

Damian KOLNY¹, Robert DROBINA²

Opiekun naukowy: Robert DROBINA

MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESU ROZKROJU PŁYTY WIÓROWEJ W PROGRAMIE ARENA

Streszczenie: W artykule opisano zagadnienia związane z tworzeniem dyskretnych modeli symulacyjnych dla realizacji procesu cięcia arkuszy płyty wiórowej w przedsiębiorstwie branży meblarskiej. Przedstawiono metodykę analizy systemu wytwarzania, która ma za zadanie wspierać właściwe podejście dla budowy modeli symulacyjnych na przykładzie wybranego fragmentu szerszego procesu produkcyjnego. Analizę przebiegu procesu na podstawie symulacji komputerowej w oparciu o raporty przeprowadzono w oprogramowaniu Arena.

Słowa kluczowe: system produkcyjny mebli, modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych, usprawnianie procesu

MODELING AND SIMULATION OF CUTTING CHIPBOARD SHEETS PROCESS IN THE ARENA PROGRAM

Summary: The article describes the issues related to the creation of discrete simulation models for the implementation of cutting chipboard sheets process in a furniture industry company. Also shown the methodology of manufacturing system analysis, which is to support the appropriate approach to the construction of simulation models on the example of a selected fragment of a wider production process. The analysis of the process flow on the basis of computer simulation and reports was carried out in the Arena software.

Keywords: furniture production system, modeling and simulation of production processes, process improvement

1. Wprowadzenie

Współczesne dynamiczne i nieustanne zmiany na rynkach lokalnych i światowych wobec standardowych uwarunkowań konkurencyjnych w ramach poszczególnych branż produkcyjnych i usługowych powodują, że przedsiębiorcy poszukują właściwych i skutecznych metod zarządzania procesem produkcyjnym, których często jeszcze do tej pory jeszcze nie stosowali [8]. Tego typu działania mają za cel wspieranie organizacji w zakresie tzw. utrzymania przewagi konkurencyjnej, ale

¹ mgr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, dkolny@ath.bielsko.pl

² dr hab. inż., prof. ATH, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, rdrobina@ath.bielsko.pl

w efekcie często gwarantują przetrwanie kolejnego niepewnego okresu firmy na rynku [10]. W ogólnym ujęciu w zakresie odpowiedniego zarządzania organizacją stosowanie podejścia procesowego uważane jest za właściwą decyzję [21]. Niemniej jednak obecna sytuacja gospodarcza determinuje do podejmowania przez firmy produkcyjne wszelkich działań prowadzących do osiągnięcia jakichkolwiek korzyści na wielu płaszczyznach, np. ogólnego obniżania kosztów, zwiększania produktywności i efektywności zasobów, zwiększania jakości wyrobów eliminacji strat i marnotrawstwa itp. Z tego powodu badania, metody i narzędzia naukowe wspierające tego typu działania zyskują na znaczeniu. W ogólnym rozrachunku wyzwanie to sprowadza się do poszukiwania lepszych niż do tej pory rozwiązań, a znalezienie najlepszego w określonych warunkach może spowodować osiągnięcie optymalizacji. Kryteria działań optymalizacyjnych mogą się różnić i być zależne od nawet chwilowych uwarunkowań oraz potrzeb przedsiębiorstwa (wielkość produkcji, zamówień, czas, droga, cena, itp.) [19].

Problematyka organizacji procesu produkcyjnego na każdym etapie cyklu życia produktu [24], począwszy od fazy projektowej, przez organizację i przygotowanie produkcji, produkcję, obsługę klienta, marketing i sprzedaż, aż po ostateczną utylizację, na końcu którego klient otrzymuje wyrób gotowy, jest dużym wyzwaniem dla przedsiębiorców, niezależnie od wielkości firmy oraz sektora branży, w którym funkcjonuje [6, 17]. Każda ze wspomnianych faz powoduje potrzebę podejmowania decyzji, często szybkich, równocześnie z pełną świadomością ich konsekwencji, co z kolei implikuje stosowanie odpowiednich metod zarządzania produkcją [3, 15].

Złożone systemy produkcyjne [2] cechują się dużą liczbą wariantów różnych ustawień czy układów, co znacząco utrudnia wybór odpowiedniego rozwiązania przy zastosowaniu klasycznych metod analitycznych [7, 23]. Narzędziem, który w sposób skuteczny wspiera rozumienie przebiegu procesu i właściwe podejmowanie decyzji na różnych szczeblach zarządzania procesami wytwarzania może być komputerowe modelowanie i symulacja [15, 18]. Metody symulacyjne [20], w przeciwieństwie do metod optymalizujących [9] lub heurystycznych [1, 26] pozwalają relatywnie szybko, sprawnie i w łatwy sposób poszukiwać akceptowalnych rozwiązań, nie posiadając przy tym wielu ograniczeń i nie rozwiązując tylko określonych problemów [19].

Celem artykułu jest analiza i opisanie przykładowego systemu wytwarzania i możliwości adaptacji rozwiązań komputerowego wspomaganie zarządzania procesami produkcyjnymi w oparciu o modelowanie i symulację procesu cięcia płyty wiórowej. W artykule przedstawiono przebieg wybranego procesu produkcyjnego w realnych warunkach produkcyjnych przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją komponentów meblowych, a także mebli na indywidualne zamówienie, etapy budowy modelu do symulacji oraz jej wyniki wraz z wnioskami.

