

Bartosz CIEŚLA¹

Opiekun naukowy: Janusz MLECZKO²

PLANOWANIE WIELOSTANOWISKOWEJ PRODUKCJI MAŁOSERYJNEJ W SYSTEMACH ERP

Streszczenie: W artykule przedstawiono model harmonogramowania produkcji dedykowany dla przedsiębiorstw o zróżnicowanym parku maszynowym i wysokich kompetencjach kadry produkcyjnej. Tradycyjne planowanie, bazujące na definiowaniu tylko jednego zasadniczego zasobu w postaci maszyny, zostało rozwinięte do podejścia dwuzasobowego i odzwierciedla zależności pracownik – maszyna. Umożliwiło to precyzyjny przydział zadań dla załogi pracującej w systemie wielostanowiskowym.

Słowa kluczowe: harmonogramowanie, planowanie, wielostanowiskowa, wielozadaniowa, małoseryjna

PRODUCTION PLANNING OF SMALL BATCH PRODUCTION FOR MULTIPLE-OPERATOR IN ERP SYSTEMS

Summary: Production planning model which is described in this paper is dedicated for companies with differential machinery park and highly skilled workers. As distinct from traditional planning with one essential resource: machine, it was developed for two resources dependent: worker and machine. This approach enables very precise method of assigning tasks in multiple-operator production systems.

Keywords: production planning, small batch, multiple-operator

1. Wprowadzenie

W sektorze małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) można zaobserwować występowanie firm, które odnalazły swoją niszę produkcyjną w oferowaniu produktów dokładnie dopasowanych do potrzeb klienta. Najbardziej rozwinięte z nich wykonują to zgodnie z założeniami Industry 4.0. Z racji, iż zazwyczaj konkurują one z koncernami oferującymi niższe ceny za produkty uniwersalne, muszą kompensować różnicę w swoich kosztach wytworzenia stosunkowo tanio uzyskaną personalizacją

¹ Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Budowa i Eksploatacja Maszyn, b.ciesla@hotmail.com

² dr hab. inż., Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, jmleczko@ath.bielsko.pl

[1, 2]. Przeważnie odbiorca musi być skłonny do dopłacenia za produkt, który dzięki jego unikalności przyniesie mu określone korzyści, istnieją jednak systemy produkcji kastomizowanej zachowujące kryteria kosztowe [5]. Potrzeby klienta określają czy dzięki personalizacji ma wykonywać zadania szybciej, lepiej, wygodniej czy taniej [3].

Przedsiębiorcy, którzy chcą być zdolni do możliwie najszybszego zaspokajania potrzeb klientów, muszą dysponować zróżnicowanym parkiem maszynowym dopasowanym do spektrum oferowanego asortymentu. W efekcie takiego podejścia, część zasobów w postaci maszyn pozostaje okresowo niewykorzystana, ale znacznie wzrasta elastyczność produkcji i skróceniu ulega cykl realizacji zamówień. Załoga produkcyjna w takich przedsiębiorstwach musi posiadać wysokie kompetencje, związane z pracą na urozmaiconych maszynach. Nie należy postrzegać tego faktu jako dodatkowe obciążenie, ale jako szansę na pozyskanie nowych klientów oraz racjonalizację kosztów, ponieważ w przypadku załogi elastycznej funkcjonalnie łatwiej sterować ilościowo-jakościową strukturą zatrudnienia [4]. Analogiczne uwarunkowania można zaobserwować przy produkcji elementów podobnych, ale o zróżnicowanych gabarytach. Przykładem mogą być szlifierki kłowe lub do otworów, dla których zakres średnicy obrabianego detalu jest precyzyjnie określony przedziałem wielkości w dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR). Chcąc więc produkować elementy małe, średnie i duże firma musi dysponować co najmniej 3 maszynami. Przy produkcji małoseryjnej i jednostkowej, maszyny te będą przeważnie obsługiwane przez tych samych pracowników w sposób naprzemienny, nawet w trakcie tej samej zmiany roboczej [6].

