



Wydział
Mechaniczny



Instytut Informatyki
i Zarządzania Produkcją
ul. Szafrana 4
65-246 Zielona Góra

tel. (0-68) 328-22-73
sekretariat@iizp.uz.zgora.pl

INŻYNIERIA

PRODUKCJI

*Planowanie
Modelowanie
Symulacja*

Pod redakcją:
Justyny Patalas-Maliszewskiej
Juliana Jakubowskiego
Sławomira Kłosa

7 i P

9

INŻYNIERIA PRODUKCJI

Planowanie, modelowanie, symulacja

Pod redakcją:
Justyny Patalas-Maliszewskiej
Juliana Jakubowskiego
Sławomira Kłosa

Zielona Góra 2015

UNIwersytet Zielonogórski
Rada Wydawnicza Instytutu Informatyki i Zarządzania Produkcją
Josef Basl, Julian Jakubowski, Sławomir Kłos,
Justyna-Patalas-Maliszewska, Michał Sąsiadek, Roman Stryjski, Waldemar Woźniak



Autorzy rozdziałów:

- Rozdział 1:** Taras Nahirny, Dawid Szymański
Rozdział 2: Sławomir Kłos, Patryk Kuc
Rozdział 3: Julian Jakubowski, Dawid Zabojszczyk
Rozdział 4: Justyna Patalas-Maliszewska, Klaudia Furtak
Rozdział 5: Marek Sałamaj, Sylwia Sałamaj
Rozdział 6: Paweł Bachman, Grzegorz Kucia
Rozdział 7: Roman Kielec, Jacek Walner
Rozdział 8: Michał Sąsiadek, Krzysztof Łazarski
Rozdział 9: Wojciech Babirecki, Małgorzata Śliwa
Rozdział 10: Daniel Dębowski, Łukasz Pikus
Rozdział 11: Tomasz Borowiecki, Krzysztof Ozga
Rozdział 12: Waldemar Woźniak, Mateusz Gilewski
Rozdział 13: Roman Stryjski, Jakub Huzarski

Redaktorzy naukowci:

Justyna Patalas-Maliszewska
Julian Jakubowski
Sławomir Kłos

Recenzenci:

prof. **Irene Krebs**, prof. **Josef Basl**

© Copyright by Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją
Zielona Góra 2015

ISBN: 978-83-933843-8-9

Spis treści

Przedmowa	5
Rozdział 1	
Sieci Petriego w modelowaniu i symulacji systemów kolejkowych	7
Taras Nahirny, Dawid Szymański	
Rozdział 2	
Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych w oparciu o oprogramowanie Technomatix Plant Simulation	19
Sławomir Kłos, Patryk Kuc	
Rozdział 3	
Badania jakościowe szymb kolejowych i samochodowych wg normy DIN 52 307	31
Julian Jakubowski, Dawid Zabojszczyk	
Rozdział 4	
Model przedsiębiorstwa Web 2.0	47
Justyna Patalas-Maliszewska, Klaudia Furtak	
Rozdział 5	
Model układu bezpiecznego mikrosterownika logicznego do zarządzania systemami krytycznymi	57
Marek Sałamaj, Sylwia Sałamaj	
Rozdział 6	
Badania symulacyjne układów sterowania serwonapędów elektrohydraulicznych	73
Paweł Bachman, Grzegorz Kucia	
Rozdział 7	
Analiza linii produkcyjnej dodatków wsadowych w procesie zawieszinowego wytopu miedzi	89
Roman Kielec, Jacek Walner	
Rozdział 8	
Analiza procesu montażu kontenerowej wytwórni masy bitumicznej	105
Michał Sasiadek, Krzysztof Łazarski	
Rozdział 9	
Analiza możliwości uruchomienia nowego wyrobu w firmie produkcyjnej na przykładzie producenta pneumatyki motoryzacyjnej	115
Wojciech Babirecki, Małgorzata Śliwa	

Rozdział 10

Zastosowanie metody DFA w procesie projektowania kolumny prowadzącej okrojnika
detali odlewanych ze stopów aluminium 129
Daniel Dębowski, Łukasz Pikus

Rozdział 11

Generowanie modeli CLP procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych 141
Tomasz Borowiecki, Krzysztof Ozga

Rozdział 12

Usprawnienie łańcucha dostaw przez reorganizację procesu zarządzania zapasami na
przykładzie wybranego przedsiębiorstwa 157
Waldemar Woźniak, Mateusz Gilewski

Rozdział 13

Wykorzystanie techniki IDEF3 do usprawnienia procesów produkcyjnych
w przedsiębiorstwach sektora MŚP 164
Roman Stryjski, Jakub Huzarski

Bibliografia 175

PRZEDMOWA

Funkcjonowanie współczesnych przedsiębiorstw jest w coraz większym stopniu determinowane jakością projektowanych modeli realizowanych procesów biznesowych i wynikami eksperymentów badawczych wykonanych dla tych podmiotów. Konieczność szybkiego reagowania na zmiany zachodzące zarówno w otoczeniu dalszym, jak i bliższym organizacji sprawia, że firmy dostrzegają konieczność i ważność planowania działań strategicznych i tworzenia modeli funkcjonowania przedsiębiorstwa. Zbudowane modele symulacyjne procesów gospodarczych mogą być istotnym czynnikiem przyczyniającym się do wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstwa.

Monografia podejmuje tematykę planowania i modelowania dla potrzeb przedsiębiorstw oraz budowania modeli symulacyjnych dla procesów gospodarczych realizowanych w danej organizacji. Powyższe zagadnienia dotyczą w szczególności rozwiązywania problemów inżynierskich w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Celem książki jest zaprezentowanie propozycji użytecznych modeli gospodarczych dla przedsiębiorstw, które powstały w oparciu o wspólną pracę naukowo-badawczą pracowników naukowych i studentów Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego.

W rozdziale pierwszym zaproponowano rozszerzenie specyfikacji stochastycznych Sieci Petriego wysokiego poziomu, które zostało poparte przykładowymi modelami, poczynając od prostego systemu kolejkowego z wielokanałową obsługą zgłoszeń, poprzez system wielopoziomowy, na sieci kolejkowe zaprojektowane do obsługi zgłoszeń niejednorodnych. Omówione przykłady można odnieść do wielu obserwowanych na co dzień procesów, związanych z inżynierią produkcji.

W rozdziale drugim zaprezentowano przykład wykorzystania oprogramowania Technomatrix Plant Simulation do poprawy efektywności procesów wytwórczych w małych przedsiębiorstwach produkcyjnych. Przedstawiony został przykład ilustrujący przebieg procesów produkcyjnych w małym przedsiębiorstwie. Została zaprojektowana wydajność systemu dla różnych wariantów pojemności buforów przystanowiskowych oraz liczby operatorów maszyn. Dodatkowo określono dla systemu program produkcji oraz czasy operacji i przebrojeń.

W rozdziale trzecim przedstawiono wyniki badań wpływu kilku czynników istotnych podczas produkcji szyb na ich zdolność do pozytywnego zaliczenia testu opadającej strzałki, przeprowadzanego zgodnie z DIN 52 307. Testom poddano próbki wykonane ze szkła o grubości 8 mm przeznaczonego do pociągów produkowanych na niemiecki rynek kolejowy. Badania miały na celu sprawdzenie, jakie czynniki podczas obróbki oraz warunki przeprowadzania prób testowych mogą zagwarantować pozytywny wynik testów. W trakcie badań porównano próbki z dwóch rodzajów szkła, poddano je różnym typom obróbki krawędzi, a także sprawdzono wpływ temperatury na zdolność do pozytywnego przejścia testów.

Rozdział czwarty podejmuje tematykę zaprojektowania przedsiębiorstwa Web 2.0. W Podjęto próbę zbudowania modeli procesów biznesowych zachodzących w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym oraz symulacji przebiegu tych procesów z zastosowaniem technologii WEB 2.0. Dokono charakterystyki dostępnych narzędzi usprawniających zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwach, tj., narzędzi Web 2.0. Następnie sformulowano mapę procesów biznesowych dla działu zarządzania projektami w przedsiębiorstwie oraz zaprojektowano modele przedsiębiorstwa 2.0 zarządzane poprzez stronę internetową oraz przez grupę Facebook.

W rozdziale piątym zaproponowano nową koncepcję układową architektury modelu bezpiecznego mikrosterownika logicznego (BML) przeznaczonego do zarządzania obiektami (urządzeniami wykonawczymi) w krytycznych systemach czasu rzeczywistego. Uwagę skoncentrowano na opracowaniu nowatorskiego, a zarazem bezpiecznego rozwiązania układowego w odniesieniu do już istniejących tego typu koncepcji układów sterujących przeznaczonych do zastosowań krytycznych.

W rozdziale szóstym przedstawiono programy PSpice i Vissim oraz pokazano w jakim stopniu mogą one zostać wykorzystane do symulacji serwonapędów elektrohydraulicznych. Dokonano

porównania wyników symulacji otrzymanych w tych programach z symulacjami otrzymanymi w programie Matlab. Przedstawiono również możliwości doboru metod sterowania i nastaw regulatorów w układach regulacji serwonapędów elektrohydraulicznych. Następnie opisano metody sterowania P, PID, LQR i SMC oraz omówiono wyniki badań układów sterowania napędem elektrohydraulicznym z poszczególnymi regulatorami podczas odpowiedzi na skok jednostkowy.

Rozdział siódmy to analiza procesu produkcyjnego przygotowania dodatków wsadowych dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego oraz Pieców Konwertorowych z jednoczesnym wskazaniem propozycji jego usprawnień, zorientowanych na poszczególne ciągi produkcyjne i technologiczne.

W rozdziale ósmym przedstawiono wykorzystanie macierzowej reprezentacji procesów produkcyjnych do analizy ukierunkowanej na zmniejszenie kosztów i skrócenie czasu realizacji tych procesów. Scharakteryzowano kontenerową wytwórnię masy bitumicznej oraz omówiono problemy występujące podczas jej montażu i demontażu. Na jej przykładzie zamodelowano proces montażu w programie PSM i przeprowadzono analizę najkorzystniejszej kolejności realizacji tego procesu z uwzględnieniem równoległości montażu. Uzyskane wyniki omówiono i porównano z parametrami procesu montażu realizowanego w przedsiębiorstwie.

W rozdziale dziewiątym zaprezentowano zbiór analiz dotyczących możliwości uruchomienia projektu wdrożenia nowego wyrobu do produkcji, jakim będzie zawór kontrolny. Wykazano potencjał firmy w zakresie produkcji, montażu, procesów kontroli, zasobów technicznych i ludzkich. Określono warunki, jakie należy spełnić, aby możliwe było uruchomienie projektu, oraz zaprezentowano koncepcje niezbędnych urządzeń technologicznych.

Rozdział dziesiąty to prezentacja procesu projektowania okrojnika detali odlewanych ze stopów aluminium ze szczególnym uwzględnieniem analizy DFA. Wstępnie zaprojektowaną konstrukcję kolumny prowadzącej okrojnika podzielono na poszczególne zespoły które następnie poddano analizie połączeń między ich częściami składowymi. Przeprowadzono ocenę możliwości montażu poszczególnych zespołów z pominięciem a następnie z uwzględnieniem wytycznych metody DFA. Przeprowadzono krytyczną analizę otrzymanych wyników po której zoptymalizowano konstrukcję pod kątem montażu i demontażu.

W rozdziale jedenastym zaprezentowano propozycję rozwoju oprogramowania dla planowania produkcji w podejściu podlegającym na rozwinięciu metod efektywnej (w sensie odpowiedniego wsparcia od strony technik programistycznych) konstrukcji modeli procedur szczegółowego planowania (dostosowywanych w procesie customizacji) do danego przypadku sytuacji produkcyjnej.

Rozdział dwunasty przedstawia koncepcję usprawnienia łańcucha dostaw na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa dystrybucji artykułów spożywczych poprzez reorganizację procesu zarządzania zapasami. Zaprezentowano dwa modele zarządzania zapasami, a także na podstawie analizy ekonomicznej przedstawiono wady i zalety wybranych rozwiązań. Rozważania uzupełniono badaniem rynku spożywczego w Niemczech (kraju, który jest jednym z największych odbiorców polskich produktów spożywczych) oraz przeprowadzono analizę danych sprzedażowych wybranego eksportera w branży spożywczej w roku kalendarzowym 2013.

W rozdziale trzynastym przedstawiono możliwości wykorzystania rodziny technik IDEF do usprawnienia procesów produkcyjnych w MSP poprzez zrozumiała dla wszystkich uczestników procesów ich specyfikację. Na przykładzie niewielkiego przedsiębiorstwa produkcyjnego sektora MSP wykazano przydatność tego typu podejścia. Pokazano też możliwości wykorzystania pozostałych metod IDEF do jednolitego.

Oddając niniejszą książkę do rąk czytelników wyrażamy nadzieję, iż przedstawione zagadnienia planowania, modelowania i symulacji dla potrzeb przedsiębiorstw będą użyteczne zarówno dla badaczy niniejszej problematyki, jak i dla praktyków.

Autorzy

SIECI PETRIEGO W MODELOWANIU I SYMULACJI SYSTEMÓW KOLEJKOWYCH

1. WPROWADZENIE

Modelowanie matematyczne naturalnych procesów ma swoje korzenie w starożytności, kiedy to formułowano twierdzenia w oparciu o obserwacje i eksperymenty przeprowadzane z użyciem technik pozwalających w przybliżeniu odwzorować istotne cechy badanych zjawisk. Konstruowanie ścisłych modeli złożonych procesów na podstawie przybliżeń prowadzi często do błędnych wniosków. Z drugiej strony możliwości poznawcze wciąż nie pozwalają opisać dokładnie wielu znanych, codziennie obserwowanych procesów w całej swojej złożoności.

W przypadku złożonych procesów prognoza obciążona pewną określoną niepewnością nie byłaby możliwa, gdyby nie rozwój teorii modeli stochastycznych. Przedstawiony w roku 1941 przez Stanisława Ulama pomysł wyznaczenia cech charakterystycznych złożonego modelu matematycznego na podstawie wielokrotnych losowych symulacji był kamieniem milowym dla projektu „Manhattan” i zmienił na zawsze podejście do prowadzenia badań wymagających stosowania zaawansowanych obliczeń numerycznych (Kalos M. H., Whitlock P. A., 2008). Monte Carlo, jak została ochrzczone ta metoda, znalazła szerokie zastosowanie w badaniach zjawisk i procesów niemal z każdej dziedziny, takich jak na przykład, ocena niezawodności, zarządzanie procesami usługowymi, analiza sieci telefonicznych i informatycznych, projektowanie systemów transportowych, badania mutacji lub badania przebiegu potencjałów czynnościowych w komórkach nerwowych (Kalos M. H., Whitlock P. A., 2008), (Rubinstein R. Y., Kroese D. P., 2007), (Cox R., 1955), (Muhlemann A.P., Oakland J.S., Lockyer K.G., 1997).

W niniejszej pracy metoda Monte Carlo stanowi inspirację do opracowania uniwersalnego modelu systemu, opartego o teorię kolejek. W tym celu dokonano przeglądu stosowanych obecnie metod modelowania i symulacji procesów produkcyjnych, aby wybrać narzędzia matematyczne i informatyczne, które odpowiadają stochastycznej naturze procesów. W odróżnieniu do koncepcji przedstawionej w (Marsan M. A., 1989) do modelowania systemów kolejkowych stosowane jest podejście oparte o, w znacznej mierze rozszerzoną, ideę żetonów z pamięcią. W przeciwieństwie do podstawowej definicji Sieci Petriego zakłada ona niejednorodność żetonów.

Żetony z pamięcią posiadają zespół przypisanych cech, które mogą zmieniać się w trakcie wędrówki przez tranzycje sieci. Cechy przypisane żetonowi są wykorzystywane podczas jego pobytu na danej pozycji, do obliczenia gotowości żetonu do dalszego przejścia. Takie podejście wydaje się wygodne z punktu widzenia implementacji metody Monte Carlo w systemach i sieciach kolejkowych. Należy zaznaczyć, że w pracy (Volovoi V., 2004), poświęconej modelowaniu niezawodności systemów, „pamięć żetonu” była wykorzystana do reprezentowania wieku danego zgłoszenia.

Przydatność przedstawionego w pracy podejścia do modelowania i symulacji sieci kolejkowych w oparciu o metodę Monte Carlo została poparta implementacją najważniejszych założeń tej koncepcji w języku C/C++ wraz z przedstawieniem wyników symulacji otrzymanych dla przykładowych procesów.

2. SIECI PETRIEGO W MODELOWANIU SYSTEMÓW KOLEJKOWYCH

Sieci Petriego są jednym z najistotniejszych dokonań w zakresie modelowania procesów równoległych i współbieżnych. Struktury te zostały wprowadzone w roku 1962 w pracy (Petri C.A., 1962) poświęconej modelowaniu komunikacji z automatami. Sieć Petriego definiowana jest jako skierowany graf dwudzielny. Zbiór jego wierzchołków jest sumą podzbioru tranzycji T reprezentowanych graficznie grubymi odcinkami bądź prostokątami oraz podzbioru pozycji P reprezentowanych okręgami

$$V = T \cup P.$$

Zbiór krawędzi skierowanych wyznacza pozycje będące poprzednikami i następnikami poszczególnych tranzycji

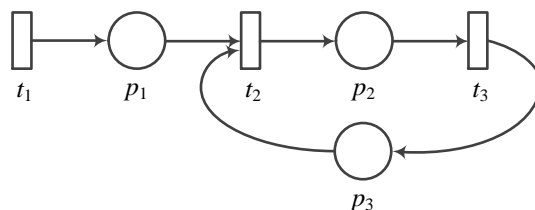
$$E \subseteq (T \times P) \cup (P \times T).$$

Zatem, uogólniając, struktura sieci N zdefiniowana jest przez uporządkowaną trójkę mającą postać

$$N = (P, T, E).$$

W przypadku większych struktur sieciowych wygodne jest definiowanie zbioru krawędzi za pomocą dwóch macierzy sąsiedztwa E_t , E_p przedstawiających przejścia z tranzycji do poszczególnych pozycji i odwrotnie.

Dla prostej sieci, której struktura opiera się o trzy pozycje i trzy tranzycje, przedstawionej na rys.1



Rys.1. Przykład struktury Sieci Petriego

będą one miały postać następującą

$$E_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad E_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

2.1. Podstawowe klasy Sieci Petriego

W celu przedstawienia pełnej definicji Sieci Petriego, omówioną powyżej charakterystykę struktury sieci opartą o formalizmy teorii grafów należy uzupełnić o jej opis behawio-

ralny. Ze względu na wielorakość zastosowań, podstawowe definicje zachowania się Sieci Petriego, podlegają dosyć częstym modyfikacjom lub rozszerzeniom, w zależności od charakterystyki procesu będącego przedmiotem badań. Punktem wyjściowym do opisu behawioralnego sieci i jej własności dynamicznych zawsze jest znakowanie sieci. Jest to podstawowe rozszerzenie definicji strukturalnej, pozwalające na przedstawienie w wyniku symulacji zmian stanu rozpatrywanego modelu.

Omówione tutaj klasy Sieci Petriego stopniowo wprowadzają kolejne rozszerzenia, pozwalające zastosować ten formalizm w modelowaniu i symulacji coraz szerszego zakresu procesów i systemów. Zaproponowany podział typów sieci oparty jest o klasyfikacje przedstawianą w (Szpyrka M., 2008). Zaproponowane rozszerzenia pozwalają, wraz z wybranymi elementami rozszerzeń (Marsan M. A., 1989), (Volovoi V., 2004), na wprowadzenie do modelu parametrów związanych z metodą Monte Carlo. W szczególności istotne jest dostarczenie do modelu charakterystyk poszczególnych procesów stochastycznych przebiegających w ramach definiowanego systemu, takich jak napływanie, obsługa, czy wariantowanie zgłoszeń.

Sieci znakowane

Stan procesu modelowanego z użyciem Sieci Petriego reprezentowany jest poprzez przypisanie odpowiednim pozycjom pewnej liczby żetonów, właściwej dla wybranych cech systemu poddanego badaniom. Wobec tego termin „znakowanie sieci” odnosi się do funkcji M , która przypisuje każdej pozycji nieujemne wartości całkowite reprezentujące liczbę żetonów na poszczególnych pozycjach

$$M : P \rightarrow \mathbf{N} \cup \{0\} = \{m_1, \dots, m_{|P|}\}.$$

Znakowanie początkowe M_0 definiuje rozmieszczenie żetonów na pozycjach w chwili inicjalizacji sieci. W związku z powyższym sieć znakowaną formalnie opisuje się przy pomocy uporządkowanej czwórki postaci $N = (P, T, E, M_0)$. W reprezentacji graficznej żetony są przedstawiane jako kropki umieszczone wewnątrz okręgów odpowiadających pozycjom, bądź po prostu jako etykieta liczbowa, co ułatwia prezentację w przypadku dużych liczb żetonów. W sieciach znakowanych przyjmuje się, że wszystkie łuki posiadają wagę równą 1, co oznacza, że uruchomienie tranzycji wiąże się z pobraniem dokładnie jednego żetonu z każdej bezpośrednio poprzedzającej ją pozycji oraz dołożeniu dokładnie jednego żetonu na każdej pozycji będącej jej bezpośrednim następcą.

Sieci uogólnione

Sieci uogólnione rozszerzają koncepcję sieci znakowanych o możliwość usuwania i dodawania na poszczególnych pozycjach więcej niż jednego żetonu. W tym celu krawędziom przypisujemy wagi, które interpretowane są jako ilość żetonów odejmowanych (w przypadku krawędzi wychodzących z danej pozycji), oraz ilość żetonów dodawanych (w przypadku krawędzi wchodzących do pozycji) w danym kroku symulacji. Funkcja W przypisuje krawędziom wagi będące liczbami naturalnymi:

$$W : E \rightarrow \mathbf{N} = \{w_1, \dots, w_{|E|}\}.$$

Wobec tego sieć uogólniona definiowana jest jako uporządkowana piątka $N = (P, T, E, W, M_0)$. Jeśli zbiór łuków zdefiniowany jest przy pomocy macierzy sąsiedztwa, poszczególne wagi będą reprezentowane przez odpowiednie wartości w macierzy. Wagi są w reprezentacji graficznej przedstawiane jako etykiety nad poszczególnymi krawędziami. Dla uproszczenia przyjmuje się, że brak etykiety nad krawędzią jest równoważny z przypisaniem jej wagi 1.

Sieci miejsc i przejść (PT-sieci)

Sieci miejsc i przejść są najpowszechniejszą klasą Sieci Petriego, będącą właściwym punktem wyjścia do dalszych rozszerzeń specyficznych dla dedykowanego obszaru zastosowań. W odniesieniu do definicji sieci uogólnionych zostaje dodana funkcja K przypisująca pozycjom liczby naturalne reprezentujące ich pojemność. Czyli PT-siecią nazywana jest uporządkowana szóstka:

$$N = (P, T, E, K, W, M_0).$$

Przyjmijmy dla przedstawianego przykładowego modelu, że funkcja K będzie przypisywała poszczególnym pozycjom następujące wartości $K = \{\infty, 3, 3\}$. Pojemność w reprezentacji graficznej przedstawiana jest jako etykieta umieszczone nad daną pozycją. Etykieta może być pominięta w przypadku gdy pojemność pozycji nie jest ograniczona.

Rozszerzenie PT-sieci dla metody Monte Carlo

Przedstawiony przykład sieci jest trzonem modelu systemu kolejkowego z nieograniczoną kolejką oraz trzema stanowiskami obsługi. Poszczególne pozycje w sieci interpretować należy następująco:

- p_1 – kolejka;
- p_2 – pracujące stanowiska obsługi;
- p_3 – wolne stanowiska obsługi.

Przykład ten stanowi podstawową jednostkę funkcjonalną w modelach bardziej złożonych systemów oraz sieci kolejkowych (Marsan M. A., 1989). Wyznaczając graf znakowań osiągalnych dla tak modelowanego systemu kolejkowego, można przyjąć uogólnienie w odniesieniu do kolejki polegające na tym, że z punktu widzenia symulacji istotne jest wyróżnienie tylko dwóch znakowań odpowiadających jej pozycji: gdy kolejka jest pusta oraz gdy w kolejce znajduje się pewna liczba zgłoszeń. Zauważmy, że uogólniając p_s jako pozycję reprezentującą pracujące stanowiska obsługowe, a p_i jako pozycję reprezentującą stanowiska bezczynne, to w każdym poprawnym modelu systemu kolejkowego o z góry określonych zasobach, suma żetonów na obu tych pozycjach jest stała w dowolnie wybranej chwili t

$$\forall_t m_s + m_i = const,$$

gdzie $m_s = M_t(p_s)$, $m_i = M_t(p_i)$.

Na przestrzeni lat proponowano różne rozszerzenia definicji sieci Petriego wprowadzając czynnik czasu (Wang J., 1998). Ograniczenia czasowe były łączone w różny

sposób z tranzycjami, pozycjami, ale także z łukami i samymi żetonami. Dla potrzeb definicji modelu systemu kolejkowego w oparciu o sieci Petriego, istotne wydaje się oparcie o ograniczenia czasowe przypisane wybranym tranzycjom. W tym przypadku będzie to funkcja zmiennej losowej odwzorowana na dyskretnym zbiorze wartości. Poza czynnikiem czasu, wprowadzony zostaje element procesu stochastycznego:

$$Z_T : T \rightarrow (\xi_T : \Omega_T \rightarrow \mathbf{N} \cup \{0\}).$$

Zmienna losowa ξ_T dana jest rozkładem prawdopodobieństwa odpowiednim dla operacji reprezentowanej przez daną tranzycję. Wobec tego rozszerzenie PT-sieci, będzie reprezentowane przez uporządkowaną siódmkę postaci:

$$N = (P, T, E, K, W, M_0, Z_T).$$

Dla modelowanego systemu kolejkowego można przyjąć, że ograniczenie czasowe nałożone jest tylko na tranzycję t_3 . Opóźnienie na pozostałych tranzycjach wynosi 0. Przesunięcie ograniczeń czasowych przypisanych tranzycjom do żetonów istotnie upraszcza implementację modelu.

W celu ułatwienia symulacji procesów ciągłych przeprowadzanej w dyskretnej dziedzinie czasu, pomocne wydaje się być wprowadzenie wag krawędzi będących funkcją zmiennej losowej. W szczególności przydatne będzie założenie, że waga danej krawędzi może być wielokrotnością wagi innej krawędzi. Wagi krawędzi w omawianym przykładzie zostały zdefiniowane w postaci

$$W = \{\xi_{e1}, 1, 1, 1, 1, 1\}.$$

Wartość zmiennej ξ_{e1} może być liczbą Poissona otrzymaną w wyniku działania algorytmu Knutha (Knuth D. E., 1969).

Istotą wprowadzenia żetonów z pamięcią jest uproszczenie modelowania procesów, w których konieczne jest rozróżnianie cech charakterystycznych dla zdarzeń reprezentowanych przez żetony. Jest to część standardowej definicji Sieci Petriego wysokiego poziomu (ISO/IEC 15909-1:2004), choć pierwotną definicją wprowadzającą różnicowanie żetonów była idea sieci kolorowanych. Pomysł ten można wykorzystać w modelach sieci kolejkowych dla reprezentacji wariantowania zgłoszeń:

$$D = \{d_1, \dots, d_{|D|}\} - \text{jest zbiorem możliwych wariantów,}$$

$$C : P \rightarrow D - \text{funkcja przypisująca pozycjom obsługiwane warianty.}$$

W związku z wprowadzeniem różnicowania żetonów konieczne jest także zmodyfikowanie definicji znakowania sieci. Każdej pozycji przypisany zostaje wielozbiór zdefiniowany nad zbiorem wyznaczonym funkcją C (Szyrka M., 2008).

$$C(p)^* : C(p) \rightarrow \mathbf{N} \cup \{0\} = \sum_{x \in C(p)} C(p)^*(x)x,$$

gdzie $C(p)^*(x)$ – liczba wystąpień elementu x w wielozbiorze $C(p)^*$.

Znakowaniem takiej sieci będzie funkcja, której dziedziną będzie zbiór pozycji sieci, a przeciwdziedziną rodzina wszystkich wielozbiórów zbudowanych nad zbiorem C :

$$\forall p \in P: M(p) \in 2^{C(p)^*}.$$

Dodatkową cechą, istotną z punktu widzenia symulacji i analizy systemów kolejkowych jest przypisywana żetonowi i przez niego „pamiętaną” tak zwana pieczętka czasowa (ang. timestamp) (Singhal M., 1991). Aby w pełni odzwierciedlić parametry czasowe związane z pobytem danego zgłoszenia w systemie kolejkowym, każdemu żetonowi należy przypisać trzy pieczętki czasowe, reprezentujące kolejno: czas przybycia do systemu, czas przyjęcia na stanowisko obsługowe oraz czas opuszczenia systemu.

Wobec powyższego żeton wygodnie jest zdefiniować jako obiekt należący do klasy zdefiniowanej poniżej (C++):

```
class Token {
public:
    // prepare_timeout - czas obsługi zgłoszenia
    // type - typ zgłoszenia
    // ats - czas przybycia do systemu
    Token(unsigned int prepare_timeout, unsigned int type, unsigned int ats);

    // Ustawia czas przyjęcia na stanowisko obsługowe
    void setSts(unsigned int sts);

    // Ustawia czas opuszczenia systemu
    void setLts(unsigned int sts);

    // Ustawia czas obsługi zgłoszenia na kolejnej pozycji
    void setPrepareTimeout(unsigned int timeout);

    // Zmniejsza pozostały czas przygotowania o 1.
    // Zwraca: true gdy zgłoszenie jest gotowe;
    //         false: gdy zgłoszenie jest przygotowywane.
    bool tick(void);

private:
    unsigned int m_prepare_timeout; // czas przygotowania na
    obecnej pozycji
    unsigned int m_type; // typ żetonu

    unsigned int m_ats; // czas przybycia do system
    unsigned int m_sts; // czas przyjęcia do obsługi
    unsigned int m_lts; // czas opuszczenia systemu
};
```

Mając możliwość nadania każdemu żetonowi wybranej cechy, w przypadku modelu systemu kolejkowego można zrezygnować z ograniczeń czasowych przypisanych do tranzycji, na rzecz zdefiniowanego wprost czasu przygotowania danego żetonu na danej pozycji w systemie. Żetony nie są brane pod uwagę przy obliczeniu gotowości tranzycji do uruchomienia dopóty, dopóki nie upłynie zadany czas przygotowania.

Przedstawiona klasa *Token* została zdefiniowana tak, aby możliwa była modyfikacja wybranych cech żetonu, w momencie jego tranzytu pomiędzy pozycjami. W związku z

tym definicja sieci zostaje rozszerzona o przypisanie do każdej tranzycji akcji cechowania żetonów, a więc ustawiającej odpowiednie pola obiektu klasy *Token*.

W omawianym przykładzie tranzycja t_1 będzie odwoływać się do konstruktora obiektu typu *Token*, nadając odpowiedni czas przybycia do systemu oraz zerowy czas przygotowania, jako że nie będzie to parametr uwzględniany w regule zarządzania kolejką. Ponieważ przykład dotyczy pojedynczego systemu kolejkowego, a nie sieci kolejkowej, definicja typu zgłoszenia nie będzie w tym modelu używana. Tranzycja t_2 dla każdego żetonu z niej wychodzącego ustawiać będzie czas przygotowania żetonu na pozycji p_2 zgodny z rozkładem czasów obsługi. Jednocześnie tranzycja ta ustawia pieczętkę czasową reprezentującą moment przyjęcia zgłoszenia do obsługi. Ostatecznie tranzycja t_3 daje możliwość ustawienia pieczętki czasowej reprezentującej chwilę opuszczenia systemu przez dane zgłoszenie. W rezultacie żeton niesie ze sobą szczegółową informację dotyczącą jego pobytu w systemie.

