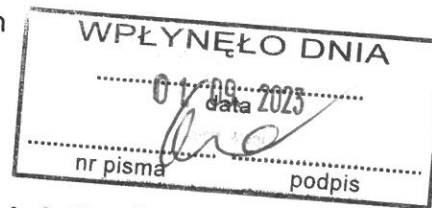


Gliwice, 25.08.2023r.

Prof. dr hab. inż. Bożena Skołod
Katedra Automatyzacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Politechnika Śląska



**Opinia na temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Rewers zatytułowanej
„Metodyka poziomowania produkcji w kontekście rotacji zapasów oraz
dostępności wyrobów gotowych”.**

1. Wprowadzenie

Producenci konkurują ze sobą na różnych polach, m.in. w zakresie wdrażania nowych technologii i stosowania nowoczesnych technik wytwarzania. Konkurencyjność coraz częściej dotyczy również zmian w zakresie organizacji produkcji i korzyści jakie z nich wynikają. Znacząco przybywa producentów dostarczających wyroby odpowiadające na zmienne oczekiwania rynku. Podjęcie się takiego wyzwania i dołączenie do tej grupy pociąga za sobą konieczność harmonogramowania zadań w sposób zapewniający spełnienie oczekiwań klienta (wykonanie odpowiedniej ilości w czasie, cenie i jakości) przy uwzględnieniu ograniczeń producenta w kontekście dostępności zasobów (materiałów, maszyn, zasobów ludzkich) oraz przy zachowaniu jak najniższego poziomu zapasów. Przedstawiona powyżej prosta analiza przybliży nas do powszechnie wymienianej w literaturze, choć nie tak często stosowanej, koncepcji lean.

Innym aspektem wpływającym na istotność podjętych badań przez Doktorantkę jest zbliżanie się do zrównoważenia produkcji, której jednym z elementów jest wykorzystanie posiadanych zasobów oraz minimalizacja zapasów wyrobów gotowych. Zrównoważony rozwój gospodarczy przede wszystkim bazuje na realistycznej, uczciwej i dokładnej ocenie oraz eliminacji marnotrawstwa we wszystkich aspektach procesu produkcyjnego. Osiągając zrównoważony rozwój ekonomiczny, producenci zajmują się kwestiami, które umożliwiają im również zajęcie się i zmniejszenie wpływu ich działalności na środowisko oraz osiągnięcie zrównoważonego rozwoju w sensie globalnym. Na przykład Firma SECO Tools pisze: „Analizując zrównoważony rozwój w odniesieniu do globalnych kosztów pracy, ocena wydajności pracy powinna wykluczać koszty wynagrodzeń. Wydajność pracy równa się obrotowi produkcji, minus koszty zakupionych towarów i usług, podzielone przez liczbę pracowników, podzielone przez jednostkę czasu”. Przedstawione przez SECO podejście jest możliwe jedynie wtedy, gdy zasoby są równomiernie wykorzystywane.

Podjęte w doktoracie zadanie znajduje odzwierciedlenie w tych potrzebach i dążeniach, a uzyskane wyniki przybliżają przedsiębiorstwo do sprostania wymienionym oczekiwaniom.

Praca doktorska mgr Pauliny Rewers, będąca przedmiotem oceny, została ulokowana w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, obecnie inżynieria mechaniczna. Tematyka pracy dotyczy kwestii organizacji i eksploatacji systemów produkcyjnych, w szczególności harmonogramowania produkcji, poziomowania, oceny wybranych wskaźników wydajnościowych. W związku z tym z pełnym przekonaniem potwierdzam, że zagadnienia podejmowane w pracy obejmują zagadnienia z obszarów wybranej dyscypliny.

2. Analiza treści rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska została podzielona na 6 rozdziałów, które poprzedzono, streszczeniem, przedstawieniem układu pracy oraz wprowadzeniem. Na końcu pracy zamieszczony został wykaz literatury w porządku alfabetycznym.

