnych co do liczności partiach produkcyjnych. Ze względu na stałe przypisanie operacji technologicznych do stanowisk roboczych dla produkcji powtarzalnej możliwe jest opracowanie stałego tzw. harmonogramu wzorcowego, który jest realizowany w przypadku wykonywania kolejnych zamówień na ten wyrób. W przypadku wyrobów złożonych zagregowany graficzny obraz planu wytwarzania nosi nazwę cyklogramu wzorcowego.

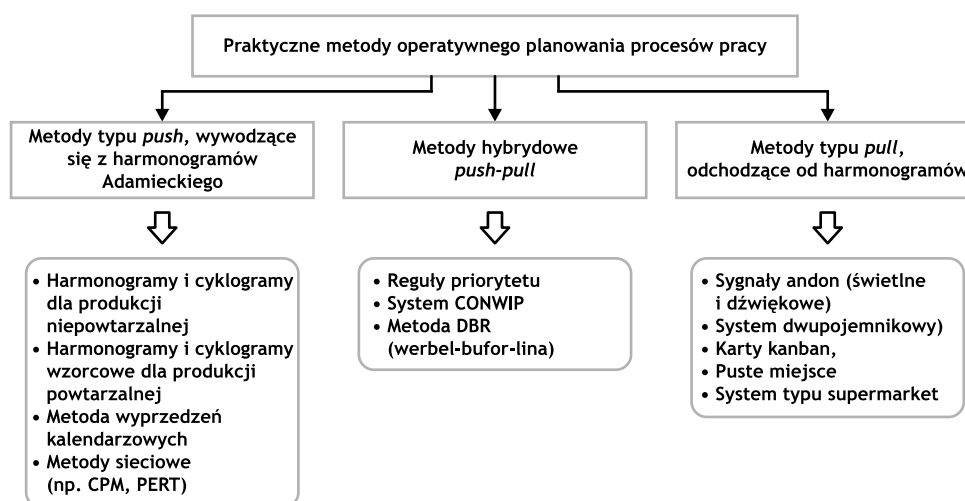
Cyklogram wzorcowy pozwala określić realistyczny termin wykonania zlecenia klienta, składającego zamówienie na produkt lub partię produktów (technika planowania w przód), a w innym wariantcie określić, kiedy należy rozpocząć produkcję, aby zamówienie klienta wykonać na określony termin (planowanie wstecz). Cyklogramy wzorcowe są wykorzystywane w komputerowych systemach planowania produkcji klasy MRP, MRP II i ERP.

Uproszczoną wersją cyklogramu posługuje się metoda wyprzedzeń kalendarzowych (Hanusz, 1972, s. 134–137). Zasady tej metody są bardzo proste (tab. 1):

- Elementy potrzebne w następnym okresie planistycznym powinny być wykonane w okresie poprzednim.
- Okresy wyprzedzeń są równe i pokrywają się z okresami kalendarzowymi, np. zmiana, dzień, tydzień lub miesiąc.

Szczegółowe harmonogramy w ramach kolejnych okresów są układane dowolnymi metodami, a także zamiast harmonogramów stosowana jest metoda bieżącego przydziału prac do stanowisk wg stopnia pilności prac, omówiona w jednym z kolejnych rozdziałów.

Nie warto byłoby wspominać o metodzie wyprzedzeń kalendarzowych, gdyby nie fakt, że logika tej metody jest współcześnie wykorzystywana w planowaniu produkcji oprogramowania. Cykl produkcji oprogramowania jest podzielony na tzw. time boxy – odcinki czasu o stałej długości, w ramach których należy wykonać określone produkty – fragmenty oprogramowania, które w następnych time boxach poddawane są rozwojowi lub integracji z innymi produktami cząstkowymi.