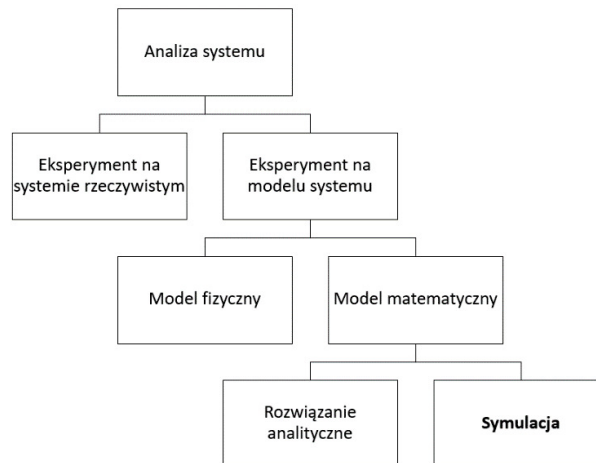
Artykuł powstaje w ramach stażu naukowego autora i we współpracy z przedsiębiorstwem produkującym meble.

2. Modelowanie i symulacja w praktyce przemysłowej

Naturalnym podejściem w badaniu rzeczywistych systemów produkcyjnych jest prowadzenie eksperymentów bezpośrednio na wybranym obiekcie, zwłaszcza jeżeli nie wywoła przy tym niepożądanych skutków. Tego typu próby jednak nie zawsze są możliwe, gdyż w wielu przypadkach takie działania mogą być niemożliwe, trudne do przeprowadzenia, niebezpieczne, kosztowne lub czasochłonne. W procesie

decyzyjnym w tego typu sytuacjach można budować modele, które będą naśladowały zachowanie systemu rzeczywistego w eksperymentach, a następnie próbować go oceniać, modyfikować, powtórnie oceniać oraz szukać lepszego rozwiązania problemu, który w ramach modelu jest identyfikowany. Prowadzenie badań w oparciu o model w zasadzie nie przynosi strat, a umożliwia formułowanie bardzo niestandardowych rozwiązań [20].

Istnieje wiele typów modeli dotyczących ogólnego zarządzania produkcją [12], jednakże do opisu rzeczywistego systemu produkcyjnego za pomocą zbiorów symboli i relacji stosowane są modele matematyczne [20] statystyczne [27] a także probabilistyczne [4, 22]. Mogą one przyjąć formę programu komputerowego. Modelowanie systemów i procesów produkcyjnych z wykorzystaniem wsparcia technologii komputerowej umożliwia przeprowadzenie na nim symulacji komputerowej (rys. 1). Jeżeli taki model poprawnie opisuje badany system (inaczej jest wiarygodny), to pozwoli na podstawie obserwacji właściwie oceniać zachowanie się systemu w różnych warunkach, a przy tym nie spowoduje żadnych niespodziewanych skutków dla rzeczywistego systemu.



Rysunek 1. Wybrane metody analizy systemów rzeczywistych [14]

Definicji pojęcia symulacja jest wiele, lecz w przypadku tej komputerowej są one na ogół podobne i zbieżne. Autorka [20] w szeroki sposób opisała zagadnienia związane z symulacją procesów produkcyjnych. W swoich rozważaniach definiuje symulację jako technikę numeryczną, umożliwiającą przeprowadzenie eksperymentów i uzyskania danych na temat wpływu parametrów wejściowych na zmienne wyjściowe. W świetle dalszych rozważań [16] symulacja komputerowa w zakresie dynamicznego modelowania procesu produkcyjnego pozwala przeprowadzić eksperymenty na bazie istniejącego, modyfikowanego lub dopiero projektowanego systemu produkcyjnego. Wyniki eksperymentów umożliwiają w szybki sposób ocenić funkcjonowanie systemu wytwarzania, lokalizować nieprawidłowości, badać relacje między zasobami, analizować warianty i porównywać wyniki różnych konfiguracji i ustawień.

Najczęściej efektem końcowym symulacji są zestawy raportów, które umożliwiają podejmowanie decyzji, zarówno w zakresie samego modelu jak i systemu rzeczywistego.

3. Narzędzia do modelowania i symulacji

Ostatnie lata determinują znaczący wzrost wydajności oraz możliwości funkcjonalnych w zakresie programów symulacyjnych. Przyczyną tego stanu jest nieustanny wzrost mocy obliczeniowych komputerów [13], w tym komputerów osobistych, jak i samych metod czy narzędzi programistycznych. Znaczącą grupę wśród wielu programów symulacyjnych stanowią te, które realizują symulacje procesów dyskretnych. [19]

Obecnie dostępnych jest bardzo wiele programów do przeprowadzenia modelowania i symulacji systemu wytwarzania. Są to m.in.: Arena, eM-Plant, Enterprise Dynamics Simulation Software, Flexsim, Lean MAST, Plant Simulation, ShowFlow 2, SIMUL8 [5]. Wybór właściwego oprogramowania ma duże znaczenie na końcową jakość symulacji, jednakże ważne aby w tym przypadku kierować się funkcjonalnością w zakresie metody budowania modelu. Innym istotnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę są narzędzia do raportowania i analizowania wyników symulacji.

Mimo często intuicyjnego interfejsu, stosowanych przejrzystych bloków funkcjonalnych oraz udogodnień graficznych w postaci animacji 3D, stosowanych w programach symulacyjnych, to wymagana jest również duża wiedza użytkownika modelującego symulację. [19]

4. Identyfikacja technologiczna cięcia płyty wiórowej

Opracowując model wybranego systemu produkcyjnego niezbędne jest zebranie podstawowych informacji i danych wejściowych. Etap wstępny ma za zadanie opracować model na odpowiednim poziomie szczegółowości przy jednoczesnym uproszczeniu całej projekcji [5]. W dalszej części artykułu przedstawiony zostanie proces budowy modelu dla systemu wytwarzania cięcia płyty wiórowej w ramach branży meblarskiej. W tym celu zostanie wykorzystany program symulacyjny Arena.

