

## **USPRAWNIENIE PROCESU PRODUKCYJNEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE MEBLOWYM Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU ENTERPRISE DYNAMICS**

Paulina ZWOLENIK<sup>1</sup>, Andrzej PACANA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Rzeszów; paulinazwolenik@gmail.com; 000-0001-6154-2194

<sup>2</sup> Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Rzeszów; app@prz.edu.pl; 0000-0003-1121-6352

\* Korespondencja: app@prz.edu.pl; Tel.: +48-178-651-390

**Streszczenie:** Zgodnie z koncepcją OPT/TOC, w przedsiębiorstwie mogą istnieć ograniczenia zewnętrzne, jak i wewnętrzne, np. wąskie gardło. Skutkuje ono zmniejszeniem wydajności procesu produkcyjnego. Artykuł miał na celu stworzenie modelu i przeprowadzenie symulacji procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie meblowym za pomocą programu Enterprise Dynamics. Pozyskane wyniki pozwoliły na wyszczególnienie efektu wąskiego gardła w trakcie produkcji, a także na postawienie hipotezy odnoszącej się do braku płynności procesu. W celu jego eliminacji dokonano modyfikacji modelu w programie, po czym powtórzono symulację. Uzyskane informacje zezwoliły na porównanie stanu przed modyfikacją oraz po przekształceniu. Przeanalizowano otrzymane rezultaty, proponując rozwiązanie poprawiające przebieg procesu.

**Słowa kluczowe:** OPT/TOC, wąskie gardło, proces produkcyjny, wzrost wydajności

## **IMPROVING THE PRODUCTION PROCESS IN A FURNITURE ENTERPRISE BY USING THE ENTERPRISE DYNAMICS PROGRAM**

**Abstract:** According to the OPT/TOC concept, there may be internal and external restrictions in the enterprise, e.g. a bottleneck. It results in a decrease in the efficiency of the production process. The article was aimed at creating a model and simulating the production process in a furniture company using the Enterprise Dynamics program. The obtained results allowed to specify the bottleneck effect during production, as well as for the hypothesis regarding the lack of smooth run of the process. For elimination, the model was modified in the program, after which the simulation was repeated. The acquired information allowed for comparison of the state before and after transformation. The results obtained were analyzed, proposing a solution to improve the process.

**Keywords:** OPT/TOC, bottleneck, production process, productivity growth

## 1. Wprowadzanie

Obecnie postępująca globalizacja, wymagający klienci i ostra konkurencja są głównymi czynnikami, które motywują przedsiębiorstwa do podejmowania innowacyjnych przedsięwzięć decydujących o tym, czy dana organizacja dążąca do nieustannego zaspokajania potrzeb klientów, zachowa konkurencyjność produkowanych wyrobów (Drucker, 2005). Z tego względu organizacje poszukują stosownych metod oraz modeli biznesu umożliwiających odróżnienie się od konkurencji i zaproponować klientowi zupełnie odmienny wyrób w ramach rozbudowanej wersji produktu (Walczak, 30.10.2019). Przedsiębiorstwo produkcyjne, by utrzymać swoją pozycję rynkową, zmuszone jest stale udoskonalać swoje technologie, by uzyskana jakość produktów była w stanie spełnić wymagania stawiane przez konsumenta (Rewers et al. 2016). Zarówno ten czynnik, jak i presja rynkowa oraz zmienność i nieprzewidywalność otoczenia sprawiają, iż firmy zobligowane są do optymalizacji procesów, w celu m.in. obniżenia kosztów, minimalizacji czasu pracy czy wzrostu produktywności (Jagodziński, Ostrowski 2016; Gawlik et al. 2013).

Metoda OPT (*Optimized Production Technology*) to technologia optymalizacji produkcji, która po połączeniu z teorią ograniczeń TOC (*Theory of Constraints*), utworzyła koncepcję optymalizacji działań produkcyjnych w przedsiębiorstwie (OPT/TOC). Koncepcja ta stosowana jest w wielu obszarach przedsiębiorstwa, a jej fundamentalnymi założeniami dla systemu są: ustanowienie celu, potrzeba poprawy mierników służących do osiągnięcia celu oraz istnienie ograniczeń, które pomniejszają efekty (Fertsch et al. 2010).

Według koncepcji OPT/TOC, najważniejszym zadaniem dla przedsiębiorstwa powinno być podejmowanie zleceń, dzięki którym może nastąpić maksymalizacja zysku. Przy realizacji zleceń mogą nastąpić ograniczenia, które można podzielić na (Szatkowski 2014):

- ograniczenia zewnętrzne, dotyczące m.in. niewłaściwej równowagi popytu i podaży czy struktury dystrybucji,
- ograniczenia wewnętrzne, do których zalicza się za małe możliwości przerobowe systemu produkcyjnego czy efekt tzw. wąskiego gardła.

W kontekście systemu produkcyjnego, by udoskonalić całość, należy poprawić kluczowy element procesu (Chatterjee 2007). Proces posiadający zakłócenia w przebiegu, finalnie ma ograniczoną moc produkcyjną, a odpowiadać za ten stan mogą zarówno bariery fizyczne, jak zasoby czy narzędzia, a także czynnik ludzki (Wang et al. 2005).