Uogólniając definicję żetonów z pamięcią oraz tranzycji modyfikujących cechy żetonów, należy przyjąć, że zbiór możliwych wariantów D jest elementem szerszego zbioru zbiorów cech, zdefiniowanego dla danego modelu. Podobnie funkcja C jest składową szerszej funkcji, która poszczególnym pozycjom może przypisać kilka cech, ze względu na które odbywać się będzie selekcja żetonów.

$$D \in \Delta = \{\delta_1, \dots, \delta_{|\Delta|}\},$$

$$\Gamma : P \rightarrow \Delta' \subseteq \Delta,$$

$$\Gamma(p)^* : \sum_{\delta_i \in \Delta'(p)} \sum_{x \in \delta_i} \delta_i^*(x)x,$$

$$\forall p \in P : M(p) \in 2^{\Gamma(p)^*}.$$

W definicji zrezygnowano z funkcji zmiennej losowej definiującej opóźnienie tranzycji na rzecz związanej z każdą tranzycją funkcji cechującej żetony trafiające na każdą pozycję bezpośrednio po danej tranzycji:

$$\forall t \in T, \forall p \in P : e(t, p) \in (T \times P)Z_T(t) : m \in M(p) \rightarrow \Delta.$$

Siecą Petriego wysokiego poziomu z uwzględnieniem zaproponowanych modyfikacji zdefiniowana będzie uporządkowaną dziewiątką, mającą następującą postać:

$$N = (P, T, E, K, W, \Delta, \Gamma, Z_T, M_0).$$

2.2. Modele sieci kolejkowych z użyciem Sieci Petriego wysokiego poziomu

W oparciu o przedstawione definicje i rozszerzenia niżej zostały zaprezentowane przykłady modeli systemów i sieci kolejkowych.

Model z jednopoziomową obsługą zgłoszeń

Rozważmy system obsługi masowej z trójkanałową obsługą zgłoszeń. Przyjmując, że strumień zgłoszeń rekrutowanych z nieograniczonej populacji jest procesem Poissona a

rozkład czasów obsługi zgłoszeń jest wykładniczy, system tego typu definiowany jest jako: $M/M/3/\infty/D/\infty$. Odnosząc to do definicji sieci zaproponowanej powyżej otrzymany zostaje następujący opis:

$$N = (P, T, E, K, W, \Delta, \Gamma, Z_T, M_0).$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}, \quad T = \{t_1, t_2, t_3\}, \quad K = \{\infty, 3, 3, \infty\}, \quad \Delta = \{\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4\},$$

$$E_t = \begin{bmatrix} \xi_{e1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad E_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

$\delta_2 \in \mathbf{N} \cup \{0\}$ – czas przyjęcia do obsługi,

$\delta_3 \in \mathbf{N} \cup \{0\}$ – czas opuszczenia systemu,

$\delta_4 = \xi_{\delta 4} : \Omega_{\delta 4} \rightarrow \mathbf{N} \cup \{0\}$ – czas obsługi zgłoszenia,

$Z_T = \{z_{t1}, z_{t2}, z_{t3}\}$,

$z_{t1} : m \in M(p_1) \rightarrow \delta_1$,

$z_{t2} : m \in M(p_2) \rightarrow \begin{cases} \delta_2 \\ \delta_4 \end{cases}$.

Zmienna losowa ξ_{e1} jest liczbą o rozkładzie Poissona, generowaną w oparciu o algorytm Knuth'a. Pozycja p_4 została wprowadzona w celu ułatwienia analizy parametrów zgłoszeń, jednak nie stanowi integralnej części systemu obsługi masowej. Należy ją traktować jako bufor pomocniczy w procesie symulacji. Pozycja ta mogłaby zostać usunięta z modelu bez żadnych istotnych konsekwencji, gdyby zrezygnować z zapamiętywania czasu opuszczenia systemu przez obsłużone zgłoszenie. Dodanie pozycji p_4 ma istotne implikacje dla charakterystyki rozważanego systemu, ponieważ zmienia jego całkowitą pojemność. Jest to niepożądane ze względu na zmianę warunków oceny wyników symulacji modelu. Dlatego pojemność dodanej pozycji powinna być wyłączona ze zbioru parametrów branych pod uwagę podczas analizy otrzymanych rezultatów. Z tego względu w reprezentacji graficznej dla elementów nie będących częścią faktycznego systemu obsługi masowej, a jedynie realizacją założeń modelowych, używane będą linie przerywane.

Model z ograniczoną populacją

W przypadku modelu systemu, gdzie strumień zgłoszeń rekrutowany jest z ograniczonej populacji konieczne będzie zdefiniowanie w Sieci Petriego dodatkowej pozycji. Rozważmy system obsługujący populację o liczebności 100, z trzema stanowiskami obsługowymi oraz o pojemności kolejki 2: $M/M/3/5/D/100$.

Dla tego systemu

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}, \quad K = \{100, 2, 3, 3, \infty\},$$

$$E_t = \begin{bmatrix} 0 & E_p[1,1] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad E_p = \begin{bmatrix} \xi_{e1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

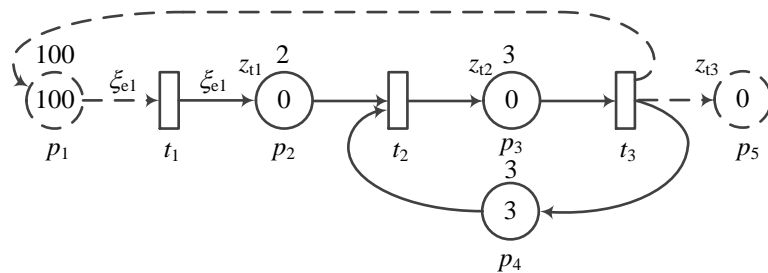
Odwołanie się w macierzy E_t do pola macierzy $E_p[1,1]$ oznacza, że wartość zmiennej losowej obliczana jest jeden raz w ciągu pojedynczego taktu symulacji i w tym takcie przypisywana jest jako waga zarówno krawędzi wchodzącej jak i wychodzącej z tranzycji t_1 . Zbiór cech żetonów Δ jest taki sam, jak poprzednio. Konieczne jest jednak zmodyfikowanie definicji funkcji cechujących przypisanych poszczególnym tranzycjom.

$$z_{t1} : m \in M(p_2) \rightarrow \delta_1,$$

$$z_{t2} : m \in M(p_3) \rightarrow \begin{cases} \delta_2 \\ \delta_4 \end{cases},$$

$$z_{t3} : \begin{cases} m \in M(p_1) \rightarrow 0 \\ m \in M(p_4) \rightarrow 0 \\ m \in M(p_4) \rightarrow \delta_3 \end{cases}.$$

Z pobieżnej analizy przedstawionej definicji modelu wynika, że została dodana dodatkowa pozycja p_1 , odpowiadająca zadanej populacji. Podobnie krawędź od tranzycji t_3 do pozycji p_1 reprezentuje powrót zgłoszenia obsłużonego do populacji. W reprezentacji graficznej (rys.2) dla elementów niebędących częścią faktycznego systemu, a jedynie realizacją założeń modelowych, używane linie przerywane.

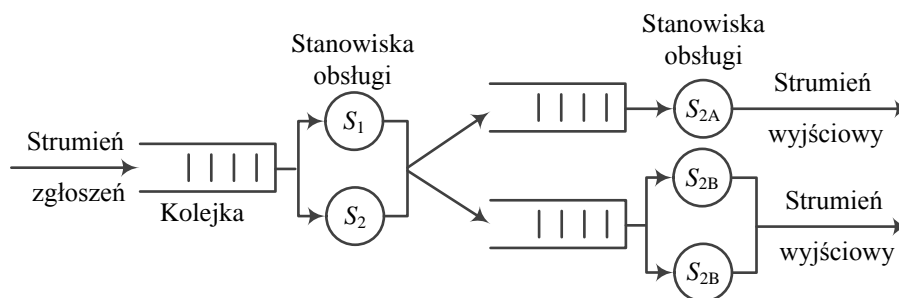


Rys. 2. Sieć Petriego modelująca system z ograniczoną pojemnością oraz liczebnością

Podobne podejście można zastosować w przypadku modelowania sieci systemów obsługi masowej z kilkoma strumieniami wyjściowymi oraz z ograniczoną populacją. Istotne jest jedynie, aby krawędź reprezentująca sprzężenie zwrotne (w przykładzie $e(t_3, p_1)$), została poprowadzona od każdej tranzycji zamykającej cykl obsługi danego zgłoszenia.

Model sieciowy z wariantami zgłoszeń

Rozważmy sieć obsługi masowej zgłoszeń niejednorodnych, wymagających dedykowanych stanowisk obróbczych na drugim etapie obsługi (rys.3)



Rys.3. Sieć systemów kolejkowych

Sieć obsługuje strumień zgłoszeń rekrutowanych z nieograniczonej populacji, będący procesem Poissona. Zgłoszenia występują w dwóch wariantach A i B . Prawdopodobieństwo wystąpienia wariantu dane jest rozkładem dyskretnym: $\{A, B\} \rightarrow \{1/4, 3/4\}$. Założono nieograniczoną pojemność. Pierwszy system składowy jest dwukanałowy i nieograniczony. Drugi system składowy dedykowany dla zgłoszeń w wariacie A posiada jednokanałową obsługę oraz pojemność 2. Trzeci system składowy dedykowany jest do obsługi zgłoszeń typu B , posiada dwa stanowiska robocze oraz całkowitą pojemność równą 3.

W oparciu o rozszerzoną notację Kendall'a taka sieć kolejkowa będzie zdefiniowana jako $M/X/\infty/P$, gdzie:

$$X = \begin{bmatrix} M & 2 & \infty & D_1 \\ M & 1 & 2 & D_2 \\ M & 2 & 3 & D_3 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} 0 & 0,25 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Definicja Sieci Petriego winna uwzględnić dodatkową cechę żetonów w zbiorze Δ oraz przypisać obsługiwany typ żetonu odpowiednim systemom składowym sieci w oparciu o funkcję Γ . Podobnie definicja wag dla krawędzi wychodzących z ostatniej tranzycji systemu pierwszego będzie zdefiniowana jako funkcja typu żetonu.

$$N = (P, T, E, K, W, \Delta, \Gamma, Z_T, M_0).$$

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_{11}\}, \quad T = \{t_1, t_2, \dots, t_7\}, \quad K = \{\infty, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 2, \infty, \infty\},$$

$$E_t = \begin{bmatrix} \xi_{t1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & F_A & 0 & 0 & F_B & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad E_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$F_A = \begin{cases} 0 \Leftrightarrow \text{Typ}(m) \neq A \\ 1 \Leftrightarrow \text{Typ}(m) = A \end{cases}, \quad F_B = \begin{cases} 0 \Leftrightarrow \text{Typ}(m) \neq B \\ 1 \Leftrightarrow \text{Typ}(m) = B \end{cases},$$

$$\Delta = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_7\}$$

$\delta_i \in \mathbf{N} \cup \{0\}$, $i = 1 \div 5$ i sekwencyjnie oznaczają: czas przybycia zgłoszenia do systemu, czas przyjęcia do obsługi w systemie 1, czas przybycia zgłoszenia do kolejki wariantów, czas przyjęcia do obsługi wariantów, czas opuszczenia sieci,

$\delta_6 = \xi_{\delta_6} : \Omega_{\delta_6} \rightarrow \mathbf{N} \cup \{0\}$ – czas obsługi zgłoszenia,

$\delta_7 = \xi_{\delta_7} : \Omega_{\delta_7} \rightarrow \{A, B\}$ – wariant zgłoszenia,

$\Gamma = \{1,1,1, A, A,1, B, B,1,1,1\} : \Gamma(p_i) = 1$ oznacza każdy zdefiniowany typ,

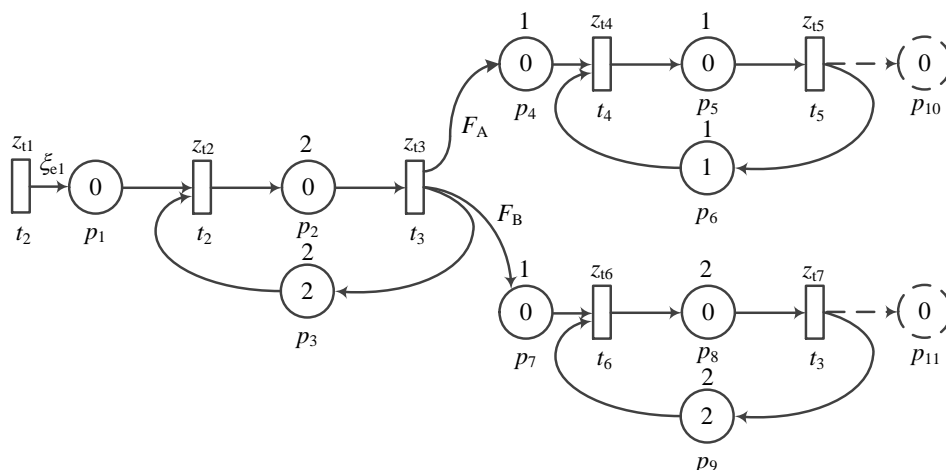
$$Z_T = \{z_{t_1}, z_{t_2}, \dots, z_{t_7}\},$$

$$z_{t_1} : m \in M(p_1) \rightarrow \delta_1, \quad z_{t_2} : m \in M(p_2) \rightarrow \begin{cases} \delta_2 \\ \delta_6 \end{cases}, \quad z_{t_4} : m \in M(p_4) \rightarrow \begin{cases} \delta_4 \\ \delta_6 \end{cases},$$

$$z_{t_5} : \begin{cases} m \in M(p_6) \rightarrow 0 \\ m \in M(p_{10}) \rightarrow \delta_5 \end{cases}, \quad z_{t_6} : m \in M(p_8) \rightarrow \begin{cases} \delta_4 \\ \delta_6 \end{cases}, \quad z_{t_7} : \begin{cases} m \in M(p_9) \rightarrow 0 \\ m \in M(p_{11}) \rightarrow \delta_5 \end{cases},$$

$$M_0 = \{0,0,2,0,0,1,0,0,2,0\}.$$

Nadanie poszczególnemu zgłoszeniu typu odbywa się podczas przejścia przez tranzycje t_3 . Następujące po niej krawędzie posiadają wagi wyrażone funkcją zależną od typu żetonu, dzięki czemu do kolejnych systemów składowych trafiają zgłoszenia o typie kompatybilnym z tym, który został przypisany poszczególnym tranzycjom przez funkcję Γ .



Rys. 4. Sieć Petriego modelująca sieć kolejkową z dwoma wariantami obsługi zgłoszeń

3. WNIOSKI

Przedstawiono przykład modelu prostego systemu kolejkowego definiowanego w oparciu o dwukomponentowy łańcuch Markova. Wprowadzono „wielokomponentowy łańcuch Markova” dla wyróżnienia grupy modeli, w których kilka niezależnych procesów stochastycznych zdefiniowanych jest na tej samej przestrzeni stanów. Taka sytuacja ma miejsce w systemach kolejkowych, gdzie proces napływu zgłoszeń i ich obsługi można definiować niezależnie. Przedstawiony kod źródłowy umożliwia przeprowadzenie symulacji tego typu modeli.

Dla usystematyzowania różnych rodzajów systemów obsługi masowej oparto się o klasyczną notację Kendall’a z propozycją rozszerzenia jej, tak aby możliwe było zwięzłe opisywanie sieci kolejkowych złożonych z dowolnej liczby podsystemów. Wychodząc od struktury podstawowej sieci pozycji i tranzycji odpowiadającej pojedynczemu systemowi obsługi, przedstawiono poszczególne standardowe rozszerzenia umożliwiające bardziej elastyczne modelowanie oraz wprowadzono modyfikacje i rozszerzenia, których celem było zawarcie w definicji Sieci Petriego parametrów istotnych z punktu widzenia symulacji Monte Carlo. Na przykładach pokazano budowanie bardziej złożonych sieci, w których obsługa zgłoszeń jest zhierarchizowana, odbywa się na kilku poziomach lub zgłoszenia nie są jednorodne i wymagają dedykowanych procesów obsługowych.

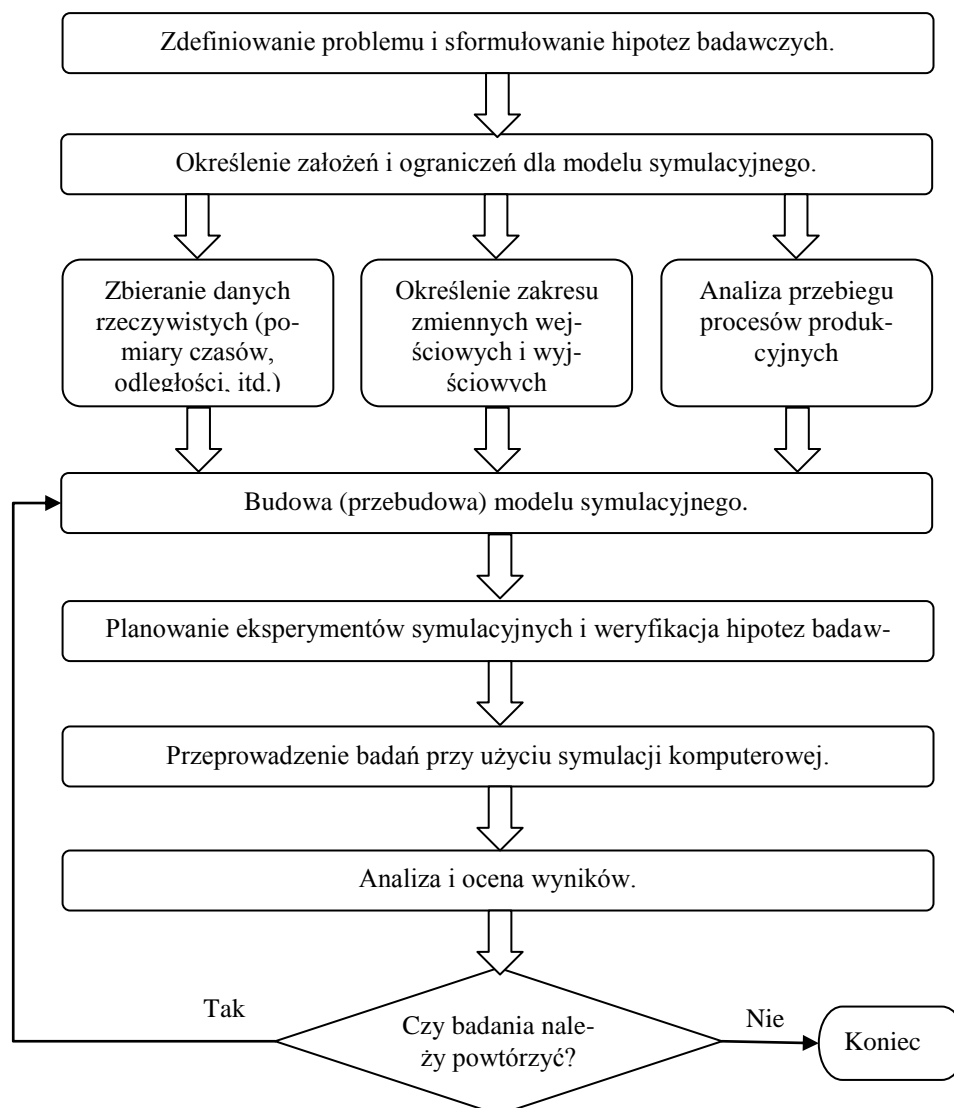
Najistotniejszą cechą przedstawionej klasy Sieci Petriego są żetony z pamięcią oraz tranzycje mające możliwość modyfikacji cech żetonów. Umożliwiło to połączenie parametrów wykorzystywanych w definicji sieci czasowych oraz sieci kolorowanych, a jednocześnie dało duże możliwości poszerzania modelu o parametry istotne z punktu widzenia analizy funkcjonowania. Takie podejście jest dogodne przy implementacji tego typu modeli w językach obiektowych.

MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W OPARCIU O OPROGRAMOWANIE TECHNOMATIX PLANT SIMULATION

1. WPROWADZENIE

Metoda symulacji komputerowej jest doskonałym narzędziem do wizualizacji i analizy przebiegu procesów produkcyjnych, jak również do wspomagania decyzji związanych z rozwojem lub modernizacją systemów produkcyjnych. Dzięki symulacji komputerowej możliwa jest znaczna redukcja czasu wprowadzania nowych wyrobów do produkcji oraz szybkie uzyskanie pełnej zdolności produkcyjnej systemu (Baykasoglu A, Gocken M., 2011). W oparciu o techniki symulacji komputerowej można również analizować wpływ różnych wariantów rozstawienia maszyn, kolejności wykonywania operacji, wielkości buforów trzystanowiskowych, długości dróg transportowych, itd. na wydajność systemu produkcyjnego. Stosowanie metod symulacji sprawdzają się wówczas, gdy rozwiązanie problemu przy pomocy metod analitycznych jest zbyt złożone, a przeprowadzenie bezpośrednich eksperymentów praktycznych na modelu fizycznym jest niemożliwe lub zbyt kosztowne. Budowa modeli symulacyjnych i eksperymentalne badanie przebiegu procesów produkcyjnych przy użyciu symulacji komputerowej ma istotne znaczenie w przypadku projektowania nowych lub modernizacji istniejących systemów produkcyjnych oraz przy wdrażaniu do produkcji nowych wyrobów. Na podstawie stworzonych alternatywnych modeli przebiegu procesów, można podejmować decyzje dotyczące powierzchni, liczby pracowników czy też inwestycji potrzebnych do uruchomienia produkcji. Budowa modeli symulacyjnych ma swoje ograniczenia związane z pracochłonnością, a co za tym idzie kosztownością modelowania systemów produkcyjnych. Odzworowanie systemów produkcyjnych w postaci dynamicznego modelu wymaga określenia wartości czasów operacji technologicznych, uwzględnienia awaryjności zasobów produkcyjnych i logistycznych oraz zaprojektowania przebiegu procesu produkcji (realizacja planu produkcyjnego). Aby tworzony model jak najlepiej odwzorowywał rzeczywiste zachowanie systemu produkcyjnego, należy również określić parametry dotyczące pracowników, środków transportu, planu realizacji zleceń produkcyjnych, itd. Zatem tworzenie modelu symulacyjnego wymaga dużego doświadczenia i znajomości modelowanych systemów z jednej strony oraz umiejętności posługiwania się narzędziami do komputerowej symulacji procesów z drugiej. (Ehrenberg C., Zimmermann J., 2012, Nandagawe S., Sarmah S., 2009).

Na rysunku 1 zaproponowano procedurę prowadzenia badań symulacyjnych procesów produkcyjnych. W pierwszym etapie należy zdefiniować problem oraz jeśli to możliwe sformułować hipotezy badawcze. W obszarze inżynierii produkcji, zdefiniowanie problemu badawczego najczęściej wynika z obserwacji i/lub analizy danych rzeczywistego systemu produkcyjnego. W kolejnym kroku należy określić założenia i ograniczenia dla budowy modelu symulacyjnego. Na przykład w jakich zakresach będziemy analizowali zmiany czasów wykonywania operacji lub jakie są maksymalne wielkości magazynów przystanowiskowych. Podczas budowy modelu należy zwrócić szczególną uwagę na dane opisujące działanie systemu produkcyjnego (czasy wykonywania operacji, czasy przebrojeń, odległości, wielkości magazynów, programy produkcji wyrobów, wielkości partii produkcyjnych, itd.). Jeżeli planowana jest modernizacja systemu produkcyjnego, to planowane zmiany powinny być uwzględnione przy projektowaniu nowych procesów produkcyjnych i logistycznych (Robinson S., 2005). Analiza przebiegu procesów powinna uwzględniać czynniki losowe dotyczące np.: niezawodności środków produkcji, środków transportu, losowe rozkłady czasów przestojów ub mikroprzestojów, itd. W trzecim kroku należy stworzyć model symulacyjny systemu produkcyjnego w oparciu o wybrany pakiet oprogramowania. W zależności od potrzeb należy określić z jaką dokładnością budowany model będzie odwzorowywał działanie rzeczywistego systemu produkcyjnego. Bardzo często oprogramowanie pozwala na wielowariantowe modelowanie przebiegu procesów produkcyjnych oraz daje możliwości zastosowania różnych wariantów środków transportu (wózki widłowe, przenośniki, suwnice, itd.). Dlatego bardzo ważne jest określenie danych wejściowych i wyjściowych, które będą analizowane podczas przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych. Kombinacja różnych danych wejściowych, na przykład zmiany czasów przebrojeń, pojemności magazynów między-stanowiskowych lub liczby pracowników skutkuje zmianą parametrów wyjściowych np. wydajnością procesu, poziomem zapełnienia buforów, itd. Przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych wiąże się z koniecznością zaprojektowania formy prezentacji wyników (tabele i wykresy przedstawiające zależności pomiędzy danymi wejściowymi, a wyjściowymi). W oparciu o otrzymane wyniki należy przeprowadzić weryfikację postawionych hipotez i podjąć decyzję czy wprowadzać zmiany w modelu i powtórzyć badania dla nowych parametrów. W zależności od stopnia złożoności modelu symulacyjnego oraz dostępnego sprzętu, należy zaplanować liczbę eksperymentów, a w przypadku występowania zmiennych losowych liczbę obserwacji dla każdego eksperymentu.



Rys. 1.1 Procedura prowadzenia badań symulacyjnych

Model symulacyjny budowany jest w określonym celu i jego struktura musi być warunkowana w sposób umożliwiający jego osiągnięcie, dlatego nie wszystkie cechy wyróżnione w modelu muszą odpowiadać dokładnie cechom systemu rzeczywistego. Jedna cecha modelu symulacyjnego może odwzorowywać kilka cech systemu rzeczywistego, podobnie działa to również w drugą stronę, dlatego poziom szczegółowości takiego

odzworowania powinien zostać określony na etapie założeń do budowy modelu symulacyjnego (Negahban A., Smith J., 2014).

Poprawnie zbudowany model symulacyjny stanowi wygodne i elastyczne narzędzie, które może być wykorzystywane zarówno przed, w trakcie jak i po zbudowaniu rzeczywistego systemu. Istotne w procesie budowy modelu jest sporządzanie opisu systemu, jego oceny i sposobu funkcjonowania. Systemy produkcyjne różnią się między sobą strukturą, stopniem mechanizacji i automatyzacji, wielkością produkcji, itd. W trakcie budowy modelu należy uwzględnić następujące czynniki (Waters D., 2001):

- wielkość, formę i typ produkcji,
- stopień automatyzacji,
- operacje wykonywanej przez pracowników produkcyjnych,
- zmienność czasów operacji,
- wielkości partii produkcyjnych i transportowych,
- niezawodność środków produkcji i czas życia narzędzi,
- wpływ zastosowania środków transportu na przepływ produkcji.

W następnych rozdziałach opisane zostanie oprogramowanie Technomatix Plant Simulation oraz przedstawiony zostanie przykład modelu systemu produkcyjnego.

2. MODELOWANIE SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH W OPARCIU O OPROGRAMOWANIE TECHNOMATIX PLANT SIMULATION

Tecnomatix Plant Simulation to pakiet oprogramowania przeznaczony do komputerowej symulacji, ułatwiający tworzenie cyfrowych modeli procesów produkcyjnych i logistycznych, co z kolei umożliwia analizowanie charakterystyk systemów oraz optymalizację ich wydajności. Modele budowane z użyciem tego narzędzia pozwalają na przeprowadzanie eksperymentów i analizę scenariuszy „co się stanie jeśli” bez zakłócania pracy rzeczywistych systemów produkcyjnych lub — w przypadku procesu projektowania — na długo przed implementacją zmian lub wdrażania nowych rozwiązań w systemach produkcyjnych. Pakiet został wyposażony w zaawansowane narzędzia analityczne, takie jak funkcje analizy wąskich gardeł, statystyki i wykresy, umożliwiając ocenę różnych scenariuszy produkcji. Do najważniejszych funkcji, które posiada to oprogramowanie należą (Zdanowicz R., Świder J., 2007):

- modele zorientowane obiektowo ze strukturą hierarchiczną,
- otwarta architektura z wieloma standardowymi interfejsami,
- zarządzanie bibliotekami i obiektami,
- genetyczne algorytmy do optymalizacji,
- symulacja i analiza zużycia energii,
- mapowanie i symulacja strumienia wartości,
- automatyczna analiza wyników symulacji,
- budowanie raportów opartych na HTML.

Rozważmy linię produkcyjną złożoną z trzech stanowisk, na których wykonywane są odpowiednio trzy operacje technologiczne: OP_1 - toczenie, OP_2 - frezowanie i OP_3 - szlifowanie. Dla uproszczenia przyjęto, że w systemie wykonywane są trzy wyroby A, B i C. W tabeli 2.1 przedstawiono czasy wykonywania operacji dla poszczególnych wyrobów.

Tabela 2.1 Czasy operacji dla poszczególnych wyrobów

	OP_1	OP_2	OP_3
A	5:00	8:00	10:00
B	7:00	10:00	8:00
C	10:00	6:00	6:00

Program produkcji wyrobów przedstawiono w tabeli 2.2. Przyjęto, że sekwencja przedstawionych w tabeli partii produkcyjnych będzie wykonywana cyklicznie.

Tabela 2.2 Wielkości partii produkcyjnych dla poszczególnych wyborów

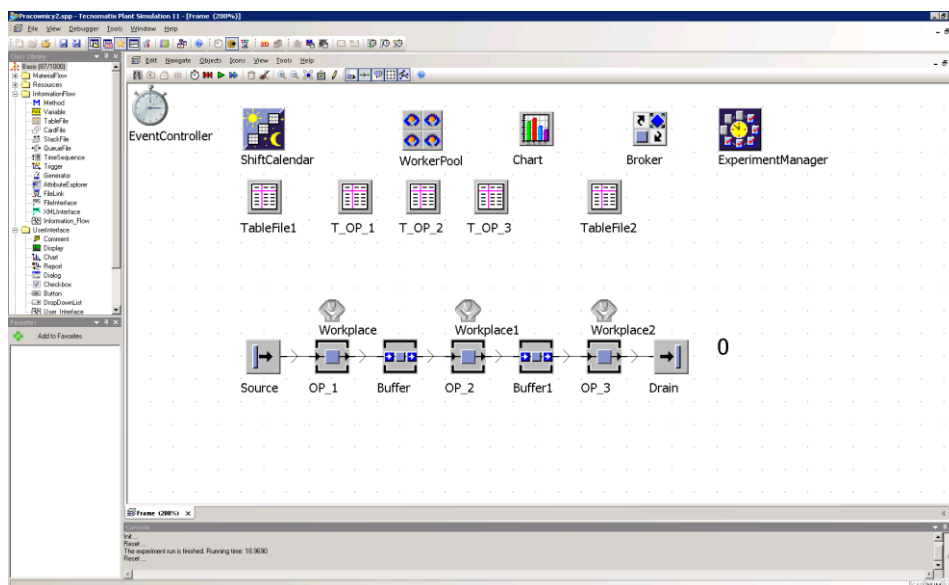
Produkt	Wielkość partii
A	15
B	20
C	25
A	20
C	30
B	40
A	20
C	25

Przyjęto, że zmiana asortymentu produkcji na poszczególnych maszynach wymaga wymiany narzędzi. Macierz przebrojeń została przedstawiona w Tabeli 2.3. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli przebrojeń, czasy przygotowawczo zakończeniowe są kilkakrotnie większe od czasów jednostkowych.