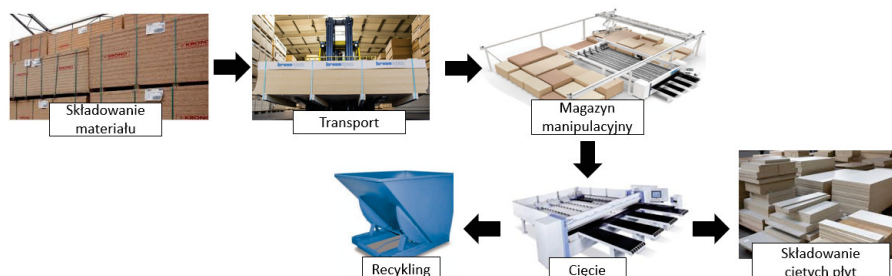
4.1 Identyfikacja procesu wytwarzania

Identyfikację technologiczną procesu cięcia płyt wiórowych przeprowadzono w warunkach produkcyjnych wybranego przedsiębiorstwa z branży meblarskiej. Wynikiem tego działania jest charakterystyka zachodzących zjawisk w wybranym procesie produkcyjnym. Do identyfikacji technologicznej cięcia płyt wiórowych posłużono się kartami technologicznymi oraz dostępną dokumentacją maszynową, a także danymi historycznymi procesów produkcyjnych. Normy czasowe poszczególnych czynności zostały przyjęte na podstawie rejestrów operacji z maszyn i urządzeń.

4.2 Wstępny model systemu wytwarzania

Opisany w dalszej części artykułu proces technologiczny dotyczy rozkroju arkuszy płyty wiórowej pod zadany przez klienta wymiar, na który składają się procesy magazynowe, transportowe, zrobotyzowana manipulacja materiałem oraz

półautomatyczne cięcie pilarką panelową. Przebieg realizacji procesu przetwarzania materiały został zaprezentowany na schemacie blokowym (rys.2).



Rysunek 2 Przebieg realizacji procesu cięcia płyty wiórowej

W tabeli 1 scharakteryzowano poszczególne procesy składające się na wytworzenie ciętych na wymiar elementów płyty wiórowej.

Tabela 1. Procesy manipulacji i kształtowania procesu cięcia płyty wiórowej

Lp.	Nazwa procesu	Zasób	Opis
1	Składowanie materiału	Magazyn blokowy	Wydzielona powierzchnia hali produkcyjnej przeznaczona do blokowego składowania arkuszy płyt wiórowych
2	Transport/załadunek	Wózek widłowy	Transport zestawów płyt wiórowych do załadunku buforu TLF
3	Manipulacja materiałem	TLF	Centrum portalowo-ramowe służące do przenoszenia i podnoszenia zgrubnych płyt wiórowych
4	Cięcie	Pilarka panelowa Homag SAWTEQ	Rozkrój płyt, numerycznie sterowana pilarka panelowa z automatycznym załadunkiem z automatycznego magazynu
5	Składowanie	Pole odkładcze	Kompletacja na paletach ciętych elementów arkusza płyty wiórowej zgodnie z zamówieniem
6	Recykling	Kontener	Kompletacja niewykorzystywanych ciętych arkuszy płyty wiórowej

Opracowanie tego typu charakterystyk procesu produkcyjnego jest podstawą do rozpoczęcia prac nad budową modelu symulacyjnego.

4.3 Założenia do modelu symulacyjnego

Założenia do modelu symulacyjnego w przedsiębiorstwie branży meblarskiej. Do modelu symulacyjnego wykorzystano program Arena. Opracowano z użyciem dostępnych bloków funkcjonalnych model symulacyjny obejmujący w pełni zautomatyzowany magazyn do składowania i wydawania płyt wiórowych, a także model symulacyjny procesu przycinania płyt zgodnie ze zleceniem produkcyjnym, tzw. rozkrojem. Wstępne założenia obejmują proces całościowego magazynowania przed cięciem płyt na zadany wymiar. Blok *Mag_płyty* jest odpowiedzialny za generowanie przedmiotów (jednostek) wraz z modułem *Pole_mag_płyty*

definiującym czas przygotowania do dalszych procesów manipulacyjnych. Ten model jest częścią procesów transportowych w ramach magazynu wejściowego. Bloki (*Pole_mag_plyty*, *Transport_Mat_1*, *Woz_wid_1*, *Pole_TLF*, *TLF_Start*) odpowiadają za czynności transportowe zasilające automatyczny magazyn w płyty wiórowe. Wstępny model symulacyjny przedstawiono na rysunku 3. Wszystkie dane numeryczne potrzebne do definiowania modelu symulacyjnego pozyskano z właściwych systemów zarządzania przedsiębiorstwa [29-31].



Rysunek 3 Wstępny model symulacyjny przestrzeni magazynowej analizowanego przedsiębiorstwa

W modelu symulacyjnym odpowiedzialnym za zasilanie procesu w materiał (*plyta_wior*) jest blok *Mag_plyty*. Czas trwania symulacji ustalono na 8h w celu jej uruchomienia (rys. 4). Na rysunku 5 przedstawiono szczegółowo parametry wybranych bloków funkcjonalnych w środowisku Arena na analizowanym etapie.