Rys. 3. Systematyka praktycznych metod operatywnego sterowania produkcją
Źródło: opracowanie własne



Tabela 1. Istota metody planowania międzykomórkowego wg wyprzedzeń kalendarzowych

Faza produkcji	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4
Odlewanie				
Kucie				
Obróbka detali				
Montaż podzespołów				
Montaż finalny				

Źródło: opracowanie własne

Metody sieciowe – ścieżka krytyczna i łańcuch krytyczny

Harmonogramy i cyklogramy okazały się mało przydatne zwłaszcza dla produkcji jednostkowej i małoseryjnej ze względu na dużą złożoność produktów oraz ograniczoną możliwość bieżącej kontroli i konieczność ciągłego przerysowywania wykresów. W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku do planowania i kontroli złożonych przedsięwzięć (a takim jest na przykład budowa statku, budynku czy linii produkcyjnej) zostały wprowadzone metody sieciowe, oparte na teorii grafów. Najbardziej znane metody sieciowe i pierwsze pod względem chronologii powstawania to metoda ścieżki krytycznej CPM (*Critical Path Method*) (Kelly, Walker, 1959) oraz technika oceny i kontroli przedsięwzięć PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) (Porębski, Jarosławski, 1970, s. 8).

Istotą metod sieciowych w odniesieniu do produkcji jest przedstawienie procesu produkcyjnego w postaci sieci zależności pomiędzy poszczególnymi operacjami składającymi się na wytworzenie produktu oraz określenie sekwencji tych działań, od których zależy termin realizacji całego przedsięwzięcia. Działania te wyznaczają tzw. ścieżkę krytyczną, od której pochodzi nazwa metody CPM. Użyteczność planu przedstawionego w formie sieci czynności polega na ukazaniu czynności krytycznych, które muszą być zrealizowane terminowo, ponieważ każde ich opóźnienie będzie skutkowało koniecznością przesunięcia terminu końcowego, oraz uwidocznieniu, że dla czynności niekrytycznych istnieją rezerwy (tzw. zapasy czasu), które mogą być wykorzystane w określonych granicach.

Metoda PERT, oprócz wyliczenia terminów realizacji poszczególnych czynności, pozwala na wyliczenie prawdopodobieństwa ich dotrzymania dzięki odejściu od arbitralnego szacowania czasów wykonania poszczególnych czynności przez wykorzystanie trzech oszacowań: pesymistycznego, optymistycznego i najbardziej prawdopodobnego.

Wadą pierwszych metod sieciowych było to, że nie uwzględniały one mogących się pojawić konfliktów na zasobach (tzn. dwa lub więcej działań mogły być przypisane do tego samego zasobu w tym samym przedziale czasowym). Ten problem został wyeliminowany w opracowanej przez E. Goldratta metodzie łańcucha krytycznego CCPM (*Critical Chain Project Management*) (Goldratt, 1997; Cox,

Schleier, 2010, s. 13–44). Łańcuch krytyczny jest tworzony przez przekształcenie ścieżki krytycznej w wyniku wyeliminowania konfliktów zasobowych. Dodatkowe nowatorskie elementy występujące w metodzie CCPM to zmiana sposobu szacowania czasów trwania poszczególnych czynności przez wykorzystywanie czasów optymistycznych i przesunięcie rezerw (które we wcześniejszych metodach były przypisane do poszczególnych działań) do tzw. buforów zasilających i bufora przedsięwzięcia wraz z zagwarantowaniem możliwości ich wykorzystania każdorazowo w razie potrzeby.

Do korzyści związanych z wykorzystaniem metod sieciowych należą (Kosieradzka, 2016, s. 174):

- możliwość skrócenia czasu realizacji całego przedsięwzięcia bez dodatkowych nakładów i zmian organizacyjnych (a tym samym zmniejszenia kosztów ogólnych projektowania i wdrożenia),
- możliwość racjonalnego wykorzystania rezerw czasowych,
- możliwość koncentracji uwagi na czynnościach limitujących całe przedsięwzięcie (ścieżka krytyczna, łańcuch krytyczny),
- ułatwienie realnego planowania i ustalenia realnych terminów przedsięwzięcia,
- ustanowienie podstawy do kontroli przebiegu prac w każdym momencie ich prowadzenia.