We wprowadzeniu zaprezentowany został pogląd Doktorantki na temat harmonogramowania w przedsiębiorstwach. Uwagę zwróciła Ona na brak odpowiednich narzędzi informatycznych wspomagających harmonogramowanie i wykorzystywanie do tego celu prostych arkuszy kalkulacyjnych. W tym kontekście zasygnalizowane zostało zagadnienie, jakim jest opracowanie metodyki harmonogramowania produkcji zaspokajającej zmienne zapotrzebowanie na wyroby. Za obiecujące uznała poziomowanie produkcji (jap.: Heijunka) prowadzące do stabilności procesu w warunkach zmiennego zapotrzebowania. Pomimo, że Heijunka nie jest nowym podejściem, Doktorantka postanowiła skupić się na nim i jako cel szczegółowy postawiła sobie opracowanie metodyki, która znajdzie zastosowanie w określonych warunkach przemysłowych. Ocena uzyskanych harmonogramów ma się sprowadzić do wyznaczenia i weryfikacji wskaźnika rotacji zapasów oraz terminowej realizacji zamówień.

W pierwszym rozdziale przedstawione zostały kwestie istotne ze względu na tematykę pracy, m.in. zagadnienia z obszaru planowania produkcji, wybrane zagadnienia dotyczące harmonogramowania, obszar związany z poziomowaniem produkcji, narzędzia poziomowania produkcji oraz wskaźniki oceny. Zabrakło krytycznej analizy stanu wiedzy i praktyki, która by prowadziła do potrzeby, a dalej do celu pracy. Przegląd literatury zakończono wnioskami, jednym z ważniejszych jest stwierdzenie, że jest wiele niespójności w definiowaniu poziomowania. Brak jest też potwierdzenia badaniami naukowymi oraz wynikami w przedsiębiorstwach. Innym wnioskiem jest przedstawienie podejścia intuicyjnego i analitycznego, które zdaniem Doktorantki nie znalazły praktycznego zastosowania. W pierwszym przypadku z powodu braku określonej procedury (kroków postępowania). W przypadku podejścia analitycznego wymagany jest zbyt rozbudowany aparat matematyczny, co dla przeciętnych przedsiębiorców stanowi problem. Pragnę zwrócić uwagę, że rozbudowany aparat matematyczny może być zaszyty w sposób nieodstraszający użytkownika, a wręcz jest dla użytkownika niewidoczny, ale to już jest inne zagadnienie, którego Doktorantka się nie podjęła. Na tym etapie zostały również wybrane wskaźniki oceny, są to dostępność wyrobów i rotacja zapasów. Ze względu na ich wzajemną zależność zadaniem planisty będzie doprowadzenie do „odpowiedniego” balansu między nimi. Podsumowując ten

rozdział zwróciła uwagę na potrzebę opracowania podejście, które nazwała „praktycznym”, a które będzie wykorzystywało znane, niezbyt skomplikowane narzędzia analityczne, a przez co stanie się bardziej przyjazne przedsiębiorcom.

Analizując rozdział zatytułowany „Cel teza, pracy i metody badawcze” nasuwa się spostrzeżenie, że Doktorantka jest świadoma złożoności zagadnienia oraz braku uniwersalnych metod. Zauważa również, że stosowane kryteria stoją w sprzeczności z sobą i w związku z tym poszukuje kompromisu, który zapewni satysfakcję zarówno klientowi jak i producentowi. Jednakże postawiona teza została sformułowana w sposób dość ogólnikowy. Uważam, że przedstawienie tezy w pracach o praktycznym, wdrożeniowym charakterze nie jest konieczne. Wystarczające wówczas jest przedstawienie celu naukowego i zakresu pracy oraz zaproponowanie metodyki, która w rezultacie pozwoli na porównanie uzyskanych wyników z wynikami uzyskanymi innymi metodami lub z dotychczas osiąganymi. Te elementy znalazły się w rozprawie.

W kolejnej części pracy zostały przeprowadzone badania symulacyjne dla danych wygenerowanych losowo oraz kolejno, dla danych pochodzących z rzeczywistego procesu produkcyjnego.

W pierwszym przypadku skorzystano z aplikacji Excel, w drugim symulację przeprowadzono w programie Flex Sim. Takie zróżnicowanie sposobu prowadzenia eksperymentu powinno być poparte podaniem przyczyn i wstępną analizą potwierdzającą, że w obu przypadkach uzyskane rezultaty są podobne. Sugeruję, aby co najmniej dla pierwszego eksperymentu z danymi generowanymi losowo, przeprowadzić porównanie i uzyskać potwierdzenie, że również symulacja w programie FlexSim daje taki sam wynik.