Wąskie gardło jest takim elementem procesu produkcyjnego, który definiuje jego wydajność. W przypadku osiągnięcia krytycznego punktu systemu, element ten blokuje swobodny przepływ półproduktów i w konsekwencji, minimalizuje liczbę wyprodukowanych wyrobów. Koncepcja OPT/TOC koncentruje się zatem na usunięciu lub zmniejszeniu ograniczenia, co skutkuje wzrostem przepustowości procesu produkcyjnego (Szatkowski 2014).

Przedmiotem badań będzie proces produkcyjny firmy wykonującej meble (szafy). Celem badań jest usprawnienie procesu produkcyjnego mebli (szaf) poprzez zdiagnozowanie i eliminację wąskiego gardła w procesie produkcyjnym oraz zaproponowanie rozwiązania poprawiającego płynność procesu.

## **2. Metoda rozwiązania problemu**

### **2.1. Charakterystyka analizowanego przedsiębiorstwa**

Przedmiotem analizy jest firma usługowo-handlowa wykonująca meble, tj. szafy dwu i trzydrzwiowe. Niezbędne do pracy firmy są materiały w postaci płyt laminowanych drewnopodobnych, płyt HDF, luster oraz szkielek. Firma przewiduje dostawy materiałów w poniedziałki, wtorki i środy, w określonej wielkości. Dostawy materiałów są zaplanowane tak, by nie nachodziły na siebie. Z placu, gdzie materiał jest rozładowywany, surowce przewożone są za pomocą wózka widłowego do magazynu, gdzie są przechowywane w odpowiednich warunkach. Z magazynu przejściowego surowce są dostarczane do bufora przed obrabiarką CMC i stanowiskiem szlifującym. Płyty laminowane drewnopodobne i płyty HDF trafiają na obrabiarkę CMC, gdzie następuje ich rozcinanie na mniejsze elementy. Lustro i szkielek trafiają na stanowisko szlifujące, gdzie dostosowywane są do projektu drzwi szafy. Po rozcięciu na pile elementy wnętrza trafiają na stanowisko zarabiania naroży, gdzie są oklejane według wymogów, a później przekazane są na stanowisko składania elementów, przy którym pracują dwie osoby. Elementy niezbędne na drzwi szafy trafiają bezpośrednio na stanowisko składania drzwi. Po oszlifowaniu elementy trafiają na stanowisko składania drzwi, gdzie pracuje jedna osoba. Na stanowisku składania drzwi następuje montaż elementów składowych i złączenia ich w ramę drzwi. Po przygotowaniu elementów wnętrza, jak i różnych frontów, całość szafy jest składana na stanowisku składania szafy. Z niego gotowe szafy dwu- i trzydrzwiowe trafiają do magazynu końcowego, z którego bezpośrednio są pobierane przez dostawców, realizujących konkretne zamówienia.

Na asortyment firmy składają się szafy dwudrzwiowe i trzydrzwiowe, z frontami z płyty laminowanej drewnopodobnej, szkielek lub lustro.