Rysunek 4. Parametry główne przebiegu symulacji

Rysunek 5. Parametry wybranych bloków funkcjonalnych

Przyjęto w celu pełniejszego zobrazowania przycinania płyt zgodnie ze zleceniem produkcyjnym, że w obrębie stanowiska obróbczego będą występowały bufory wejściowe, obejmujące magazyn składowania blokowego płyt wiórowych (*Mag_plyty*), pole odkładcze robota magazynującego (*Pole_TLF*), centrum portalo-ramowe (*Zalad_TLF* i *Rozlad_TLF*). Wprowadzenie buforów pozwala na

lepsze wykorzystanie stanowisk manipulacyjnych i obróbczych stanowionych przez 2 automatyczne pilarki panelowe zdefiniowane w modelu jako *Ciecie_300* oraz *Ciecie_400*. W proponowanym modelu wszystkie zasoby systemu wytwarzania tworzą zbiór zasobów **Z**. Dla rozpatrywanego systemu procesu przycinania płyt zgodnie ze zleceniem produkcyjnym elementy zbioru są następujące $\mathbf{Z}=\{Mag_plyty, Woz_wid_1, Zalad_TLF, Rozlad_TLF, Ciecie_300, Ciecie_400, Mag_Braki, Mag_WG\}$. Elementy obrabiane w prezentowanym systemie tworzą zbiór przedmiotów $\mathbf{P}=\{P1\}$. Dla każdego takiego elementu ze zbioru **P** utworzona została tabela przepływu przedmiotów **T** (tab.1) Wymiar tej tabeli $n \times n$ wynika z liczby elementów zbioru **Z**. Wartości wpisane do tabeli na przecięciu odpowiednich zasobów informują o maksymalnej liczbie przedmiotów, które mogą znajdować się w zasobie docelowym. W opisanym przykładzie w pierwszym wierszu *Mag_plyty* tabeli **T** wpisana została wartość „15” na przecięciu z kolumną *woz_wid_1*. Oznacza to, że partia transportowa przedmiotu **P1** z magazynu *Mag_plyty* wózkiem widłowym *woz_wid_1* wynosi 15 sztuk płyty wiórowej.

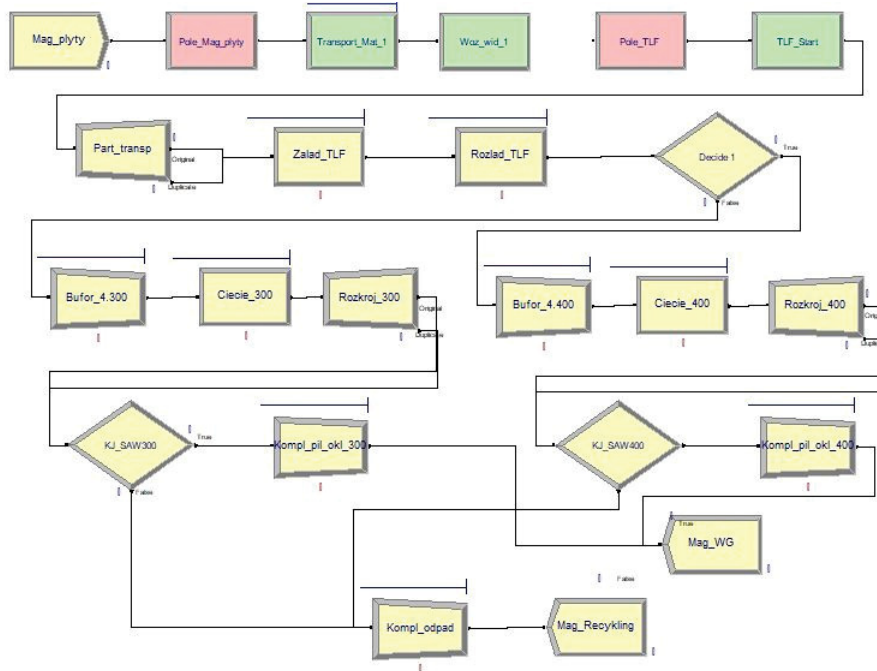
Podobne zależności [19] zostały ustalone dla pozostałych zasobów systemu produkcyjnego (tab. 2). W zależności od dostępnej i przygotowanej przestrzeni określono maksymalne pojemności buforowe wyrażone w liczbie płyt. Dla bufora *Mag_Braki* wpisano w kolumnach *Ciecie_300* i *Ciecie_400* znak „X”, ponieważ ze względu na pojemność kontenera oraz postać odpadu przyjęto założenie, że nie posiada on ograniczenia liczby miejsc, jednak w tym konkretnym przypadku liczba odpadów poprodukcyjnych stanowi materiał do recyklingu. W przypadku produkcji innych wariantów przedmiotów P_n - gdzie $n \in \{1, \dots, m\}$, wartości w tabeli 1 mogą się różnić.

Tabela 2 Tabela przepływu dla przedmiotu **P1**

P1	Do	Mag_plyty, [szt.]	Woz_wid_1, [szt.]	Zalad_TLF, [szt.]	Rozlad_TLF, [szt.]	Ciecie_300, [szt.]	Ciecie_400, [szt.]	Mag_Braki, [szt.]	Mag_WG, [szt.]
<i>Mag_plyty</i> , [szt.]			15	-	-	-	-	-	-
<i>Woz_wid_1</i> , [szt.]		-		15	-	-	-	-	-
<i>Zalad_TLF</i> , [szt.]		-	-		1500			-	-
<i>Rozlad_TLF</i> , [szt.]		-	-	-		4	5	-	-
<i>Ciecie_300</i> , [szt.]		-	-	-	-		-	X	4
<i>Ciecie_400</i> , [szt.]		-	-	-	-	-		X	5
<i>Mag_Braki</i> , [szt.]		-	-	-	-	-	-		-
<i>Mag_WG</i> , [szt.]		-	-	-	-	-	-	-	

Tworzenie tego typu tabeli **T** przepływu przedmiotów zbioru **P** dla zdefiniowanych i odpowiednio pogrupowanych elementów zbioru **Z** jest konieczne przed rozpoczęciem budowania modelu systemu wytwarzania. Ze względu na złożoność, specyfikę i różnorodność obiektów, jakie wchodzi w skład systemów wytwarzania, użyta liczba bloków funkcjonalnych w modelu może być różna.