Tabela 2.3 Tabela czasów przebrojeń

	A	B	C
-	0	0	0
A	0	50:00	1:20:00
B	50:00	0	1:20:00
C	1:00:00	50:00	0

Z tabeli wynika, że na przykład zmian produkcji z wyrobu A na B wymaga czasu przebrojkania równego 50 min. Na rysunku 2.1 przedstawiono model opisywanego systemu produkcyjnego.



Rys. 2.1 Model systemu produkcyjnego w Technomatrix Plant Simulation

Obiekt source został skonfigurowany w taki sposób, żeby cyklicznie generować partie obiektów według sekwencji pokazanej w tabeli 2.2. Dla każdego z trzech środków produkcji, odpowiednio OP_1, OP_2 i OP_3 określono dostępność na poziomie 95% (awaryjność 5% i MTTR = 1 min.). Ponadto dla każdego z tych zasobów produkcyjnych przyporządkowano stanowiska robocze dla pracowników (Workplace). Pracownicy do poszczególnych stanowisk są wysyłani z obszaru pracowników (WorkerPool). Przyjęto, że wydajność pracowników wynosi 95% i pracują oni na 2 zmiany 5 dni w tygodniu. Program zmian został zdefiniowany przy pomocy obiektu ShiftCalendar. Pomiędzy środkami produkcji rozmieszczono bufory przystanowiskowe. Dla tak zamodelowanego systemu produkcyjnego założono, że jego wydajność będzie się zmieniać w zależności od pojemności buforów międzystanowiskowych. Przeprowadzono badania dla różnych kombinacji pojemności buforów przyjmując, że do obsługi systemu przydzielone zostaną różne ilości pracowników.

3. PLANOWANIE EKSPERYMENTÓW I BADANIA SYMULACYJNE

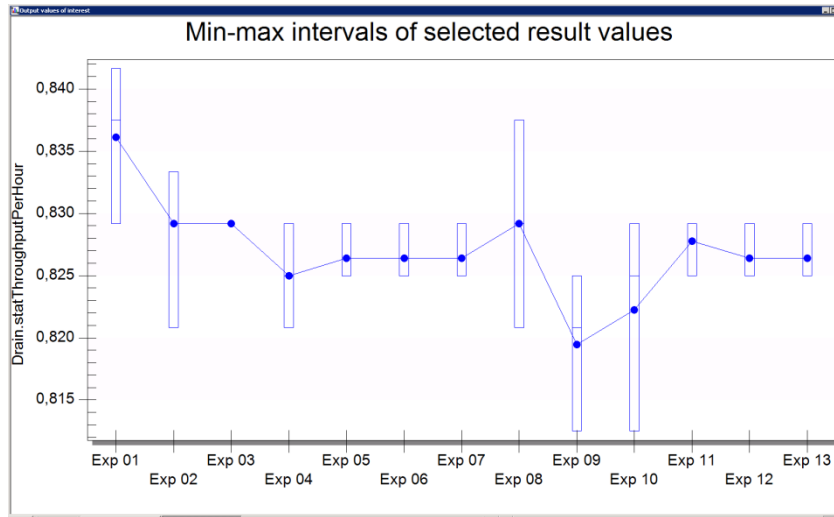
Jako zmienne wejściowe przyjęto różne pojemności buforów międzyoperacyjnych natomiast jako zmienną wyjściową analizowano przepustowość systemu produkcyjnego

na godzinę. Badania zostały przeprowadzone dla czterech wariantów liczby dostępnych pracowników (P): 1, 2 i 3 pracowników. W tabeli 3.1 przedstawiono wielkości buforów międzystanowiskowych dla poszczególnych eksperymentów.

Tabela 3.1 Zmienne wejściowe dla eksperymentów symulacyjnych – pojemności buforów międzystanowiskowych

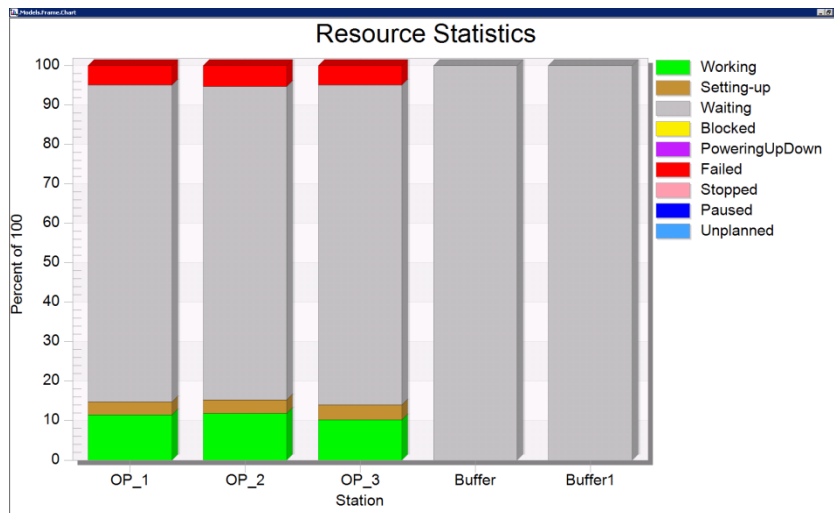
	Pojemność - Buffer	Pojemność - Buffer1
Exp 01	1	1
Exp 02	2	2
Exp 03	3	3
Exp 04	5	5
Exp 05	7	7
Exp 06	10	10
Exp 07	50	50
Exp 08	1	10
Exp 09	3	10
Exp 10	5	10
Exp 11	10	1
Exp 12	10	5
Exp 13	10	5

Dla potrzeb urealnienia modelu przyjęto, że wydajność pracowników wynosi 95%. Na rysunku 3.1 przedstawiono wyniki symulacji dla trzynastu wariantów pojemności buforów międzystanowiskowych przy założeniu, że wszystkie trzy maszyny są obsługiwane przez jednego pracownika. Wykres przedstawia przepustowość systemu na godzinę. Jak wynika z przedstawionych wyników przepustowość systemu jest największa przy jednostkowej wielkości buforów międzystanowiskowych. Należy jednak wziąć pod uwagę, że wartości przepustowości systemu dla poszczególnych wielkości wariantów buforów nie różnią się od siebie znacząco. Jest to zrozumiałe, ponieważ w tym wypadku przepustowość systemu jest determinowana dostępnością (a w zasadzie brakiem dostępności pracownika), który może w danym momencie obsłużyć tylko jedną maszynę. Najmniejszą przepustowość uzyskano dla Exp 09 przy pojemności buforów odpowiednio 3 i 10.



Rys. 3.1 Wyniki symulacji dla liczby pracowników $P=1$

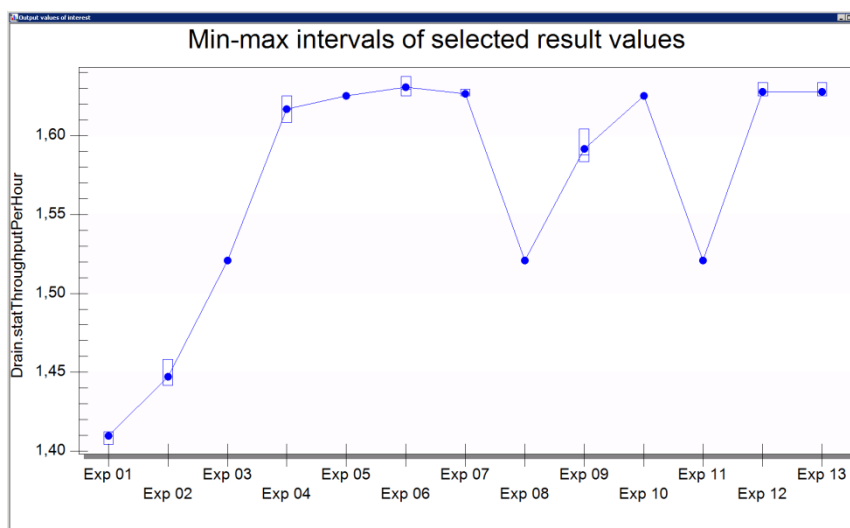
Na rysunku 3.2 przedstawiono wykres pokazujący statystykę wykorzystania poszczególnych zasobów produkcyjnych.



Rys. 3.2 Statystyka wykorzystania zasobów dla liczby pracowników $P=1$

Jak wynika ze statystyki zasobów, są one obciążone tylko w 10%, 3 % czasu przeznaczone jest na przezbrojenia, zaś 5% (zaznaczone na czerwono) pokazuje brak dostępno-

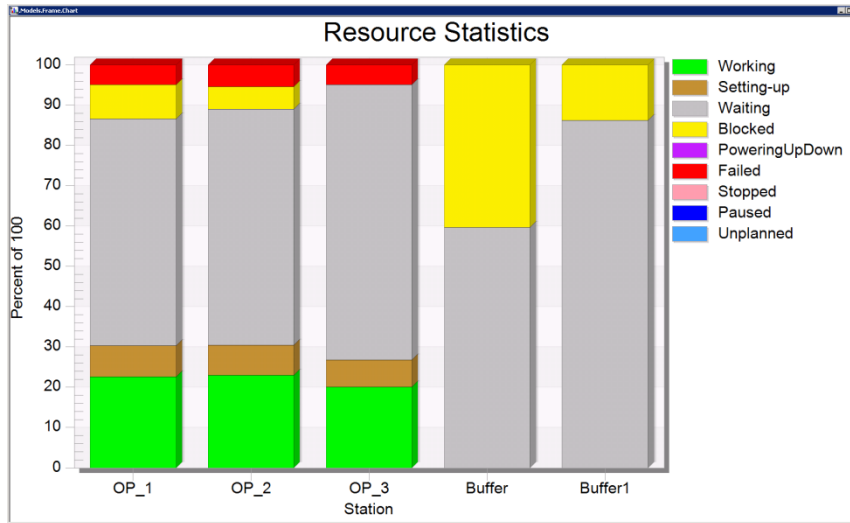
ści zasobu produkcyjnego. Na rysunku 3.3 przedstawiono wyniki eksperymentów symulacyjnych dla $P=2$ pracowników obsługujących system.



Rys. 3.3 Wyniki symulacji dla liczby pracowników $P=2$

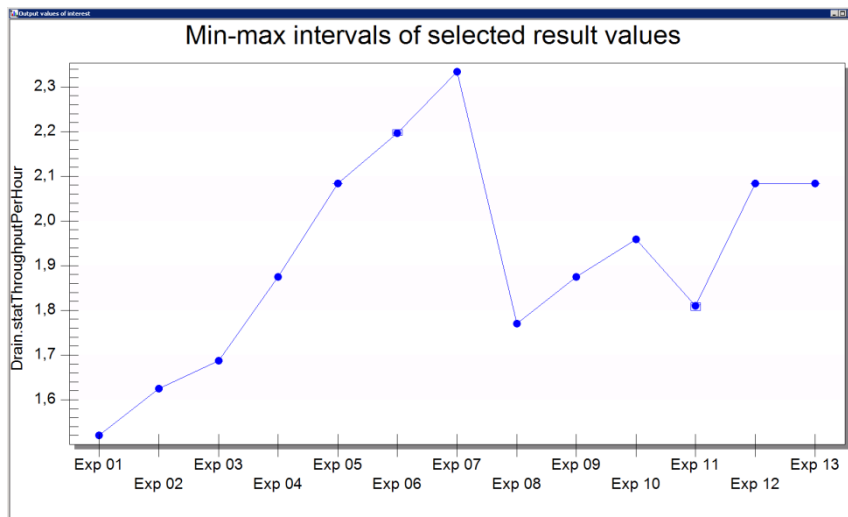
Różnice pomiędzy przepustowością dla poszczególnych wariantów wielkości buforów są znacznie większe. Najlepszą przepustowość system uzyskał dla Exp 06 (pojemności buforów równe 10), przy czym przepustowość dla eksperymentów Exp 12 i Exp 13 są bardzo zbliżone. Jak widać z wykresu pokazanego na rysunku 3.3 przepustowość systemu szybko rośnie do momentu kiedy wielkość buforów osiągnie 5 jednostek. Dalsze powiększanie pojemności buforów nie poprawia przepustowości systemu. Na rysunku 3.4 przedstawiono statystykę wykorzystania zasobów w systemie. Jak wynika z wykresu, efektywność zasobów została zwiększona w stosunku do poprzedniego badania o 100%. Wykres odnosi się do ostatniego eksperymentu (wielkość buforów wynosi odpowiednio 10 i 5 jednostek).

Kolejne badania przeprowadzono dla $P=3$ pracowników, czyli wariantu kiedy do obsługi każdej maszyny można przyporządkować jednego pracownika. Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych przedstawiono na rysunku 3.5. Jak wynika z wykresu zwiększanie pojemności buforów prowadzi do poprawy efektywności całego systemu produkcyjnego. Zróżnicowanie wielkości buforów powoduje obniżenie przepustowości całego systemu. Mała pojemność jednego z buforów powoduje drastyczne obniżenie przepustowości – eksperymenty Exp 01, Exp 02, Exp 03, Exp 08 i Exp 11.



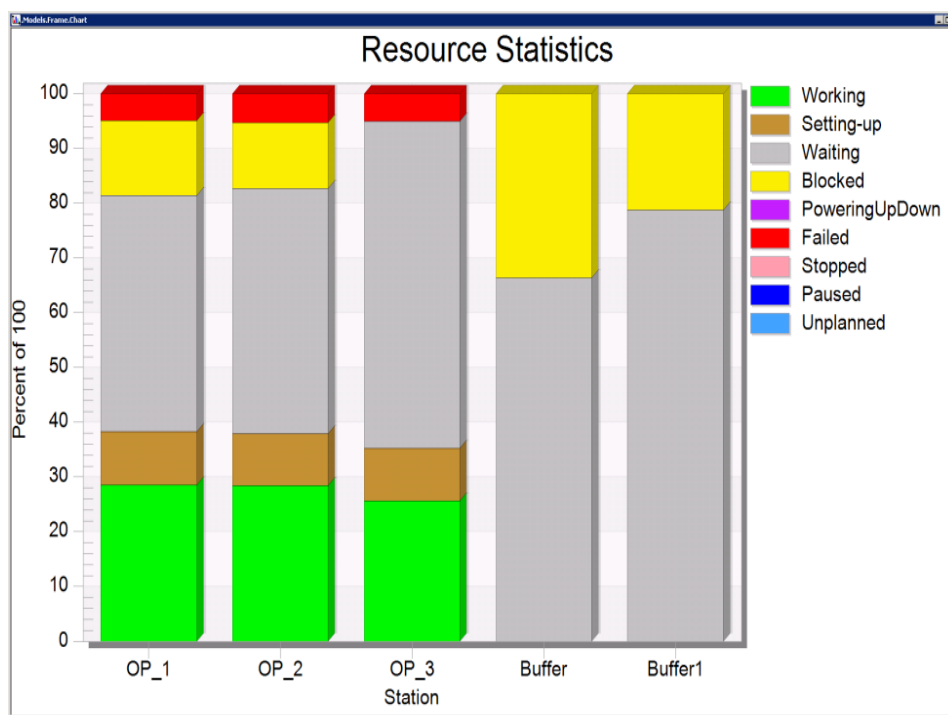
Rys. 3.4 Statystyka wykorzystania zasobów dla liczby pracowników $P=2$

Statystyka wykorzystania zasobów produkcyjnych dla ostatniego eksperymentu (Exp 13) została przedstawiona na rysunku 3.6.



Rys. 3.5 Wyniki symulacji dla liczby pracowników $P=3$

Przeprowadzanie eksperymentów przy udziale większej liczby pracowników niż $P=3$ nie ma większego sensu, ponieważ liczba stanowisk wynosi 3 i dodatkowi pracownicy nie zostaną obciążeni zleceniami produkcyjnymi.



Rys. 3.6 Statystyka wykorzystania zasobów dla liczby pracowników $P=3$

WNIOSKI

Symulacja procesów wytwórczych w oparciu o profesjonalne oprogramowanie, pozwala na szybką analizę zdolności produkcyjnych i dobór zasobów umożliwiającą zaprojektowanie systemu produkcyjnego o określonej wydajności. Zaproponowana procedura prowadzenia badań symulacyjnych bardzo dobrze sprawdza się w przypadku potrzeby szybkiego prototypowania przebiegu procesów produkcyjnych. Główną wadą metody symulacji komputerowej jest duża pracochłonność (a zatem koszty) budowy modelu symulacyjnego. W przypadku prostych systemów produkcyjnych (charakterystycznych dla małych i średnich przedsiębiorstw) zaproponowana procedura pozwala na szybkie zaplanowanie zapotrzebowania na zasoby oraz dobór parametrów procesu produkcyjnego (wielkość buforów trzystanowiskowych). Jak wynika z przeprowadzonych badań, jeżeli wymagana wydajność systemu jest mniejsza niż 1, do obsługi maszyn wystarczy jedna osoba. Jeżeli wymagana wydajność ma być większa niż 2 szt./h to do obsady stanowisk musimy zaangażować trzech pracowników, przy czym wielkość obu buforów przystanowiskowych powinna być większa niż 7 części. Tworzone modele symulacyjne

uwzględniają plan produkcji wyrobów, czasy przebrojeń, czasy wykonywania operacji, efektywność stanowisk oraz efektywność poszczególnych pracowników. Model systemu produkcyjnego może zostać wykonany na podstawie pomiarów czasów wykonywania operacji oraz danych dotyczących programu produkcji i opisu technologii

BADANIA JAKOŚCIOWE SZYB KOLEJOWYCH I SAMOCHODOWYCH WG NORMY DIN 52 307

1. WPROWADZENIE

Jednym z kluczowych komponentów, który w ostatnich pięćdziesięciu latach przyczynił się do szybkiego rozwoju środków transportu, jest szkło i produkowane z niego szyby do pojazdów.

Szkło charakteryzuje się pewnymi cechami, które decydują o sukcesywnym zwiększaniu jego roli w środkach transportu. Przede wszystkim, dzięki swojej przezroczystości, pozwala ono na obserwację tego co się dzieje na zewnątrz pojazdu. Ważnymi czynnikami są własności zwiększające bezpieczeństwo podróży: odporność na działanie czynników atmosferycznych, niepalność, odporność na działanie większości kwasów i zasad, a także stosunkowo duża twardość (w skali Mohsa 5-7 – w zależności od składu chemicznego). Istotny wpływ na zastosowanie szkła w pojazdach mają także mała przewodność elektryczna i cieplna. Projektanci pojazdów, dzięki możliwościom zaawansowanej obróbki szkła, mogą sobie pozwolić na tworzenie coraz bardziej skomplikowanych kształtów szyb, zwiększając przy okazji stawiane im wymagania. Te wszystkie własności przyczyniły się do tego, że w ciągu 35 lat powierzchnia szyby przedniej w samochodach wzrosła nawet o 50%, a całkowita powierzchnia przeszkolona o około 25%.

Rosnące wymagania producentów doprowadziły do powstawania coraz ściślejszych norm, które muszą spełniać dostarczane im szyby. Producenci muszą zapewnić odpowiednie bezpieczeństwo pasażerów, doskonałe właściwości optyczne szkła, a także spełnić wszystkie inne parametry wymagane przez klientów.

Aby sprostać wszystkim wymaganiom, zakłady przetwórstwa szkła muszą w odpowiedni sposób certyfikować swoje wyroby oraz dbać o to, żeby miały one niezbędne homologacje. Większość badań na szybach przeprowadzanych jest w laboratoriach wewnętrznych, często przy obecności przedstawiciela klienta, który chce sprawdzić jakość produkowanych wyrobów. Jednak część badań jest prowadzonych przez laboratoria zewnętrzne, które po przeprowadzeniu szeregu testów na szybach i próbkach szkła dostarczonych przez producenta, mogą nadawać uprawnienia (homologacje) do produkcji na dany rynek.

Najbardziej wymagającym rynkiem pod tym względem jest niemiecki rynek kolejowy, gdzie obowiązują bardzo restrykcyjne przepisy dotyczące nadawania uprawnień do produkcji. W przypadku, gdy partia danych szyb wysłanych do laboratorium nie przej-

dzie pozytywnie testów, o odnowienie homologacji można starać się dopiero po roku. W razie kolejnego niepowodzenia przyznanie homologacji blokowane jest na minimum 5 lat. Ten fakt wymusza na producentach dbałość o jakość produkcji, stanowiąc jednocześnie istotny problem w sytuacji, gdy nie ma 100% pewności, czy wyniki testów będą pozytywne.

Jednym z badań, jakie każdy producent szkła przeznaczonego do taboru kolejowego musi przejść, jest test opadającej strzałki wykonywany zgodnie z wymaganiami DIN 52 307. Jest to badanie wykonywane w laboratorium zewnętrznym, które najczęściej ma decydujący wpływ na otrzymanie homologacji na produkcję szyb o określonej grubości.

Do podstawowych badań i testów w zakresie jakości szyb zalicza się:

- test siatki spękań,
- badanie optyki szyby,
- testy na uderzenia,
- sprawdzanie płaskości szyb,
- test pieczenia,
- badanie odporności na wysoką temperaturę,
- test odporności na wilgotność,
- badanie punktu rosy.

Główną normą określającą wymagania, jakie powinny spełniać szyby kolejowe produkowane na rynek niemiecki jest norma TL 918 511 (Warunki techniczne dostawy - szyby ze szkła bezodpryskowego do taborów kolejowych). Norma ta określa, jakie warunki powinny spełniać dostawy hartowanego szkła bezpiecznego (ESG), laminowanego szkła bezodpryskowego (VSG) oraz izolacyjne szyby szklane (IZO). Zawiera ona odniesienia do innych norm, które precyzują, w jaki sposób należy przeprowadzać na szybach wymagane badania i testy. Normy, do których można znaleźć odniesienie w TL 918 511 były najczęściej tworzone na potrzeby szkła przeznaczonego do budownictwa bądź motoryzacji. Dlatego też niektóre wymagania w stosunku do cytowanych norm zostały zwiększone i opisane w głównej normie regulującej dostawy szyb kolejowych przeznaczonych na rynek niemiecki. Większość norm cytowanych w TL 918 511 i koniecznych do spełnienia do przyznania kwalifikacji producenta przez Deutsche Bahn została zdefiniowana przez Niemiecki Instytut ds. Normalizacji (DIN):

DIN 52 294 – Przepisy dotyczące ładowania środków osuszających do szkła na wielowarstwowe szyby izolacyjne,

DIN 52 306 – Próba „spadającej kulki” dla szyb bezodpryskowych do pojazdów,

DIN 52 307 – Próba „spadającej strzałki” dla szyb bezodpryskowych do pojazdów,

DIN 52 308 – Próba kłębienia dla szyb bezodpryskowych do pojazdów,

DIN 52 344 – Próba zmian klimatycznych dla wielowarstwowych szklanych szyb izolacyjnych,

DIN 52 345 – Przepisy dotyczące temperatury punktu rosy dla wielowarstwowych szklanych szyb izolacyjnych.

Poza tym szyby muszą spełniać wymagania wynikające z innych norm:

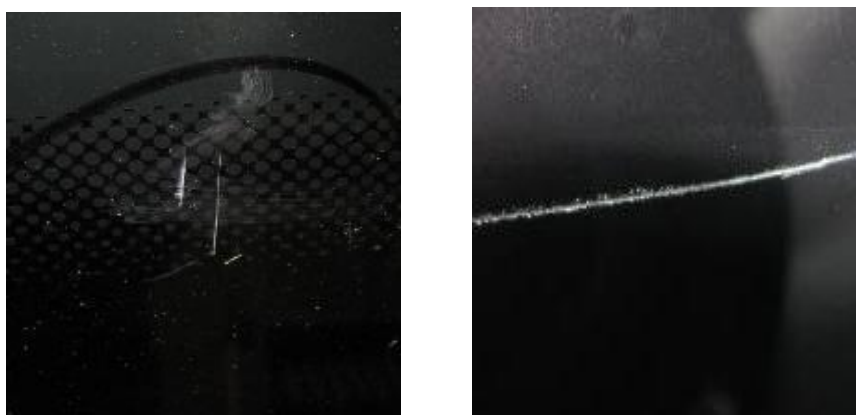
BN 481 002 – Szyby ze szkła bezodpryskowego; tolerancje, grubość,
SAE J 673 – Wymagania dotyczące płaskości,
DBL 5610 – Optyka w świetle odbitym.

2. TYPOWE WADY SZYB POWSTAJĄCE PODCZAS ICH PRODUKCJI

Podczas produkcji szyb może dojść do pojawienia się szeregu wad na gotowym wyrobie. Część z nich wynika z błędu ludzkiego, część z niedoskonałości stosowanych w produkcji maszyn, a także z przyczyn logistycznych.

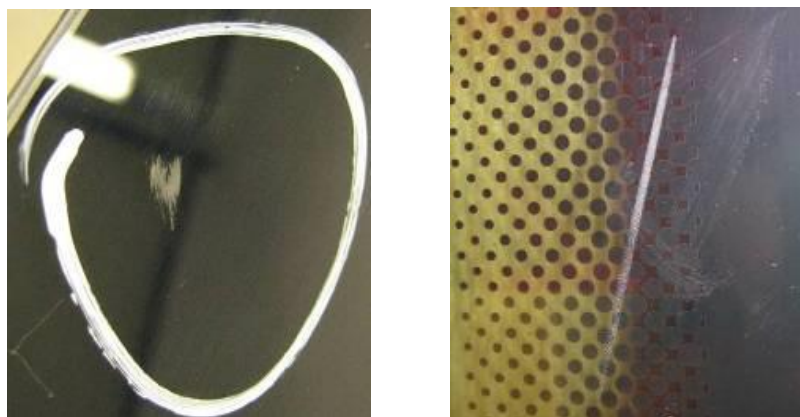
Najczęściej występującymi defektami szyb są wady ich powierzchni. Przeważnie powodowane są one nieuwagą podczas transportu szyb: w trakcie produkcji, a także wyrobu gotowego do klienta.

Rysy głębokie, rys. 1 powstają na skutek uderzenia powierzchni szyby o metalową krawędź. Wada ta jest najczęściej powodowana przez niezachowanie ostrożności przez pracowników podczas pakowania szyb na metalowe palety.



Rys. 1. Wady powierzchni – rysy głębokie [Kmera M., 2007]

Kolejnym typem wad są zatarcia (rys. 2). W przeciwieństwie do rys głębokich, te defekty powstają w wyniku otarcia szyby o krawędź innej szyby. Takie wady także powstają podczas pakowania oraz transportu – przede wszystkim w wyniku niedokładnej manipulacji szkłem, ale też złego oddzielania od siebie szyb na paletcie (np. brak użycia korków dystansowych, zbyt mała ich ilość, w wyniku czego podczas transportu szyby mogą się o siebie ocierać).



Rys. 2. Wady powierzchni – zatarcia [Kmera M., 2013]

Innym typem wad są rysy włosowate (rys. 3). W związku z tym, że są to małe i trudne do zidentyfikowania wady, najczęściej podczas produkcji nie są wykrywane. Przyczyną powstawania tego typu wad jest niewłaściwa konserwacja pieca, w wyniku czego podczas hartowania we wnętrzu pieca znajduje się zbyt dużo brudu i pyłu, który może zostawiać ślady na szybie. W przeciwieństwie do rys głębokich, rysy włosowate nie są wyczuwalne „pod paznokciem”.



Rys. 3. Wady powierzchni – rysy włosowate [Kmera M., 2013]

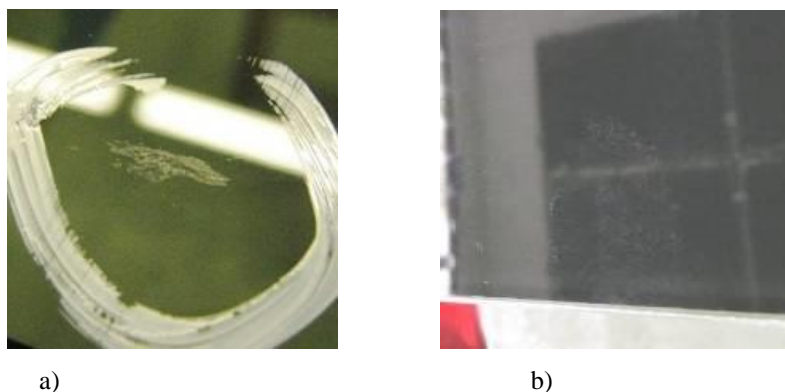
Kolejną wadą powstającą w wyniku zaniedbań w konserwacji pieca są wyciski (rys. 4). Powstają one z powodu zabrudzonych wałków transportowych w piecu. Podczas hartowania, gdy szyba osiąga wysoką temperaturę i przesuwana jest w piecu, każda nierówność na wałku transportowym powoduje powstanie wgłębienia na powierzchni szkła. Po ostudzeniu szyby można zauważyć drobne wklęsłe nierówności – najczęściej zgru-

powane w jednym, dwóch miejscach – tam gdzie szyba miała kontakt z powierzchnią wałka.



Rys. 4. Wady powierzchni – wyciski [Kmera M, 2013]

Wypalenia (rys. 5) są najczęściej powodowane niedokładnym wyczyszczeniem szyby podczas jej mycia przed hartowaniem (wypalony brud na szybie) bądź też nieumiejętnym transportem szyb przed wprowadzeniem ich do pieca (np. poprzez dotykanie szyby przez pracownika bez założonych rękawiczek ochronnych albo w brudnych rękawiczkach), w wyniku czego na szybie zostają wypalone odciski palców albo fragmenty brudu.



a)

b)

Rys. 5. Wypalenia na powierzchni a) brud na szybie, b) odciski palców [Kmera M., 2013]

Do pozostałych wad występujących w szybach zalicza się:

- wady obróbki krawędzi, każda produkowana w zakładzie szyba jest poddawana procesowi obróbki krawędzi. W zależności od zamówienia szyby są szlifowane albo polerowane na różnego typu maszynach – od w pełni zautomatyzowanych do tych obsługiwanych ręcznie. Mimo tego, że jest to proces podstawowy, często w

jego wyniku pojawiają się wady, które mogą przyczynić się do reklamacji klientów;

- wady procesu laminacji, proces laminowania szkła przy użyciu folii PVB składa się z kilku etapów, w których należy przykładać bardzo dużą uwagę do wielu czynników, m. in. miejsca i sposobu składowania folii, odpowiednich warunków podczas przygotowywania szkła (stała temperatura i wilgotność), warunków wstępnej laminacji, a także parametrów w trakcie przebywania szyb w autoklawie. Ze względu na duży koszt wyprodukowanych w taki sposób szyb, kontrola występujących w nich wad jest wzmocniona. Większość wad w trakcie tego procesu może powstać z różnych powodów, nie jest możliwe przypisanie konkretnego typu wady do jednego czynnika;
- wady procesu zespalania, w trakcie zespalania kluczowe jest prawidłowe uszczelnienie łączonych ze sobą szyb. W procesie tym wykorzystywane są dwa rodzaje mas uszczelniających: butyl oraz tiokol, które mają zapewnić odpowiednie odizolowanie przestrzeni pomiędzy szybami od warunków zewnętrznych. Bardzo istotne w zespalaniu szyb jest staranne wykonanie uszczelnienia pierwotnego (przy użyciu butylu) tak, aby zachowana była ciągła wstęga uszczelniacza, a także prawidłowe zabezpieczenie narożników. Nieciągłość butylu jest prosta do zidentyfikowania na wyrobie gotowym, ponieważ braki w uszczelnieniu najczęściej są łatwe do dostrzeżenia w strefie szyby, która jest widoczna także w pojeździe.

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Badaniom poddano szyby przeznaczone dla taboru kolejowego o grubości 8 mm produkowane zgodnie z normą TL 918 511. Testy pozwoliły na wykazanie jakie parametry mają istotny wpływ na wytrzymałość szkła. Testy były wykonywane zgodnie z wymaganiami normy DIN 52 307 oraz technicznymi warunkami dostaw szyb określonymi w normie TL 918 511.