## **2.2. Analiza przeprowadzona za pomocą programu Enterprise Dynamics**

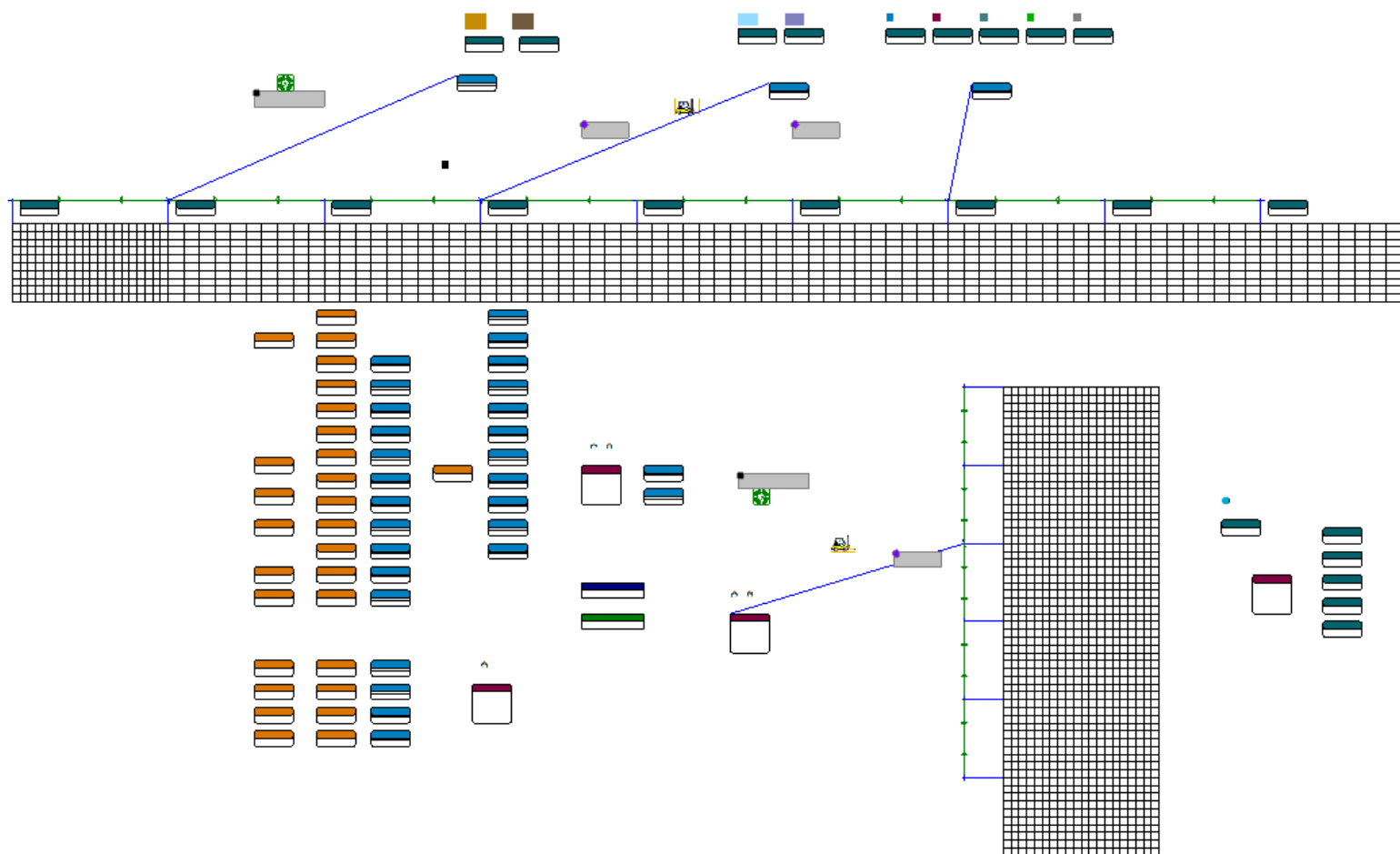
Za pomocą programu Enterprise Dynamics przeprowadzono symulację procesu produkcyjnego. Proces produkcyjny został szczegółowo zaprogramowany, opierając się na szczegółowych danych, w celu uzyskania realnych wyników. Ilość produktów wykorzystywanych w procesie została obliczona, dotyczy to zarówno surowców, jak i półwyrobów. Model procesu produkcyjnego został skonstruowany tak, aby przepływ produktu był płynny. Liczba wejść do procesu odpowiada rodzajom materiałów użytych do produkcji. Po wejściu produkty przedostają się do buforów, które pełnią funkcję placu rozładunkowego – stamtąd surowce przy pomocy wózka widłowego przetransportowywane są do odpowiadającego im magazynu. Surowce trafiają na produkcję bezpośrednio z magazynu na obrabiarki CMC lub na stanowisko szlifowania dla lustra i szkła. Po maszynach występują bufory odpowiadające danemu półwyrobowi. Bezpośrednio z nich półprodukty trafiają do dalszej maszynowej obróbki lub na stanowiska składania, gdzie prace są wykonywane przez pracowników. Gotowe szafy trafiają do magazynu, transportowane są za pomocą wózka widłowego. Raz na tydzień po gotowe meble przyjeżdża odbiorca, a same zamówienia są sprecyzowane i niezmiennie. Uwzględniono odpowiednie czasy pracy maszyn, a także czas pracy pracowników. Model procesu przedstawiono na rysunku 1, zaś widoczne połączenia między elementami na rysunku 2.

Po przeprowadzeniu kontrolnych i korygujących symulacji, analizy zostały przeprowadzone za pomocą pięciu 200 godzinnych symulacji (5 tygodni pracy, zmiana 8 godzinna), dzięki którym można było uzyskać wiarygodne i uśrednione wyniki.