W oparciu o tabelę przepływu (tab.2) na rysunku 6 przedstawiono pełny model procesu rozkroju płyty wiórowej (P1) według indywidualnego zamówienia klienta, na podstawie którego uruchomiono symulację zgodnie z ustawieniami.



Rysunek 6. Model systemu wytwarzania w oprogramowaniu Arena

Parametry czasowe w oparciu o [29-31] dla wybranych procesów produkcyjnych omawianych w ramach artykułu przedstawiono na rysunku 7.

Process - Basic Process												
	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Report Statistics
1	Zalad_TLF	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	0.5	0.8	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Rozlad_TLF	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	0.5	0.8	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Ciecie_300	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	2	5	8	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Ciecie_400	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	2	5	8	<input checked="" type="checkbox"/>

Rysunek 7. Zawartość bloku podstawowych procesów symulacji

W ramach prowadzonego eksperymentu założono, że do opisu zachodzących zjawisk najbardziej przydatny będzie rozkład trójkątny. Obliczenia przeprowadzono w środowisku Statistica 9.0. Klasyczne metody opisu czasu trwania operacji technologicznych są głównie oceniane przy pomocy metod statystycznych. Z uwagi na bardzo rozbudowany aparat matematyczny rzadko stosuje się modele probabilistyczne. Jednakże w literaturze przedmiotu poświęconej praktyce przemysłowej i opisu zjawisk zachodzących przy produkcji można znaleźć modele probabilistyczne oparte o następujące typy rozkładów [11]: wykładniczy, Weibulla, normalny, Gumbela, Ferechta, Reyleigha, Gamma, log-normalny, trójkątny, jednostajny. Prezentowane rozkłady mają w dużej mierze swoje zastosowanie do symulacji procesów produkcyjnych. Wymaga to jednak obszernej znajomości samego procesu produkcyjnego jak również metodyki opracowywania modeli

symulacyjnych. Dla większości z tych rozkładów wymagane jest stosowanie zaawansowanych technik numerycznych i przeprowadzenie eksperymentu na próbach o dużej liczności, co znacznie podraża stosowanie tych metod w praktyce przemysłowej. Stąd w trakcie prowadzenia identyfikacji technologicznej danego procesu już na wstępie należy założyć, że stosowany model probabilistyczny jest w stanie udzielić informacji odnośnie charakterystyki zmian zachodzących podczas realizacji procesu produkcyjnego [11].

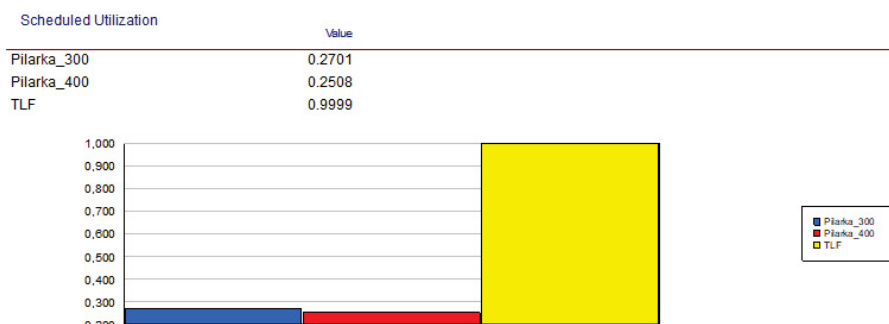
Rozkład normalny wykorzystywany jest do odzwierciedlenia procesów czasowych charakteryzujących się określoną symetrią. Rozkład trójkątny najczęściej jest wykorzystywany do opisu zjawisk, które są wyłącznie wartościami dodatnimi jak czas realizacji procesu. Charakteryzuje się on prostą estymacją parametrów wejściowych modelu i ogranicza się przy opracowywaniu do trzech ocen czasu: dwóch skrajnych (najkrótszy i najdłuższy) oraz najbardziej prawdopodobny [11]. Rozkład jednostajny przyjmuje się wszędzie tam, gdzie zakłada się losowość zdarzeń w pewnym przedziale wartości czasowych. Można nim opisywać procesy niestabilizowane pod względem produkcyjnym [25]. W wyniku prowadzenia badań w rzeczywistych warunkach produkcyjnych w środowisku Statistica 9.0 wygenerowano modele probabilistyczne co umożliwiło dopasowanie rozkładu opisującego założone zjawisko posłużono się metodą największej wiarygodności w tym celu użyto test Andersona- Darlinga [28]. W wyniku dokonanej analizy przyjęto, że w większości przypadków fluktuacja czasu trwania poszczególnych operacji może być opisana rozkładem trójkątnym lub zbliżonym do normalnego, rzadziej rozkładem jednostajnym. W przypadku opisu danego procesu przy pomocy modelu probabilistycznego opartego o rozkład trójkątny, sam proces technologiczny wykazuje tendencje do przerw technologicznych, podczas których następuje jednocześnie załadunek (bufor wewnętrzny) i rozładunek (zasilanie pilarki) płyt wiórowych, a sam proces nie jest przerywany poprzez zatrzymanie awaryjne. Po przeprowadzeniu symulacji na podstawie powyższego modelu program Arena wygenerował szereg raportów.