Sterowanie produkcją według stopnia pilności prac

Sterowanie produkcją według stopnia pilności prac opiera się na teorii kolejek i regułach priorytetu, według których porządkowane są kolejki zleceń produkcyjnych oczekujących na wykonanie na poszczególnych zasobach. Efektem podejmowania decyzji na podstawie reguł priorytetu może być zarówno harmonogram, jak i bieżące rozdzielnictwo prac zwane „problemem rozdzielcy”. Planista (rozdzielca prac), podejmując decyzję, które zlecenie produkcyjne przydzielić do danego stanowiska, przegląda zbiór zleceń oczekujących na obróbkę na tym stanowisku i szereguje zlecenia w kolejności zależnej od przyjętej reguły priorytetu. Metoda ta w swojej istocie jest metodą tłoczącą – polega na szeregowaniu zadań do wykonania na stanowiskach, ale jeśli stosowane reguły priorytetu wykorzystują jako parametr decyzyjny termin dostawy wyrobu do klienta, to wówczas metoda zyskuje cechy metody ssąco-tłoczącej. W pracy (Wróblewski i in.,

1984) zostało opisanych ponad 100 reguł priorytetu, stosowanych zarówno w harmonogramowaniu, jak i w bieżącym sterowaniu kolejnością wykonania zleceń produkcyjnych na zasobach. Najczęściej stosowane w praktyce, to (Kosieradzka, 2016, s. 146–150):

- FIFO (*First In, First Out*) – „pierwsze przyszło – pierwsze obsłużone”,
- LIFO (*Last In, First Out*) – „ostatnie przyszło – pierwsze obsłużone”,
- SPT (*Shortest Processing Time*) – jako pierwsze zlecenia z najkrótszym czasem operacji,
- LPT (*Longest Processing Time*) – jako pierwsze zlecenia z najdłuższym czasem operacji,
- EDD (*Earliest Due Date*) – najwcześniejszym terminem zakończenia wyrobu,
- MST (*Minimum Slack Time*) – jako pierwsze zlecenia z minimalnym dynamicznym zapasem czasu dla wyrobu,
- LCT (*Longest Cycle Time*) – pierwszej kolejności zlecenia z najdłuższym cyklem produkcyjnym,
- SPT + MST – reguła kombinowana, przyznająca priorytet według SPC (najkrótszego czasu operacji), ale w sytuacji, gdy w systemie pojawi się zlecenie opóźnione, to właśnie ono jest obsługiwane w pierwszej kolejności.

W drugiej połowie XX wieku sterowanie produkcją według reguł priorytetu opierało się głównie na wiedzy, doświadczeniu i intuicji planisty. Obecnie komputerowe systemy klasy MES (*Manufacturing Execution System*) umożliwiają stosowanie nawet bardzo złożonych reguł heurystycznych, dobieranych w zależności od celów stawianych przed sterowaniem produkcją (np. minimalizacja zapasów, skracanie cykli produkcyjnych, terminowość dostaw wyrobów do klientów itp.).

Karty kanban oraz inne warianty systemu pull

Podczas gdy naukowcy europejscy i amerykańscy przescigali się w opracowywaniu różnych metod harmonogramowania, mających swoje korzenie w różnych działach matematyki, Japończycy podeszli do problemu koordynacji współpracy pomiędzy osobami i działami uczestniczącymi w realizacji procesów produkcyjnych w sposób praktyczny i ukierunkowany na upraszczanie re-

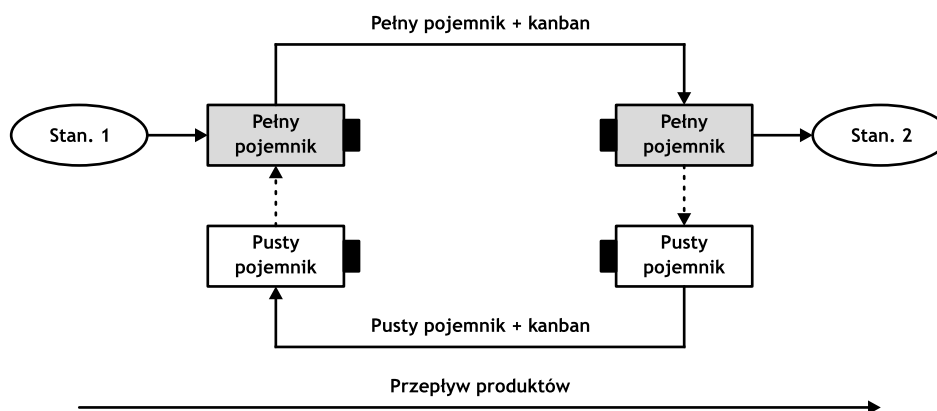
lacji „dostawca-odbiorca”. Wymyślili mianowicie system ssący (*pull*), stanowiący zaprzeczenie systemu tłoczącego (*push*), którego najlepszym odzwierciedleniem są właśnie harmonogramy. Dlaczego ten klasyczny system nazwali tłoczącym? Otóż dlatego, że prace zaplanowane za pomocą harmonogramów realizuje się w wyznaczonych przez harmonogram terminach i tłoczy się je (przepycha) do kolejnych stanowisk i komórek produkcyjnych bez względu na to, jakie zakłócenia i zmiany miały miejsce w trakcie.