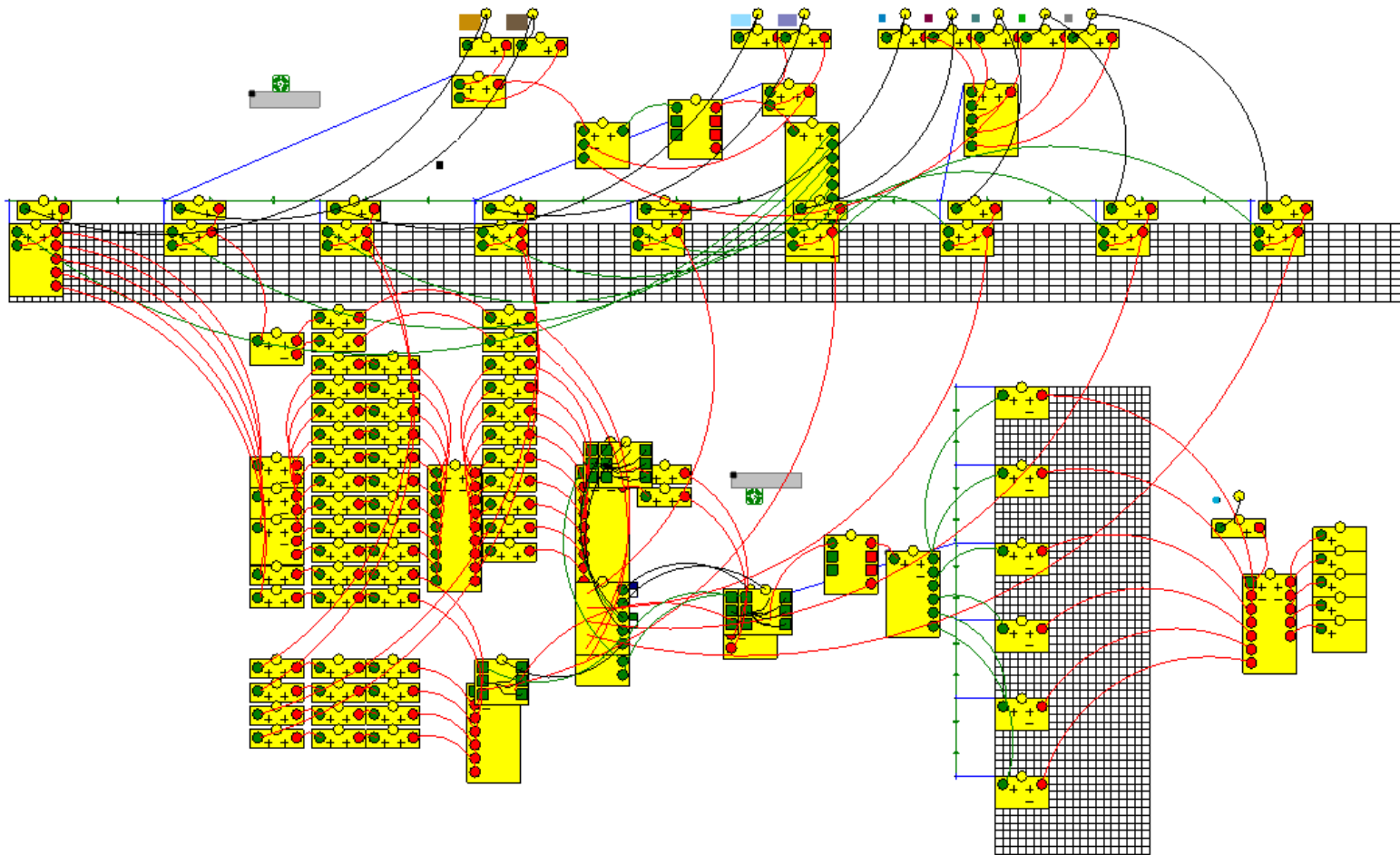
## **2.3. Analiza uzyskanych wyników**

W celu dokładnej analizy podzielono ją na kilka aspektów: obciążenia pracowników, czas pracy stanowisk oraz wykorzystanie maszyn.

W procesie produkcyjnym bierze udział 5 pracowników, którzy pracują po 8 godzin (1 dzień pracy), z przerwami 15 i 30 minutowymi.



**Rysunek 1.** Model procesu produkcyjnego by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics.



**Rysunek 2.** Model procesu produkcyjnego z wyróżnionymi połączeniami między elementami by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics

Pracownik 1 i pracownik 2 pracują przy stanowisku składania elementów szafy. Pracownik 3 pracuje przy stanowisku składania drzwi. Pracownik 4 i pracownik 5 pracują przy stanowisku składania szafy.

- Pracownik 1 średnio przez 51% swojego czasu pracy był zajęty, przez 33% czasu pracy był beczynny (oczekiwał na oklejone elementy), przez 4% czasu pracy był niedostępny (był na przerwie) i przez 13% czasu pracy czekał na operatora.
- Pracownik 2 średnio przez 51% czasu pracy był zajęty, przez 44% czasu pracy był beczynny (oczekiwał na oklejone elementy), a przez 5% czasu pracy był niedostępny (był na przerwie).
- Pracownik 3 średnio przez 99% swojego czasu pracy był zajęty, a przez 1% czasu pracy był niedostępny (przerwa).
- Pracownik 4 średnio przez 91% czasu pracy był zajęty, przez 8% czasu pracy był beczynny, a przez 2% czasu pracy był niedostępny (przerwa).
- Pracownik 5 średnio przez 91% czasu pracy był zajęty, przez 8% czasu pracy był beczynny, a przez 2% czasu pracy był niedostępny (przerwa).

Żaden z pracowników nie odpowiadał za efekt wąskiego gardła.

Zbadany czas pracy stanowisk kształtował się następująco:

- Stanowisko składania elementów pracowało średnio przez 10% swojego czasu pracy; status beczynności wykazywało średnio przez 11% swojego czasu pracy; średnio przez 80% swojego czasu pracy zajęte było gromadzeniem niezbędnych surowców.
- Na stanowisku składania drzwi praca zajmowała średnio 22% ogólnego czasu pracy; średnio przez 1% czasu pracy stanowisko było beczynne; dystrybucja zajmowała średnio 77% czasu pracy.
- Ostatnim stanowiskiem jest stanowisko składania szafy – praca trwała tam średnio przez 11% czasu pracy; średnio przez 35% czasu pracy stanowisko było beczynne; gromadzenie materiałów średnio trwało 0% czasu, jednak warto o nim wspomnieć, ponieważ wahało się w przedziale od 0-0,1%; dystrybucja wyrobów zajmowała średnio 53% czasu pracy.