Głównym zadaniem informatycznego systemu do planowania produkcji, dedykowanego dla powyżej opisanych przedsiębiorstw, staje się odzwierciedlenie wielostanowiskowej specyfiki pracy. Tradycyjny model definiuje dostępność tylko jednego zasadniczego zasobu produkcyjnego – maszyny. Nie daje to możliwości rozdzielenia pracy operatorów wielostanowiskowych w taki sposób, aby jej maksymalna część mogła zostać jak najszybciej sprzedana w postaci skompletowanego zamówienia. Planista nie jest w stanie analizować i korygować dostępności stanowisk, w grupach maszyn obsługiwanych przez tych samych pracowników w taki sposób, aby dostosować ją do aktualnych terminów zamówień narzuconych przez klientów. Rozwiązaniem wydaje się rozbudowanie tradycyjnego modelu o więcej zmiennych.

2. Studium przypadku

Przeanalizowano przypadek fabryki BEFARED S.A., przedstawiciela branży maszynowej, produkującego napędy i części, głównie dla przemysłu ciężkiego oraz wydobywczego, w systemie małoseryjnym i jednostkowym. Wyroby firmy są przeważnie wysoce spersonalizowane i projektowane w odpowiedzi na specyficzne potrzeby odbiorców. Park maszynowy przedsiębiorstwa składa się między innymi z 5 grup maszyn obsługiwanych wielostanowiskowo. Każda z nich zbudowana jest z 5 do 8 stanowisk pracujących w systemie jedno- lub dwuzmianowym. Dodatkowo na 3 grupach maszyn praca odbywa się wielozadaniowo tzn. jeden pracownik może obsługiwać kilka maszyn w tym samym czasie. Dotychczas na potrzeby planowania, dostępność wszystkich powyżej opisanych maszyn, była oszacowana na podstawie

danych historycznych i wynosiła 4,25 godziny na zmianę roboczą. Harmonogram produkcji był projektowany w odstępach 4 tygodniowych i ze względu na taki horyzont czasowy podejście sprawdzało się w praktyce. Chwilowe przeciążenia pracą, które powstawały ze względu na możliwość jednoczesnego obciążenia wszystkich maszyn w obrębie jednej grupy, były wyrównywane w kolejnych tygodniach. Powodowały jednak nerwowość wśród pracowników dozoru średniego szczebla, którzy otrzymywali jednorazowo do realizacji nawet dwa razy więcej pracy, niż byli w stanie wykonać ze swoimi podwładnymi w danym tygodniu. Zjawisko nasiliło się wraz z dużym wzrostem zamówień w latach 2017-2018. Plan powstający na maszyny pracujące w systemie wielostanowiskowym stał się niemożliwy do realizacji. Niewykonanie zadań na czas skutkowało brakiem dostępności pracy na kolejnych stanowiskach procesu produkcyjnego. Dział planowania miał trudności z uzyskaniem rzetelnej informacji na temat przewidywanych terminów realizacji zamówień. Podjęto działania korygujące mające na celu zmianę sposobu planowania tak, aby lepiej odzwierciedlał specyfikę pracy wielozadaniowej. W efekcie we współpracy z dostawcą oprogramowania REKORD.ERP zostało zaprojektowane dedykowane rozwiązanie opisane poniżej. Rozwiązanie to zostało zweryfikowane w praktyce produkcyjnej i przyniosło założone efekty.

3. Definicja problemu i planowana metoda jego rozwiązania

3.1. Definicja problemu

Stworzenie w informatycznym procesie harmonogramowania produkcji, powiązań pomiędzy dostępnością maszyny, a dostępnością dodatkowo wprowadzonego zasobu zasadniczego w postaci pracownika. Powiązanie ma odzwierciedlać rzeczywiste możliwości pracownika do obsługi maszyn w systemie wielostanowiskowym (przeszkolenie do obsługi różnych maszyn) z opcjonalną pracą wielozadaniową (obsługą kilku maszyn w tym samym czasie). Poprzez takie założenia ma zostać usprawniony proces planowania wytwarzania.

3.2. Planowana metoda rozwiązania

Rozwiązanie polega na dwuzasobowym podejściu do przydzielania zadań pracownikom. Stwierdzono, że maszyna postrzegana jako zasób, jest dostępna dla przedsiębiorstwa 24 godziny na dobę, a czynnikiem faktycznie ograniczającym jej możliwości produkcyjne jest pracownik, który ma ją obsługiwać. Należy więc stworzyć w systemie ERP możliwość opisania dwóch zasobów zasadniczych: maszyny i pracownika. Następnie należy powiązać pracowników z maszynami, do obsługi których zostali wyszkoleni. Powiązanie to, będzie dla algorytmu harmonogramującego podstawową daną o dostępności zasobów zasadniczych w procesie. Ponadto, jeżeli pracownik obsługuje maszyny jednocześnie, należy go zdefiniować w systemie jako pewną kombinację zasobów, która odzwierciedla w jak największym stopniu jego specyfikę pracy.