W części badawczej porównano wartości wskaźników oceny, tj.: (1) rotacji zapasów (2) terminowości realizacji zamówień. Przyjęto szereg założeń, dla których rozwiązanie jest poprawne. Wśród większości nie budzących wątpliwości, pojawiły się również takie: (1) zakłada, że w systemie nie występują zakłócenia, (2) nie uwzględnia się wpływu czynnika ludzkiego na wydajność pracy. Założono ponadto, że zlecenia napływają w sposób losowy, ale jednocześnie, że znane są dane historyczne. Nie kwestionuję tych założeń, a jedynie poddaję je pod dyskusję w kontekście akcentowania przez Doktorantkę praktyczności prezentowanego podejścia.

Następnie przedstawione zostały etapy poziomowania produkcji, jest ich 6, począwszy od ustalenia podobieństwa technologicznego dla wybranej grupy wyrobów, zarządzanie zapasami i wyznaczanie ich wielkości, aż po opracowanie wariantów harmonogramu produkcji i wybór jednego z nich. Szczegółowo przedstawiono analizę ABC/XYZ, która została wybrana do pogrupowania wyrobów. Kolejny etap obejmuje poszukiwanie podobieństwa technologicznego z wykorzystaniem macierzy podobieństwa. Założono, że jeśli wyroby są wykonywane na tych samych maszynach (wskaźnik 1), to mogą wykazywać podobieństwo technologiczne. Uważam, że jest to spore uproszczenie. Warto byłoby skorzystać do określenia podobieństwa z dowolnego klasyfikatora, np. program Sysklass.

Przedstawiano sposób podziału na partie produkcyjne, w zależności od dostępności czasu na przebrojenia, przy założeniu, że każda zmiana produktu wymaga przebrojenia. Czas dostępny będzie zależał od liczby zleceń, dlatego trzeba ostrożnie dokonywać tego podziału. Nadmierne rozdrobnienie partii i liczne przebrojenia wpłyną na wzrost elastyczności ale jednocześnie spowodują, że przy niewielkiej produkcji nie będzie możliwości przyjęcia kolejnych zleceń. Dobrze, że zaznaczono możliwość wcześniejszej rezerwacji czasu na inne zadania.

Przyznaję, że analiza jest ciekawa, uwzględnia średnie zapotrzebowanie na wyroby i w „najgorszym” przypadku, jeśli liczba przebrojeń odpowiada liczbie asortymentów, wtedy przebrojenie będzie równe średniemu zapotrzebowaniu na wyroby, uwzględnione są też przypadki, gdy liczba przebrojeń jest większa. Doktorantka przewidziała też sytuacje, gdy liczba przebrojeń jest mniejsza od liczby pozycji asortymentowych, wówczas, niestety, produkcja nie zostanie wykonana na czas.

W tym miejscu zabrakło analizy podobieństwa wyrobów. W wielu sytuacjach produkcyjnych, w szczególności, gdy używane są urządzenia wielonarzędziowe, wyroby o dużym podobieństwie, mogą być wykonywane bez zauważalnej przerwy, tj. bez przebrojenia i mogą być realizowane w dowolnej sekwencji.

Rozdział 4 poświęcono eksperymentowi symulacyjnemu. W pierwszej części eksperyment został przygotowany w MS Excel z wykorzystaniem generatora danych wejściowych. Wprowadzono poważne ograniczenia co do liczby stanowisk oraz liczby zleceń. Jeśli chodzi o sprawdzenie metody tego typu założenia są słuszne, gdyż łatwiej jest prowadzić analizę poprawności przyjętej metody.

Wyznaczono przedział czasu (w tym przypadku co 0,45 tygodnia), co jaki można wprowadzać partie produkcyjne. Przedstawione wyniki pokazują, że produkcja poziomowana realizowana zgodnie z opracowanym algorytmem daje każdorazowo lepsze wyniki w odniesieniu do wszystkich wskaźników uwzględnianych w procesie oceny. Uzyskane obiecujące wyniki upoważniły Doktorantkę do przeprowadzenia kolejnych eksperymentów dla danych z przedsiębiorstwa. Niestety dane do eksperymentu przedstawiono w postaci liczb nie przedstawiono procesu i jego charakterystyki. Szkoda, że w załączniku do pracy nie przedstawiono szerszego opisu procesu.

Kolejnym elementem pracy jest ciekawy sposób oceny poprawności metodologii. Opracowano zadanie i instrukcje postępowania oraz poproszono 3 niezależnych ekspertów o przeprowadzenie poziomowania. Ponadto poproszono ich o wypełnienie ankiety na temat wykonania poszczególnych etapów metodyki. Celem tego badania było potwierdzenie „wykonalności” poziomowania oraz wskazanie trudności pojawiających się przy wykonaniu zadania poziomowania oraz oceny wyników. Taka ocena jest pożądana w szczególności, gdy ważna jest użyteczność badań i uzyskanych wyników.