Efekt wąskiego gardła nie był możliwy do zaobserwowania na stanowiskach składania.

W procesie brały udział rzeczywiste 3 maszyny – w celu optymalizacji produkcji wprowadzono ich rozłożenie na poszczególne procesy, dlatego wyróżniamy:

- obrabiarkę CMC dla płyt HDF,
- obrabiarkę CMC 1 – zajmującą się rozcinaniem płyt na poszczególne elementy wnętrza,

- obrabiarkę CMC 2 – zajmującą się rozcinaniem płyt na poszczególne elementy wnętrza,
- obrabiarkę CMC 3 – zajmującą się rozcinaniem płyt na poszczególne elementy wnętrza,
- obrabiarkę CMC 4 – zajmującą się rozcinaniem płyt na front drzwi,
- obrabiarkę CMC 5 – zajmującą się rozcinaniem płyt na front drzwi,
- szlifierkę 1 – zajmującą się szlifowaniem tafli lustra na front drzwi,
- szlifierkę 2 - zajmującą się szlifowaniem tafli lustra na front drzwi,
- szlifierkę 3 - zajmującą się szlifowaniem tafli szkła na front drzwi,
- szlifierkę 4 - zajmującą się szlifowaniem tafli szkła na front drzwi,
- maszynę do zarabiania naroży – maszyna, która okleja krawędzie elementów.

Po przeprowadzeniu analizy uzyskano wyniki:

- Obrabiarka CMC dla płyt HDF pracowała średnio przez 18% czasu pracy, przez 79% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Obrabiarka CMC 1 pracowała średnio przez 11% czasu pracy, przez 86% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Obrabiarka CMC 2 pracowała średnio przez 10% czasu pracy, przez 87% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Obrabiarka CMC 3 pracowała średnio przez 10% czasu pracy, przez 87% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Obrabiarka CMC 4 pracowała średnio przez 13% czasu pracy, przez 84% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Obrabiarka CMC 5 pracowała średnio przez 13% czasu pracy, przez 84% czasu pracy była bezczynna, a przez 3% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Szlifierka 1 pracowała średnio przez 33% czasu pracy, przez 66% czasu pracy była bezczynna, a przez 1% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Szlifierka 2 pracowała średnio przez 34% czasu pracy, przez 65% czasu pracy była bezczynna, a przez 1% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Szlifierka 3 pracowała średnio przez 50% czasu pracy, przez 49% czasu pracy była bezczynna, a przez 1% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Szlifierka 4 pracowała średnio przez 50% czasu pracy, przez 49% czasu pracy była bezczynna, a przez 1% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.
- Maszyna do zarabiania naroży pracowała średnio przez 90% czasu pracy, przez 8% czasu pracy była bezczynna, a przez 2% swojego czasu pracy była zepsuta i naprawiana.



Znaczne okresy bezczynności na maszynach spowodowane były brakiem surowców i rozłożeniem jednego procesu na kilka maszyn - w celu ułatwienia – mimo dużych przestoju proces idzie płynnie.

Wyjątkiem jest tutaj maszyna do zarabiania naroży. W celu dowiedzenia czy jest ona wąskim gardłem całego procesu, zaproponowano i omówiono rozwiązanie optymalizacyjne, polegające na stworzeniu dodatkowych maszyn do zarabiania naroży – dzięki nim proces przebiega płynniej i stworzonych jest więcej wyrobów gotowych. Jest to oczywiście hipoteza, którą postanowiono przetestować.

### **3. Wyniki i omówienie rozwiązania problemu**

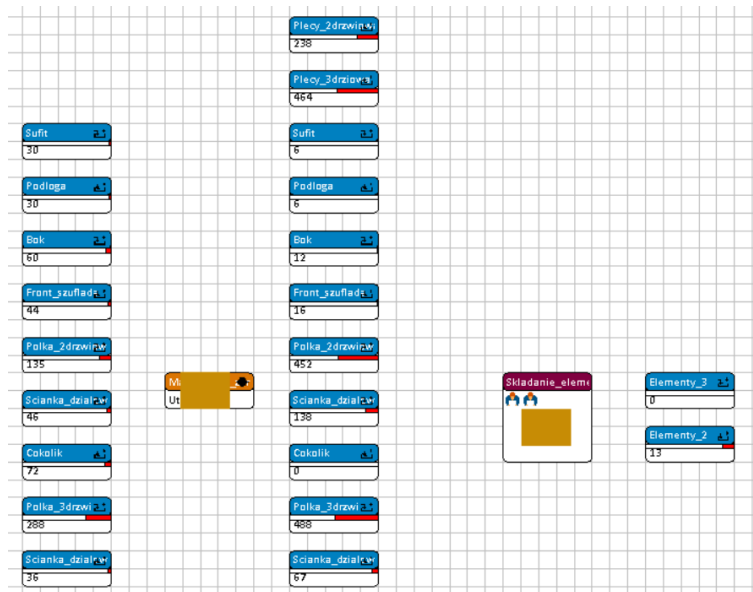
#### **3.1. Rozwiązanie problemu wąskiego gardła**