3.3. Ogólne warunki funkcjonowania rozwiązania

W celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania rozwiązania, należy spełnić warunki skutecznego harmonogramowania takie jak [5]:

- Adekwatne normy czasowe dla operacji technologicznych.
- Określone czasy międzyoperacyjne: oczekiwania na dostawy kooperacyjne i transportu pomiędzy operacjami.
- Ewidencja i bieżąca rejestracja wszystkich realizowanych operacji.
- Definiowanie i aktualizowanie kalendarza pracy zakładu i regulaminów pracy dla maszyn i pracowników.
- Uwzględnienie w prognozowanej dostępności maszyn okresowych przeglądów i planowanych urlopów.
- Definiowanie i aktualizacja powiązań pomiędzy maszynami i pracownikami.
- Rzetelne czasy dostaw materiałowych oraz bieżąca korekta opóźnień wśród dostawców. Włączenie do czasu dostawy buforów transportowych oraz operacyjnych na przyjęcie i kontrolę dostawy.

4. Implementacja rozwiązania w systemie REKORD.ERP

4.1. Zebranie informacji niezbędnych do opisanie zasobów

W pierwszym etapie prac wdrożeniowych należało zebrać precyzyjne informacje dotyczące grup maszyn obsługiwanych w systemie wielostanowiskowym. Dla przyszłego definiowania zasobów potrzebna jest wiedza o charakterze pracy, czyli czy robotnicy pracują w systemie zmianowym, czy są wielozadaniowi oraz do obsługi których maszyn zostali wyszkoleni. Wprowadzono również skrótowe oznaczenia grup stanowisk pracy, dla przykładu grupa FG to frezarki Gleasona. Dane przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Opis powiązań pomiędzy zasobami zasadniczymi. Źródło: opracowanie własne

Kod grupy maszyn	Liczba pracowników	Numery maszyn obsługiwanych	Tryb pracy	Wielozadaniowość
DP	1	135, 138, 139, 189, 218, 232	1-zmiana	NIE
FD	2	41, 42, 43, 46, 49, 55, 215	2-zmiany	TAK
FG	1	68, 69, 70, 74, 77	1-zmiana	TAK
FM	1	40, 47, 52, 56, 57, 65, 66	1-zmiana	TAK
SO	2	72, 73, 113, 114, 115, 116	2-zmiany	NIE

Następnym etapem było ustalenie możliwości pracowników w wielozadaniowej obsłudze maszyn. W tym celu zebrano dane historyczne dotyczące rejestracji operacji technologicznych w systemie ERP i obecności w pracy. Należy podkreślić, że w prezentowanym przypadku, rejestracja czasu pracy odbywa się w systemie START/STOP oraz pracownicy bardzo rygorystycznie przestrzegają jej zasad. Dla każdej z grup maszyn, zsumowano ilość godzin, jakie na ich obsługę zarejestrowali wszyscy pracownicy w 2017 roku. Następnie z modułu kadrowego uzyskano dane, o faktycznej obecności pracowników według rejestru czasu pracy (RCP). Wynikiem proporcji jednej i drugiej wartości jest współczynnik nazwany „współczynnikiem wielozadaniowości”. Obrazuje on średnią ilość godzin, jakie operator pracujący wielozadaniowo, powinien zarejestrować w trakcie 1 godziny obecności w pracy.

Dane godzinowe oraz współczynniki dla analizowanego przypadku przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki wielozadaniowości. Źródło: opracowanie własne

Kod grupy maszyn	Obecności	Zarejestrowane godziny	Współczynnik wielozadaniowości
FD	3488	6455	1,85
FG	1668	2153	1,29
FM	1606	2873	1,79

4.2. Zdefiniowanie regulaminów pracy

Jedną z podstawowych danych w procesie harmonogramowania są tzw. regulaminy pracy. Informują one w jakich godzinach zasoby podstawowe pozostają w gotowości do produkcji. Najbardziej powszechne są regulaminy jedno, dwu oraz trójzmianowe. W założeniach metody stwierdzono, że maszyna jako zasób jest dostępna dla przedsiębiorstwa 24 godziny na dobę i jest to zgodne z realiami analizowanej firmy. W związku z powyższym, zostanie zdefiniowany jeden regulamin pracy dla wszystkich maszyn, ustalający ich dostępność w dniach roboczych od godziny 00:01 do 23:59. Ograniczenia systemu w momencie prowadzenia prac, nie pozwalają na wprowadzenie definicji dostępności ciągłej, należy więc wykonać dwuminutowy przeskok godziny 00:00.