Test „opadającej strzałki” jest badaniem mającym na celu sprawdzenie, jak zachowuje się szyba przy udarowym uderzeniu ciałem o ostrych krawędziach. Próbę przeprowadza się po to, aby dowiedzieć się jaka jest odporność szyby na przekłucie i działanie ostrych przedmiotów.

W badaniach sprawdzono jak na wyniki wpływają następujące wielkości:

- rodzaj szkła float, z jakiego została wykonana próbka,
- strona próbki, w którą następuje uderzenie strzałki,
- temperatura próbki w trakcie badania,
- sposób obróbki.

Wszystkie próbki były hartowane w tym samym piecu, ustawione stroną cynową do góry, z następującymi nastawieniami:

- profil hartowania: 0,
- temperatura: 700°C,
- ciśnienie: 500 kPa,

– czas: 320s.

Powyższe parametry hartowania są standardowe dla szyb produkowanych na rynek kolejowy.

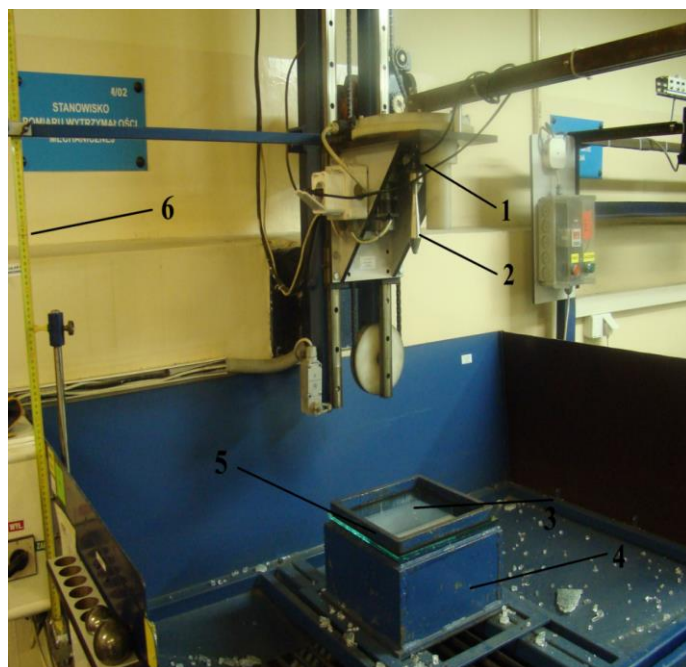
Najsłabszym ogniwem tafli szkła pozostaje z reguły jej krawędź. Obróbka szkła, jego cięcie i łamanie, powoduje powstawanie (najczęściej na krawędziach) wszelkiego rodzaju mikrodefektów. Wszelka obróbka powierzchni oraz krawędzi szyby zawsze wiąże się z powstawaniem na powierzchni szkła rys większych od tych, jakie występują na szkłe nie poddanemu obróbce. Wynika to z tego, że usuwanie materiału, jakie ma miejsce podczas obróbki, związane jest nieodłącznie z wytwarzaniem zarysowań tworzących się w trakcie skrawania materiału. Jeżeli w trakcie szlifowania bądź polerowania występują większe siły, to w takim wypadku w wyniku obróbki powstaną większe zarysowania boczne oraz usunięta zostanie większa warstwa materiału. Część z rys powstałych w toku obróbki nie powoduje obniżenia wytrzymałości szkła, ponieważ przebiegają one równoległe do jego powierzchni. Jednakże podczas obróbki szkła powstają też rysy poprzeczne, przebiegające prostopadle do powierzchni szkła - są to najgłębsze zarysowania powstające w trakcie procesu obróbki, a ich ilość i wielkość decyduje o tym, jaka będzie wytrzymałość, a co za tym idzie szansa na pozytywne przejście testów wytrzymałościowych [Kmera M., 2007].

Hartowanie próbek odbywało się w piecu do hartowania szkła płaskiego firmy Tamglass. Ustawienia pieca zostały dobrane w porozumieniu z Inżynierem Hartowania. Temperatura powietrza podczas procesu wynosiła 700°C przy ciśnieniu wynoszącym 500 kPa. Czas odpuszczania szkła po obróbce termicznej wynosił 320s (chłodzenie powietrzem). Są to ustawienia pieca charakterystyczne dla hartowania szyb przeznaczonych na rynek kolejowy.

3.1. Przygotowanie stanowiska do przeprowadzania badań

Norma DIN 52 307 definiuje, w jaki sposób należy prawidłowo przygotować stanowisko do przeprowadzania badań na próbkach oraz jakie przyrządy powinny zostać użyte w trakcie testów. Miejsce, gdzie odbywają się testy powinno zagwarantować takie same warunki badań dla wszystkich próbek. W tym celu opisane jest, jak powinny wyglądać poszczególne przyrządy, tj. strzałka, urządzenie do opadania oraz urządzenie do trzymania próbki, rys.6.

Elementem, który zapewnia utrzymanie strzałki stalowej (2) w stałej pozycji, a także zwalnianie jej w kontrolowany sposób, jest elektromagnes (1). Strzałka jest opuszczana poprzez naciśnięcie przycisku zwalnającego, który powoduje chwilowe odcięcie prądu, a w związku z tym wyłączenie elektromagnesu. Taki sposób opuszczania zapewnia, że strzałka nie będzie otrzymywała żadnego dodatkowego impulsu przy pionowym opadaniu i będzie przyspieszała jedynie dzięki działaniu siły ciężkości. Próbkę (3) umieszcza się na stalowym stelażu – urządzeniu trzymającym (4, 5). Powinna być ona tak ustawiona, aby spadająca strzałka uderzyła w jej środek geometryczny. Do zmieniania wysokości, z której będzie opuszczana strzałka, używany jest regulator wysokości (6). Zapewnia on dokładność do 1 cm.



Rys. 6. Stanowisko do pomiarów wytrzymałości mechanicznej próbek zgodnie z DIN 32 507: 1 – elektromagnes, 2 – strzałka stalowa, 3 – próbka 300x300 mm, 4 – urządzenie trzymające próbkę, 5 - rama górna, 6 – regulator wysokości

Strzałka jest elementem imitującym uderzenie udarowe ostrego ciała, rys. 7. Strzałka do badań powinna mieć masę $200 \pm 2\text{g}$ i musi być wykonana ze stali niskowęglowej, zgodnie z normą DIN 5401. Część górna strzałki, a więc rura (1) ze skrzydłem (2) mają na celu zapewnienie pionowego spadania strzałki. Ma to zagwarantować, że uderzenie w szybę nastąpi za pomocą umieszczonej na środku wierzchołka diamentowej kulki o średnicy 3,175 mm (6), a nie krawędzią strzałki.



Rys. 7. Strzałka stalowa do badań

3.2. Testy opadania strzałki

Wytrzymałość mechaniczna szkła jest to wartość graniczna naprężeń, jakie mogą być zrównoważone przez działanie sił wewnętrznych. Można założyć, że jest to przeciwstawianie się mechanicznemu zniszczeniu, które może nastąpić w wyniku działania przyłożonej siły o określonej wartości.

Do własności mechanicznych szkła zaliczane są [Drajewicz M, 2008]:

- wytrzymałość na ściskanie,
- wytrzymałość na rozciąganie,
- wytrzymałość na zginanie,
- wytrzymałość na uderzenie (dynamiczne zginanie),
- twardość,
- kruchość.

W przeprowadzanych testach sprawdzano, jak zachowują się próbki szkła w wyniku uderzenia strzałką z dużej wysokości, badano więc wytrzymałość na dynamiczne zginanie. Szkło jest kruchym materiałem, który pod wpływem zwiększającego się obciążenia ulega zniszczeniu po odkształceniu mniejszym od odpowiadającemu tzw. granicy plastyczności. Pod wpływem działania sił, których wartość nie przekracza wielkości wywołujących naprężenia niszczące, dla szkła stosuje się prawo Hooke'a.

Istotnym czynnikiem wpływającym na wytrzymałość szkła jest także temperatura. Jej wzrost przyczynia się do obniżenia wytrzymałości szkła, przy czym proces ten zachodzi głównie w warstwach powierzchniowych materiału. Związane jest to przede wszystkim ze zmianami zachodzącymi w strukturze szkła, występującą krystalizacją, różnicą pomiędzy współczynnikami rozszerzalności cieplnej: wnętrza i warstw powierzchniowych, a także z wpływem niepożądanych wtrąceń pojawiających się na powierzchni i wywołujących lokalne naprężenia [Drajewicz M., 2008].

Na wytrzymałość znaczny wpływ ma również czas i szybkość występującego obciążenia. Szkło może pęknąć nawet w wyniku oddziaływania małych obciążeń, jeżeli działanie siły będzie wystarczająco długie. Materiał ten lepiej toleruje większe obciążenia działające w bardzo krótkim czasie (takim typem obciążenia jest na przykład spadająca na powierzchnię próbki strzałka stalowa).

Szkło jest materiałem, w którym występują zarówno siły ściskające jak i rozrywające. Znacznie mniejsza jest wytrzymałość na rozrywanie i ma ona decydujący wpływ na wytrzymałość mechaniczną szkła. Z tego powodu w przypadku wystąpienia obciążenia, gdy nastąpi zginanie szkła prowadzące do pęknięcia, to stanie się to z powodu działania sił rozrywających, a nie sił ściskających.

Przy rozpatrywaniu wytrzymałości szkła na uderzenie (dynamiczne zginanie) można przyjąć, że jest to wytrzymałość na zginanie, gdyż uderzenie także dąży do wygięcia materiału. Należy jednak brać tu pod uwagę szereg czynników związanych z dynamiką występującego obciążenia, przede wszystkim: gwałtowność siły, krótkotrwałość, a także występujące po uderzeniu wibracje.

Próbki po obróbce krawędzi i hartowaniu zostały umieszczone na 24 godziny w laboratorium, w którym wykonywane były badania (wymagania dotyczące warunków przeprowadzania badań określają, że próbki powinny być umieszczone w miejscu testów przez minimum 4 godziny).

W celu potwierdzenia, że temperatura szyby jest zgodna z wymaganiami określonymi w normie, sprawdzano temperaturę powierzchni szkła. Sprawdzano, czy temperatura mieści się w przedziale $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Ze względu na możliwość wykonania pomiaru bezdotykowego, temperaturę próbek przed badaniem mierzono za pomocą pirometru ze wskaźnikiem laserowym.

Z uwagi na to, że bardzo istotna w tym badaniu jest strona próbki, na którą spada strzałka, przed wykonaniem próby każdorazowo sprawdzano, czy powierzchnia szkła miała kontakt z cyną podczas wytapiania w hucie. Strona cynowa, która miała kontakt z ciekłym metalem jest mocniejsza niż strona ogniowa (powietrzna), dlatego też wykonywanie próby na tej powierzchni szyby daje większą szansę na pozytywny wynik testów.

W celu prawidłowej identyfikacji stron szyby, do powierzchni próbek przykładano lampę emitującą wiązki promieni UV. Sprawdzania dokonywano poprzez obserwację, w jaki sposób światło UV jest odbijane od powierzchni. Strona cynowa charakteryzuje się tym, że niebieska wiązka światła przechodzi na drugą stronę szyby w mleczno – białej formie.

Podczas testów wykonywanych w laboratorium, zgodnie z wymaganiami DIN 52 307, strzałka była opuszczana z wysokości 50 cm. Jest to minimalna zalecana wysokość spadku, przy której wyniki testu uważa się za wiążące. Norma precyzuje także, że w przypadku kiedy badana próbka nie pęknie przy uderzeniu strzałki, kolejne wysokości powinny być zwiększane stopniowo o 50 cm.

Przed rozpoczęciem testów przyjęto, że:

- minimalną wysokością, z której będzie opuszczana strzałka podczas przeprowadzania badań, będzie 52 cm,
- w sytuacji, kiedy nie dojdzie do pęknięcia próbki przy uderzeniu z wysokości 52 cm, kolejną wysokością będzie 55 cm,
- w przypadku, kiedy po raz kolejny nie dojdzie do pęknięcia, wysokości opuszczania strzałki będą zwiększane cyklicznie o 5 cm.

Założenia te przyjęto po to, aby możliwe było efektywne wykorzystanie próbek przeznaczonych do badań. Ustalono, że próby powinny być rozpoczynane z wysokości wyższej, niż ta, z której przeprowadzane są oficjalne testy próbek w laboratorium zewnętrznym. Z tego powodu pierwszym punktem odniesienia była wysokość opadania wynosząca 52 cm. Przyjęto, że zwiększanie wysokości o 5 cm da możliwość dokładniejszego określenia, jaka jest rzeczywista wytrzymałość próbki. Gdyby zwiększano wysokość zgodnie z wymaganiami normy (o 50 cm), byłyby niewielkie szanse na przejście testu przy wysokości opadania strzałki wynoszącej ~100 cm.

3.3. Badania próbek ze szkła hartowanego

Pierwsza część badań została przeprowadzona na próbkach wykonanych ze szkła Planilux. Przed testami próbki były sezonowane w laboratorium przez 24 godziny i osiągnęły temperaturę wynoszącą około 24°C, a więc zgodną z tą, przy której przeprowadzane są oficjalne badania do homologacji ($23 \pm 2^\circ\text{C}$).

Podczas badań sprawdzono próbki obrabiane na 3 różne sposoby:

- dla zatępienia maksymalną osiągniętą wysokością było 52 cm (z 3 próbek),
- dla obróbki na maszynie TMB maksymalną osiągniętą wysokością było 52 cm (z 6 próbek),
- dla polerowania maksymalną osiągniętą wysokością było 55 cm (z 4 próbek).

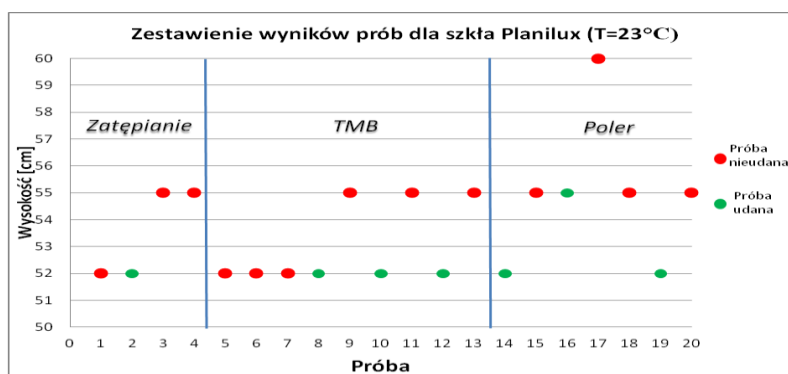
Rezultaty prób zostały przedstawione w tabeli 1. W przypadku, kiedy w wyniku uderzenia strzałki z określonej wysokości nie nastąpiło pęknięcie próbki, w polu wynik próby zapisywano określenie „TAK” (próbka pozytywnie przeszła test). Z kolei w sytuacji, gdy nastąpiło pęknięcie próbki, w polu wynik próby wpisywano wartość „NIE” (próbka nie przeszła testu). Taki sposób opisywania wyników prób został zastosowany także w kolejnych tabelach.

Tabela 1. Wyniki prób dla szkła Planilux (temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$)

Typ szkła: PLANILUX Temperatura próbek: $23 \pm 2^\circ\text{C}$			
Typ obróbki	Wysokość (cm)	Strona szyby	Wynik próby
Zatępienie	52	cynowa	NIE
	52	cynowa	TAK
	55	cynowa	NIE
	55	cynowa	NIE
TMB	52	cynowa	NIE
	52	ogniowa	NIE
	52	cynowa	NIE
	52	cynowa	TAK
	55	cynowa	NIE
	52	cynowa	TAK
	55	cynowa	NIE
	52	cynowa	TAK
55	cynowa	NIE	

Typ szkła: PLANILUX Temperatura próbek: $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$			
Poler	52	cynowa	TAK
	55	cynowa	NIE
	55	cynowa	TAK
	60	cynowa	NIE
	55	cynowa	NIE
	52	cynowa	TAK
	55	cynowa	NIE

Wyniki prób dla szkła Planilux przedstawiono na rys. 8. Jak można zauważyć na wykresie, większość prób przeprowadzonych przy wysokości 52 cm dało wynik pozytywny (sześć próbek na dziesięć badanych) – nie nastąpiło pęknięcie próbki. Jednakże zwiększenie wysokości, z której było opuszczana strzałka o 3 cm przyczyniło się do tego, że tylko jedna próbka na dziewięć nie uległa stłuczeniu.



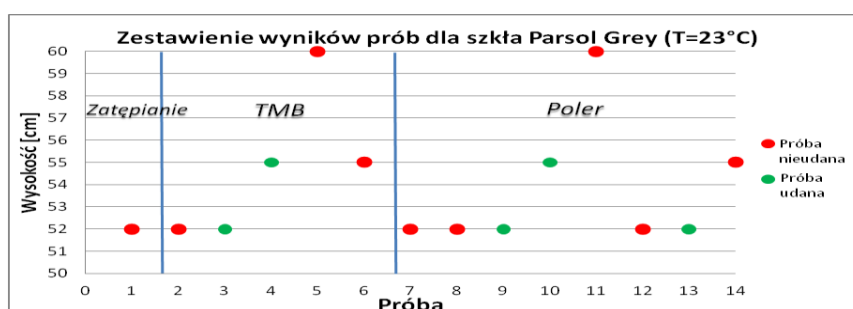
Rys. 8. Zestawienie wyników prób dla szkła Planilux (temperatura próbek $T = 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$)

Kolejny etap badań polegał na przeprowadzeniu testów na innym typie szkła – szarym Parsol Grey. Próbki były przechowywane w takich samych warunkach, jak te z bezbarwnego szkła Planilux.

Dla tego typu szkła również sprawdzono 3 sposoby obróbki:

- dla zatepiania jedyna próbka nie przeszła testu dla wysokości 52 cm,
- dla obróbki na TMB maksymalną osiągniętą wysokością spadania było 55 cm (z 5 próbek),
- dla polerowania maksymalną osiągniętą wysokością spadania było 55 cm (z 4 próbek).

Na rys.9 przedstawiono w formie graficznej wyniki prób dla szkła Parsol Grey. Na wykresie jest widoczne, że dla różnych typów obróbki tylko trzy próbki na siedem badanych nie pękły przy wysokości opuszczania strzałki 52 cm. Na wysokości 55 cm przeprowadzono 4 próby (tak dla obróbki na TMB, jak i dla polerowania) wynik pozytywny osiągnęła jedna próbka na dwie badane).



Rys. 9. Zestawienie wyników prób dla szkła Parsol Grey (temperatura $T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$)

3.3. Badania próbek ze szkła hartowane – temperatura $17 \pm 2^\circ\text{C}$

Następny etap badań przeprowadzono na próbkach mających temperaturę $17 \pm 2^\circ\text{C}$. Przed ich sprawdzeniem przez 24 godziny były one umieszczone na hali produkcyjnej, gdzie ich temperatura ustabilizowała się na poziomie około 18°C . Celem tego etapu testów było sprawdzenie, jaki wpływ ma temperatura na zdolność szkła do pozytywnego zdania testu opadającej strzałki. Badania przeprowadzono na próbkach, które miały krawędzie zatepianie oraz były obrabiane na TMB, nie wykonywano testów na szkłe polerowanym.

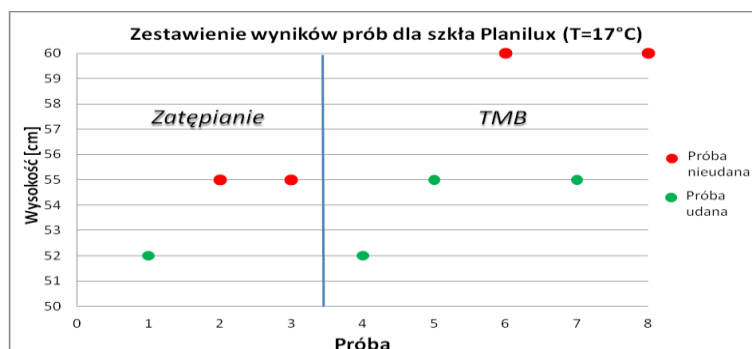
Z uwagi na ograniczoną ilość próbek ze szkła typu Planilux, sprawdzono jedynie cztery sztuki, które osiągnęły następujące wyniki:

- dla zatepiania jedyna sprawdzana próbka nie zdała testu z wysokości 55 cm,
- dla próbki obrabianej na maszynie TMB maksymalną osiągniętą wysokością spadania strzałki było 55 cm.

Graficznie wyniki badań przedstawiono na rys. 10. Można zauważyć, że zarówno przy zatepianiu, jak i przy obróbce na TMB, na wysokości 52 cm nie nastąpiło stłuczenie próbek. Zwiększenie wysokości o 3 cm spowodowało, że dla zatepiania obie próby dały wynik negatywny. Z kolei dla obróbki na TMB obie badane próbki przeszły test pozytywnie. Opuszczanie strzałki z wysokości 60 cm spowodowało pęknięcia obu badanych próbek.

W podobny sposób sprawdzono próbki wykonane ze szkła Parsol Grey. W tym przypadku dysponowano większą ilością próbek:

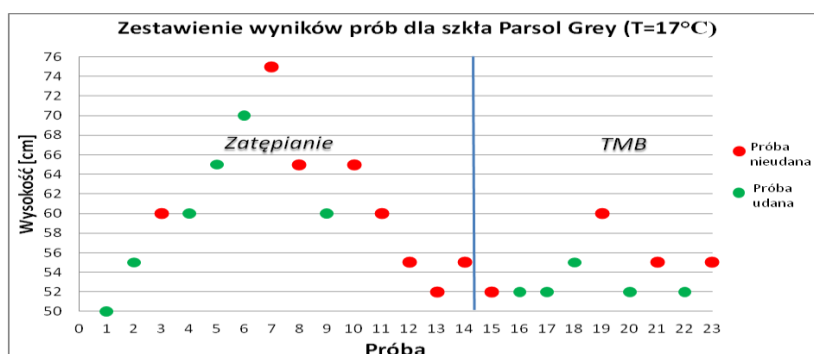
- dla zatepiania maksymalną osiągniętą wysokością spadania było 70 cm (z 8 próbek),
- dla obróbki na TMB maksymalną osiągniętą wysokością spadania było 55 cm (z 5 próbek).



Rys. 10. Zestawienie wyników prób dla szkła Planilux (temperatura $T = 17 \pm 2^\circ\text{C}$)

Wyniki prób dla szkła Parsol Grey przedstawiono na rys. 11. Jak można zauważyć na wykresie, przy zatepianiu, jedna z próbek została stłuczona dopiero przy wysokości spadania strzałki wynoszącej 75 cm. Kolejne próby nie potwierdziły jednak, że jest to stały poziom – próbki pękały przy pierwszych uderzeniach nawet z wysokości 52 cm.

Z kolei przy obróbce na TMB, na wysokości 52 cm na pięć badanych próbek nastąpiło stłuczenie tylko jednej próbki. Po zwiększeniu wysokości o 3 cm i opuszczeniu strzałki jedna próbka na trzy, które były badane, nie została stłuczona.



Rys. 11. Zestawienie wyników prób dla szkła Parsol Grey (temperatura $T = 17 \pm 2^\circ\text{C}$)

DYSKUSJA I WNIOSKI

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu kilku czynników istotnych podczas produkcji szyb na ich zdolność do pozytywnego zaliczenia testu opadającej strzałki, przeprowadzanego zgodnie z DIN 52 307. Testom poddano próbki wykonane ze szkła o grubości 8 mm przeznaczonego do pociągów produkowanych na niemiecki rynek kolejowy. Badania miały na celu sprawdzenie, jakie czynniki podczas obróbki oraz wa-

runki przeprowadzania prób testowych mogą zagwarantować pozytywny wynik testów. W trakcie badań porównano próbki z dwóch rodzajów szkła, poddano je różnym typom obróbki krawędzi, a także sprawdzono wpływ temperatury na zdolność do pozytywnego przejścia testów.

Podczas badań wykorzystano dwa rodzaje szkła: bezbarwne Planilux oraz barwione w masie Parsol Grey. Szkło szare swój kolor zawdzięcza domieszkom różnych związków chemicznych. Jego producent nie ujawnia, w jakich proporcjach są używane dodatki w trakcie produkcji, jednak zapewnia on, że kolor ma wpływ jedynie na własności optyczne, a nie mechaniczne wyrobu. Próbki zostały wykonane z obu rodzajów szkła, aby potwierdzić wiarygodność oświadczeń producenta oraz sprawdzić, czy barwa szkła ma wpływ na zdolność do pozytywnego przejścia testu opadającej strzałki.

Najważniejszym założeniem przed rozpoczęciem badań było sprawdzenie, w jaki sposób typ obróbki krawędzi wpływa na wytrzymałość szyby. Porównano ze sobą dwa sposoby ręcznej obróbki (zatępienie krawędzi, szlifowanie na TMB) oraz obróbki maszynowej (polerowanie). W związku z powszechną wiedzą, że im większa ingerencja w strukturę szyby, tym jej wytrzymałość jest mniejsza, przed przeprowadzeniem badań przypuszczano, że zatępienie będzie gwarantowało najlepsze rezultaty.

Badania były przeprowadzane na próbkach mających różną temperaturę. Część z prób wykonano na próbkach sezonowanych w laboratorium przez 24 godziny. Miały one temperaturę zgodną z tą, która jest stosowana podczas oficjalnych testów wykonywanych na próbkach (około 24 °C). Inną partię próbek przed wykonaniem badań przechowywano na hali produkcyjnej przez 24 godziny. Przez to temperatura ich powierzchni spadła i osiągnęła wartość wynoszącą około 17°C. Podczas badań dokonano także sprawdzenia wytrzymałości mechanicznej szkła niehartowanego.

W trakcie testów skontrolowano także, która strona szyby jest mocniejsza i wytrzyma próby wykonywane z większej wysokości. Sprawdzone czy bardziej wytrzymała jest strona ogniowa, której powierzchnia miała bezpośredni kontakt z wysoką temperaturą w piecu szklarskim, czy strona cynowa, która po wylaniu płynnego szkła na cynę miała bezpośredni kontakt z tym metalem i zawiera jego niewielką ilość na powierzchni.

Na podstawie otrzymanych w trakcie badań rezultatów można wyciągnąć następujące wnioski:

- temperatura próbek podczas wykonywania badania ma wpływ na ich wytrzymałość na uderzenie spadającej strzałki. Próbki przechowywane na hali produkcyjnej w temperaturze niższej niż temperatura laboratoryjna okazały się bardziej wytrzymałe – zwłaszcza te ze szkła Parsol Grey (rys. 5.22), gdzie jedna z próbek pękła dopiero przy opuszczeniu strzałki z wysokości 70 cm,
- w związku z tym, że temperatura próbek ma istotny wpływ na wyniki, przy następnej serii badań należy sprawdzić, jak będą zachowywać się próbki przechowywane w temperaturze wynoszącej 17°C przez dłuższy okres czasu (np. przez cały tydzień), a następnie przenoszone do laboratorium na 24 godziny przed wykonaniem testów. Dzięki temu będzie istniała możliwość skontrolowania, czy próbki po ustabilizowaniu się będą osiągały lepsze wyniki,

- w trakcie trwania testów nie zaobserwowano znaczącej różnicy pomiędzy oboma typami szkła – pęknięcia próbek następowały przy zbliżonych do siebie wysokościach opadania strzałki. Nie zauważono zależności wykazującej lepsze własności mechaniczne określonego typu szkła. Prawdopodobnie producent szkła dobiera domieszki wpływające na zmianę barwy w taki sposób, aby nie miały one znaczącego przełożenia na pogorszenie/polepszenie wytrzymałości,
- w kolejnych badaniach należy zwrócić uwagę na sposób rozkroju szkła z tafli dostarczanych do firmy – próbki przeznaczone do badań nie powinny być wycinane z miejsc zbliżonych do krawędzi blatu, ponieważ w tych rejonach występują największe naprężenia wewnętrzne w szkłe (są to miejsca, gdzie tafle była przecinana w hucie szkła po procesie float). Z tego względu przy kolejnym etapie badań nie powinny być badane próbki wycięte z miejsc, gdzie jedna z ich krawędzi będzie krawędzią całej tafli
- podczas rozkroju tafli szkła należy zwrócić szczególną uwagę na sposób jej ułożenia w stosunku do krawędzi tnącej ostrza. Cięcie powinno następować od słabszej strony szkła (ogniowej). Dzięki temu po stronie cynowej próbek będą występowały mniejsze naprężenia (największe naprężenia powstają przy rozpoczęciu procesu cięcia – kiedy ostrze styka się z powierzchnią szkła),
- po wycięciu próbek należy każdorazowo sprawdzać, jakie naprężenia w nich występują (można to wykonać za pomocą epibiaskopu). Do dalszej obróbki należy wybierać tylko te próbki, w których naprężenia nie przekraczają wartości krytycznych,
- należy hartować próbki w różnych parametrach nastawiania pieca – aby dobrać idealne parametry pod produkcję próbek należy sprawdzić, jak w trakcie badań zachowują się próbki przy zmianie: temperatury hartowania, ciśnienia w trakcie procesu oraz czasu chłodzenia,
- strona ogniowa jest słabszą stroną szyby – bezcelowe jest przeprowadzanie badań na tej stronie, a w procedurze testowej należy zaznaczyć informację, że strzałka każdorazowo powinna uderzać w stronę cynową próbki,
- obróbka krawędzi – początkowe założenia dotyczące obróbki krawędzi nie zostały potwierdzone w trakcie badań. Wszystkie typy obróbki dały podobne wyniki, w niektórych przypadkach najlepsze rezultaty dawało polerowanie krawędzi, gdzie przed rozpoczęciem badań zakładano, że będzie to typ obróbki dający najmniejsze szanse na przejście testów,
- należy zwiększyć ilość badanych próbek – tak, aby dla każdej badanej własności możliwe było wykonanie minimum 20 prób.

Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań są doskonałą podstawą do kolejnych etapów dla tego typu testów. Dzięki badaniom poszerzono wiedzę, na jakie aspekty należy zwrócić uwagę w przypadku badań szkła o grubości 8 mm. Opisane wnioski mogą być też bazą dla prób przeprowadzanych dla innych grubości szyb, na przykład dla badań na próbkach szkła o grubości 10 mm, które również nie otrzymało oficjalnej homologacji do produkcji na rynek niemiecki.

MODEL PRZEDSIĘBIORSTWA WEB 2.0

1. WPROWADZENIE

Pracownicy przedsiębiorstw, którzy stosują technologie Web 2.0 jako narzędzie wspomagające ich pracę, przyczyniają się do budowania przedsiębiorstwa Web 2.0. Pojęcie Web 2.0 utożsamiane jest z platformą internetową koncentrującą określoną grupę użytkowników. Budowanie otwartych systemów oraz wspieranie otwartych standardów jest podejściem aplikacji Web 2.0. Widget'y, mashup'y czy idea embed są szczególnymi narzędziami pomagającym tworzenie przedsiębiorstwa Web 2.0. Pojęcie Web 2.0 można traktować również jako regułę rozróżnienia software od hardware (eng. „software above the level of a single device), tj. możliwość używania aplikacji na możliwie największej liczbie narzędzi czy systemów operacyjnych.

Przedsiębiorstwo Web 2.0 obejmuje serwisy współtworzone przez użytkowników w przypadku organizacji stosujących technologię Web 2.0. Firma Web 2.0 to więcej niż blogi, wiki, czy strony internetowe, gdzie każdy pracownik może budować i wprowadzać zmiany w wewnętrznym organizacyjnym intranecie (Urbanowicz K., 2007). Obecne organizacje muszą korzystać w pełni z innowacji bazujących o Web 2.0, w zasięgu architektury usług, aplikacji oraz samych usług społecznościowych, aby zachować przewagę konkurencyjną.