Najważniejszą zasadą w systemie „ssącym” jest produkcowanie dopiero wtedy, kiedy jest zapotrzebowanie i dokładnie w takiej ilości, jaka jest potrzebna. Zadania produkcyjne określane są jedynie dla komórki produkcyjnej, z której produkcja trafia bezpośrednio do klienta. Tworzy się łańcuch „ssania”, w którym każde kolejne ogniwo (komórka produkcyjna) rozpoczyna produkcję tylko i wyłącznie w wyniku zgłoszenia zapotrzebowania poprzez ogniwo następne w procesie produkcyjnym. Sygnał „ssania” ma wywołać praktycznie natychmiastową odpowiedź systemu produkcyjnego na zamówienie klienta. Pociąga to za sobą konieczność wdrożenia działań, które zapewnią łatwe i szybkie przestawianie całości produkcji stosownie do zamówień rynkowych, np. poprzez zastosowanie techniki SMED, skracającej czasy przebrożeń i warunkującej opłacalność produkcji małych partii wyrobów (Kosieradzka, 2016, s. 105–106).

W systemach „ssących” stosowane są różnego rodzaju sygnały, które informują o pojawieniu się zapotrzebowania i konieczności rozpoczęcia produkcji. Istnieje wiele sposobów na praktyczne zastosowanie sygnałów ssących (Gross, McInnis, 2003):

- sygnały andon (światłne lub dźwiękowe),
- puste miejsce,
- system dwupojemnikowy (*two-bin kanban system*),
- supermarket,
- pojedynczy system kanban (tylko kanban transportowy),
- podwójny system kanban (kanban transportowy + kanban produkcyjny),
- system CONWIP (*Constant work in Progress*) – łączący podejście *pull* i *push*.

Zasadę działania najprostszego systemu ssącego, a mianowicie systemu dwupojemnikowego, przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. System dwupojemnikowy – schemat przepływu
Źródło: (Kosieradzka, 2016, s. 109)

Warunkiem funkcjonowania tego systemu jest to, że zużywanie elementów z pełnego pojemnika trwa tyle samo czasu lub dłużej, co cyrkulacja pustego pojemnika do napełnienia przez dostawcę (stanowisko 1) i jego powrót na stanowisko 2. W przypadku gdy ta relacja nie jest spełniona, wprowadza się do obiegu dodatkowe pojemniki wraz z kartami kanban. Tak działają na przykład systemy zaopatrywania linii montażowej w komponenty do montażu.

Zastosowanie systemów „ssących” powoduje znaczące obniżenie poziomu zapasów, usprawnienie przepływu produkcji, umiejscowienie kontroli na poziomie operacyjnym, stwarza warunki do wizualizacji harmonogramu i zarządzania wizualnego, poprawia reaktywność systemu produkcyjnego na wahania popytu, minimalizuje ryzyko braku zapasów i przestoju w produkcji (Gross, McInnis, 2003, s. 4). Systemy ssące mają jednak ograniczone zastosowanie, są dedykowane przede wszystkim dla produkcji wielkoseryjnej i masowej; wymagają bowiem względnie stabilnego popytu oraz zrównoważonego procesu produkcyjnego, równomiernie wykorzystującego zasoby. W warunkach produkcji średnioseryjnej możliwe jest zastosowanie systemów ssących w przypadku wysokiego stopnia modularyzacji, standaryzacji i unifikacji produktów oraz typizacji procesów produkcyjnych.