Dla pracowników wielostanowiskowych, obsługujących jednocześnie tylko jedną maszynę, regulamin pracy na pierwszej zmianie będzie ustalony od godziny 6:00 do 13:30, natomiast na drugiej zmianie od 14:00 do 21:30. Pracownik będzie więc jako zasób dostępny dla algorytmu 7,5 godziny w trakcie ośmiogodzinnej zmiany roboczej. Wynika to z faktu, iż pozostałe pół godziny wykorzystuje on na 3 przerwy regulaminowe i sprzątanie stanowiska pracy. Możliwe jest dokładniejsze rozpisanie czasów przerw, ale na potrzeby harmonogramowania w analizowanym przypadku przyjęte uogólnienie jest wystarczające.

Aby odzwierciedlić w systemie informatycznym REKORD.ERP, specyfikę pracy operatora wielozadaniowego, należy w uproszczeniu postrzegać go jako dwa osobne zasoby, ponieważ wykonuje dwie prace w tym samym czasie. Na bazie współczynnika wielozadaniowości z punktu 4.1 wyznaczono średnią ilość godzin jaką operator sumarycznie zarejestruje w trakcie zmiany. Przykładowo dla grupy maszyn FD powinno to być 14,8 godziny ponieważ współczynnik wynosi 1,85 i mnoży się go przez 8 godzin obecności w pracy. Następnie otrzymaną wartość rozdziela się pomiędzy dwa zasoby, które reprezentują możliwości pracownika do pracy wielozadaniowej. Przyjęto dla uproszczenia, że dla pierwszego zasobu należy przypisać czas maksymalny wynoszący 7,5 godziny, natomiast dla drugiego pozostałą pulę godzin. Jeżeli współczynnik wielozadaniowości (W) zawierałby się w przedziale $2 < W \leq 3$, wtedy należałoby wprowadzić trzeci zasób, opisujący tego samego pracownika. Tak zdefiniowane regulaminy pracy, dla wszystkich grup maszyn pracujących wielozadaniowo w analizowanym przypadku, przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Regulaminy pracy opisujące pracowników wielozadaniowych. Źródło: opracowanie własne

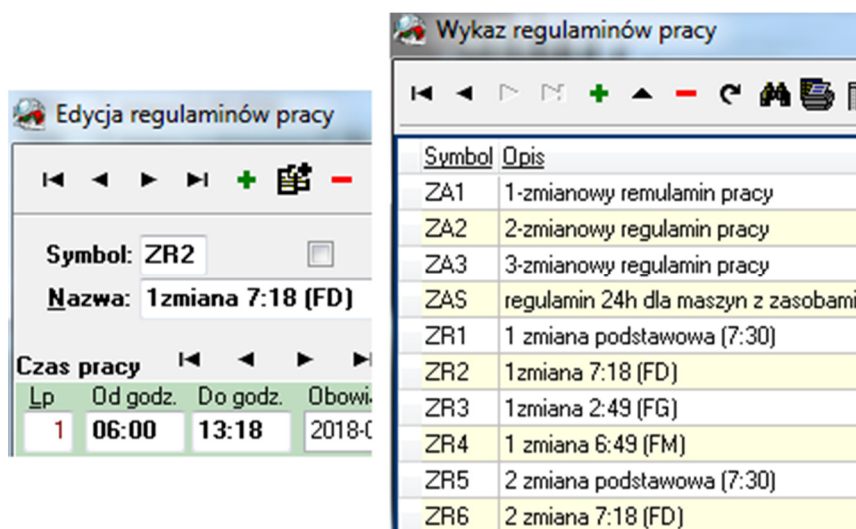
Kod grupy maszyn	Pierwsza zmiana, pierwszy zasób	Pierwsza zmiana, drugi zasób	Druga zmiana, pierwszy zasób	Druga zmiana, drugi zasób
FD	06:00-13:30	06:00-13:18	14:00-21:30	14:00-21:18
FG	06:00-13:30	06:00-08:49		
FM	06:00-13:30	06:00-12:49		

Należy zaznaczyć, że istnieje inna metoda rozdzielania czasu pracy pracowników wielozadaniowych, polegająca na projektowaniu różnych czasów pracownika i czasów maszynowych dla czasów jednostkowych operacji technologicznych. Posiada ona jednak własne ograniczenia dla obsługi więcej niż 2 maszyn przez jednego operatora, które nie stanowią zakresu niniejszej pracy.