Rozważania w artykule skoncentrowano na możliwości zastosowania technologii Web 2.0 w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie usługowym branży IT. Przedstawione modele Web 2.0 mają na celu zaprezentowanie możliwości zastosowania narzędzi Web 2.0, które mogą przyczynić się do polepszania efektywności przepływu informacji, ustrukturyzowania kanałów przekazu komunikacji oraz poprawy relacji między pracownikami, współpracownikami, a klientami, co z kolei może przyczynić się do budowania trwałej przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa i jego funkcjonowania na rynku.

Są to, co prawda, hipotetyczne założenia, które dla pełnej i jednoznacznej wiarygodności powinny być zweryfikowane w praktyce, niemniej jednak na tym poziomie, stanowią, wizję racjonalnego zastosowania nowoczesnych technologii internetowych, przyczyniających się do usprawnienia jakości zarządzania.

W artykule, w rozdziale drugim rzetelnie scharakteryzowano dostępne narzędzia usprawniające zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwach, tj., narzędzia Web 2.0. W rozdziale trzecim sformułowano mapę procesów biznesowych dla działu zarządzania projektami w przedsiębiorstwie, a następnie zaprojektowano modele przedsiębiorstwa 2.0 zarządzane poprzez stronę internetową oraz przez grupę Facebook. W podsumowaniu przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań.

2. NARZĘDZIA WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE WIEDZĄ: TECHNOLOGIE WEB 2.0

Web 2.0 to nie tylko serwisy społecznościowe (social networking), jak Youtube.com, Flickr.com, SlideShare.net; narzędzia społecznościowe (social software), jak wiki, blogi, RSS; czy wykorzystane technologie, jak – mash-up (integracja API), AJAX, metadata. Do celów biznesowych adaptowane są narzędzia bazujące na Web 2.0, co daje możliwość znacznego zwiększenia produktywności pracowników, obszarów takich jak, marketing, sprzedaż, komunikacja, prace badawczo-rozwojowe i kadry. Pracownicy mogą

razem tworzyć aplikacje biznesowe za pomocą grup narzędzi do społecznego analizowania informacji, stosując doraźnie budowane treści, zdalny dostęp do danych organizacji i zewnętrzne usługi internetowe (Ganowska I., 2007). Powinni wykorzystywać zatem SOA (Service Oriented Architecture), architekturę zorientowaną na usługi pozwalającą na bardziej dokładną korelację obsługi informatycznej i działalności biznesowej, która zmierza do większej możliwości dostosowania się i skuteczności działania (m.in.: mash-up, News Feeds, RSS (Really Simple Syndication), Atom, Web services, RIA (Rich Internet Application), serwisy społecznościowe (social web), blogi, tagi, wiki, podcast, etc.).

W dalszej części artykułu uwagę skoncentrowano na serwisach społecznościowych stosowanych w organizacjach w celu zbudowania przedsiębiorstwa Web 2.0. Dokonano charakterystyki takich serwisów społecznościowych jak: facebook, grupy dyskusyjne, wiki, blogi.

Facebook jest aplikacją społecznościową, która ułatwia skuteczną komunikację z przyjaciółmi, rodziną i współpracownikami (został założony w lutym 2004 roku). W przedsiębiorstwie stosowanie ww. serwisu społecznościowego umożliwia łatwe nawiązywanie więzi i relacji z użytkownikami portalu oraz pozwala na nieinwazyjną reklamę. Obecność marek na tym portalu jest w pełni akceptowana przez użytkowników. Kolejnym narzędziem umożliwiającym wymianę wiedzy w przedsiębiorstwie są grupy dyskusyjne. Narzędzie to pozwala na automatyczną wymianę e-maili pomiędzy grupami występującymi w Fidonecie. Grupy dyskusyjne można podzielić ze względu na ich dostępność na zamknięte (tylko dla wybranej grupy osób są dostępne, np. dla pracowników jednej firmy), półotwarte – pod pewnymi warunkami dostępne dla wszystkich (np. potwierdzenie swoich kompetencji), moderowane – wysyłane komunikaty są cenzurowane przez specjalną osobę, ale są dostępne dla wszystkich, otwarte dla zarejestrowanych – nieocenzurowane, dostępne dla wszystkich, którzy się do nich zapisali, całkowicie otwarte – dostępne dla osób, którzy nie są zapisani.

Użytkownicy grup dyskusyjnych są dobrowolnymi kreatorami poruszanych tematów. Niezależnie od swojej treści wiadomość zostanie umieszczona w wybranej przez nadawcę grupie lub grupach (tzw. Cross Posting), jeśli spełnia wymogi techniczne. W porównaniu do innych gatunków internetowych (np. blogów) grupy dyskusyjne mają nieskomplikowany interfejs.

W celu udoskonalenia dzielenia się wiedzą pomiędzy programistami została stworzona przez Warda Cunningham'a s technologia opierająca się na mechanizmie Wiki (McAfee A., 2011). Użytkownicy Wiki mają możliwość zmieniania dowolnej jej części, dodawania i kasowania. Zwykle mechanizm Wiki współdziela z bazą danych, który udostępnia informacje o wszystkich zrealizowanych zmianach, umożliwiając przywrócenie dowolnej poprzedniej wersji strony, a także pozwala użytkownikowi je porównywać. Każda zmiana dokonana przez użytkownika jest stale kumulowana, a wszystkie zrealizowane na stronie działania są widoczne i odwracalne (McAfee A., 2011).

Blog (ang. web log – dziennik sieciowy), kolejne narzędzie umożliwiające wymianę wiedzy przedsiębiorstwie, obejmuje odrębne, uporządkowane w kolejności wpisy w rzestrzeni wirtualnej. Blogi dają możliwość komentowania notatek przez czytelników danego dziennika sieciowego oraz zapewniają archiwizację oraz kategoryzację i tago-

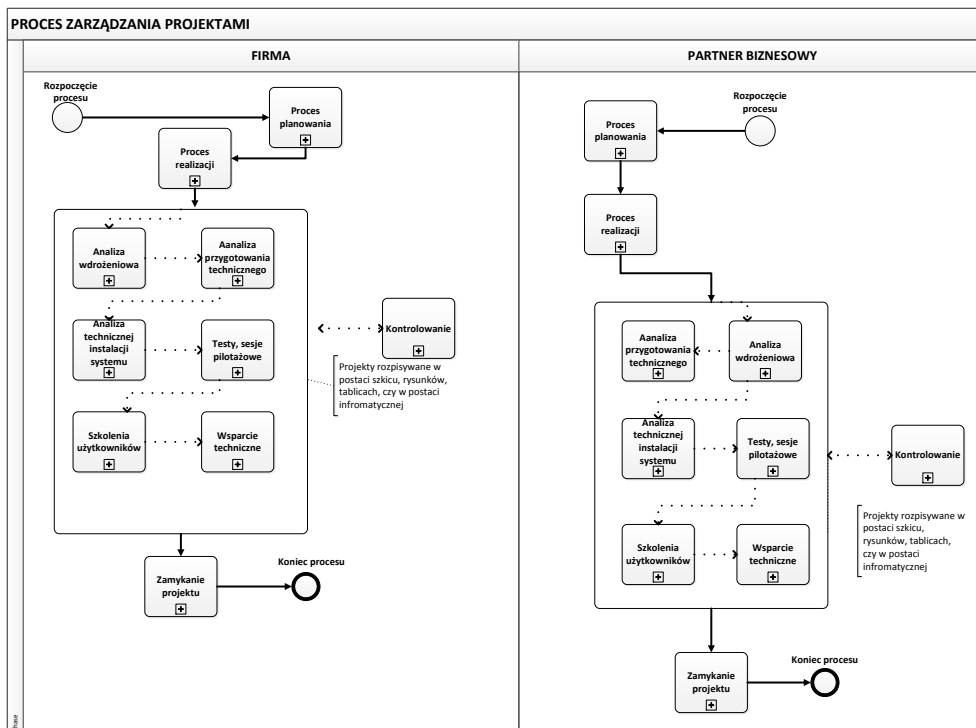
wanie wpisów. Większość wpisów przyjmuje, że czytelnik coś wie na temat historii danego bloga i jest częścią szerszego przekazu, skoro blogowanie jest procesem kumulatywnym (Rettberg J., 2012). Osoba tworząca swój blog ma na celu porozumiewanie się za pomocą wpisów ze swoimi bliskimi znajomymi (Rettberg J., 2012). Wyróżniono następujące rodzaje blogów ((Rettberg J., 2012), (<http://pl.wikipedia.org/wiki/blog>): blog tekstowy (tekst jest najczęściej używanym środkiem przekazu), mikroblog (z reguły poszczególne wpisy ograniczają się do jednego lub dwóch zdań), ink log (odnośniki do innych treści są podstawową zawartością, zawierają komentarze), fotoblog (fotografie stanowią podstawową treść, wideoblog (filmy stanowią jego zasadniczą treść), audiolog (audio, podcasty, są jego treścią).

W celu sformułowania modelu przedsiębiorstwa Web 2.0 zaprojektowano procesy biznesowe w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym, co zostało przedstawione w dalszej części artykułu.

3. MODEL PRZEDSIĘBIORSTWA WEB 2.0

3.1 Procesy biznesowe w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym

Dokonano charakterystyki procesów biznesowych zachodzących w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym, które realizuje projekty wspólnie z partnerem biznesowym (rys. 1).

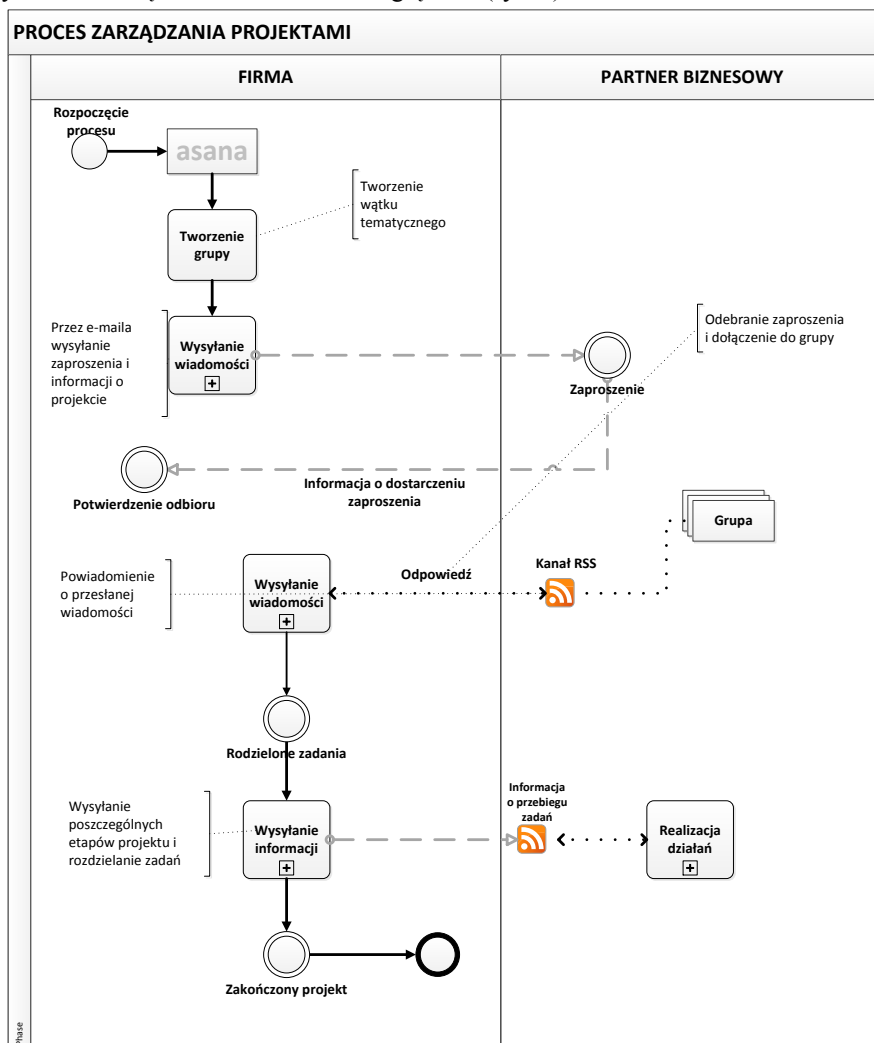


Rys. 1 Model procesów biznesowych w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym

Pierwszym etapem tego procesu jest wstępne spotkanie informacyjne zespołu pracowniczego w firmie i przygotowanie karty projektu. Następnie planowane jest przedsięwzięcie, czyli następuje definiowanie zadań, ustalenie ich kolejności, budowanie harmonogramu, planowanie zasobów, kosztów. Kolejnym krokiem jest ustalenie przebiegu realizacji projektu, w którego w skład wchodzi takie etapy jak: analiza wdrożeniowa, która pozwala na poznanie oczekiwań klienta związanych z wdrażaniem np. oprogramowania i przełożenie go na działanie systemu, analiza przygotowania technicznego – wszelkie działania zmierzające do sporządzenia zaplecza infrastruktury technicznej, analiza technicznej instalacji systemu, testy, sesje pilotażowe – polegające na wstępnym badaniu próbnym, które jest przeprowadzane przed zasadniczym testem, która ma na celu poprawienia efektywności tego badania, szkolenia użytkowników – przygotowanie od strony technicznej i końcowy etap procesu to wsparcie techniczne – pomoc w eksploatacji oprogramowania, sprzętu komputerowego, jak też innych urządzeń, udzielanie użytkownikowi. W trakcie trwania całego procesu jest on nieustannie poddawany kontroli. Identyczny przebieg zadań występuje u partnera biznesowego analizowanej firmy.

W opisanym modelu rzeczywistości gospodarczej wyraźnie zauważono brak zastosowania wspólnego narzędzia umożliwiającego dzielenie się wiedzą współpracujących ze sobą firm w ramach realizacji projektu. Każde przedsiębiorstwo indywidualnie wykonuje swoje zadania projektowe, nie śledząc przy tym postępu w realizowaniu przedsięwzięcia między sobą. Nie wykonują wspólnie określonego przedsięwzięcia z podziałem na zadania, co w praktyce zapewniłoby sprawniejszą realizację projektu.

Zaproponowano zatem zastosowanie w komunikacji pracowników obu współpracujących firm narzędzia Asana z technologią RSS (rys. 2).



Rys. 2 Model procesów biznesowych w dziale zarządzania projektami w przedsiębiorstwie informatycznym przy zastosowaniu narzędzia Asana z technologią RSS

Model inicjuje rejestracja w oprogramowaniu Asana. Następnie następuje stworzenie określonej grupy wraz z nowym wątkiem tematycznym i zaproszenie do niej konkretnych współpracowników. Informację na pocztę z linkiem aktywacyjnym dostają pracownicy firmy partnerskiej jak i pracownicy głównej firmy, akceptując przy tym przyłączenie do grupy. Przedsiębiorstwo i pracownicy wewnętrznej firmy dostają potwierdzenie dołączenia do grupy. Następuje wysłanie poszczególnych etapów projektu do firmy partnerskiej wraz z rozdzieleniem poszczególnych zadań. Informacja wyświetlana jest za pomocą kanału RSS, dzięki, któremu w szybki sposób pracownicy dowiadują się o nowym komunikacie na grupie aplikacji Asana. Następuję więc natychmiastowy zwrot odpowiedzi o projekcie. Gdy już obie firmy mają podzielone między sobą konkretne zadania, mogą już tylko wzajemnie monitorować i kontrolować przebieg realizacji projektu. Firmy wymieniają się informacjami o gotowych etapach procesu i kiedy cały przebieg jest już skończony, projekt można zakończyć.

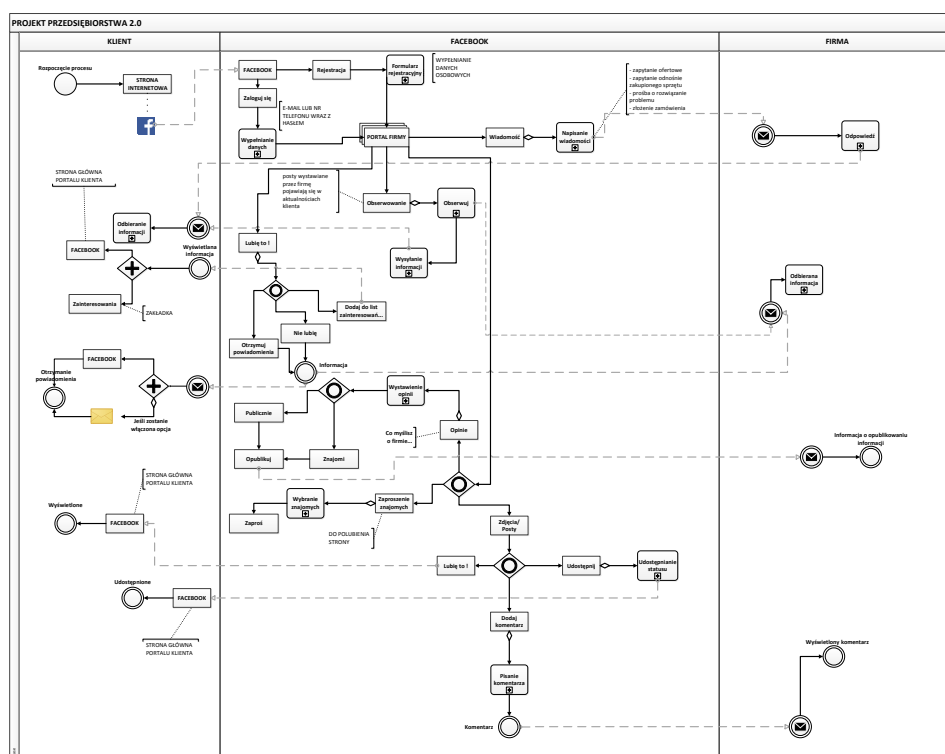
Zastosowanie narzędzia Asana z technologią RSS jest bardzo pomocne przy wykonywaniu projektów przez dwie współpracujące firmy. Pracownicy bez przeszkód mogą przekazywać między sobą informację o poszczególnych postępach zadań, dodawać na bieżąco pliki z dokumentami pracy, komentować oraz udzielać pomocy w pojawiających się trudnościach. Pozwala to na łatwą i sprawną komunikację pomiędzy pracownikami zaangażowanymi w realizację projektu.

3.2 Model przedsiębiorstwa Web 2.0 dla przedsiębiorstwa informatycznego

W celu zaprezentowania możliwości usprawnienia działalności rozważanego przedsiębiorstwa informatycznego zaprojektowano dla niego również model przedsiębiorstwa Web 2.0 w oparciu o serwis społecznościowy (rys. 3).

Zaprezentowany model, pokazuje jak może funkcjonować firma w oparciu o zastosowanie narzędzia społecznościowego – Facebook. Proces zaczyna konsument, który przez stronę internetową firmy, wchodzi w ikonę logo Facebook i automatycznie przełączany jest na witrynę serwisu społecznościowego. Następnie można zarejestrować się na stronie (jeśli klient nie posiada konta), po wcześniejszym wypełnieniu formularza rejestracyjnego (danych osobowych) lub bezpośredniego zalogowania się (jeśli klient posiada konto) z uwzględnieniem danych osobowych (e- mail lub numer telefonu wraz z hasłem). Po wykonaniu tych czynności, użytkownik znajduje się na oficjalnej stronie firmy w portalu społecznościowym - Facebook, gdzie dostępne są zakładki: wiadomość, obserwowanie, lubię to. W zakładce wiadomość, klient ma możliwość napisania prywatnej wiadomości do firmy odnośnie zapytania ofertowego, zakupionego wcześniej sprzętu, pomocy w rozwiązaniu określonego problemu, czy też w związku ze złożeniem zamówienia. Informację odbiera pracownik firmy i przekazuje ją specjalście w danej dziedzinie lub osobiście odpowiada na komunikat i przesyła użytkownikowi. Jeśli klient wybierze opcję obserwuj, na jego profilu strony wyświetlane będą aktualne informacje o firmie. W ten sposób można zauważyć, ile użytkowników jest zainteresowanych bieżącymi informacjami o przedsiębiorstwie. Jeśli klient polubi witrynę, to wyświetlą się opcje: otrzymuj powiadomienia, nie lubię (w domyśle strony) i dodaj do list zaintereso-

wań. W zakładce – otrzymuj powiadomienia, użytkownik informowany jest drogą e-mailową (jeśli włączona zostanie opcja) i poprzez Facebooka o aktywności firmy. Użytkownik również po wybraniu opcji – lubię to, może zmienić zdanie na temat przeglądanej witryny i zaznaczyć wariant – nie lubię. Zakładka – dodaj do list zainteresowań, daje możliwość porządkowania interesujących treści na Facebooku. Najciekawsze posty z tej listy mogą pojawiać się na stronie głównej aktualności. Listy będą również widoczne w sekcji zainteresowania.



Rys. 3 Model przedsiębiorstwa Web 2.0 w oparciu o serwis społecznościowy

Na portalu firmy istnieje możliwość zapoznania się z zamieszczonymi zdjęciami i postami, które użytkownik może polubić, lub nie. Klient może również udostępnić dany film, zdjęcia, linki bądź notatki z profilu firmy na swoje osobiste konto na Facebooku. Informacja wyświetlana jest wtedy na stronie głównej witryny. Wszyscy znajomi użytkownika, widzą zamieszczoną informację.

Pod postami wyświetlonymi przez firmę, klient ma możliwość skomentowania ich, wyrażenia własnej opinii. Wyświetlana wiadomość będzie na głównej stronie przedsiębiorstwa, więc każdy dodany komentarz przez użytkownika będzie widoczny dla klientów i pracowników firmy.

Na stronie firmowej na Facebook-u zainstalowana jest zakładka – opinie, która będzie agregować opinie klientów. Pracownicy firmy widzą w aplikacji opinie interesantów, np. na temat ich ulubionych produktów. Z poziomu aplikacji na Facebooku, każdy użytkownik może dodać swój wpis. Aby to zrobić musi zostać fanem strony. Przy wystawianiu opinii, użytkownik ma możliwość wybrania opcji, czy ma być wyświetlona wyłącznie dla znajomych czy dla całej społeczności. Na portalu firmy ukazywane są referencje od klientów. Odbiorca za pomocą zakładki – zaproszenie, ma możliwość wysłania zaproszenia znajomym do polubienia strony. W ten sposób powiększa się grono odbiorców portalu.

Przedstawiony tutaj model nie musi koniecznie odnosić się do relacji klient – Facebook - firma, ale może również pokazywać stosunek między pracownikami, a współpracownikami za pomocą tego narzędzia.

Facebook jest portalem społecznościowym, który ułatwia lepszą komunikację w tym przypadku między klientem, a firmą. Przedsiębiorstwo zakładając profil na Facebook-u może budować większą sieć i grupę odbiorców oraz dzielić się z nimi swoimi aktualnymi wydarzeniami, zdjęciami (produktów, usług), filmami (prezentacja produktów lub usług) oraz linkami do ciekawych stron, np. branżowych. Aplikacja daje możliwość nawiązywania więzi i relacji z użytkownikami portalu, pozwala na nieinwazyjną reklamę oraz osiągnięcia efektywnej strategii marketingowej poprzez udostępnianie postów, zapraszanie znajomych do polubienia witryny, wystawiania pozytywnych opinii przez klientów. Bardzo użyteczna jest opcja otrzymywanie aktualnych powiadomień o stronie firmowej. W ten sposób klient dostaje informacje na bieżąco. Za pośrednictwem Facebooka firma może również gromadzić grono kontaktów. Aplikacja ta staje się zatem jednym z medium w nawiązywaniu relacji z klientem.

Zaproponowany model przedstawia sposób komunikacji pomiędzy pracownikami firmy, klientami czy partnerami biznesowymi za pomocą narzędzia – Facebook. Proces inicjuje administrator, który loguje się na stronę firmy, po wcześniejszym wypełnieniu danych (e-mail lub nr telefonu wraz z hasłem) i wchodzi w zakładkę –grupy. Następnie wybiera opcję – utwórz grupę i utwórz nową grupę. Zostanie wyświetlone okno, w którym będzie można wprowadzić nazwę grupy, jej członków oraz wybrać ustawienia prywatności dla grupy. Po założeniu grupy, automatycznie następuje przeniesienie do niej. Administrator ma prawo do edycji ustawień grupy. Na wyświetlonej stronie może dodać opis grupy i znaczniki, utworzyć grupowy adres e-mail, dodać zdjęcia i zarządzać członkami. Każdy uczestnik dostaje zaproszenie do przyłączenia się do grupy. Po akceptacji staje się członkiem danego zespołu.

Na głównej stronie grupowej (portal pracowników), znajdują się obok siebie cztery zakładki: członkowie, wydarzenia, zdjęcia i pliki. W opcji – członkowie, użytkownicy mogą znaleźć członka wpisując imię i nazwisko oraz mają możliwość dodania osób do grupy, do których automatycznie przesyłane jest zaproszenie.

W zakładce – wydarzenia, istnieje możliwość utworzenia wydarzenia dla całej grupy. Podczas powoływania wydarzenia wypełnia się jej nazwę, dodatkowe informacje, gdzie i kiedy nastąpi wydarzenie, można również ustawić opcję prywatności (publicznie, znajomi goście, tylko zaproszone osoby). Informacja przesyłana jest do wszystkich dodanych użytkowników, którzy mogą polubić zdarzenie lub dodać komentarz. W przypadku

grup liczących 250 i więcej uczestników, wyłącznie administratorzy mogą zapraszać je do udziału w wydarzeniu.

W panelu – zdjęcia, dostępne są opcje: dodaj zdjęcia lub prześlij film. Każdy członek grupy może zamieścić wybrany przez siebie film lub zdjęcie, które automatycznie ukazywane będzie na witrynie. Użytkownicy będą mogli polubić je lub skomentować.

Usługa pliki, pozwala udostępniać prezentacje, harmonogramy, dokumenty i inne typy plików osobom w grupie. Można opublikować plik w zespole, klikając polecenie – dodaj plik i wybierając plik z komputera. W ten sposób na witrynie wyświetla się plik, który jest widoczny dla wszystkich członków. Natomiast dokumenty umożliwiają użytkownikom wspólne pisanie i edytowanie treści. W opcji utwórz dokument, użytkownik wprowadza treść, którą chce udostępnić. Dokument opublikowany jest dla wszystkich osób.

Zakładka - powiadomienia, użytkownik będzie otrzymywał aktualne informacje o grupie. Można włączyć opcję, aby informacje o przychodzących powiadomieniach o umieszczanych informacjach, docierały do wszystkich członków grupy lub wyłącznie znajomych. Istnieje też opcja wyłączenia powiadomień.

Dowolny użytkownik grupy może w każdej chwili utworzyć nową grupę. Wystarczy wejść w opcję – utwórz grupę, gdzie uzupełnia się dane (nazwa grupy, członkowie, prywatność: otwarta, zamknięta, tajna). Następnie wysyłane jest zaproszenie do użytkowników.

Obok zakładki powiadomienia i utwórz grupę, znajdują się dodatkowe opcje: udostępnij grupę, dodaj do ulubionych, dodaj osoby. W panelu – udostępnij grupę, użytkownik może upowszechnić witrynę grupy na swojej osi czasu, na osi czasu znajomego, w grupie lub też w prywatnej wiadomości. Użytkownicy mają możliwość polubienia strony i wystawienia komentarza.

Panel – dodaj do ulubionych, pozwala na automatyczne zapisanie danej witryny na głównej stronie profilu użytkownika.

Funkcja – dodaj osoby, pozwala członkom przyłączać innych użytkowników do grupy. W ten sposób poszerza się grono odbiorców grupy, którzy dążą do jednego celu, np. wspólnego tworzenia projektu firmowego.

Na głównej stronie grupy znajduje się jedna zakładka, która posiada najważniejsze narzędzia do pracy i komunikacji między użytkownikami, tzw. szybki panel dostępu. Umożliwia napisanie postu, dodanie zdjęcia, filmu, utworzenia albumu ze zdjęciami, zadania pytania do członków grupy oraz dodanie pliku z komputera lub z aplikacji Dropbox, które następnie są opublikowane na głównej witrynie grupowej. Po umieszczeniu zdjęć, filmu czy dokumentu, użytkownicy mogą te materiały pobrać, przeglądać lub dodać wersję. Każda umieszczona wiadomość, zdjęcie, film czy zapytanie, może być polubione i skomentowane.

Korzystanie z funkcji jakie oferuje Facebook, które monitoruje administrator strony, jest łatwym i przyjemnym narzędziem do komunikacji między pracownikami, klientami i partnerami biznesowymi. Każdy z uczestników takiej grupy może wysłać zapytanie odnośnie prowadzonego projektu przez firmę, szukać pomocy przy rozwiązaniu jakiegoś problemu, załączyć dokument związany z firmą, zaprezentować zdjęcia, filmy, utworzyć

ważne wydarzenie, opublikować wiadomość dla członków grupy. Narzędzie to, umożliwia i ułatwia w szybkim czasie, poinformować wszystkich uczestników grupy o jakimś zdarzeniu. Co jest ważne, aplikacja ta jest bezpłatna i bardzo przydatna, kiedy firma pracuje nad jakimś określonym projektem z pracownikami, czy współpracownikami (partnerami biznesowymi) i w znaczący sposób służy wzmocnieniu relacji z klientami.

4. WNIOSKI

Przedstawiony model przedsiębiorstwa Web 2.0 ma na celu zaprezentowanie możliwości zastosowania narzędzi Web 2.0, które mogą przyczynić się do polepszenia efektywności przepływu informacji, ustrukturyzowania kanałów przekazu komunikacji oraz poprawy relacji między pracownikami, współpracownikami, a klientami, co z kolei może przyczynić się do budowania trwałej przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa i jego funkcjonowania.

Pozyskanie wiedzy użytecznej w przedsiębiorstwie jest ciągle trudnym zadaniem. Zaproponowane modele nie są inwazyjne w stosunku do obecnie wykorzystywanych narzędzi i systemów, przez co nie ma konieczności ponoszenia dużych nakładów finansowych na dostosowania. Opracowany projekt przedsiębiorstwa Web 2.0, może stanowić punkt wyjścia do innowacyjnego kierowania przedsiębiorstwem.

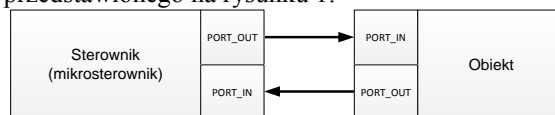
MODEL UKŁADU BEZPIECZNEGO MIKROSTEROWNIKA LOGICZNEGO DO ZARZĄDZANIA SYSTEMAMI KRYTYCZNYMI

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny rozwój przemysłu w dużej mierze uzależniony jest od coraz bardziej zaawansowanych i wydajnych rozwiązań technicznych w zakresie zarządzania produkcją oraz jej procesami produkcyjnymi, które realizuje się z użyciem najnowszych technologii. Najczęściej, poprawność realizacji złożonych procesów produkcyjnych zależy od poprawnego funkcjonowania pojedynczego układu decyzyjno-sterującego, w którym zdefiniowano sposoby zarządzania sterowanymi obiektami, ale również sposób zarządzania własnym działaniem. Bardzo często, tego typu układy zdolne są do przeprowadzania szczegółowych analiz różnych wariantów sterowania, które również zaimplementowano w niniejszej pracy w prezentowanym układzie bezpiecznego mikrosterownika logicznego (BML). W rezultacie, tak zaproponowany układ bezpieczny zamodelowano w hierarchicznej strukturze mikrosystemu sterująco-decyzyjnego, w którym zaimplementowano szereg różnego rodzaju mechanizmów, metod oraz rozwiązań istotnych dla bezpieczeństwa jego pracy oraz pracy zarządzanego przez niego systemu krytycznego.