Współcześnie sygnały kanban są używane nie tylko w produkcji, ale także w handlu, administracji, placówkach służby zdrowia oraz w zarządzaniu projektami informatycznymi. Kanbany umożliwiają bowiem wykorzystanie metodyk zwinnych (*agile*) do zarządzania procesami dostawy wysokiej jakości oprogramowania, stanowiącego wartość dla klientów, dokładnie na czas i w ramach ustalonego budżetu (Brechtner, 2015, s. 7).

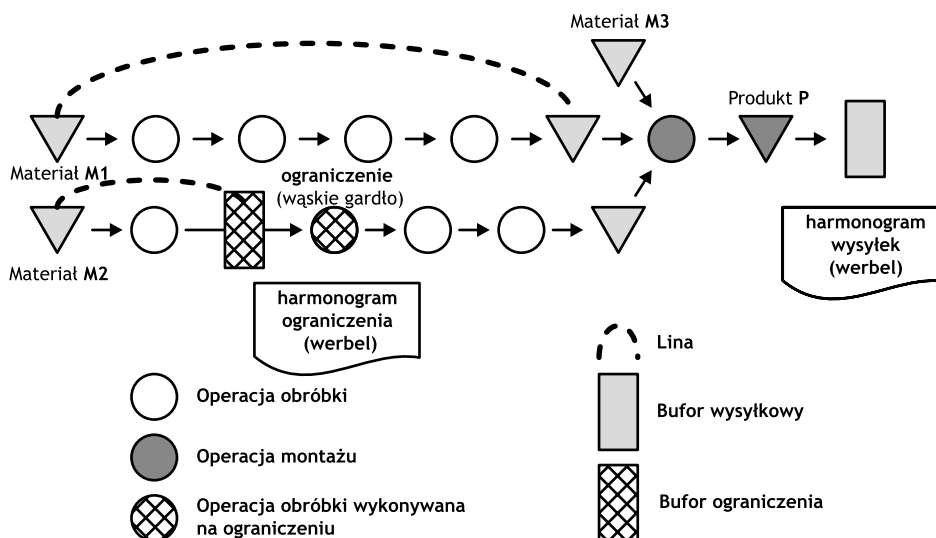
Teoria ograniczeń oraz jej narzędzia: werbel-bufor-lina

Według teorii ograniczeń, produktywność systemu produkcyjnego zależy od najslabszego ogniwa

zwanego ograniczeniem albo wąskim gardłem. W systemach produkcyjnych jest to zasób, którego zdolność produkcyjna ogranicza osiąganie przez system lepszych wyników w odniesieniu do jego celu. Opracowana przez E. Goldratta metoda sterowania produkcją, oparta na identyfikacji ograniczenia lub ograniczeń systemu, nosi nazwę werbel-bufor-lina lub krócej DBR (*Drum-Buffer-Rope*) (Schragenheim, Dettmer, 2001, s. 99–122).

Identyfikacja ograniczenia jest punktem wyjścia, ponieważ decyduje ono o wielkości produkcji. Decyzja o sposobie eksploatacji ograniczenia ma na celu zwiększenie jego zdolności produkcyjnej (przepustowości). W tym kroku wykorzystuje się wszystkie możliwe sposoby prowadzące do zwiększenia przepływu produkcji przez wąskie gardło, np.: odciążenie wąskiego gardła od wykonywania wszystkich operacji, które mogą być zrealizowane na innych zasobach, minimalizacja czasu przebrojeń wąskiego gardła (np. metodą SMED), nadanie priorytetu przy realizacji wszelkich czynności obsługi technicznej, zagwarantowanie, aby na ograniczenie nie trafiły materiały o nieodpowiedniej jakości itp. Wynikiem wykorzystania tych wszystkich możliwości jest werbel, czyli harmonogram, maksymalizujący wykorzystanie wąskiego gardła.