4.3. Wprowadzenie danych do systemu REKORD.ERP

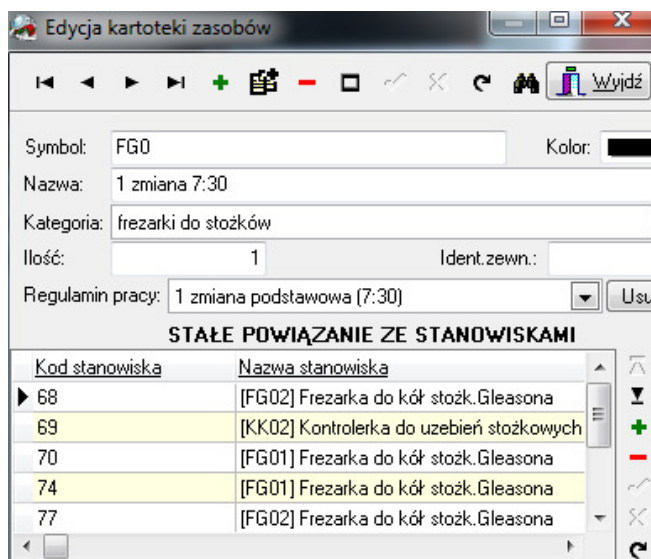
Specjaliści firmy dostarczającej oprogramowanie REKORD.ERP zaimplementowali proponowane rozwiązanie w nowym module funkcjonalnym. Poniżej opisano proces tworzenia i definiowania zasobów odzwierciedlających pracowników.

W pierwszym kroku należy stworzyć regulaminy pracy. Każdy z nich musi zostać opisany innym symbolem oraz nazwą, która pomoże w jego łatwej identyfikacji. Dla pierwszej zmiany w godzinach 6:00 do 13:30 wystarczy stworzyć jeden regulamin, który zostanie przypisany do różnych zasobów. Fragment okna dialogowego do wprowadzania regulaminów pracy oraz pełna lista regulaminów pracy, dla analizowanego przypadku, widoczna z poziomu kartoteki w oprogramowaniu, przedstawione zostały na Rysunku 1. W wykazie regulaminów pracy widoczne są również podstawowe regulaminy zakładu.



Rysunek 1. Definiowanie regulaminu pracy, lista regulaminów pracy. Źródło: opracowanie własne

W drugim kroku należy stworzyć zasoby reprezentujące pracowników. Każdy z nich musi mieć przypisaną pełną listę stanowisk, które może obsługiwać i odpowiedni regulamin pracy. Przykładowy zasób przedstawiono na Rysunku 2. Według powyżej zaprezentowanego sposobu należy dodać zasoby opisujące każdego z pracowników. Całościową listę zasobów stworzoną dla analizowanego problemu, przedstawiono na Rysunku 3.