W celu rozwiązania problemu wąskiego gardła postanowiono stworzyć dodatkowe stanowiska pracy, czyli dwie maszyny do zarabiania naroży – choć w żadnym miejscu nie występował status blokady maszyn, pojedyncza maszyna pobierała dziewięć rodzajów elementów w różnej ilości, a następnie po oklejeniu przekazywała je dalej. Wpływało to na wypełnienie buforów w nadmiernej ilości, a następnie skutkowało uzasadnioną ilością wyrobów gotowych. Wybrano opcję trzech maszyn z uwagi na dziewięć rodzajów elementów – w celu łatwiejszego przypisania (do każdej maszyny trzy rodzaje). Proces zaplanowano na 200 godzin (5 tygodni).

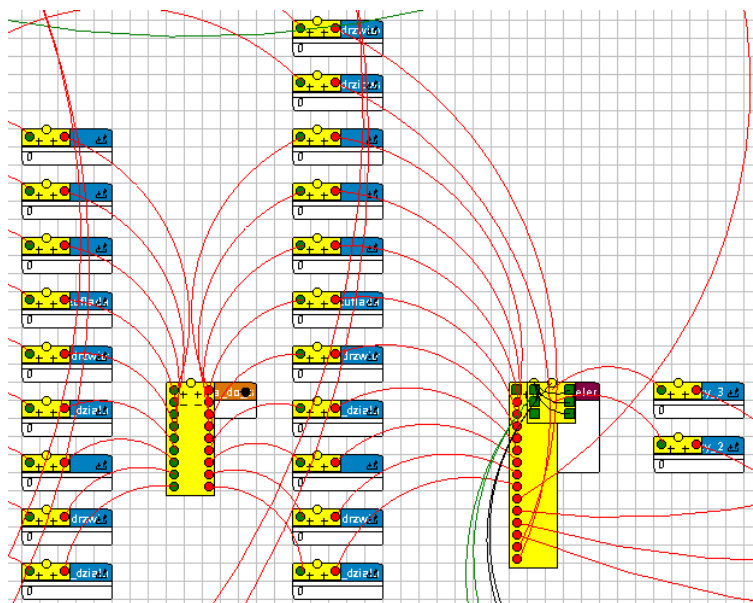
Po stworzeniu maszyn i przeprowadzeniu eksperymentu, można wyciągnąć wnioski, iż pierwotna hipoteza była błędnym założeniem. Owszem, to maszyna do zarabiania naroży jest wąskim gardłem całego procesu, ale na niemożliwość wyprodukowania większej ilości wyrobów składa się więcej przyczyn.

Rysunek 3 przedstawia proces przed wykonaniem poprawy w celu eliminacji hipotetycznego wąskiego gardła, natomiast rysunek 4 uwzględnia połączenia między elementami.

## Usprawnienie procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie...



**Rysunek 3.** Proces przed wdrożeniem poprawki eliminującej wąskie gardło by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics.



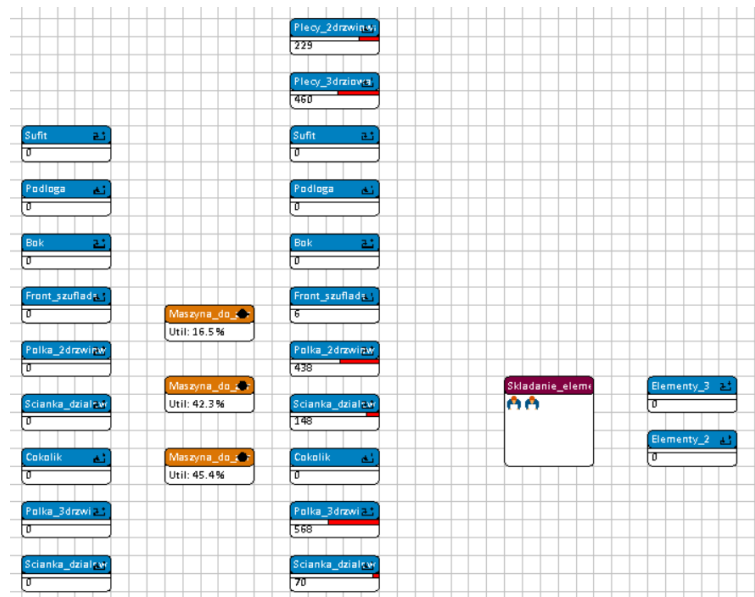
**Rysunek 4.** Połączenia elementów procesu przed wdrożeniem poprawki eliminującej wąskie gardło by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics.