Bufor i lina pozwalają podporządkować ograniczeniu niemal każde działanie w przedsiębiorstwie, związane z planowaniem produkcji, zakupów materiałów czy wysyłek gotowych produktów. Bufor ma za zadanie zagwarantować realizację harmonogramu pracy wąskiego gardła nawet wtedy, gdy wystąpią zakłócenia, wynikające z losowych fluktuacji w procesie, np. opóźnienie zakończenia poprzedniej operacji. Z kolei lina stanowi mechanizm określania momentu wydania materiału do pierwszej operacji procesu produkcyjnego tak, aby odpowiednia ilość półproduktów dotarła na czas do wąskiego gardła. Metoda DBR jest metodą ssąco-tłoczącą: mechanizm wyciągania produkcji z poprzedniego ogniwa zapewnia lina, a werbel, czyli harmonogram wąskiego gardła jest instrumentem typu *push*. Pojęcia werbel, bufor i lina zostały zilustrowane na rysunku 5.



Rys. 5. Werbel, bufor i lina - ilustracja pojęć metody DBR
Źródło: (Pająk i in., 2014, s. 324)

Wzmocnienie ograniczenia należy rozważać dopiero po wyeksploatowaniu całego potencjału ograniczenia. Gdy nadal istnieją możliwości zwiększania sprzedaży (rynek nie stanowi ograniczenia), można zdecydować się na wzmocnienie ograniczenia przez zwiększenie jego przepustowości, np. zakup dodatkowej maszyny. Powrót do kroku pierwszego oznacza cykliczność działań w ramach procesu ciągłego rozwoju, tzn. powtórzenie powyższej procedury dla nowego ograniczenia.

Warto zauważyć, że scharakteryzowana powyżej metoda synchronizacji prac w oparciu o identyfikację ograniczenia została zastosowana przez Karola Adamieckiego przy projektowaniu harmonogramu przedstawionego na rysunku 2. Otóż maksymalna zmianowa wydajność procesu walcowania blach cienkich wynosiła 24 kęsy na zmianę i była limitowana przez Walce nr 2 (stanowiące wąskie gardło, czyli ograniczenie). Praca pieca nr 1 została podporządkowana wydajności zmianowej ograniczenia i zamiast 36 kęsów na zmianę (maksymalna pojemność pieca) miał on produkować „tylko” 24 kęsy na zmianę, dostosowując swoją pracę do „rytmu” pracy ograniczenia (werbla).

Podsumowanie

Potrzeba koordynowania procesów wytwórczych w czasie istnieje nadal pomimo postępującej automatyzacji produkcji. Klasyczną metodą koordynacji procesów produkcyjnych są harmonogramy wprowadzone przez Karola Adamieckiego do praktyki organizatorskiej 120 lat temu. Wadą harmonogramów jest to, że szybko się dezaktualizują ze względu na ogólne i specjalne przyczyny zmienności procesów, co pociąga za sobą konieczność ciągłej aktualizacji harmonogramów oraz wbudowywania do harmonogramów rezerw. Presja na poprawę produktywności zasobów, która pojawiła się w połowie XX wieku, spowodowała, że rezerwy te uznawane są za straty, które należy redukować, a najlepiej eliminować. Odejście od rezerw jako kompensatorów zakłóceń spowodowało zmianę podejścia do sposobu koordynacji procesów w czasie, metody typu *push* (harmonogramy) zostały zastąpione przez metody typu *pull* (kanban, DBR). Współcześnie stosowane komputerowe systemy sterowania produkcją oraz automatyzacja i komputerowa integracja produkcji pozwalają na bieżące planowanie kolejności operacji i działań, z wykorzystaniem algorytmów dynamicznych opartych na metodach sztucznej inteligencji, które dokonują reharmonogramowania w każdym momencie, gdy obowiązujący harmonogram przestanie być aktualny. Nad tymi algorytmami pracują naukowcy w różnych ośrodkach, a moc obliczeniowa współczesnych komputerów nie stanowi już bariery dla poszukiwania rozwiązań optymalnych.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę, że 30-letni Karol Adamiecki wykorzystał po raz pierwszy harmonogramy do planowania w roku 1896, podczas gdy Henry Gantt użył tej metody po raz pierwszy dopiero w roku 1911. Czy to nie paradoks, że na świecie harmonogramy są nazywane wykresami Gantta (*Gantt Chart*)?

dr hab. inż. Anna Kosieradzka, prof. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Zarządzania
e-mail: Anna.Kosieradzka@pw.edu.pl