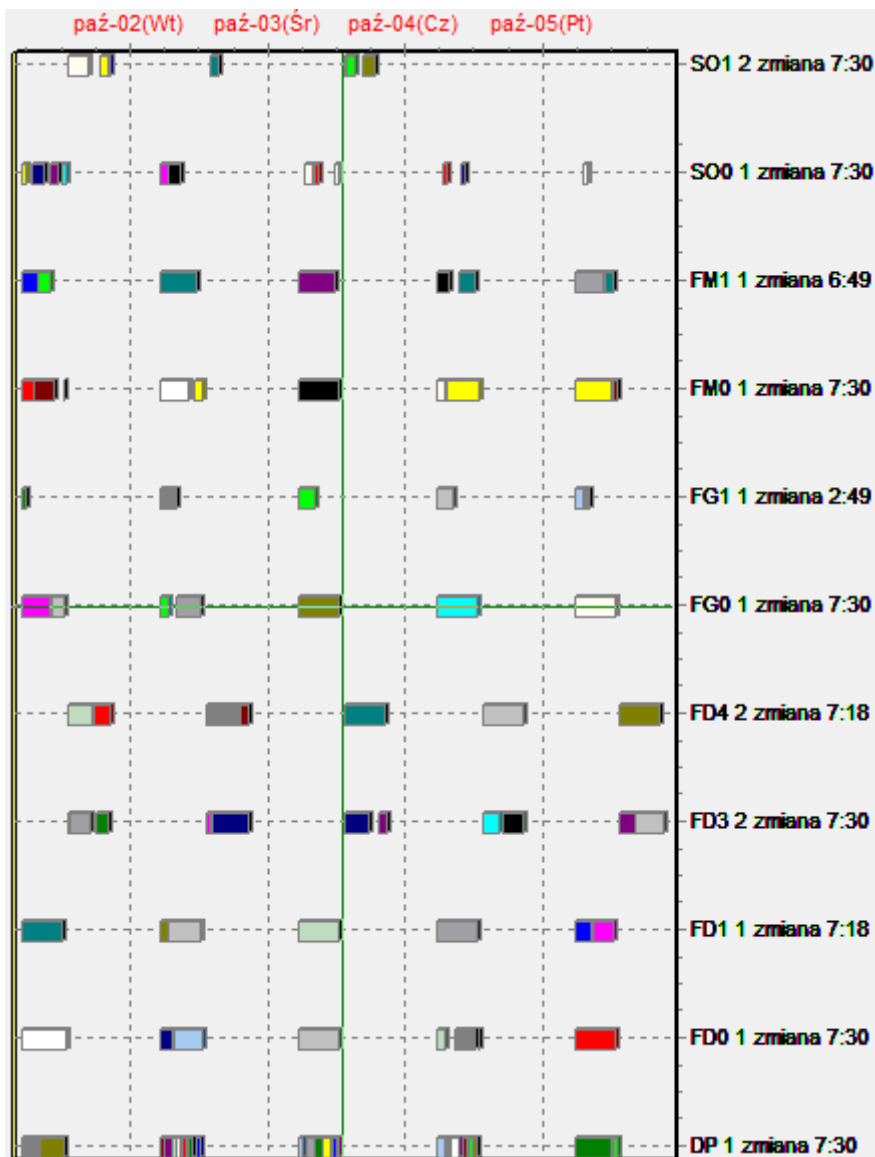
Rysunek 2. Opis zasobu reprezentującego pracownika. Źródło: opracowanie własne

Symbol	Nazwa	Regulamin
DP	1 zmiana 7:30	ZR1
FD0	1 zmiana 7:30	ZR1
FD1	1 zmiana 7:18	ZR2
FD3	2 zmiana 7:30	ZR5
FD4	2 zmiana 7:18	ZR6
FG0	1 zmiana 7:30	ZR1
FG1	1 zmiana 2:49	ZR3
FM0	1 zmiana 7:30	ZR1
FM1	1 zmiana 6:49	ZR4
SO0	1 zmiana 7:30	ZR1
SO1	2 zmiana 7:30	ZR5

Rysunek 3. Pełna lista zasobów reprezentujących pracowników. Źródło: opracowanie własne

4.4. Wyniki procesu harmonogramowania w systemie REKORD.ERP

Wizualizacją wyników procesu harmonogramowania według zasobów, jest na chwilę obecną wykres Gantta. Narzędzie do jego tworzenia pozwala na zawężenie widoku dla zadanego okresu czasu, grupy zasobów, bądź jednego wybranego zasobu. Widok pierwszego tygodnia planu, dla wszystkich zasobów opisanych w analizowanym problemie, przedstawiono na Rysunku 4.



Rysunek 4. Pełna lista zasobów reprezentujących pracowników. Źródło: opracowanie własne

Dla celów planistycznych, widok do analiz będzie musiał zostać rozwinięty do wersji interaktywnej mapy tygodni. Każdy zasób będzie w niej rozpisany ze względu na listę obsługiwanych stanowisk i zaplanowanych na nich roboczogodzin. Użytkownik po rozwinięciu danego tygodnia będzie mógł analizować obciążenie poszczególnych dni tygodnia. Dodatkowo z tego poziomu, wykonywane będą korekty dostępności zasobów, związane z planowaniem nadgodzin bądź urlopów. W tym celu planista zdefiniuje specjalne regulaminy pracy.