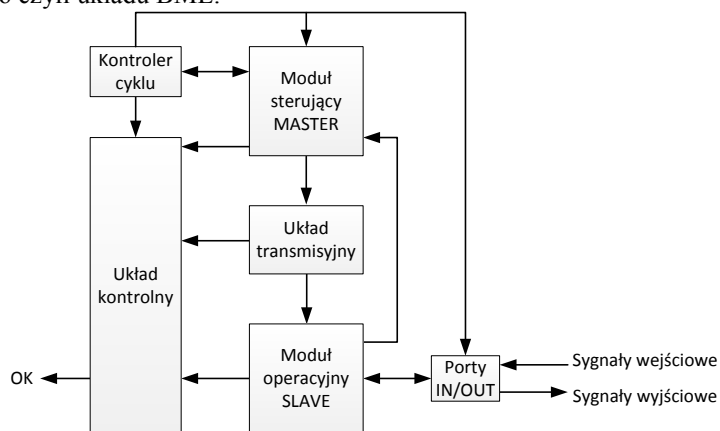
2. OGÓLNY ZARYS KONCEPCJI UKŁADU BML

Bazując na podstawie badań oraz doświadczeń przeprowadzonych przez Halanga-Śnieżka (Halang W.A., Śnieżek M., 2010) w zakresie układów bezpiecznych do zastosowań krytycznych opracowano nową (własną) koncepcję układu bezpiecznego (Sałamaj M., 2013) (Adamski M., Sałamaj M., 2014). Przykładem tego typu układu dla zastosowań krytycznych jest układ programowalnego Bezpiecznego Mikrosterownika Logicznego (BML), który byłby zdolny do zarządzania różnego rodzaju obiektami według schematu przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Sposób współpracy mikrosterownika z obiektem

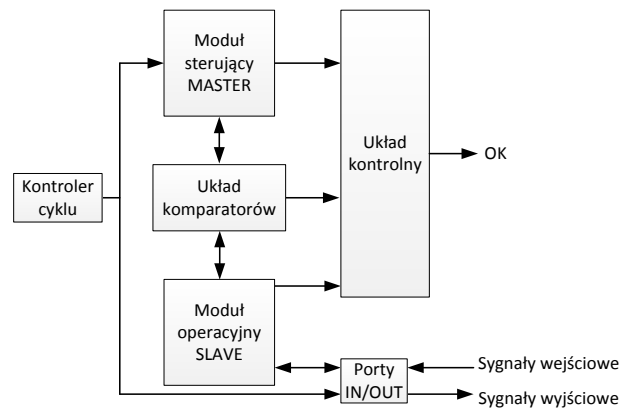
Głównym zadaniem tego układu jest pobieranie poprzez porty wejścia PORT_IN informacji o stanie nadzorowanego nim obiektu, przetwarzanie ich, a następnie na podstawie tak otrzymanych wyników odpowiednie sterowanie tym obiektem za pośrednictwem portów wyjścia PORT_OUT. Tego typu mechanizm pracy układu sterującego jest standardowy dla większości tego typu układów, ale ze względu na fakt, że rozwiązanie to opracowano specjalnie dla zastosowań krytycznych, to zostało ono wyposażone w różne rozwiązania techniczne oraz mechanizmy, które zwiększyły poziom jego niezawodności działania. Uogólniony zarys koncepcji nowego BML przedstawiono na rysunku 2, który składa się z modułu sterującego typu MASTER, układu komunikacyjnego, modułu operacyjnego typu SLAVE, kontrolera cyklu, układu kontrolnego oraz wspomnianych już portów wejścia-wyjścia. Tak zaproponowana koncepcja układu powstała na podstawie badań, które początkowo prowadzone były przez Halanga-Śnieżka (Śnieżek M., Halang W.A., 2008) na Uniwersytecie Fern (rysunek 3), a następnie rozwijane i kontynuowane w obecnych pracach na Uniwersytecie Zielonogórskim. Efektem badań Halanga-Śnieżka było opracowanie, a następnie zrealizowanie fizycznego modelu bezpiecznego sterownika logicznego, który wyposażono w samo-kontrolę niezawodności własnych działań. W związku z tym, w niniejszej pracy rozwiązanie to potraktowano jako model wzorcowy (punkt odniesienia) do przeprowadzenia kolejnych doświadczeń oraz badań w tej dziedzinie, których efektem było opracowanie nowego bezawaryjnie funkcjonującego układu sterującego czyli układu BML.



Rys. 2. Ogólny zarys koncepcji układowej BML

W tak zaproponowanej koncepcji (rysunek 2), synchroniczno-asynchroniczny moduł sterujący typu MASTER realizuje program sterujący, który zarządza przepływem informacji w strukturze BML. W skład tego modułu wchodzi dwa niezależnie działające synchroniczne procesory sterujące MASTER, asynchroniczny układ adresujący oraz pamięci typu RAM i ROM, które współpracują ze sobą na bazie komunikacji typu Handshake (Julius A., 2004). Natomiast, synchroniczny moduł operacyjny typu SLAVE reprezentuje procesor SLAVE, który pełni w BML funkcję jednostki arytmetyczno-

logicznej w połączeniu z układem głosującym (Wu W., Kelly T., 2004) oraz funkcję układu obsługującego jego porty wejścia-wyjścia. Połączenie ze sobą obu modułów typu MASTER oraz SLAVE (w układzie BML) zrealizowano za pośrednictwem asynchronicznego układu komunikacyjnego, który dopasowuje do siebie obszary o odmiennej domenie zegarowej. Układ ten pełni funkcję układu transmisyjnego z potwierdzeniem, którego funkcjonowanie oparto na rozwiązaniach typu Handshake. Ponadto, układ ten pełni również funkcję komparatora logicznego (Gajski D.D., 1997), który na bieżąco weryfikuje ze sobą wszelkie informacje przekazywane pomiędzy procesorami znajdującymi się w modułach MASTER oraz SLAVE. Natomiast, nad prawidłowością pracy mikrosterownika czuwa kontroler cyklu, którego zadaniem jest generowanie sygnału sterującego definiującego cykl pracy układu. Sygnał ten wyznacza fazę pracy BML oraz fazę obsługi jego portów wejścia i wyjścia. W związku z tym, kontroler ten został bezpośrednio połączony z modulem sterującym MASTER oraz z portami wejścia-wyjścia. Moduł operacyjny SLAVE oraz układ komunikacyjny pracują niezależnie od kontrolera cyklu, ponieważ pobudzenie ich do działania inicjowane jest wyłącznie przez moduł MASTER. Poza nieustannym generowaniem sygnału cyklu pracy BML, kontroler cyklu dodatkowo na bieżąco weryfikuje oraz analizuje sygnały przesyłane przez oba procesory modułu MASTER. Stany (wartości) tych sygnałów od razu informują kontroler o tym, czy moduł sterujący MASTER (jego procesory) zdążył wykonać określone rozkazem zadanie w ściśle przeznaczonym na to czasie.



Rys. 3. Ogólny zarys koncepcji układowej sterownika Halanga-Śnieżka

W przypadku, gdy któryś z procesorów nie potwierdzi wykonania operacji w założonym czasie to dla kontrolera jest to równoważne z tym, że musi on natychmiast przesłać informacje o błędzie pracy mikrosterownika do asynchronicznego układu kontrolnego. Na tej podstawie, układ kontrolny BML automatycznie generuje sygnał statusowy OK o odmiennej (zmienionej) wartości niż zwykle, a tym samym blokuje funkcjonowanie całego mikrosterownika i przenosi go do jego stanu bezpiecznego. Podobnie funkcjonują pozostałe moduły oraz układy (za wyjątkiem portów wejścia-wyjścia) jakie można

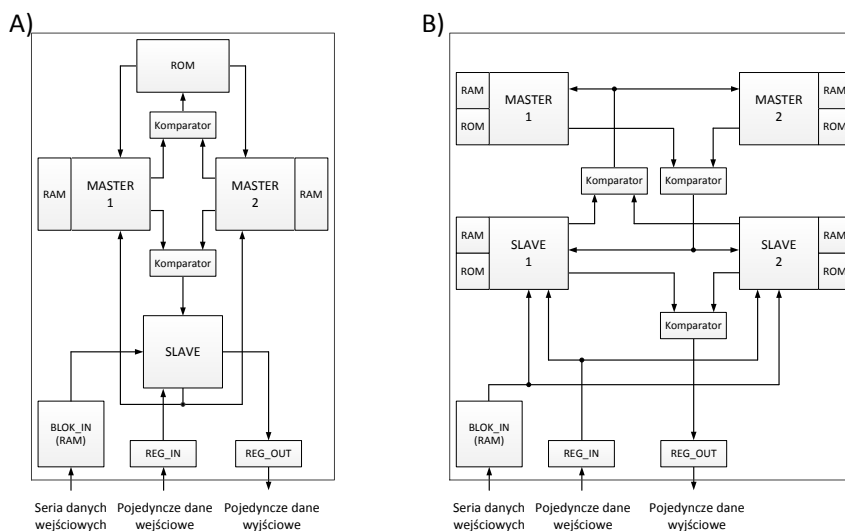
wyróżnić w zaproponowanej koncepcji BML, które również generują sygnały poprawności własnego działania po to, aby w krytycznej sytuacji przenieść pracę całego układu do jego stanu bezpiecznego. Ostatnim z modułów w koncepcji układowej BML są synchroniczno-asynchroniczne porty wejścia PORT_IN oraz wyjścia PORT_OUT. Głównym przeznaczeniem wspomnianych portów jest komunikowanie mikrosterownika z nadzorowanym obiektem, którym on zarządza – rysunek 1.

Zaproponowanie takiej, a nie innej koncepcji układowej BML było możliwe dzięki określeniu, zdefiniowaniu grupy kilku kluczowych założeń projektowych, które powinny zostać uwzględnione na etapie jej realizacji. Zgodnie z tymi założeniami, mikrosterownik powinno zrealizować się jako rozwiązanie jednocukładowe w pojedynczej strukturze rekonfigurowalnej typu FPGA (Zbysiński P., Pasierbiński J., 2004), głównie ze względu na szybkość i wygodę prototypowania różnych rozwiązań, na niskie koszty oraz duże możliwości sprzętowe. Pod tym względem, założono również, że tak realizowany układ będzie układem rekonfigurowalnym, w którym programy będą się zmieniały ON-LINE. Założono również, że mikrosterownik ten będzie posiadał tylko jedno (wspólne dla wszystkich procesorów) źródło zasilania, a więc poziom jego bezpieczeństwa podwyższany jest nie na poziomie konstrukcyjnym lecz na poziomie koncepcji. Ponadto, sama koncepcja BML powinna być jak najbardziej zbliżona pod względem funkcjonowania do koncepcji sterownika Halanga-Śnieżka (Śnieżek M., Halang W.A., 1998). Dodatkowo, poziom bezpieczeństwa układu BML wyposażonego w różnego rodzaju mechanizmy oraz rozwiązania techniczne, które zwiększają jego bezpieczeństwo oraz niezawodność, powinien być możliwie wysoki. Jednak w tego typu koncepcji najważniejszym założeniem jest zachowanie optymalnego kompromisu pomiędzy złożonością układu (BML), a układowymi sposobami zapewniającymi mu bezpieczeństwo pracy. Same środki bezpieczeństwa nie są w stanie zapewnić mikrosterownikowi o dowolnej złożoności bezpieczeństwa oraz niezawodności pracy, ale przy jednoczesnym i stopniowym upraszczaniu jego struktury jest to już możliwe.

3. OGÓLNA STRUKTURA UKŁADU BML

Układ nowo opracowanego programowalnego Bezpiecznego Mikrosterownika Logicznego (BML) przystosowano do zarządzania procesami technicznymi obiektu lub grupy obiektów, które domyślnie dedykowane są różnym systemom krytycznym czasu rzeczywistego (McDermid J., Kelly T., 2006). Uogólnioną 32-bitową architekturę (schemat blokowy) tego układu przedstawiono na rysunku 4A. Rozwiązanie to opracowano przede wszystkim na podstawie badań Halanga-Śnieżka, które ostatecznie zakończyły się realizacją fizycznego sterownika bezpiecznego. W związku z tym, różnego rodzaju mechanizmy oraz rozwiązania techniczne, jak i sama koncepcja układowa BML nieustannie odnieszona i porównywana jest do 8-bitowej koncepcji architektury sterownika Halanga-Śnieżka - rysunek 4B.

W celu opracowania nowej wersji układu bezpiecznego (BML), w niniejszej pracy rozwiązanie Halanga-Śnieżka potraktowano jako punkt wyjścia - odniesienia, który posłużył do zaproponowania nowej koncepcji tego typu układu.



Rys. 4. Architektura układu bezpiecznego:
A) układu BML, B) układu Halanga-Śnieżka

Samo wyposażenie tego sterownika w zestaw dodatkowych mechanizmów oraz rozwiązań zabezpieczających jego działanie, nie prowadzi do uzyskania wyższego poziomu niezawodności i bezpieczeństwa jego pracy (na przykładzie BML), a wręcz przeciwnie znacznie je obniży. Dlatego, budowę oraz zasadę działania układu Halanga-Śnieżka poddano gruntownej analizie i weryfikacji, czego skutkiem było znaczne jego uproszczenie. Dopiero wtedy, uproszczony szkielet tak otrzymanego rozwiązania wyposażono w niekonwencjonalnie połączone i scalone ze sobą różne typy architektur, sieci działań, mechanizmy funkcyjne oraz rozwiązania techniczne, które znacznie polepszyły i usprawniły funkcjonowanie nowopowstałego układu decyzyjno-sterującego – układu BML.

Koncepcja układowa BML, podobnie jak sterownika Halanga-Śnieżka, zakłada wykorzystanie struktury typu MASTER-SLAVE (Śnieżek M., Stackelberg J., 2003) (Żaba S., 2005), która wymusiła w nich podział wykonywanych działań na te związane ze sterowaniem oraz obliczeniami. Moduł sterujący Halanga-Śnieżka (rysunek 4B) tworzą dwa procesory sterujące MASTER, które indywidualnie wyposażono w zestaw dwóch pamięci RAM i ROM. Praca tych procesorów zrealizowana została na podstawie dywersyfikacji rozwiązań (Halang W.A., Śnieżek M., Trybus L., 1996). Natomiast, ten sam moduł, ale w układzie BML tworzą również dwa zdywersyfikowane względem siebie procesory sterujące MASTER, które wyposażono w pamięci RAM i ROM. W tym przypadku, pamięć ROM jest elementem współdzielonym dla obu procesorów MASTER, dlatego konieczne było zastosowanie dodatkowego komparatora adresu. Komparator ten pośredniczy w adresowaniu pamięci ROM w momencie jednoczesnego pobierania rozkazów i przesyłania ich z tej pamięci do obu procesorów MASTER.

Zastosowanie tego typu realizacji modułu sterującego MASTER było możliwe z powodu założeń jakie przyjęto na etapie przygotowywania nowej koncepcji BML. Moduł operacyjny SLAVE w układzie BML został również dość znacznie uproszczony w stosunku do rozwiązania Halanga-Śnieżka, w którym dwa procesory operacyjne SLAVE zastąpiono tylko jednym. Pojedynczy procesor SLAVE pełni w systemie funkcję układu kombinacyjnego, która sprawiła, że możliwe było pozabawienie go zarówno pamięci ROM, jak i RAM. Jednak, zapewnienie bezpieczeństwa i bezawaryjności tego typu układowi wymagało dokonania dość znacznych uproszczeń w budowie oraz zasadzie działania, by następnie wyposażyć go w zestaw mechanizmów podwyższających poziom jego niezawodności i bezawaryjności funkcjonowania. Tak przeprowadzone działania były możliwe tylko ze względu na użycie rekonfigurowalnej struktury typu FPGA, w której zrealizowano cały układ BML.

Zarówno w jednym jak i w drugim rozwiązaniu bezpiecznym, moduł sterujący MASTER ściśle współpracuje z modułem operacyjnym SLAVE. Halang-Śnieżek do tego celu zastosował dwa komparatory logiczne, które na bieżąco porównują ze sobą wszelkie informacje przesyłane pomiędzy parami procesorów MASTER oraz SLAVE. Natomiast, układ BML wykorzystuje układ komunikacyjny, który pełni funkcję układu transmisyjnego typu Handshake z potwierdzeniem w połączeniu z funkcją komparatora logicznego. Tak użyty układ komparatora nadzoruje zgodność wszystkich przekazywanych z modułu sterującego MASTER (z obu procesorów MASTER) do modułu operacyjnego SLAVE (do procesora SLAVE) danych i instrukcji. Transfer informacji z procesora SLAVE do obu procesorów MASTER odbywa się już w sposób bezpośredni, bez użycia sprzętowego komparatora logicznego. Układ ten okazał się elementem zbędnym, ponieważ jego rolę przejął układ głosujący, który zaimplementowano wewnątrz procesora operacyjnego SLAVE. Kolejne dwa bloki funkcyjne reprezentowane przez kontroler cyklu oraz układ kontrolny (pod względem funkcjonalnym) są zbliżone do układów zastosowanych w sterowniku Halanga-Śnieżka. Kontroler cyklu generuje sygnał sterujący *step_cycle* procesorami wchodzącymi w skład modułu sterującego MASTER oraz portami wejścia PORT_IN i wyjścia PORT_OUT. Sygnał ten wyznacza cykl pracy obu układów sterujących (BML i Halanga-Śnieżka), które na jego podstawie albo przetwarzają dane, albo obsługują (zapisują, odczytują) porty wejścia-wyjścia. Dodatkową funkcją kontrolera jest sprawowanie nadzoru nad czasem, w którym oba procesory sterujące MASTER definitywnie powinny zakończyć wszystkie rozpoczęte w nich działania. Brak potwierdzenia ze strony wspomnianych procesorów (za pośrednictwem konkretnych sygnałów statusowych) skutkuje tym, że kontroler cyklu określonym sygnałem STOP_CYKL przekazuje informację o tym fakcie do bloku kontrolnego. Wówczas, blok kontrolny generuje sygnał poprawności pracy całego układu BML, który w przypadku awarii przełącza jego stan w stan bezpieczny. Sygnał ten przekazywany jest również na zewnątrz układu mikrosterownika w celu uruchomienia odpowiedniej instalacji alarmowej oraz zwrótnie do wszystkich procesorów typu MASTER-SLAVE. Układ kontrolny jest asynchronicznym układem kombinacyjnym, który zarówno w koncepcji Halanga-Śnieżka, jak i w układzie BML „zbiera” wszystkie sygnały stwierdzające poprawność działania ich wewnętrznych podzespołów. Każdy blok, moduł czy nawet układ funkcyjny, który pełni funkcję istotną

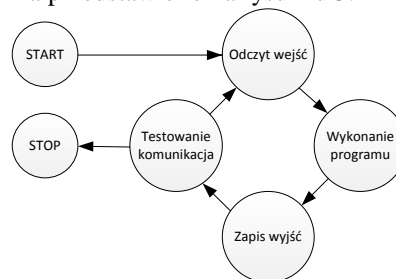
dla bezpieczeństwa i niezawodności układu BML lub układu Halanga-Śnieżka przesyła sygnał poprawności własnego działania do układu kontrolnego. Dopiero, informacje przekazane do tego bloku z pozostałych podzespołów (za pośrednictwem odpowiednich sygnałów statusowych) pozwalają na uaktualnienie wartości głównego sygnału statusowego BML, który potwierdza lub nie prawidłowość jego pracy.

Ponadto, porty wejścia PORT_IN oraz wyjścia PORT_OUT w układzie BML pełnią taką samą (identyczną) funkcję jak w ogólnie stosowanych tego typu układach decyzyjno-sterujących. W przypadku układu BML, porty wejścia reprezentowane są przez pamięć typu RAM oraz pojedynczy rejestr REG_IN. Pamięć RAM może jednorazowo przyjąć całą serię danych opisującą stan nadzorowanego tym układem obiektu, a rejestr REG_IN tylko i wyłącznie pojedyncze informacje. Natomiast, rejestr REG_OUT jest elementem portu wyjścia PORT_OUT, który przesyła zwrótnie pojedyncze dane przekazywane za jego pośrednictwem do obiektu.

Porównując, architekturę Halanga-Śnieżka z architekturą BML od razu można wyróżnić elementy, które odróżniają je od siebie oraz elementy podobne. Podobieństwa i różnice obu tego typu rozwiązań bezpiecznych uwarunkowane są założeniami projektowymi, które przygotowane zostały jeszcze na etapie opracowywania koncepcji układu bezpiecznego. Elementy powtarzające się w jednym i w drugim rozwiązaniu, które spełniły swoje zadania, pozostawiono bez modyfikacji. Natomiast, pozostałe fragmenty rozwiązania wymagały już dość zaawansowanego upraszczania, a dopiero później ich sukcesywnego unowocześniania. W przeciwnym wypadku, same środki bezpieczeństwa, które zostały by zaadoptowane i zastosowane w danym układzie bezpiecznym nie poprawiłyby jego niezawodności i bezawaryjności działania.

4. KONTROLER CYKLU

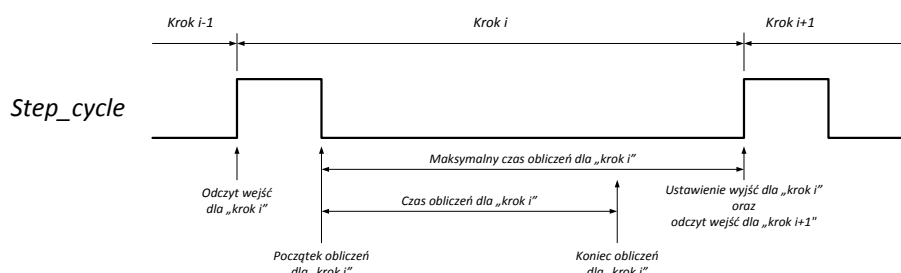
Podstawową zasadą pracy każdego sterownika jest praca cykliczna, w której wykonuje on następujące po sobie pojedyncze rozkazy w porządku zapisanym w programie (Dzierżek K., 2007). Na początku każdego cyklu program odczytuje stany wejść sterownika, a następnie zapisuje je w pamięci. Po wykonaniu wszystkich rozkazów i określeniu (wyliczeniu) nowego stanu wyjść, sterownik również zapisuje go w pamięci oraz ustawia nim odpowiednie wyjścia sterujące urządzeniami wykonawczymi. Cykl pracy dowolnego sterownika przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Cykl pracy sterownika

Przejścia pomiędzy kolejnymi stanami w pracy cyklicznej układu BML wyznacza sygnał sterujący *step_cycle*, który bezpośrednio generowany jest w bloku kontrolera cyklu. Układ ten jest prosty w budowie oraz w zasadzie działania, składa się z podstawowych elementów logicznych oraz z bloku CHECK_M1_M2, który na bieżąco sprawdza gotowość do działania obu procesorów sterujących MASTER. Przekroczenie pewnego z góry założonego w BML czasu, spowodowanego brakiem potwierdzenia zakończenia działań przez wspomniane procesory MASTER, skutkuje natychmiastowym wygenerowaniem w nim sygnału błędu przekroczenia czasu Run Time Error.

Kształt sygnału sterującego *step_cycle* przedstawiono na rysunku 6. W odpowiednio dłuższym czasie trwania stanu niskiego tego sygnału przeprowadzane są wszelkiego rodzaju obliczenia w mikrosterowniku, zaś w stanie wysokim następuje już tylko obsługa samych wejść i wyjść obiektowych. Natomiast, gdy czas potrzebny do wykonania określonych programem sterującym obliczeń w BML jest zbyt krótki, to wtedy należy go w odpowiedni sposób (w bloku kontrolera cyklu) wydłużyć. Należy również zaznaczyć, że w momencie uruchamiania układu BML, pierwszy odczyt jego wejść obiektowych nietypowo następuje od razu po zaniku sygnału RESET jeszcze w czasie trwania stanu wysokiego sygnału *step_cycle*. Dopiero, zmiana wartości tego sygnału ze stanu wysokiego w stan niski rozpoczyna proces przetwarzania (wykonywania obliczeń) na wcześniej pobranych z portów wejściowych danych.



Rys. 6. Diagram czasowy operacji mikrosterownika na podstawie sygnału *step_cycle*

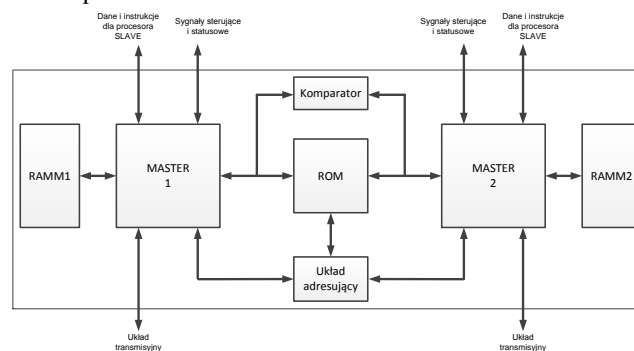
W układzie BML (rysunek 4a), procesor operacyjny SLAVE oraz układy wejściowe (pamięć podręczna RAMS i rejestr wejściowy REG_IN) i wyjściowe (rejestr wyjściowy REG_OUT) zostały rozdzielone specjalnie po to, aby podkreślić sprzętowy charakter tego procesora. Jego sprzętowe możliwości dotyczą zarówno obliczania funkcji bloków jak również związane są z obsługą procesu, pomimo tego, że sygnał *step_cycle* nie został do niego doprowadzony. Brak tego sygnału w procesorze SLAVE oznacza, że nie posiada on żadnej informacji o upływającym czasie. To procesory MASTER posiadają tę informację i w zależności od kolejnych zmian tego sygnału nadzorują one pracę podległego im koprocatora SLAVE. Dodatkowo, sygnał *step_cycle* jest sygnałem niezbędnym dla prawidłowego funkcjonowania układów wejściowych i wyjściowych, które na jego podstawie i w określonych odstępach czasu zatrząskują nowe wartości wejść i wyjść mikrosterownika.

5. MODUŁ STERUJĄCY MASTER

Synchroniczno-asynchroniczny moduł sterujący MASTER jaki wyróżnić można w nowej koncepcji układowej BML przede wszystkim składa się z dwóch synchronicznie pracujących procesorów MASTER wraz z pamięciami danych RAMM1 i RAMM2, z asynchronicznego układu adresującego oraz pamięci programu ROM – rysunek 7. Pracę tego modułu można opisać czterema trybami pracy, gdzie:

- Tryb 0 – tryb pobrania rozkazu z pamięci ROM,
- Tryb 1 – tryb obsługi pamięci RAM,
- Tryb 2 – tryb przesyłania informacji do procesora SLAVE,
- Tryb 3 – tryb odbierania informacji z procesora SLAVE.

Powyższe tryby (określone programem sterującym BML umieszczonym w ROM) mogą być wywoływane w dowolnej kolejności, ale najczęściej cyklicznie uruchamianym trybem jest tryb 0. Tryb ten służy do zaadresowania przez współbieżnie funkcjonujące procesory MASTER1 i MASTER2 współdzielonej im pamięci programu ROM. W tym celu, oba procesory za pośrednictwem odpowiednich magistral adresowych przekazują do układu adresującego adresy, które następnie są w nim porównywane i analizowane. Układ ten również funkcjonuje na zasadzie rozwiązania typu Handshake, dlatego wszystkie adresy, które zostały mu w ten sposób przekazane są od razu potwierdzane procesorom MASTER. Jednak, główną funkcją blok adresującego jest możliwość realizowania przez niego funkcji komparatora logicznego, porównującego adresy znajdujące się na magistralach adresowych. Ich niezgodność sprawia, że układ porównujący natychmiast generuje sygnał błędny, a informację o tym fakcie bezpośrednio przekazuje do bloku kontrolnego. W przeciwnym wypadku, poprawnie zweryfikowany adres wystawiany jest na magistralę adresową, która adresuje pamięć ROM. Efektem tego jest jednoczesne przesłanie przez pamięć programu tego samego rozkazu do obu procesorów MASTER również z użyciem protokołu typu Handshake. Wobec powyższego, komunikacja pomiędzy procesorami MASTER, układem adresującym, a pamięcią ROM zrealizowana została w podobny sposób jak w układzie BML, czyli na podstawie przesłań z potwierdzaniem.



Rys. 7. Moduł sterujący MASTER w układzie BML

Tryb 1 pracy modułu sterującego MASTER jako jedyny nie uwzględnia mechanizmu Handshake. W tym stanie, para procesorów sterujących MASTER1 i MASTER2 niezależnie od siebie odwołuje się do pamięci danych RAMM1 i RAMM2. Odczyt lub zapis do tych pamięci odbywa się za pośrednictwem użycia odpowiednich magistral adresowych oraz danych. Natomiast, tryby 2 i 3 dotyczą już współbieżnej komunikacji obu procesorów sterujących MASTER z modułem operacyjnym SLAVE oraz z układem transmisyjnym, którą również zrealizowano w oparciu o protokół Handshake. W tym przypadku, magistrale danych jakie można wyróżnić w użytych procesorach sterujących służą do pobrania informacji przekazywanych im z modułu operacyjnego oraz do przekazywania informacji układowi transmisyjnemu i dalej do modułu operacyjnego, które mają zostać w nim przetworzone. Wszystkie kluczowe dla bezpieczeństwa i bezawaryjności bloki w module sterującym również generują sygnały statusowe określające poprawność swojego funkcjonowania i od razu przekazują ich wartość bezpośrednio do bloku kontrolnego BML.

Ze względu na strukturę typu MASTER-SLAVE jaką zaadoptowano w układzie BML, moduł sterujący MASTER odpowiada jedynie za wykonywanie rozkazów programu głównego oraz za zarządzaniem w nim przepływem informacji. Ograniczenie jego funkcjonalności, a tym samym złożoności budowy jego procesorów, spowodowało, że funkcjonowanie BML stało się dużo prostsze i bardziej przejrzyste. W związku z tym, procesory MASTER1 i MASTER2 zostały względem siebie zdywersyfikowane, podobnie jak w rozwiązaniu Halanga-Śnieżka. W przypadku rozwiązania Halanga-Śnieżka zastosowano procesory dwóch różnych producentów, a w przypadku układu BML procesory te zostały zrealizowane przez dwa niezależne zespoły projektantów, które nie kontaktowały się ze sobą. Pozytywnym efektem zastosowania tego typu odmienności sprzętowej była możliwość wykrywania ewentualnych błędów projektowania, które mogłyby pojawić się podczas wykonywania w nich tego samego zadania. Ze względu na założenia projektu, które narzucono podczas przygotowywania nowej koncepcji BML oraz na podstawie dywersyfikacji procesorów MASTER i ich identycznej listy rozkazów z dokładnością co do liczby cykli zegarowych wymaganych dla poszczególnych instrukcji, pamięć ROM zrealizowano jako pamięć dwuportowa (ang. Dual-Port Memory) [13].

6. MODUŁ OPERACYJNY SLAVE

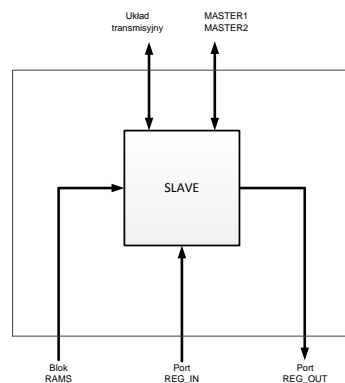
Ze względu na strukturę typu MASTER-SLAVE jaką zaadoptowano w układzie BML, moduł operacyjny odpowiedzialny jest za wspomaganie pracy modułu sterującego. Działanie tego synchronicznego modułu polega na wykonywaniu w nim tylko tych zadań, które zlecane są mu przez moduł MASTER. Jego najważniejszym zadaniem w strukturze BML jest przetwarzanie danych oraz obsługa portów wejścia-wyjścia. Sam moduł składa się z tylko jednego procesora operacyjnego SLAVE – rysunek 8. Podobnie jak w module MASTER, pracę tego modułu można opisać czterema trybami pracy, gdzie:

- Tryb 0 – tryb pobrania informacji z układu transmisyjnego,
- Tryb 1 – tryb przekazywania informacji do modułu MASTER,

- Tryb 2 – tryb obsługi portów wejściowych,
- Tryb 3 – tryb obsługi portów wyjściowych.