5. Ocena uzyskanych wyników w ramach przeprowadzonej symulacji

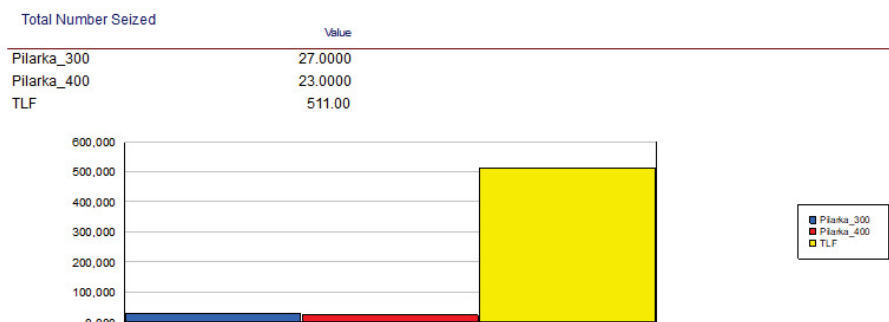
Na podstawie zbudowanego modelu systemu produkcyjnego oraz ujętych w nim parametrów wejściowych można dokonać analizy przepływu odnosząc ją do wyników rzeczywistych osiągniętych przez przedsiębiorstwo.

5.1 Analiza raportu wstępnego

Wielkość produkcji na podstawie symulacji (480 min) wynosi 56 gotowych zestawów płyt meblowych (typu szafka). Ze względu na specyfikę rozkroju płyt z gotowych formatek płyt wiórowych z procesu generowany jest odpad w liczbie 2 kontenerów magazynowych, który w dalszej kolejności będzie poddawany recyklingowi. Jedną z możliwości analizy przepływu procesu produkcyjnego w oparciu o funkcjonalność oprogramowania jest ocena wykorzystania stanowisk pracy (rys. 8) oraz spiętrzeń materiałów na stanowiskach (rys. 9).



Rysunek 8. Wykorzystanie wybranych stanowisk roboczych dla wstępnego modelu – udział procentowy



Rysunek 9. Spiętrzenie materiału na wybranych stanowiskach roboczych

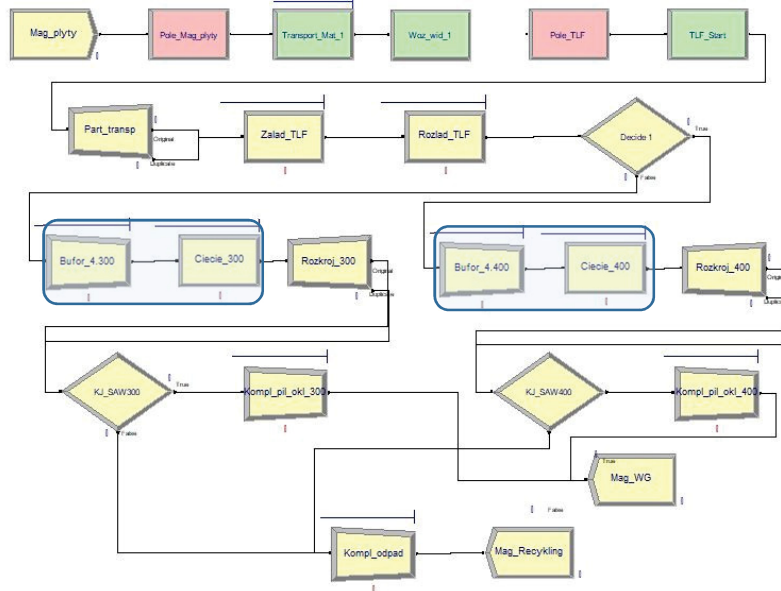
Analizując dane zamieszczone na rysunkach 8-9 można stwierdzić, że stanowiska robocze nie są równomiernie obciążone. Stanowisko TLF (robot manipulacyjny) zajęty jest niemal w 100%, a obie pilarki odpowiednio 27% oraz 25% dostępnego czasu pracy (rys. 8). W pewnych rzeczywistych uwarunkowaniach przedsiębiorstwa taki stan faktycznie ma miejsce. Sytuacja ta jest spowodowana specyfiką realizacji zamówień, charakterem pracy robota manipulacyjnego oraz dużą wydajnością, z jaką mogą pracować pilarki. Jak zostało to przedstawione w tab.1 pilarki w 1 cyklu jednocześnie mogą obrać odpowiednio 4 i 5 sztuk płyt (o tym świadczy analiza przepływu), co zostało ujęte również w symulacji. W wyniku kompletacji płyt przed procesem cięcia powstają niepożądane czasy oczekiwania na stanowiskach cięcia.

5.2 Skorygowany model symulacyjny

W analizowanym przypadku produkcji przedmiotu **P1** istnieje szereg możliwości dokonywania zmian w procesie produkcyjnym (symulacyjnym), celem zwiększenia wydajności produkcyjnej. Posiadając model symulacyjny w kompleksowy oraz szybki sposób można sprawdzić czy i jak zmiana wybranych parametrów wpłynie na jej końcowe wyniki.

W ramach omawianego modelu symulacyjnego zaproponowano możliwości zmiany ilości kompletowanego materiału (płyta wiórowa) przed stanowiskami cięcia. Modyfikacja dotyczy zmniejszenia liczby płyt (odpowiednio z 4 do 3 dla stanowiska *Ciecie_300* oraz z 5 do 4 dla stanowiska *Ciecie_400*) do jednej partii podlegającej

procesowi rozkroju na obu analizowanych stanowiskach cięcia. Obszar podejmowanych zmian na modelu został zaznaczony na rysunku 8.