5. Podsumowanie

Wyniki harmonogramowania uzyskane przy użyciu opisanej metody, zgodnie z założeniami, okazały się dokładniejsze niż przy podejściu jednozasobowym. Nie stwierdzono ani jednego przypadku przeciążenia grupy maszyn obsługiwanej wielostanowiskowo. Prace planowane są prawidłowo, według założeń użytkownika. W trakcie realizacji planu natrafiono jednak na następujące problemy:

- Widoki funkcjonalne do analizy obciążeń poszczególnych maszyn z poziomu zasobu w programie ERP są niespójne z podejściem dwuzasobowym i należy je zbudować od nowa. Na chwilę obecną możliwości analizy planistycznej i jednorazowej korekty dostępności zasobów są ograniczone.
- Po pierwszym tygodniu realizacji harmonogramu zauważono niewystarczający rygor w przydzielaniu planowanych operacji przez dozór średniego szczebla. Zorganizowano niezwłocznie indywidualne szkolenia z pracownikami, które pogłębiły ich świadomość co do nowych zasad konstruowania planu. Przyczyną problemu okazało się przyzwyczajenie dozoru do przeciążeń i braku możliwości, zrealizowania dyspozycji w całości. W efekcie według własnej intuicji, modyfikowali oni przydzieloną kolejność zadań tak, aby maksymalnie skrócić czasy przebrojeń i oczekiwania.
- Algorytm dopuszcza rozpoczęcie pracy na jednej maszynie i nie kończenie jej przez nawet kilka kolejnych dni. W tym czasie przydziela do wykonania zadania na innych maszynach, z wyższym priorytetem lub krótszym terminem realizacji, które wcześniej były niedostępne. Początkowo zakwalifikowano to jako błąd, ale po analizie takiego podejścia uznano, że jest słuszne i nie należy go korygować.

Opisany sposób postępowania z planowaniem prac na maszynach obsługiwanych wielostanowiskowo jest bardzo uniwersalny. Można stworzyć dowolną kombinację zależności pomiędzy pracownikiem, a maszynami które może obsługiwać. Przykładowo, jeżeli maszyna jest bardzo energochłonna i powinna pracować w specjalnej taryfie energetycznej, można odpowiednio ograniczyć jej dostępność, a pracownicy zostaną w pozostałym czasie pracy rozplanowani do innych zadań. Kolejna możliwość to dokładne rozdzielenie czasu operatora pomiędzy kolejne maszyny w procesie. Będzie on wykonywał najpierw operacje na maszynie A, potem na maszynie B i tak dalej aż do wyczerpania puli godzin. Harmonogram produkcji będzie więc zaprojektowany tak, aby zakończyć jak najwięcej cykli dla partii produkcyjnych. Taki rozkład zadań uzyskuje się dzięki odpowiedniemu dostrojeniu regulaminów pracy do marszrut produkcyjnych, dla maszyn obsługiwanych przez tych samych pracowników. Rozwiązanie jest godne polecenia dla każdego przedsiębiorstwa produkującego w systemie wielostanowiskowym.

LITERATURA

1. LUKACS E.: The Economic Role of SMEs in Worlds Economy. Especially in Europe. *European Integration* 4(2005)1, 3-12.
2. SPRING M., DALRYMPLE J.F.: Product Customization and manufacturing strategy. *International Journal of Operations and Production Management* 20(2000)4, 441-467.
3. BARAN M., OSTROWSKA A., PANDER W.: Innowacje popytowe, czyli jak tworzy się współczesną innowacje. PARP, Warszawa 2012.
4. BARON-PUDA M.: Projektowanie strategii rozwoju kompetencji pracowników przedsiębiorstw produkcyjnych. *Zarządzanie przedsiębiorstwem*, 4(2012), 2-11.
5. MLECZKO J.: Planowanie produkcji jednostkowej i małoseryjnej w MŚP. Wydawnictwo Centrum Nowych Technologii, Bielsko-Biała 2018.
6. MLECZKO J., BARON-PUDA M.: Kształtowanie struktury kwalifikacyjnej zatrudnienia w warunkach produkcji kastomizowanej. *Zarządzanie przedsiębiorstwem*, 20(2017)3, 32-38.
7. Dane wewnętrzne Fabryki Reduktorów i Motoreduktorów BEFARED S.A., Bielsko-Biała, Grażyńskiego 71.