Kolejność wykonywania powyższych trybów pracy uzależniona jest od modułu sterującego MASTER, który w razie potrzeby aktywuje konkretne działania modułu operacyjnego SLAVE. Pierwszym trybem w module operacyjnym zawsze jest Tryb 0, w którym wykrywana jest chęć nawiązania z nim współpracy (połączenia) ze strony modułu sterującego. Zestawienie połączenia w tym trybie powoduje pobranie rozkazu, a następnie wszystkich niezbędnych danych do jego wykonania. Na tej podstawie, moduł operacyjny SLAVE przechodzi do jednego z trzech pozostałych trybów jego pracy (Tryb 2, Tryb 3 lub Tryb 4), w których za pośrednictwem odpowiednich magistral adresowych oraz danych współpracuje z podległymi mu elementami - układem transmisyjnym, modułem sterującym MASTER oraz portami wejścia-wyjścia.

W porównaniu ze sterownikiem Halanga-Śnieżka, moduł operacyjny BML został znacznie uproszczony. Z względu na fakt, że rozwiązanie BML w całości realizowane jest w jednokładowej strukturze rekonfigurowalnej typu FPGA, w której technologia projektowania narzuca same uproszczenia, to zdecydowano się na jego jednoprocessorowy modułu.



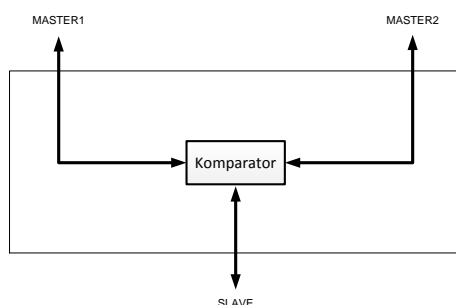
Rys. 8. Moduł operacyjny SLAVE w układzie BML

Wybór rozwiązania jednoprocessorowego uniemożliwił zastosowanie w nim dywersyfikacji rozwiązań procesorów SLAVE, tak jak to zrealizowali Halang-Śnieżek w swojej pracy - zarówno w części MASTER, jak i SLAVE. Brak odmienności sprzętowej spowodował, że procesor operacyjny SLAVE przekształcono w układ kombinacyjny pełniący funkcję jednostki arytmetyczno logicznej, którego praca wspomagana jest teorią podwyższającą pewność działania układów cyfrowych (Kraśniewski A., 2007). W ten sposób, dwa zdywersyfikowane względem siebie procesory SLAVE u Halanga-Śnieżka, zastąpiono tylko jednym, w którym potrójnie zdywersyfikowano jego potoki obliczeniowe. W rezultacie, tak zaproponowane rozwiązanie okazało się dużo bardziej niezawodne, ponieważ jego odpowiednikiem w koncepcji Halanga-Śnieżka powinny być trzy, a nie dwa tak jak teraz

zdywersyfikowane pomiędzy sobą procesory obliczeniowe. Zastosowanie struktury typu MASTER-SLAVE w koncepcji BML spowodowało również to, że procesor SLAVE pozbawiono pamięci RAM i ROM. Były one zbędne, ponieważ obsługa głównych pamięci mikrosterownika obecnie realizowana jest przez moduł sterujący, który w razie potrzeby aktywuje do działania moduł operacyjny. Dodatkowo, eliminacja tych pamięci uprościła strukturę BML, jak również strukturę procesora SLAVE, który już nie musiał się do nich odwoływać. Ponadto, procesor SLAVE znajdujący się w module operacyjnym w przypadku awarii posiada możliwość wygenerowania odpowiedniego sygnału statusowego, który jest wyznacznikiem poprawności jego działania. Sygnał ten, tak jak i inne tego typu sygnały, podłączony jest do bloku kontrolnego, w którym na ich podstawie generowany jest główny sygnał poprawności pracy BML.

7. UKŁAD TRANSMISYJNY

Asynchroniczny układ transmisyjny bazujący na rozwiązaniach typu Handshake pełni w układzie BML funkcję układu komunikacyjnego z potwierdzeniem w połączeniu z komparatorem logicznym – rysunek 9. Głównym zadaniem tego bloku jest oczekiwanie na połączenie ze strony modułu sterującego, wystawianie żądania połączenia do modułu operacyjnego, zestawianie bezpiecznych połączeń oraz porównywanie i przekazywanie pomiędzy nimi (modułami) odpowiednich informacji.

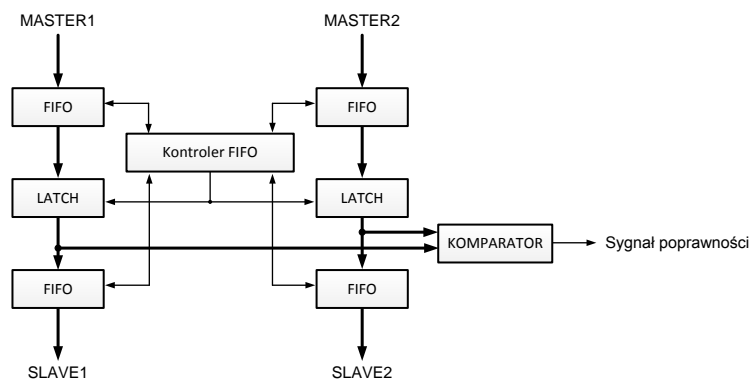


Rys. 9. Układ transmisyjny w układzie BML

Podczas tak przekazywanych informacji komparator w układzie transmisyjnym na bieżąco sprawdza zgodność porównywanych zależności. W przypadku wykrycia różnicy (błędu porównania) w komparatorze, układ ten natychmiast pobudza układ kontrolny do przeniesienia bezpiecznego mikrosterownika logicznego (BML) do jego stanu bezpiecznego. W przeciwnym przypadku, poprawnie zweryfikowane informacje, które przesyłane są z procesorów MASTER, przekazywane są do procesora SLAVE z uwzględnieniem bezpiecznego protokołu komunikacyjnego typu Handshake.

W odróżnieniu od koncepcji Halanga-Śnieżka, zaproponowane tutaj rozwiązanie wyposażono w dużo bardziej pewniejszy mechanizm komunikacyjny z potwierdzeniem. W tym przypadku, sterownik Halanga-Śnieżka wykorzystuje w swojej strukturze

komunikację synchroniczną, która oparta została na elementach reprezentujących kolejkę FIFO (ang. First Input First Output) wraz z zatrzaskami, układem synchronizującym oraz komparatorem – rysunek 10. Tego typu sposób komunikacji narzuca potrzebę bardzo precyzyjnego synchronizowania ze sobą wszystkich elementów składowych wchodzących w skład tak zaproponowanego kanału transmisyjnego.



Rys. 10. Układ komparatorów sterownika Halanga-Śnieżka (tor MASTER-SLAVE)

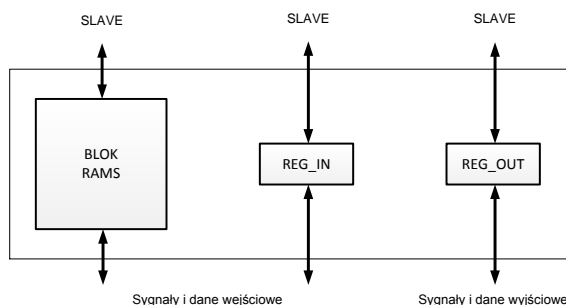
Ponadto, różnego rodzaju błędy spowodowane między innymi rozszynchronizowaniem się układu lub przepełnianiem kolejek FIFO mogły prowadzić do licznych konfliktów, a nawet błędów. Dlatego, ten obszar układu w nowej koncepcji zrealizowano na bazie już wspomnianej asynchronicznej komunikacji z potwierdzeniem typu Handshake (Julius A., 2004). Choć protokół ten jest wolniejszy od protokołu synchronicznego zastosowanego w FIFO, to z całą pewnością jest on od niego dużo bardziej bezpieczniejszy. Obniżenie szybkości działania tak zaproponowanego rozwiązania nie ma żadnego wpływu na bezpieczeństwo oraz niezawodność jego funkcjonowania, ponieważ teraz informacje pomiędzy modułami przekazywane są od razu w całości, a nie tak jak wcześniej dzielone były na dużo mniejsze fragmenty.

Zastosowany w układzie transmisyjnym BML sprzętowy komparator logiczny pełni w nim nietypowe zadanie. Jest to komparator (rysunek 9), który typowo porównuje ze sobą zawartość dwóch jego wejść informacyjnych. Natomiast, w przypadku wykrycia pomiędzy nimi jakiegokolwiek różnicy, komparator ten za pośrednictwem odpowiedniego sygnału statusowego informuje o zaistniałym fakcie blok kontrolny, a ten na jego podstawie generuje sygnał zatrzymania BML.

8. PORTY WEJŚCIA-WYJŚCIA

Układ BML, podobnie jak wszystkie sterownik, komunikuje się z otoczeniem za pośrednictwem jego synchroniczno-asynchronicznych portów wejścia-wyjścia – rysunek 11. W przypadku zaproponowanego układu, synchroniczność tych portów wynika z synchronicznego dostępu do nich procesora SLAVE. Natomiast, ich asynchroniczność

wiąże się już z tym, że na zewnątrz układu wszelkie informacje przesyłane lub pobierana są na podstawie asynchronicznego sygnału *step_cycle*, który generowany jest w kontrolerze cyklu.



Rys. 11. Porty wejścia-wyjścia w układzie BML

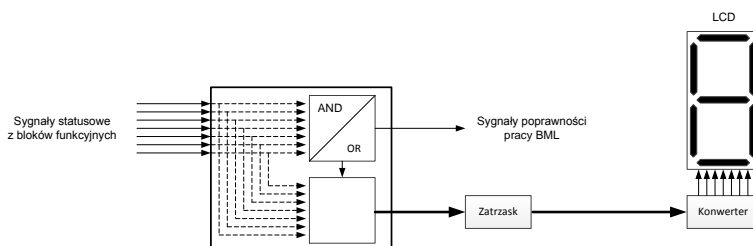
Elementami składowymi BML, które odpowiadają za odczyt wejść obiektowych, są układy RAMS oraz REG_IN. Oba te układy na początku każdego cyklu pracy mikrosterownika (wyznaczonego sygnałem *step_cycle*) odczytują wejścia obiektowe, a następnie przechowują je aż do momentu kolejnego odczytu. Układy te bezpośrednio połączone z procesorem SLAVE, który w trakcie pracy mikrosterownika podczas odczytu ma do nich całkowicie swobodny i niczym nieograniczony dostęp (ale tylko na specjalne żądanie procesorów MASTER). W tym przypadku, układ wejściowy REG_IN jest 32-bitowym rejestrem danych, który może zapamiętać tylko jedno słowo. Zaś, układ RAMS jest już 32-bitową reprezentacją pamięci (blokiem rejestrów funkcyjnych), która zdolna jest do przechowania całej serii danych.

Elementem, który w BML odpowiada za zapis do wyjść obiektowych, jest układ REG_OUT. Układ ten na końcu każdego cyklu pracy mikrosterownika (wyznaczonego sygnałem *step_cycle*) odczytuje z pamięci nowy wyliczony podczas jego pracy stan wyjść, a następnie przekazuje go na wyjście obiektowe, które jest utrzymywane, aż do momentu kolejnego zapisu. Podobnie jak pamięć RAMS i rejestr REG_IN, rejestr REG_OUT został bezpośrednio połączony z procesorem SLAVE, który w trakcie pracy mikrosterownika podczas zapisu ma do niego całkowicie swobodny i niczym nieograniczony dostęp – ale tego typu działanie musi najpierw zostać jednocześnie aktywowane przez procesory MASTER. Układ wyjściowy REG_OUT jest 32-bitowym rejestrem danych, który może zapamiętać tylko jedno słowo - stan wyjściowy.

9. UKŁAD KONTROLNY

Asynchroniczny blok kontrolny jaki użyto w strukturze BML pełni podobną funkcję do tego, który zaproponowany został w rozwiązaniu Halanga-Śnieżka. Wszelkie różnice pomiędzy nimi, tak jak na poziomie portów wejścia-wyjścia, wynikają jedynie ze sposobów ich realizacji oraz z zastosowania odmiennych rozwiązań sprzętowych.

Halang-Śnieżek do jego realizacji wykorzystali bezpieczne moduły HIMA logic [15], które dodatkowo charakteryzują się dużą szybkością i dokładnością działania. Natomiast, realizacja BML w jednokładowej rekonfigurowalnej strukturze typu FPGA uniemożliwiła ich wykorzystanie. Dlatego, układ ten zrealizowano dostępnymi metodami oraz sposobami jakie wykorzystywane są w projektowaniu rekonfigurowalnych rozwiązań cyfrowych.



Rys. 12. Blok kontrolny w układzie BML

Pomimo tego, funkcja jaką one pełnią w swoich zastosowaniach jest taka sama. Głównym zadaniem bloku kontrolnego jest bieżące kontrolowanie wszystkich doprowadzonych do jego wejść sygnałów statusowych, które generowane są przez istotne dla bezpieczeństwa BML oraz sterownika Halanga-Śnieżka bloki funkcyjne – rysunek 12. Do bloków tych w układzie BML zalicza się wszystkie wymienione w powyższych podrozdziałach elementy składowe, które generują odpowiednio sygnały statusowe informujące o poprawności własnego funkcjonowania. W rezultacie, na podstawie informacji przekazywanych za pośrednictwem tych sygnałów, blok kontrolny generuje globalny sygnał poprawności pracy bezpiecznego mikrosterownika logicznego, który w przypadku jego awarii wprowadza go do stanu bezpiecznego. Jednocześnie, sygnał ten przekazywany jest na zewnątrz układu w celu zainicjowania działania odpowiedniej aparatury alarmowej. Sygnał ten trafia również do wszystkich procesorów MASTER-SLAVE, które w przypadku awarii mają zostać na jego podstawie zablokowane oraz do portów wejścia-wyjścia. Dopiero, odpowiednia wartość sygnału OK sprawia, że porty te ustawiane są w ściśle określony z góry założony stan, który należy zabezpieczyć lub wyłączyć zarządzane przez BML urządzenie wykonawcze. Opcjonalnie, układ bloku kontrolnego (rysunek 12) można wyposażyć w dodatkowe elementy, które przekonwertują wartości sygnałów statusowych z wszystkich bloków na kod 7-segmentowego wyświetlacza LCD (ang. Liquid Crystal Display). Tego typu działanie miałyby na celu umożliwienie obsłudze technicznej systemu dużo szybszą identyfikację, na którym z etapów pracy BML pojawił się (wystąpił) krytyczny błąd.

10. WNIOSKI

W niniejszej pracy, na podstawie przeprowadzonych analiz oraz weryfikacji koncepcji bezpiecznego rozwiązania sterującego Halanga-Śnieżka zaproponowano nowatorską koncepcję układu BML. Koncepcję układową składający się z różnych modułów oraz

bloków funkcyjnych, których przeznaczenie opisano w powyższych podrozdziałach. W tym przypadku, sterownik Halanga-Śnieżka potraktowano jako punkt wyjścia w obecnych badaniach, dlatego zaproponowane rozwiązanie (układ BML) jest do niego nieustannie odnoszone. W porównaniu z nim, konstrukcja mikrosterownika bezpiecznego została w znacznym stopniu uproszczona i zmodyfikowana. Dlatego, na obecnym poziomie porównań można co najwyżej dopatrywać się podobieństw oraz różnic wynikających z ich funkcjonowania oraz fizycznego wykonania.

Biorąc pod uwagę założenia projektowe sformułowane na poziomie opracowywania koncepcji BML można stwierdzić, że rozwiązanie to jest dużo bardziej elastyczniejsze w użyciu niż układ Halanga-Śnieżka, ponieważ w całości zostało wykonane w strukturze FPGA. Rozwiązanie to jest wygodniejsze do użycia w różnych krytycznych zastosowaniach, w których można je szybko zmodyfikować i zaadoptować do danego problemu. W rezultacie, nowy układ BML przystosowano do wykonywania w nim eksperymentów związanych z dywersyfikacją rozwiązań. Zastosowanie w obu tych rozwiązaniach (Halanga-Śnieżka oraz BML) podziału na obszary MASTER-SLAVE nie jest niczym nowym w technice. Ale podejście to pozwoliło na wyodrębnienie w nich kanałów informacyjnych (Halang-Śnieżek) oraz potoków sterujących i obliczeniowych (BML) po to, aby następnie je względem siebie zdywersyfikować. Ponadto, jeśli chodzi o realizację techniczną obu układów bezpiecznych, to sposób wykonania sterownika Halanga-Śnieżka całkowicie różni się od sposobu realizacji BML. Sterownik Halanga-Śnieżka wykonywany był w formie niezależnych kart systemów, które zawierały w sobie różnego rodzaju podzespoły jak np. procesory ogólnego przeznaczenia, zaś rozwiązanie BML zostało ograniczone do jego wstawienia (zaimplementowania) do systemu jednoukładowego. Tego typu wstawienie spowodowało, że w strukturze BML musiały nastąpić i nastąpiły różnego rodzaju modyfikacje, jak np. realizacja jego procesorów jako układów nie ogólnego ale ścisłego przeznaczenia o określonej liście rozkazów czy ulepszenie protokołu komunikacyjnego.

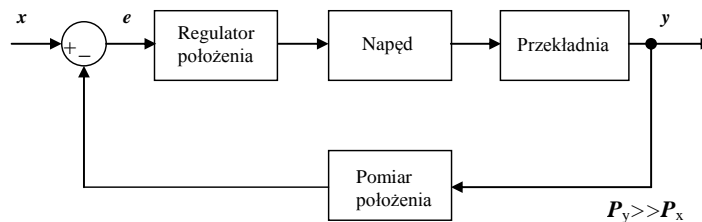
Reasumując, nowa koncepcja układowa BML w pewnym obszarze zastosowań jest rozwiązaniem, które znacznie przewyższa możliwości układowe rozwiązania Halanga-Śnieżka. Między innymi gabarytami, gdyż urządzenie Halanga-Śnieżka dość znacznie przewyższa rozmiary BML zaimplementowanego w tylko jednej strukturze FPGA, ale należy zaznaczyć, że to pierwsze rozwiązanie zostało przygotowane do zarządzania pracą np. reaktora jądrowego. Natomiast, układ BML ma być rozwiązaniem małym, równie bezpiecznym jak to pierwsze, ale już nie o tak ostrych ograniczeniach czasowych, ponieważ jego docelowym miejscem zastosowania mają być jedynie przemysłowe systemy sterowania. Pomimo braku na rynku tego typu bezpiecznych rozwiązań układowych można z całą pewnością stwierdzić, że koncepcja nowego BML jest rozwiązaniem nowym, niepowtarzalnym i jak najbardziej spełnia swoje założenia projektowe.

BADANIA SYMULACYJNE UKŁADÓW STEROWANIA SERWONAPĘDÓW ELEKTROHYDRAULICZNYCH

1. WPROWADZENIE

W procesie projektowania, w przypadku gdy budowanie prototypu w celu jego sprawdzenia jest zbyt kosztowne, nowe urządzenie można zbadać przy pomocy odpowiadającego mu modelu matematycznego i zasymulować jego działanie na komputerze. W trakcie symulacji można testować różne rozwiązania konstrukcyjne oraz parametry pracy. Symulacje komputerowe można wykonywać dzięki programom takim jak PSpice, Vissim czy Matlab. Użycie symulacji podczas projektowania często pozwala na znaczne zmniejszenie kosztów oraz przyspieszenie procesu wprowadzania nowego produktu na rynek.

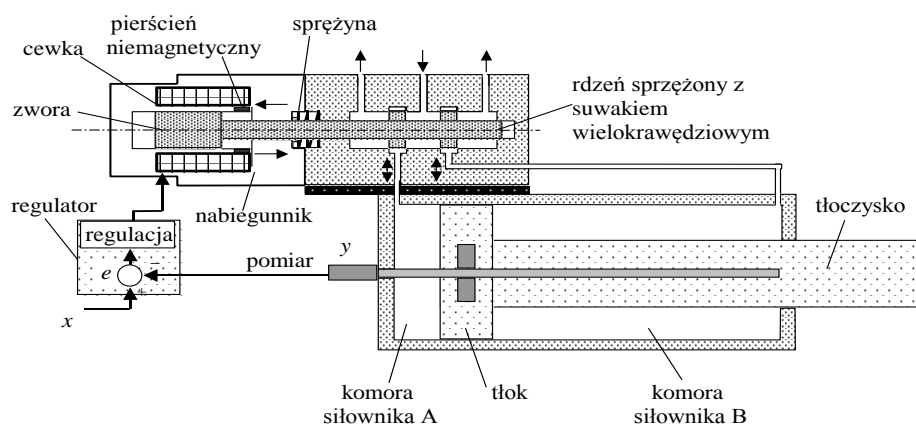
Serwonapęd jest to urządzenie, w którym wzmacniana jest mała wielkość wejściowa i wytwarzana jest duża wielkość na wyjściu. Jeżeli sygnałem wejściowym x jest sygnał elektryczny, a wyjściowym y przesunięcie siłownika hydraulicznego, przy czym na wyjściu generowana jest dużo większa moc, to mowa jest o serwonapędach elektrohydraulicznych [Milecki A., 1999, Milecki A., 2003]. Cechą charakterystyczną tych układów jest to, że pracują one w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.



Rys. 1. Schemat blokowy serwonapędu

Rozpatrując dowolny serwonapęd elektrohydrauliczny wyróżnia się w nim dwie zasadnicze części. Pierwszą z nich jest sterowny sygnałem elektrycznym zawór, w którym przesunięcie suwaka powoduje powstanie szczelin i przepływ cieczy roboczej do siłownika. W technice serwonapędów elektrohydraulicznych często stosowane są zawory proporcjonalne (rys. 2). Główną ich zaletą jest możliwość bezstopniowej regulacji natężenia przepływu lub ciśnienia cieczy roboczej. Podstawowym elementem takiego zaworu jest elektromagnes proporcjonalny. Przesunięcie jego rdzenia jest wprost

proporcjonalne do prądu płynącego w cewkach elektromagnesu. Do rdzenia przyłączony jest suwak wielokrawędziowy, którego zadaniem jest otwieranie i zamykanie przepływu cieczy roboczej w zaworze. W zależności od kierunku wychylenia suwaka ciecz robocza kierowana jest do jednej z komór siłownika (na rys. 2 do komory A lub B), czego skutkiem jest wsuw lub wysuw tłoka. Dzięki zaworowi można osiągnąć bardzo duże wzmocnienia energii sygnału wyjściowego do wejściowego – nawet do 10^6 [Milecki A., 1999, Milecki A., 2003].



Rys. 2. Schemat serwonapędu elektrohydraulicznego

Drugi element serwonapędu elektrohydraulicznego stanowi siłownik hydrauliczny, który jest stopniem wyjściowym serwomechanizmu. Charakteryzuje się on bardzo wysokim poziomem niezawodności działania, prostą konstrukcją oraz dużą trwałością. Dodatkowo może wykonywać on liniowy ruch roboczy o dużym skoku (nawet ponad kilka metrów) wywierając dużą siłę.

2. LINIOWY MODEL SERWONAPĘDU ELEKTROHYDRAULICZNEGO

W badaniach wykorzystano model siłownika 3 rzędu [Pizoń A., 1995], którego transmitancja stanowi szeregowe połączenie elementu oscylacyjnego i całkującego opisanego wzorem (1).

$$G(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k_s \omega_s^2}{s(s^2 + 2\zeta_s \omega_s s + \omega_s^2)} \quad (1)$$

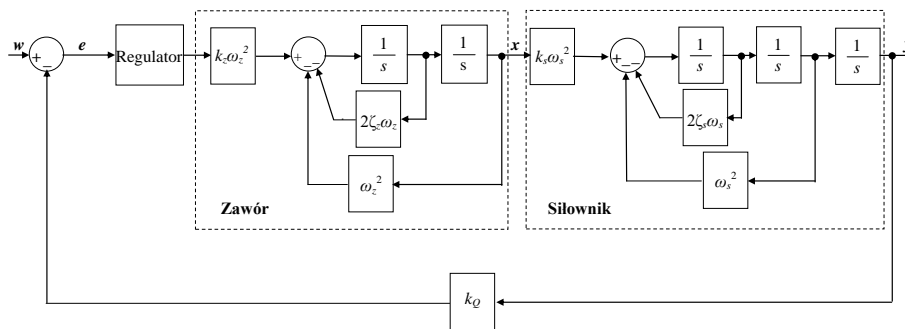
gdzie: y – sygnał przesunięcia siłownika, x – sygnał przesunięcia suwaka wzmacniacza hydraulicznego (zaworu), k_s – współczynnik wzmocnienia siłownika, ω_s – pulsacja drgań własnych, ζ_s – współczynnik tłumienia.

Zawór proporcjonalny zasymulowano za pomocą elementu drugiego rzędu o transmitancji:

$$G(s) = \frac{x(s)}{w(s)} = \frac{k_z \omega_z^2}{s^2 + 2\zeta_z \omega_z s + \omega_z^2} \quad (2)$$

gdzie: x – sygnał przesunięcia suwaka wzmacniacza hydraulicznego (zaworu), w – sygnał zadany, k_z – współczynnik wzmocnienia zaworu, ω_z – pulsacja drgań własnych, ζ_z – współczynnik tłumienia zaworu.

Schemat blokowy modelu serwonapędu elektrohydraulicznego z zaworem, opisanego zależnościami (1) i (2) pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat modelu serwonapędu elektrohydraulicznego

Parametry transmitancji można określić na podstawie danych zawartych w katalogach. Przytaczane były też one w publikacjach [Milecki A., 1999, Milecki A., 2003, Pizoń A., 1995]. Podczas symulacji transmitancja serwonapędu wyrażona była wzorem (3), a transmitancja zaworu proporcjonalnego zależnością (4).

$$G(s) = \frac{12000}{s^3 + 40s^2 + 10000s} \quad (3)$$

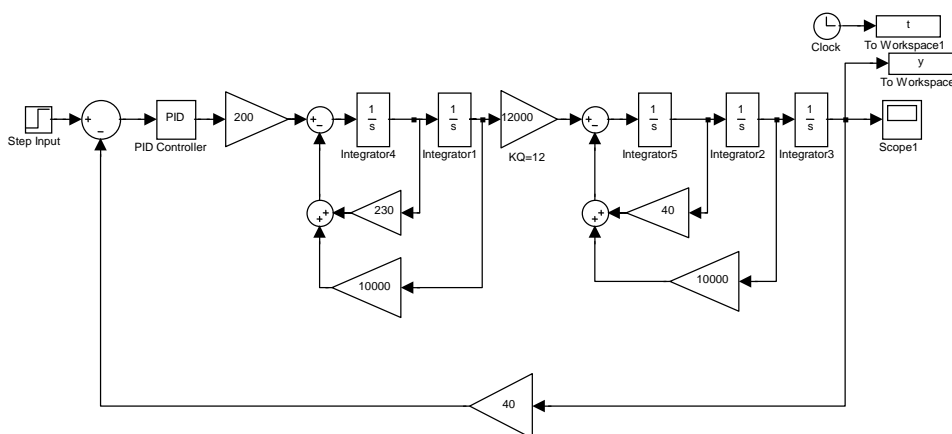
$$G(s) = \frac{200}{s^2 + 230s + 10000} \quad (4)$$

3. OPIS PAKIETU MATLAB

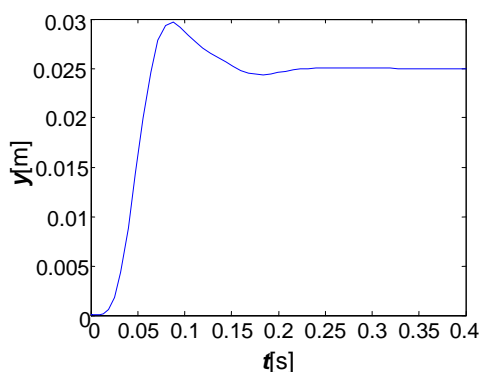
Matlab to oprogramowanie oferowane przez firmę Mathworks. Jest to środowisko obliczeniowe, integrujące w sobie analizę numeryczną, działania na macierzach oraz przetwarzanie sygnałów na grafikę. Możliwości Matlab'a rozszerzają przyborniki (*Toolbox*), będące zbiorem dodatkowych funkcji przeznaczonych do rozwiązywania

zagadnień z określonych dziedzin (np. z dziedziny teorii regulacji i sterowania, optymalizacji układów). Oprogramowanie to jest znane i chyba najczęściej używane przez środowisko naukowe do symulacji różnego rodzaju układów, i w związku z tym nie będzie ono szerzej opisywane. Natomiast wyniki symulacji uzyskane dzięki niemu zostaną potraktowane jako wzorcowe do porównania z wynikami symulacji z PSpice'a i VisSim'a.

Z punktu widzenia symulacji układów sterowania serwonapędów elektrohydraulicznych, ważnym elementem Matlab'a jest Simulink. Toolbox ten stanowi graficzne rozszerzenia Matlab'a i służy do analizy układów dynamicznych. Jest to środowisko, w którym symulacje układów wykonuje się w oparciu o schemat blokowy, wykonany na podstawie modelu matematycznego. Modele buduje się z wykorzystaniem wcześniej zdefiniowanych w bibliotekach Simulinka bloków. W Simulinku istnieje też możliwość tworzenia nowych bloków, które mogą realizować funkcje zaimplementowane przez użytkownika. Funkcje te przechowywane są jako m.pliki, a składnia ich bardzo zbliżona jest do języka C. Schemat układu serwonapędu elektrohydraulicznego z zaworem proporcjonalnym wykonany w programie Simulink przedstawia rys. 4, a wykres odpowiedzi na skok jednostkowy widoczny jest na rys. 5.



Rys. 4. Schemat liniowego serwomechanizmu elektrohydraulicznego 5 rzędu z regulatorem PID wykonany w programie Simulink



Rys. 5. Odpowiedź układu na skok jednostkowy uzyskana z symulacji w programie Simulink

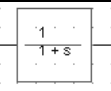
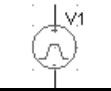

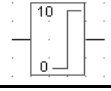
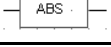
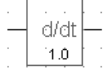
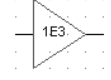
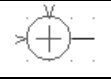
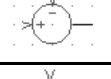

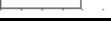
4. MOŻLIWOŚCI SYMULACJI UKŁADÓW DYNAMICZNYCH W PROGRAMIE PSpICE

Program wywodzi się ze standardu Spice opracowanego na Uniwersytecie Berkeley i przez dłuższy czas był rozprowadzany przez firmę MicroSim [Izydorczyk J., 1993, Król A., 1998]. Istotną różnicę pomiędzy Simulinkiem a PSpice'm stanowi to, że w Simulinku, bloki z których buduje się schemat układu stanowią w większości funkcje matematyczne, w PSpice natomiast są to modele elementów elektronicznych. Wiąże się to z przeznaczeniem programu PSpice, który znajduje przede wszystkim zastosowanie w projektowaniu i optymalizacji cyfrowych i analogowych układów elektronicznych oraz w projektowaniu obwodów drukowanych.