Z uzyskanych danych można było wywnioskować, iż wąskim gardłem całego procesu jest maszyna do zarabiania naroży – mimo jej pracy przez średnio 90% całego czasu pracy, nie jest

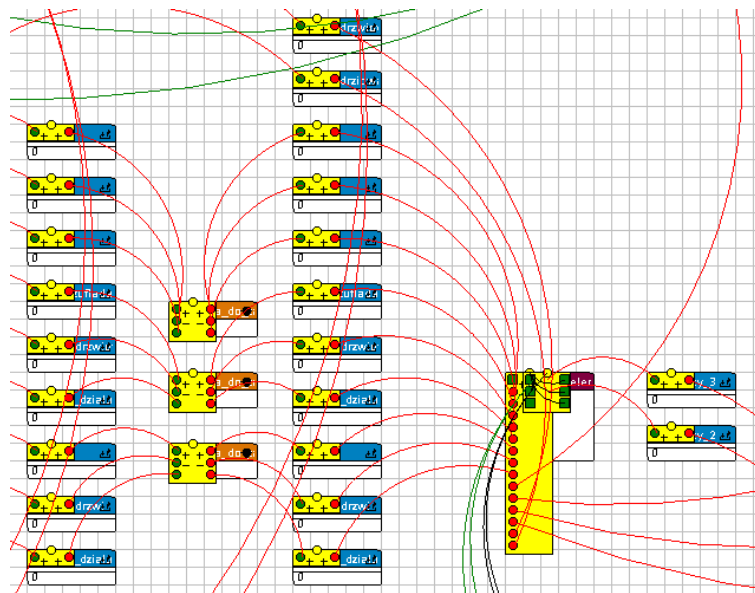
w stanie wykonać obróbki wystarczającej liczby elementów, by w konsekwencji wytworzyć więcej wyrobów gotowych.

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami dokonano modyfikacji procesu, parametry maszyny zachowując takie same. Proces po propozycji zmiany w celu eliminacji

hipotetycznego wąskiego gardła obrazuje rysunek 5, natomiast na rysunku 6 ukazano połączenia między elementami.



**Rysunek 5.** Model zawierający modyfikację mającą na celu eliminację wąskiego gardła by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics.



**Rysunek 6.** Połączenia między elementami w model zawierającym modyfikację by opracowanie własne za pomocą programu Enterprise Dynamics.

Omówienie wyników należy rozpocząć od pracy wszystkich maszyn. W przypadku każdej z nich 2% czasu pracy zostało przeznaczone na konserwację i naprawę usterek. W przypadku maszyny do zarabiania naroży, która obsługiwała pojedyncze lub podwójne elementy, tj. sufit, podłoga i bok, czas pracy wyniósł średnio 13%, a czas bezczynności – 61%. W przypadku pozostałych maszyn, obsługujących wiele elementów, czas pracy kształtował się bardzo podobnie – średnio 37%, a bezczynności – 61%.

Przechodząc kolejno do uzyskanych wyrobów, porównując ich do poprzedniej analizy, jest ich mniej, jednakże uzyskany zakres ilości maksymalnej i minimalnej jest taki sam. Uzyskano informację, iż liczba wykonanych wyrobów nie zwiększyła się znacząco, czyli proponowana zmiana nic nie dała.

Bazując na uzyskanych wynikach, hipotezę o wąskim gardle w postaci maszyny do zarabiania naroży można przyjąć, ale przy rozpatrywaniu dodatkowych aspektów. Na niemożliwość zwiększenia efektywności procesu składa się kilka czynników – długi czas pracy stanowiska składania elementów- wynika on z wydłużonego czasu niezbędnego na gromadzenie półproduktów. Maszyna do zarabiania naroży przy opcji pojedynczego stanowiska wypełnia bufory znajdujące się przed nią, jednak przy 90% czasie pracy wykazuje czas w ilości 8% poświęcony bezczynności – nie ma momentu blokady. Przy zwiększeniu ilości maszyn okazuje się, iż więcej niż 50% czasu są bezczynne. Dodatkowy powód braku płynności leży w podstawie procesu – zaplanowane dostawy płyt laminowanych są niewystarczające, by surowce mogły w pełni pokryć możliwości systemu produkcyjnego przy równoczesnej eliminacji wąskiego gardła.

#### 4. Wnioski

Badany proces jest procesem produkcyjnym szaf, mającym na celu wytworzenie sześciu wyrobów gotowych, o dwóch podstawowych konfiguracjach wnętrza i trzech możliwości frontów drzwi.