Na koniec przedstawiono wnioski i podsumowano pracę.

3. Uwagi

Praca pomimo interesującej i wartościowej zawartości posiada pewne mankamenty i kwestie dyskusyjne. Przedstawiam je poniżej.

1. Analiza literatury obejmuje pozycje tematycznie powiązane z pracą, zabrakło jednak literatury, w szczególności artykułów z lat 20. Pojawiają się pewne książki z ostatnich lat, jednak są to głównie monografie, będące same podsumowaniem stanu wiedzy na niniejszy temat.
2. Trudno się zgodzić ze stwierdzeniem, że flow-shop występuje w procesach chemicznych lub stali. Doktorantka pomyliła to pojęcie z produkcją ciągłą. Flow-shop jest podobnie jak job-shop sposobem przepływu w systemach dyskretnych. Ponadto sposób przepływu job-shop powiązano z przepływem szeregowym. W szczególnym przypadku może tak być, jednakże ze względu na różnorodność marszrut oraz zróżnicowane czasy operacji i różną liczbę operacji w poszczególnych zadaniach, w wielu przypadkach przyjęte założenie spowoduje wydłużenie czasu realizacji zbioru zadań.
3. Doktorantka przedstawiła różne podejścia do poziomowania produkcji. Zwróciła uwagę na próby przejścia z produkcji realizowanej w dużych partiach do przepływu pojedynczego przedmiotu (one-piece-flow), oraz na określeniu miksu produkcyjnego, tj.: sekwencji wyrobów wykonywanych w narzuconej kolejności i zaprezentowano wynikające z tego korzyści. Zastanawia więc dlaczego odrzuciła przepływ po jednej sztuce (one-piece-flow), na rzecz produkcji w partiach i czy jedynym powodem takiej decyzji jest konieczność przezbrajania. Pojawia się pytanie, czy możliwa byłaby rezygnacja z partii oraz jakie działania byłyby konieczne by zrealizować taki zamiar, tym bardziej że poziomowanie charakteryzuje się dążeniem do zmniejszenia partii produkcyjnej oraz do zmniejszenia średnich zapasów. Inne podejście do poziomowania produkcji, z którego również nie skorzystała, sprowadza się na standaryzacji narzędzi i działań oraz ustalenia sekwencji, co umożliwi one-piece-flow przy stałym założonym takcie.
4. W rozdziale „Cel, teza pracy i metody badawcze”, stwierdzono, że celem badań symulacyjnych jest sprawdzenie skuteczności metodyki. Rzeczywiście skuteczność została dowiedziona z porównania produkcji prowadzonej do tej pory i zaproponowanego sposobu poziomowania. Doktorantka nie przewidziała w pracy badań porównawczych różnych metod.
5. Metodyka badań jest, można by rzec, klasyczna, składa się z (1) wygenerowania danych losowych, (2) przeprowadzenia poziomowania, (3) porównania sptywu produkcji z zamówieniami klienta, (4) obliczenia wskaźników.
6. Wśród licznych założeń, przyjęto, że produkcja jest wykonywana w zgodzie ze strategią MTS. Jednakże ta strategia bazuje na prognozowanym zapotrzebowaniu