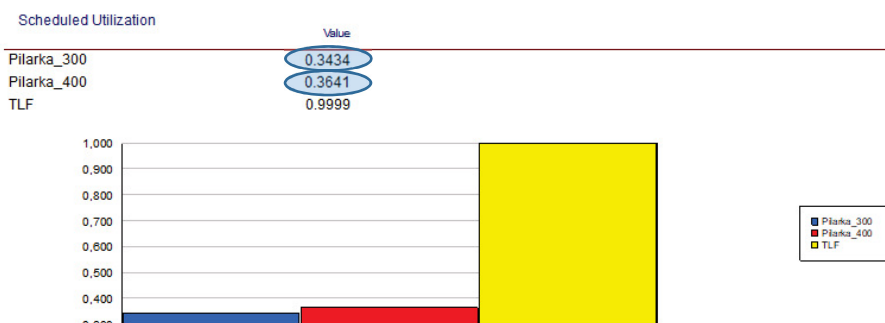


Rysunek 10. Obszar proponowanych zmian w modelu symulacyjnym

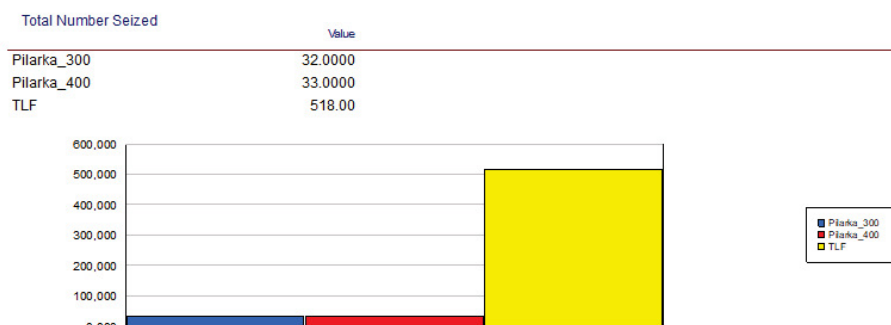
Po wprowadzeniu zmian przeprowadzono kolejną symulację analizowanego procesu dla czasu 480 minut.

5.3 Analiza raportu modelu skorygowanego

W oparciu o skorygowany model powtórzono analizę wybranych raportów oprogramowania Arena (rys. 9-10). Wielkość produkcji na podstawie symulacji (480min) wynosi 75 gotowych zestawów płyt meblowych (typu szafka) oraz odpadu w postaci 3 kontenerów magazynowych przeznaczonych do recyklingu.



Rysunek 11. Wykorzystanie wybranych stanowisk roboczych dla wstępnego modelu – udział procentowy



Rysunek 12. Spiętrzenie materiału na wybranych stanowiskach roboczych

Analogicznie przeanalizowano procentową zajętość stanowisk oraz spiętrzenie materiału. Z raportów symulacji wynika, iż zmniejszenie ilości kompletowanych płyt wiórowych przed procesem cięcia wpływa na zwiększenia wykorzystania obu pilarek, co było efektem pożądanym modelu skorygowanego. Dodatkowo z modelu symulacyjnego wynika, iż zaproponowana zmiana korzystnie wpływa na zwiększenie produktywności o 19 dodatkowych wyrobów gotowych, głównie dzięki redukcji czasu oczekiwania na materiał. Poglądowe wyniki zostały zebrane i przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3 Porównanie wybranych wyników przeprowadzonych 2 symulacji

Symulacja	Zasób	Bufor kompletacji [szt.]	Wyrób gotowy [szt.]	Odpad recyklingowy [szt.]	Użycie zasobów [%]	Spiętrzenie materiału [szt.]
1 (wstępna)	Pilarka_300	4	56	2	0,27	27
	Pilarka_400	5			0,25	23
	TLF	-	-	-	0,99	511
2 (skorygowana)	Pilarka_300	3	75	3	0,34	32
	Pilarka_400	4			0,36	33
	TLF	-	-	-	0,99	518

Należy zauważyć również, że zaproponowana zmiana nie wpływa w znaczący sposób na wielkość spiętrzenia, mimo iż w zakresie stanowiska TLF w obu symulacjach stanowi ono wąskie gardło. Rozpatrzenie tego zjawiska jest przedmiotem dalszych badań autora prowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej oraz analizowanego systemu produkcyjnego.

6. Podsumowanie

Analizowanie systemu wytwarzania z wykorzystaniem metod symulacji komputerowej dostarcza wielu wartościowych informacji na temat jego funkcjonowania i umożliwia osiągnięcie wymiernych korzyści materialnych. Wymaga to jednak od użytkownika właściwej identyfikacji procesów zachodzących

w tymże środowisku produkcyjnym oraz dobrą znajomością poprawnego podejścia w budowaniu modeli symulacyjnych oraz prowadzeniu na nich eksperymentów. Na przykładzie przedsiębiorstwa branży meblarskiej zdefiniowano podstawowe parametry kształtujące proces rozkroju płyty wiórowej, co umożliwiło budowę właściwego modelu symulacyjnego. W wyniku przeprowadzonej symulacji procesu wytwarzania z wykorzystaniem informacji z raportu obciążeń stanowiskowych zlokalizowano obszar do doskonalenia. Powtórna analiza przepływu materiałowego pozwoliła zaproponować zmianę parametrów wejściowych dla modelu symulacyjnego we wskazanym obszarze. W oparciu o gotowy model symulacyjny wykonano ponowną symulację procesu rozkroju płyty wiórowej, uwzględniając dodatkowo propozycję zmiany wielkości buforów. Wyniki drugiej symulacji wskazują istotne zmiany w zakresie efektywnego wykorzystania stanowisk pracy oraz zwiększenia wydajności linii produkcyjnej. Pozwala to stwierdzić, iż w oparciu o tego typu modele symulacyjne można tworzyć i porównywać wiele różnych wariantów przepływu materiałowego celem doskonalenia procesu wytwarzania.