Na proces składa się 9 wejść, które wprowadzają elementy niezbędne do przebiegu procesu i są to: płyty laminowane, płyty HDF, tafle lustra, tafle szkła kolorowego, zestawy drążków, zestawy systemów drzwi, zestawy uchwytów i zestawy prowadnic. Zakładamy, że w systemie są zapasy pozostałe z dostawy z poprzedniego tygodnia. Przewidywane są 3 różne terminy różnych surowców – w poniedziałki 8:00 następuje dostawa obu rodzajów płyt, na wtorek (8:00) przewidziane są dostawy lustra i szkła kolorowego, a w środę (8:00) dostarczane są wszystkie zestawy. Z buforów, które pełnią funkcję placu, surowce za pomocą wózka widłowego są wprowadzane do magazynu. Stamtąd pobierane są bezpośrednio do procesu produkcyjnego. Na obrabiarki CMC trafiają: płyty HDF, z których robione są tylko plecy, płyty laminowane, z których tworzone są elementy wnętrza szaf oraz płyty laminowane przeznaczone na front drzwi. Komponenty z płyty HDF trafiają bezpośrednio do bufora przed stanowiskiem składania elementów. Elementy wnętrza z płyty laminowanej poddane zostają oklejaniu przez maszynę do zarabiania naroży, a później przekazane do odpowiednich buforów. Stanowisko składania elementów tworzy wnętrza szaf dwudrzwiowych i trzydrzwiowych

zgodnie z narzuconym wzorcem, a później przekazuje je do odpowiednich buforów. W celu uzyskania niezbędnych półproduktów na front drzwi, tafle lustra i szkła kolorowego poddawane są szlifowaniu na szlifierkach, a następnie przekazane są do kolejki. Stanowisko składania drzwi pobiera surowce według zaplanowanego wzorca i tworzy fronty z płyty laminowanej, lustra i szkła kolorowego dla szaf dwudrzwiowych i trzydrzwiowych. Następną częścią procesu produkcyjnego jest stanowisko składania szafy. Następuje tam połączenie odpowiednich elementów wnętrza z odpowiednim frontem i uzyskanie wyrobu gotowego, czyli szafy w jednej z sześciu konfiguracji: trzydrzwiowej z frontem drzwi z płyty laminowanej, trzydrzwiowej z frontem drzwi z lustrem, trzydrzwiowej z frontem drzwi ze szkła, dwudrzwiowej z frontem drzwi z płyty laminowanej, dwudrzwiowej z frontem drzwi z lustrem oraz dwudrzwiowej z frontem drzwi ze szkła. Gotowe wyroby za pomocą wózka przekazywane są do magazynu. Ostatnim elementem procesu jest wydanie produktów zgodnie z zamówieniem odbiorcy, który po szafy przyjeżdża raz w tygodniu.

Korzystając z narzędzi dostępnych w programie Enterprise Dynamics (Experiment Wizard), wykonano analizy i uzyskano miarodajne oraz uśrednione wyniki. Analizy przeprowadzono podczas 5 okresów 200 godzinnych (5 tygodni roboczych, 1 zmiana, 8 godzin).

Uzyskany czas pracy maszyny do zarabiania naroży (90%), a także zapelnienie buforów, sugerowały na obecność w tym miejscu wąskiego gardła, co poddano szczegółowej analizie, wykorzystując modyfikację procesu. Uzyskano następujące wyniki: czas pracy maszyn uległ znacznemu zmniejszeniu, bufora zostały puste, lecz ilość wyprodukowanych wyrobów była zbliżona do wartości pierwotnej. Zgodnie z koncepcją OPT/TOC, w procesie produkcyjnym występują ograniczenia wewnętrzne i zewnętrzne. Reasumując, maszynę do zarabiania naroży można nazwać wąskim gardłem procesu produkcyjnego (ograniczenie wewnętrzne), lecz nie tylko ona wpływa na mniejszą efektywność systemu – dodatkowym czynnikiem, który należy wyszczególnić, to niedostateczna liczba surowców (ograniczenie zewnętrzne). W celu zniwelowania problemu należałoby zwiększyć dostawy lub ilość surowców (płyty laminowane), przy równoczesnym zachowaniu poprawionego rozwiązania wąskiego gardła.

## Bibliografia

- Drucker, P.F. (2005). *Praktyka zarządzania*. Warszawa: Wydawnictwo MT Biznes.
- Fertsch, M., Cyplik, P., Hadaś, Ł. (Eds.). (2010). *Logistyka produkcji: teoria i praktyka*. Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Gawlik, J., Plichta, J., Swic, A. (2013). *Procesy produkcyjne*. Warszawa: PWE.
- Jagodziński, J., Ostrowski, D. (2016). Optymalizacja wybranego procesu produkcyjnego w oparciu o zasadę ciągłego doskonalenia na przykładzie przedsiębiorstwa X, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 24(2), 201-214.
- Mukherjee, S., Chatterjee, A. K. (2007). The concept of bottleneck. *In International Conference on Multi-Echelon*.
- Rewers, P., Chabowski, P., Skrzypek, K., Dąbrowski, K. (2016). Poprawa wydajności systemu produkcyjnego w wyniku skrócenia czasów przebrojeń, *Ekonomiczne i społeczne aspekty nowoczesnego zarządzania przedsiębiorstwem* (37-48), Wrocław: Exante.
- Szatkowski, K. (2014). *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*. Warszawa: PWN.
- Walczak, M., System utrzymania ruchu czynnikiem przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa. Kraków: Uniwersytet Ekonomiczny, <http://janek.uek.krakow.pl/~kzzo/5.7.pdf>, 30.10.2019.
- Wang, Y., Zhao, Q., Zheng, D. (2005). Bottlenecks in production networks: An overview. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14(3), 347-363.