- na produkty. W pracy ten aspekt nie jest analizowany. Wydaje się, że przyjęta strategia jest połączeniem MTS i MTO.
7. Na podstawie analizy trudno jest stwierdzić w jaki sposób napływają zadania. Z jednej strony system wydaje się reagować na zapotrzebowanie klientów, zaś w innym miejscu jako czynniki determinujący jest wskazany klient – który określa wielkość, częstotliwość oraz wartość zamówienia. Należałoby jednoznacznie określić dla jakiej dopuszczalnej zmienności poziomowanie będzie przeprowadzane.
 8. Mierniki poziomowania produkcji: wymieniono wśród nich „dostawca” i „logistyka”, w obu przypadkach określono je analogicznie (częstotliwość i wielkość dostaw oraz częstotliwość i wielkość zasileń materiałowych), warto rozważyć rezygnację z jednego zestawu wskaźników lub wskazać różnice między nimi.
 9. Analizując warianty harmonogramów, wybrano SPT, LPT, uzasadniając ich powszechnością oraz tym, że zazwyczaj minimalizują C_{max} . Rzeczywiście tak jest, jednakże LPT ze względu na lokowanie w pierwszej kolejności zadań z długimi czasami operacji często powoduje duże opóźnienia względem terminów dyrektywnych. Wydaje się jednak, że ze względu na fakt, że wskaźnik oceny mówi o terminowości zleceń, warto byłoby przeanalizować wynik np. dla reguły „najwcześniejszy termin dyrektywny” (ang. earliest due date – EDD).
 10. Przyjęto arbitralnie stosowanie przepływu szeregowego bez podziału na mniejsze partie. Wiadomo, że ten przepływ daje największy C_{max} . Powodem tej decyzji jest zapewne łatwość organizacji tego przepływu. Pamiętając o powodzie doboru reguł, które ten wskaźnik (C_{max}) minimalizują należałoby jednak przedyskutować taką decyzję.
 11. Efektywny czas pracy został wyznaczony jako iloczyn normatywnego dostępnego czasu pracy wskaźnika OEE (dostępność*wydajność*jakość). Zwracam uwagę, że jednym założeniem w pracy jest brak zakłóceń w produkcji, jak w takiej sytuacji należy interpretować OEE? Ponadto sam wskaźnik OEE bez dodatkowych informacji jest bardzo trudny do zinterpretowania.
 12. Rys. 3.12 – szary proces w drugim przejściu nie ma operacji na M2. Podobna sytuacja ma się w odniesieniu do Wariantu 2 (Rys.3.13). Na podstawie rysunku można wnioskować, że przepływ w tych przypadkach odbiega od założonego Szeregowego. Widać, że na M2 partia wykonywana jest w całości, zaś na kolejnych maszynach została podzielona na 2. Wykresy Gantta bez dołączonej legendy opisującej procesy są praktycznie nieczytelne.
 13. Analizując literaturę z zakresu reguł priorytetu dwukrotnie została podana ta sama pozycja autorstwa K. Wróblewskiego. Zabrakło z tego powodu istotnej pozycji „Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji”. Ten brak traktuję jako niedopatrzenie.
 14. W pracy dodano informację z adresem linku, do załączników. Przepisanie adresu już jest kłopotliwe. Załączone pliki są niewielkie, kilkunastosekundowe. O wiele czytelniej byłoby je zamieścić na końcu pracy.

4. Konkluzja

Problem poziomowania produkcji i poszukiwanie coraz to bardziej odchudzonych form jest zagadnieniem doskwierającym współczesnym przedsiębiorstwom. Z jednej strony zmiernają do elastyczności, z drugiej do ograniczenia kosztów produkcji. Te sprzeczne kwestie stały się w ostatnich latach „oczekiem w głowie”. Poszukiwane są podejścia, które pozwolą na z jednej strony oszczędną produkcję, z drugiej zapewnią spełnienie oczekiwań klientów. Przedstawione rozwiązanie jest kompromisem tych dwóch kwestii. Doktorantka postawiła bardziej na praktyczność metodyki i rozwiązań, niż na poszukiwanie uniwersalnych i idealnych wzorców.

Rozprawa ma charakter naukowy, co przejawia się przedstawieniem oryginalnej definicji poziomowania produkcji, opracowaniem metodyki poziomowania produkcji oraz ciekawym sposobem weryfikacji poprawności działania algorytmu poprzez zaangażowanie 3 niezależnych ekspertów.

Praca ponadto ma charakter użyteczny, zaprezentowano przykłady, które potwierdziły przyjęte założenia. Metodę można wdrożyć w łatwy sposób w przedsiębiorstwie, którego produkcja spełnia założenia przedstawione w rozprawie.

W niniejszej recenzji znalazły się liczne uwagi, niektóre z nich mają charakter porządkujący i wskazujący na niedociągnięcia, lub na niedostateczne wyjaśnienia pewnych kwestii, inne są sugestiami do dalszych badań. Uwagi te nie wpływają na moją pozytywną opinię, a mam nadzieję, że staną się inspiracją do dalszych badań.

Uważam, że Doktorantka udowodniła, że potrafi prowadzić badania naukowe oraz wykorzystać uzyskane wyniki.

W związku z powyższym pozytywnie oceniam rozprawę doktorską pani mgr. Pauliny Rewers zatytułowaną „Metodyka poziomowania produkcji w kontekście rotacji zapasów oraz dostępności wyrobów gotowych” i stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania wynikające z obowiązującej ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony.

Bożena Skolmowska