Bibliografia

- [1] Adamiecki K. (1909), *Metoda wykreslna organizowania pracy zbiorowej w walcowniach*. „Przegląd Techniczny”, T. 47, Nr 17, s. 197–201; Nr 18, s. 213–216; Nr 19, s. 228–231; Nr 20, s. 239–241.
- [2] Adamiecki K. (1924), *Harmonizacja jako jedna z głównych podstaw organizacji naukowej*. „Przegląd Techniczny”, T. 62, Nr 49, s. 551–554.
- [3] Adamiecki K. (1931), *Harmonograf*. „Przegląd Organizacji”, rok VI, Nr 4, s. 137–139.
- [4] Błażewicz J., Cellary W., Słowiński R., Węglarz J. (1983), *Badania operacyjne dla informatyków*, WNT, Warszawa.
- [5] Brechner E. (2015), *Agile Project Management with Kanban*, Microsoft Press, Washington.
- [6] Conway R.W., Maxwell W.L., Miller L.W. (1967), *Theory of Scheduling*, Addison Wesley Longman Publishing, New York.
- [7] Cox J.F., Schleier J.G. (eds.), (2010), *Theory of Constraints Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- [8] Czech A. (2009), *Karol Adamiecki – polski współtwórca nauki organizacji i zarządzania (biografia i dokonania)*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.
- [9] Goldratt E. (1997), *Critical Chain*, The North River Press, Great Barrington.
- [10] Gross J.M., McInnis K.R. (2003), *Kanban Made Simple*, AMACOM, New York.
- [11] Hanusz T. (1972), *Planowanie wykonawcze produkcji w przedsiębiorstwie przemysłowym*, PWE, Warszawa.
- [12] Heidrich Z. (1970), *Karol Adamiecki. O nauce Organizacji. Wybór pism*, PWE, Warszawa.
- [13] Hopp W.J., Spearman M.L. (2000), *Factory Physics*, Irwin McGraw-Hill, Boston.
- [14] Kalinowski K. (2013), *Harmonogramowanie dyskretnych procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [15] Kelley Jr J.E., Walker M.R. (1959), *Critical-path planning and scheduling*, In Papers presented at the December 1–3, 1959, eastern joint IRE-AIEE-ACM Computer Conference, ACM, New York, pp. 160–173.
- [16] Kosieradzka A. (red.), (2016), *Podstawy zarządzania produkcją. Ćwiczenia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [17] Lis S. (1984), *Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym*, PWN, Warszawa.
- [18] Pająk E., Klimkiewicz M., Kosieradzka A. (2014), *Zarządzanie produkcją i usługami*, PWE, Warszawa.
- [19] Porębski Z., Jarosławski K. (1970), *Metody analizy drogi krytycznej i ich zastosowanie w przedsiębiorstwie*, WNT, Warszawa.
- [20] Schragenhem E., Dettmer W. (2001), *Manufacturing at Warp Speed*, CRC Press, Boca Raton.



- [21] Wojdak M. (2008), *Karol Adamiński (1866–1933)*, <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/815>, data dostępu: 5.05.2017 r.
- [22] Wróblewski K.J., Krawczyński R., Kosieradzka A., Kasprzyk S. (1984), *Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji*, WNT, Warszawa.
- [23] Zbichorski Z. (1972), *Metody graficzne w zarządzaniu i organizacji produkcji*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Karol Adamiński's Graphic Method of Rational Organizing of the Manufacturing Process and its Contemporary Follow-up

Summary

In 1896 Karol Adamiński introduced to management practices charts for organizing work, and called them schedules. This gave rise to development of methods aimed

at rationalisation of manufacturing processes organizing. In the paper, the following methods of work processes organizing are discussed: production scheduling methods, the theory of queues and priority rules, methods of project planning such as network diagrams and the critical chain method, kanban and other variations of a pull system. The theory of constraints and its tool – drum-buffer-rope are also discussed. In the paper the conclusion on the following aspects have been emphasised: a permanent need for processes coordination within time, and a short “life” of schedules treated as sample plans, due to general and specific random variation of processes, the evolution from push to pull approach and the contemporarily applied methods of current coordination of processes.

Keywords

schedule, methods of processes coordination, organizing of manufacturing processes