LITERATURA

1. BARON-PUDA M., KOLNY D.: Zastosowanie wybranych metod twórczego myślenia w rozwiązywaniu problemów z zakresu inżynierii produkcji, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 2020, vol. 23, nr 2, s 2-10.
2. BENDKOWSKI J.: Logistyka produkcji procesowo zorientowanych heterogenicznych systemów produkcyjnych. W kierunku nowego pradygmatu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie* z.. 70, 2014.
3. BURDUK A.: Modelowanie systemów narzędziem oceny stabilności procesów produkcyjnych, *Oficyna Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław*, 2013, s. 49-50.
4. CHOMĄC-PIETRZECKA E.: Probabilistyczne ujęcie metod ilościowych w analizie wartości przedsiębiorstwa, *Zeszyt naukowy Uniwersytetu Szczecińskiego, Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, 47/2011, s. 11-24.
5. CISZAK O.: Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja procesów predykcyjnych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 2007.
6. DURLIK I.: Inżynieria zarządzania, część I, *Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa* 2000.
7. FLOREK-PASZKOWSKA A., CYMANOW P.: Zarządzanie procesem produkcji z wykorzystaniem metody AHP/ANP, *Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych* tom XIII/1, 2012, str. 96 – 105.
8. INGALDI M., ULEWICZ R.: Problems with the Implementation of Industry 4.0 in Enterprises from SME Sector, *Sustainability* 2020, 12(1), 217.
9. JAGODZIŃSKI J., OSTROWSKI D.: Optymalizacja wybranego procesu produkcyjnego w oparciu o zasadę ciągłego doskonalenia na przykładzie przedsiębiorstwa X, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie* Nr 24 t. 2 (2016) s. 201–214.
10. KARKULA M.: Analiza aspektów organizacyjnych w systemach logistycznych – podejście symulacyjne, *Logistyka*, 2011, nr 4, s. 387-397.
11. KELTON D.: *Simulation with Arena sixth edition*, Mc Graw Hill Education, 2014, s. 78-95.

12. KIEŁTYKA L., CHARCIAREK K.: Model zarządzania procesowego z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi Przemysłu 4.0, *Przegląd Organizacji*, Nr 8 (955), 2019, ss. 5-12.
13. KOLNY D., CIEŚLA B., MLECZKO J.: Dynamiczna wizualizacja danych produkcyjnych jako wsparcie procesu zarządzania w MŚP. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, Technologie, procesy i systemy produkcyjne, 2019.
14. LAW A.M., KELTON W.D.: *Simulation modeling and analysis*, McGraw-Hill, Inc. 1991.
15. LEWANDOWSKI J., SKOŁUD B., PLINTA D.: Organizacja systemów produkcyjnych, 2014, s.11.
16. ŁATUSZYŃSKA M.: Metody symulacji komputerowej- próba klasyfikacji logicznej, *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 41/2011, s.163-176.
17. ŁATUSZYŃSKA M.: Modelowanie i symulacja w zarządzaniu produkcją, *Przegląd Organizacji*, 2015, nr 12, s. 51-57.
18. MACIĄG A., PIETROŃ R., KUKLA S.: Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.
19. MAŁOPOLSKI W.: Modelowanie i optymalizacja systemów wytwarzania w programie arena, *Czasopismo Techniczne. Mechanika*, 2012, R. 109, z. 8-M, s. 91-108.
20. MIELCZAREK B.: Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu. Symulacja dyskretna. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.
21. NOWOSIELSKI S.: Podejście procesowe w organizacjach, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław, 2009.
22. PLUCIŃSKA A., PLUCIŃSKI E.: *Probabilistyka. Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna, procesy stochastyczne*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2000, s. 13.
23. SOBASZEK Ł., GOLA A.: Koncepcja zastosowania metody analizy przeżycia dla potrzeb predykcji zakłóceń procesu produkcyjnego, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Towarzystwo Zarządzania Produkcją*. 1, 622–634 (2015).
24. SOROKA T.: Cykl życia produktu w warunkach ultrakonkurencji, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie z.* 73, 2014.
25. SUWADA K.: Dopasowanie rozkładów i eksperymenty symulacyjne na przykładzie danych o wypadkach drogowych, *StartSoft Polska* 2009, s.87-94.
26. TOPOLSKI M.: Zastosowanie metod heurystycznych w zadaniu optymalizacji procesów magazynowych. Cz. 3, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, R. 18, nr 6, 2017.
27. TWARDUCHLEB M.: Metody modelowania statystycznego a optymalizacja funkcji wielu zmiennych z ograniczeniami, *VII Naukowa Sesja Informatyki*, Politechnika Szczecińska, 2002.
28. StatSoft (2006). *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*, Kraków, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html> , 12.10.2022
29. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa firmy ATEPAA, 20.10.2022
30. Niepublikowane dane archiwalne, ATEPAA 2022
31. Producent maszyn i urządzeń w dziedzinie obróbki drewna, <https://www.homag.com/pl/>, 20.10.2022.