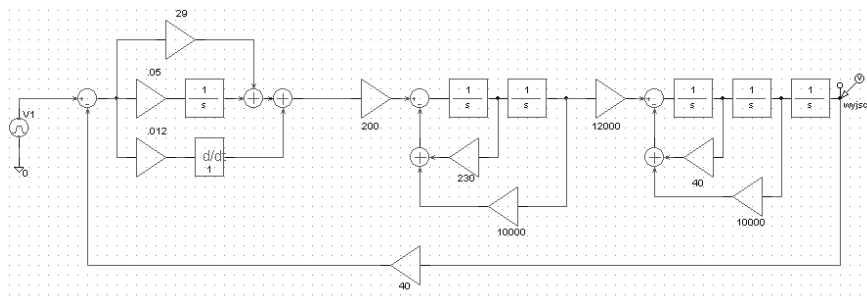
Praca z programem zaczyna się od stworzenia w podprogramie Schematic schematu badanego układu. W prosty sposób wybiera się potrzebne elementy z bibliotek programu i umieszcza je na schemacie. Wśród elementów zdefiniowanych w bibliotekach program PSpice posiada również takie, dzięki którym możemy symulować układy sterowania serwonapędów elektrohydraulicznych. Bloki te zostały umieszczone w tabeli 1.

Po umieszczeniu na schemacie wszystkich potrzebnych bloków rysuje się „ścieżki”, łącząc ze sobą odpowiednie końcówki elementów. Następnie wybiera się rodzaj symulacji i ustawia jej parametry. Kolejno uruchamia się symulację, a pakiet Probe tworzy listę połączeń i sprawdza jej poprawność. Jeżeli w schemacie lub w opcjach symulacji występują błędy, program sygnalizuje je i podpowiada jak je usunąć. Jeżeli nie ma błędów, wykonuje obliczenia i po ich wykonaniu wszystkich przedstawia je w formie wykresów.

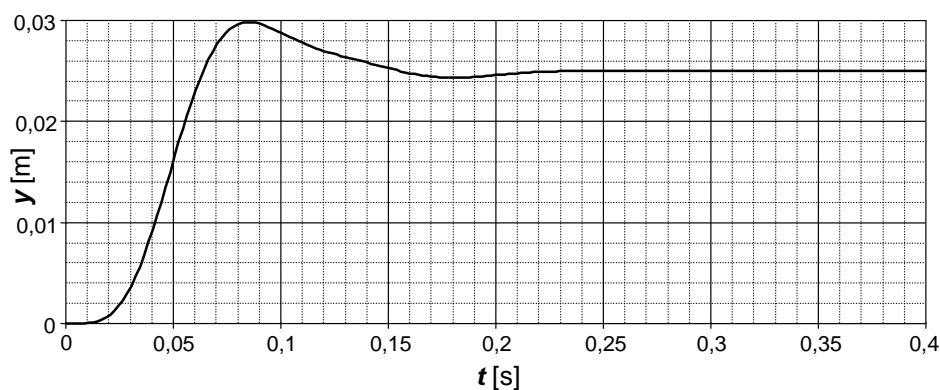
Tabela 1. Bloki programu PSpice mogące znaleźć zastosowanie w symulacji serwonapędów elektrohydraulicznych

Symbol	Nazwa	Funkcja w programie
	LAPLACE	pozwała symulować transmitancję operatorową obiektów dla różnych wzmocnień i opóźnień (do 16 rzędu)
	VPULSE	źródło napięcia o regulowanym czasie opóźnienia T_d , czasie narastania T_r i opadania T_f , czasie trwania stanu wysokiego PW i okresie przebiegu PER
	CONST	stała
	LIMIT	dyskryminator amplitudy, przepuszcza tylko sygnały zawarte pomiędzy dolną a górną granicą, zdefiniowaną przez użytkownika
	ABS	wartość bezwzględna
	DIFFER	różniczka
	GAIN	wzmocnienie
	SUM	węzeł sumujący
	DIFF	węzeł odejmujący
	MULT	mnożenie
	SQRT	pierwiastkowanie

Na podstawie wykresów można wykonać analizę wyników symulacji wybierając konkretne punkty i odczytując ich współrzędne lub przeprowadzając np. rozkład Fouriera. Schemat badanego układu wykonany w programie PSpice przedstawia rys. 6, a odpowiedź na skok jednostkowy widoczna jest na rys. 7.



Rys. 6. Schemat liniowego serwonapędu elektrohydraulicznego 5 rzędu z regulatorem PID wykonany w programie PSpice



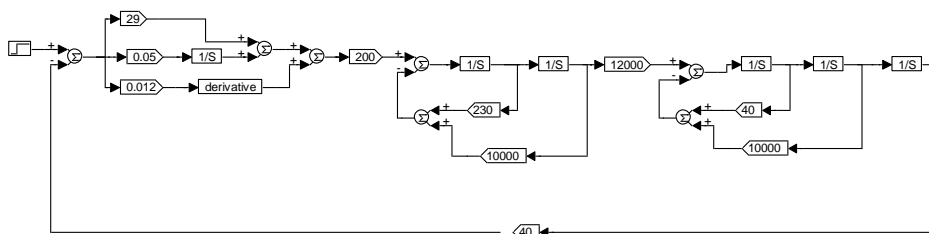
Rys. 7. Odpowiedź układu na skok jednostkowy uzyskana podczas symulacji w programie PSpice

Wartością mierzoną w badanym układzie jest napięcie, należy jednak pamiętać, że symulowany układ jest to schemat blokowy serwonapędu elektrohydraulicznego, w którym w miejscu podłączenia woltomierza występuje przesunięcie liniowe. Na wykresie więc należało zmienić jednostki na osi Y z V na m.

5. MOŻLIWOŚCI SYMULACJI UKŁADÓW DYNAMICZNYCH W PROGRAMIE VISSIM

Vissim jest programem stworzonym przez firmę Visual Solutions. Jest narzędziem umożliwiającym modelowanie i symulację systemów dynamicznych począwszy od układów mechanicznych, a skończywszy na symulacji działania żywych organizmów. Posiada interfejs korzystający z gotowych, umieszczonych w bibliotekach bloków. Biorąc pod uwagę bloki umieszczone w bibliotekach VisSima można zauważyć, że są one bardzo podobne do bloków Simulinka. O podobieństwach VisSim'a i Matlaba

świadczą może też to, że posiada on narzędzia do konwersji symulacji w Matlabie lub Simulinku na symulacje w VisSimie (VisSim/MATLAB Integration i VisSim/SIMULINK Translator). Można w nim też tworzyć dodatkowe funkcje i wprowadzać je do badanego układu w formie plików .DLL przy pomocy elementu UserFunction. VisSim może też pobierać dane zewnętrzne i importować je do badanego układu (przy pomocy funkcji IMPORT) w formie plików (.DAT, .M, .MAT, lub .WAV). Występują w nim także elementy, dzięki którym w prosty sposób możemy tworzyć układy sterowania serwonapędów elektrohydraulicznych. Bloki te pokazane są w tabeli 2. Schemat badanego układu wykonany w programie VisSim przedstawia rys. 8.

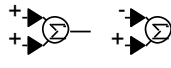


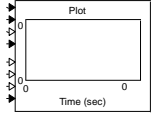





Rys. 8. Schemat liniowego serwomechanizmu elektrohydraulicznego 5 rzędu z regulatorem PID wykonany w programie VisSim

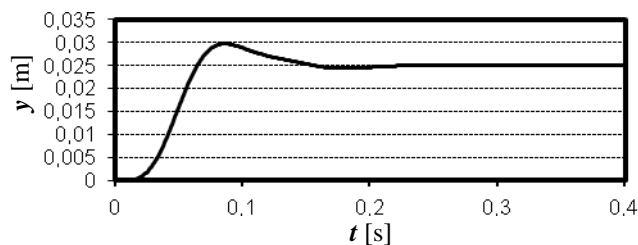
Praca z programem VisSim jest niemal identyczna jak praca z Simulinkiem. Różnice są jedynie w wyglądzie interfejsu graficznego, kształcie i ilości dostępnych w bibliotekach bloków.

Tabela 2. Bloki programu VisSim mogące znaleźć zastosowanie w symulacji serwomechanizmów elektrohydraulicznych [11]

Symbol	Nazwa	Funkcja w programie
	TRANSFER FUNCTION	element pozwalający symulować transmitancję operatorową obiektów wszystkich rzędów; $y = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} \dots a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} \dots b_1 s + b_0} x$
	STEP	źródło sygnału skokowego
	CONST	stała
	LIMIT	dyskryminator amplitudy
	ABS	wartość bezwzględna
	INTEGRATOR	element całkujący
	DERIVATIVE	element różniczkujący
	GAIN	wzmocnienie

Symbol	Nazwa	Funkcja w programie
	SUMMING JUNCTION	węzeł sumacyjny, do którego oba sygnały wchodzi z znakiem dodatnim, prawy przycisk myszy+CTRL zmienia znak przy konektorze
	MULTIPLY	mnożenie
	SQRT	pierwiastkowanie
	PLOT	wykres, służy do wizualizacji przebiegów w badanych układach
	TIME DELAY	element wprowadzający do układu opóźnienie o wartości równej stałej CONST przyłączonej do końcówki t ; sygnał w tym elemencie podaje się na wejście x
	SIGN	funkcja $y=\text{sgn}(x)$
	DEADBAND	martwa strefa

Wykres odpowiedzi na skok jednostkowy wykonany w programie VisSim widoczny jest na rys. 9



Rys. 9. Odpowiedź układu na skok jednostkowy uzyskana podczas symulacji w programie VisSim

6. MODELOWANIE NIELINIOWOŚCI

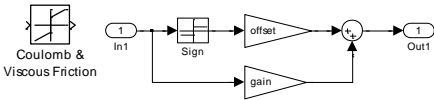
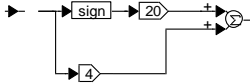
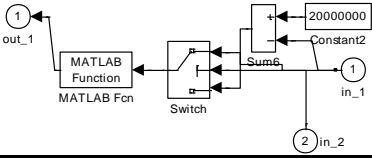


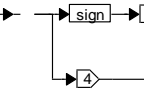




W pracy skupiono się na porównaniu możliwości symulacji w programach Matlab, PSpice i VisSim następujących nieliniowości serwonapędów elektrohydraulicznych:

1. Tarcie.

2. Pierwiastkowa charakterystyka przepływu.
3. Przekrycie zaworu (dodatnie i ujemne).
4. Ograniczenia występujące w układzie (ograniczenie ciśnienia i ruchu).

Tabela 3 przedstawia sposoby symulacji nieliniowości w poszczególnych programach.

Tabela 3. Możliwości modelowania nieliniowości w programach Matlab/Simulink, PSpice i VisSim

Rodzaj nieliniowości	Program	Nazwa bloku	Symbol
Tarcie Coulombowskie	Matlab/Simulink	Coulomb & Viscous Friction	
	PSpice		Brak możliwości wykonania układu, w programie nie ma bloku realizującego funkcję signum
	VisSim		
Charakterystyka pierwiastkowa przepływu	Matlab/Simulink		
	PSpice		Brak możliwości wykonania układu, w programie nie ma bloku realizującego funkcję switch
	VisSim		Brak możliwości wykonania układu, w programie nie ma bloku realizującego funkcję switch
Przekrycie	Matlab/Simulink	Coulomb & Viscous Friction Dead Zone	Przekrycie ujemne  Przekrycie dodatnie 
	PSpice		Brak możliwości wykonania układu, w programie nie ma bloków realizujących w/w funkcje
	VisSim		Przekrycie ujemne  Przekrycie dodatnie 
Ograniczenia	Matlab/Simulink	saturation	
	PSpice	limit	
	VisSim	limit	

7. DOBÓR PARAMETRÓW I SYMULACJA UKŁADÓW STEROWANIA NAPIĘDAMI ELEKTROHYDRAULICZNYMI

7.1. Porównanie metody PID ze sterowaniem LQR

W badaniach modelu z rys. 3 początkowo wykorzystano dwa sposoby sterowania. Pierwszym z nich było sterowanie typu PID [Pułaczewski J., 2000], w którym dobór nastaw regulatora wykonano metodą Zieglera-Nicholsa. Aby dobrać nastawy w tej metodzie, zwiększa się wzmocnienie K_p , doprowadzając model do stanu niestabilności (przy $T_i=\infty$ i $T_d=0$). Wzmocnienie, przy którym obiekt się wzbudzi to tzw. wzmocnienie krytyczne K_{pk} , a czas drgań to okres oscylacji krytycznych T_k . Następnie na podstawie zależności: $K_p=0,6K_{pk}$, $T_i=0,5T_k$ i $T_d=0,12T_k$ dobiera się nastawy regulatora.

Drugi algorytm – LQR, to algorytm regulacji z minimalnym kwadratowym wskaźnikiem jakości. Aby dokonać regulacji tą metodą należy stworzyć model obiektu, w którym mierzone są wszystkie zmienne stanu. W modelu takim zależność sygnału wyjściowego od wejściowego opisana jest przy pomocy macierzy A, B, C, D, które nazywają się macierzami stanu. Do stworzenia modelu stanu obiektu opisanego wzorem (5) wykorzystano metodę bezpośrednią [Kaczorek T., 1977]. Wyznaczono macierze:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2\zeta_s\omega_s & -\omega_s^2 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C = [k_s\omega_s^2 \quad 0 \quad 0]; D = [0] \quad (5)$$

Macierze wyznaczone tą samą metodą dla modelu stanu serwonapędu piątego rzędu (zaworu opisanego wzorem (2) i serwonapędu opisanego wzorem (1)) są następujące:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\omega_z^2\omega_s^2 & -(2\omega_z\zeta_z\omega_s^2 + 2\omega_s\zeta_s\omega_z^2) & -(\omega_z^2 + 4\zeta_z\omega_z\zeta_s\omega_s + \omega_s^2) & -(2\omega_z\zeta_z + 2\omega_s^2\zeta_s) & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$B = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T; C = [k_s\omega_s^2 k_z\omega_z^2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]; D = [0]$$

Dobór nastaw regulatora LQR można przeprowadzić dwiema metodami. Pierwszą z nich jest metoda analityczna, w której wyznacza się kwadratowy wskaźnik jakości regulacji opisany zależnością:

$$J = \int_0^{\infty} [qy^2(t) + ru^2(t)] \cdot dt \quad (7)$$

Uzyskuje się tym sposobem regułę sterowania opisaną wzorem:

$$u = -[k_{r5}y^{(5)} + k_{r4}y^{(4)} + k_{r3}y^{(3)} + k_{r2}y^{(2)} + k_{r1}y^{(1)} + k_{r0}y] \quad (8)$$

Druga metoda to wykorzystanie pakietu Matlab, w którym można dla znanego modelu stanu wygenerować macierz K , której elementy są kolejnymi wartościami wzmocnienia wzmacniaczy w regulatorze LQR.

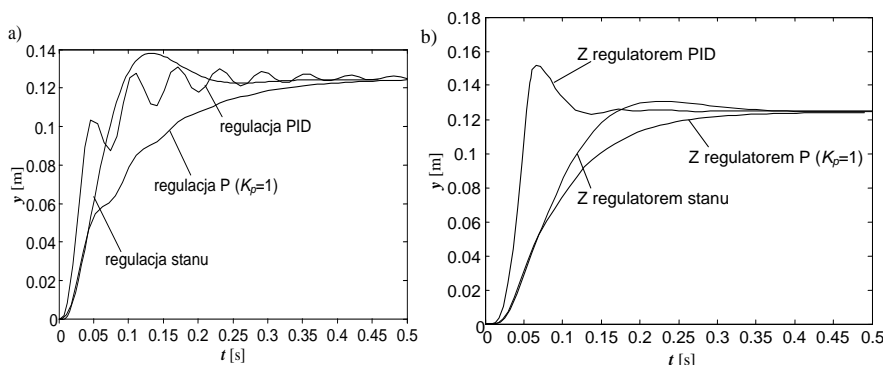
W celu sprawdzenie wpływu omówionych powyżej algorytmów regulacji na zachowanie się modelu napędu elektrohydraulicznego, w pierwszej kolejności zbadano napęd z regulatorem proporcjonalnym, w którym wzmocnienie wynosiło $K_p=1$. Następnie dodano regulator PID z nastawami dobranymi metodą Zieglera-Nicholsa. Dla modelu trzeciego rzędu wynosiły one: $K_p=3,12$, $T_i=0,0365$ i $T_d=0,00876$, a dla modelu piątego rzędu po skorygowaniu $K_p=29$, $T_i=0,05$ i $T_d=0,012$. Dla sterowania LQR nastawy regulatora wyznaczono przy pomocy pakietu Matlab. Otrzymano następujące macierze: dla modelu trzeciego rzędu:

$$K=[0,1203 \ 0,0377 \ 2,3437],$$

natomiast dla modelu piątego rzędu:

$$K=[0,5872 \ 0,6169 \ 0,5237 \ 0,7563 \ 14,0161].$$

Otrzymane odpowiedzi skokowe dla obydwóch modeli przedstawia rys. 10.



Rys. 10. Przebiegi odpowiedzi skokowej modelu trzeciego (a) i piątego (b) rzędu serwonapędu elektrohydraulicznego z regulatorem typu P ($K_p=1$), regulatorem PID i LQR uzyskane w programie Simulink

7.2. Badanie algorytmu o ruchu ślizgowym (sliding mode control)

Algorytm o ruchu ślizgowym (SMC) jest połączeniem dwóch innych metod regulacji: regulacji stanu i regulacji przekaźnikowej. Charakteryzuje się prostą zasadą działania, a poza tym jest on odporny na nieliniowości obiektu, dlatego może znaleźć zastosowanie w sterowaniu serwonapędów elektrohydraulicznych [Milecki A., 1999, Milecki A., 2003]. Uproszczony schemat regulatora SMC [Utkin V., 1974] pokazany jest na rys. 12. Przedstawia on układ sterowania objęty ujemnym sprzężeniem zwrotnym od położenia tłoka siłownika. Dla takiego regulatora można stworzyć funkcję przełączającą f , która przyjmuje wartość 0 dla uchybu $e = 0$, wartość K dla $e > 0$ oraz $-K$ dla $e < 0$.

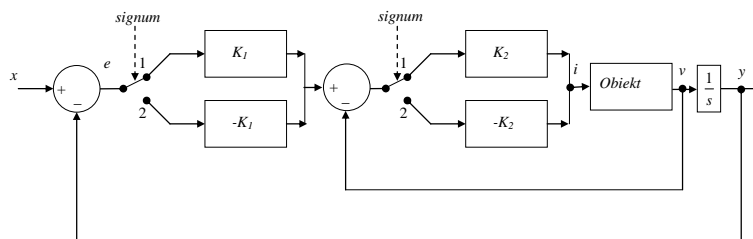
W serwonapędach zazwyczaj sygnałem wejściowym regulatora jest tylko położeniowy uchyb regulacji. W regulatorach stanu stosuje się dodatkowo prędkościowe

i przyspieszeniowe sprzężenie zwrotne. Sygnały prędkości i przyspieszenia najczęściej uzyskuje się poprzez różniczkowanie sygnału położenia (prędkość) i podwójne różniczkowanie sygnału położenia (przyspieszenie). W metodzie SMC do regulacji mogą być wykorzystane także te sygnały. Pozwala to zbudować regulator będący połączeniem regulatora przekąźnikowego z regulatorem stanu, który będzie dążył do utrzymania położenia serwonapędu w pobliżu zdefiniowanej przez projektanta tzw. powierzchni ślizgowej [Brock S., 2001].

Funkcję przełączającą, według której działa regulator SMC można też zapisać w postaci:

$$f = K_2 \cdot \text{sgn}[K_1 \cdot \text{sgn}(e) - v], \quad (9)$$

gdzie uchyb sterowania $e = x - y$.



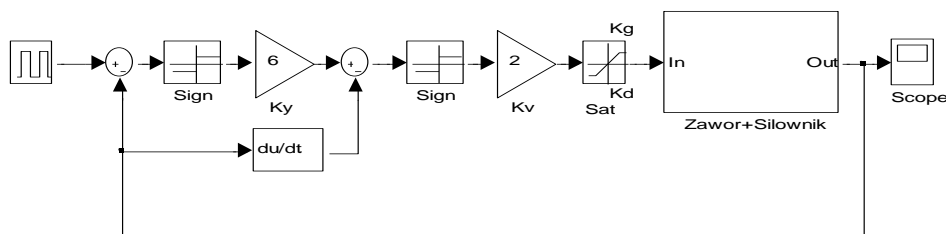
Rys. 11. Uproszczony schemat regulatora SMC.

W czasie sterowania tą metodą, w zależności od znaku sygnału uchybu regulacji oraz sygnału prędkości następuje przełączanie pomiędzy pozycją 1 i 2 przełączników. Powoduje to powstawanie, na wyjściu układu, oscylacji o dość dużej częstotliwości. Zjawisko to nosi nazwę chatteringu. Jego negatywne skutki można częściowo zmniejszyć stosując funkcję ograniczającą (saturation). Sterowanie w tym wypadku można opisać funkcją:

$$f = \text{sat}\{K_2 \cdot \text{sgn}[K_1 \cdot \text{sgn}(e) - v]\}. \quad (10)$$

Funkcja ta wprowadza warstwę ograniczającą na powierzchni ślizgowej, co powoduje ograniczenie oscylacji. Taki typ sterowania nosi nazwę sterowania miękkiego z ruchem ślizgowym SSMC (*Soft Sliding Mode Control*) i opisywany był w publikacji [Bartoszewicz A., 2001].

Rysunek 12 przedstawia układ symulacyjny regulatora SMC i model serwonapędu elektrohydraulicznego z ujemnym sprzężeniem zwrotnym pochodzącym od położenia siłownika wykonany w programie Matlab-Simulink. W układzie różniczkuje się sygnał położenia, uzyskując sygnał prędkości.



Rys. 12. Schemat modelu układu regulacji metodą SMC serwonapędu elektrohydraulicznego wykonany w programie Simulink.

Sygnal wyjściowy regulatora określony jest równaniem:

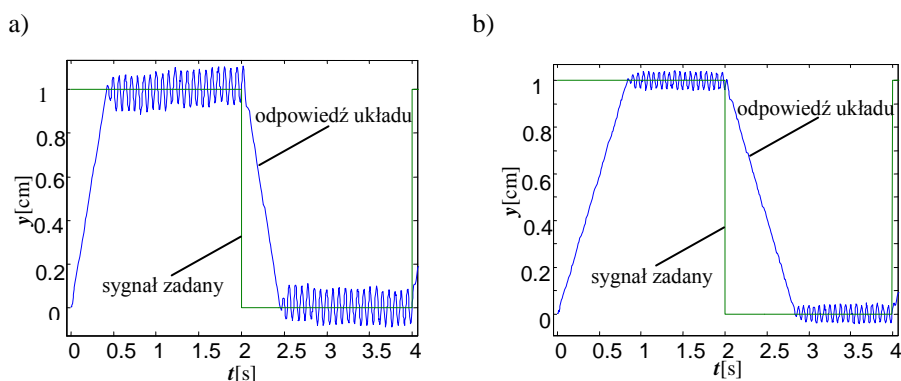
$$f = K_v \cdot \operatorname{sgn}\{K_y \cdot \operatorname{sgn}[e(t)] - v(t)\}, \quad (11)$$

gdzie:

K_y – wzmacnienie położeniowe,

K_v – wzmacnienie prędkościowe.

Dla ograniczenia zjawiska *chatteringu* w modelu wprowadzono dodatkowo blok ograniczający sygnał wyjściowy do wartości K_g i K_d [Bartoszewicz A., 2001]. Wyniki badań symulacyjnych przedstawia rys. 13.

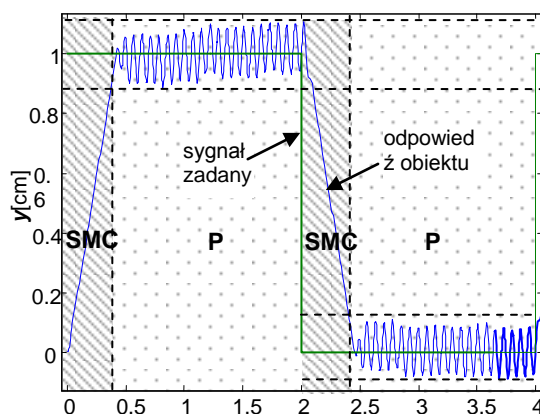


Rys. 13. Uzyskane z symulacji odpowiedzi na skok jednostkowy obiektu: a) z regulatorem SMC – *chattering*, b) obiektu z regulatorem SSMC – redukcja efektu *chatteringu*.

Zamieszczone powyżej charakterystyki pokazują odpowiedź na skok jednostkowy serwonapędu z regulatorem SMC (rys. 13a) oraz z regulatorem SSMC (rys. 13b), w którym próbowano zredukować zjawisko *chatteringu*. Jednak, jak widać z przeprowadzonych badań zjawiska tego nie udało się w pełni wyeliminować. Ponadto wprowadzenie do algorytmu regulacji dodatkowych ograniczeń negatywnie wpłynęło na czas regulacji, zwiększając go prawie dwukrotnie.

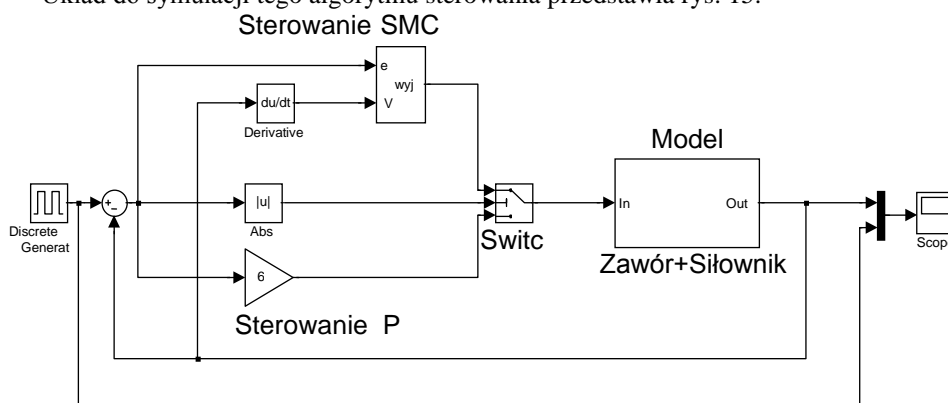
7.3. Połączenie sterowania SMC ze sterowaniem proporcjonalnym

W związku z tym, że *chattering* jest nieunikniony podczas sterowania SMC i nie udało się go w pełni zlikwidować przy pomocy wyżej opisanej metody, podjęto próbę stworzenia takiego algorytmu sterowania, w którym, w momencie, gdy zaczynają powstawać niepożądane oscylacje, następuje przełączenie algorytmu sterowania na inny, w którym te oscylacje nie występują. Aby nie komplikować procesu sterowania wybrano algorytm typu P (sterowanie proporcjonalne). Ideę sterowania połączonym algorytmem SMC-P przedstawia rys. 14. Pokazana na nim jest odpowiedź na skok jednostkowy serwonapędu elektrohydraulicznego z zaworem proporcjonalnym i regulatorem SMC. Pokazano na nim, kiedy w algorytmie SMC-P powinno nastąpić przełączenie algorytmu sterowania z SMC na proporcjonalne.



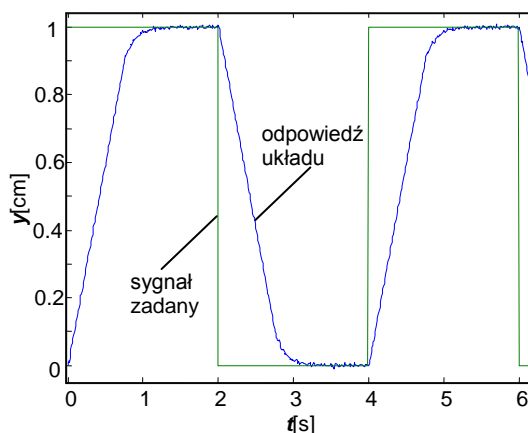
Rys. 14. Idea sterowania algorytmem SMC-P $t[s]$

Układ do symulacji tego algorytmu sterowania przedstawia rys. 15.



Rys. 15. Układ sterowania algorytmem SMC-P w programie Simulink

W układzie tym badana jest wartość bezwzględna uchybu regulacji położenia e . Jeżeli jest ona większa od pewnej progowej granicy (podczas symulacji wynosiła ona 0,1 – powinna ona być nieco większa od amplitudy oscylacji) przełącznik (*switch*) załącza algorytm SMC, natomiast, gdy jest ona mniejsza lub równa tej wartości następuje przełączenie algorytmu sterowania na proporcjonalny (P). W rezultacie badań symulacyjnych otrzymano wyniki przedstawione na rys. 16. Wynika z nich, że nowy algorytm sterowania pozwala na całkowite wyeliminowanie zjawiska *chatteringu*.



Rys. 16. Odpowiedź skokowa układu siłownik-zawór: sterowanie przełączanym algorytmem SMC-P

ZAKOŃCZENIE

Jak widać z przytoczonych przykładów programy PSpice i VisSim nadają się tylko do symulacji liniowych modeli serwonapędów elektrohydraulicznych. Nie posiadają jednak w swoich bibliotekach wystarczającej ilości bloków, co sprawia, że zupełnie nie nadają się do symulacji układów nieliniowych. Przewagą Simulinka jest też duża ilość dostępnych w toolbox'ach gotowych bloków i funkcji umożliwiających rozwiązanie konkretnych problemów np. z zakresu sterowania: regulatory PID, FUZZY, sieci neuronowe itp. Praca z wszystkimi opisanymi programami składa się z podobnych etapów: rysowanie schematu, ustawianie parametrów symulacji i sama symulacja. Wyniki symulacji otrzymane we wszystkich trzech programach są niemal identyczne.

Badania przedstawione w drugiej części artykułu dowodzą, że symulacje komputerowe mogą uprościć proces wyboru typu regulatora oraz przyspieszyć procedurę doboru jego nastaw. Dzięki symulacjom komputerowym można przetestować różne warianty sterowania nawet nie posiadając rzeczywistego napędu elektrohydraulicznego.

ANALIZA LINII PRODUKCYJNEJ DODATKÓW WSADOWYCH W PROCESIE ZAWIESINOWEGO WYTOPU MIEDZI

1. WPROWADZENIE

Przemysł górniczo-hutniczy miedzi stanowi jeden ze strategicznych filarów polskiej gospodarki. Z uwagi na swoje własności oraz stale wzrastające zapotrzebowanie rynku polska miedź znajduje szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, potęgując jednocześnie ich rozwój.

Pamiętać jednak należy, że współczesne procesy produkcyjne charakteryzują się coraz to wyższym stopniem skomplikowania/złożoności. Klienci wymagają wysokiej jakości oferowanych produktów, przy jednoczesnym zachowaniu ich jak najniższej ceny. Sytuacja taka powoduje wzrost znaczenia racjonalizacji procesów stosowanych w firmach i zakładach przemysłowych. W konsekwencji sprowadza się to do umiejętnego zarządzania przedsiębiorstwem i występującymi w nim procesami (produkcyjnymi, zarządczymi, organizacyjnymi, itp.).

W zakładach przemysłowych takich jak KGHM „Polska Miedź” S.A. (firma o zasięgu i znaczeniu globalnym) jednym ze strategicznych działań dla uzyskania najwyższego stopnia wdrożenia procesu produkcyjnego jest racjonalne wykorzystanie potencjału stosowanych maszyn i urządzeń.

W niniejszym artykule przeprowadzono wnikliwą analizę procesu przygotowania i transportu dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego oraz Pieców Konwertorowych w Oddziale Huta Miedzi „Głogów-I”.

2. DEFINIOWANIE PROBLEMU

Znaczny postęp techniczno-technologiczny jaki nastąpił w hutnictwie miedzi w ciągu ostatnich lat, stale rosnące wymagania względem jakości oferowanych produktów, a co za tym idzie konieczność zwiększania swojej konkurencyjności i utrzymania jej wysokiego poziomu na rynku. Wzrost świadomości społecznej, a także zaostrzające się stale wymagania i przepisy w zakresie ochrony środowiska naturalnego wymusiły na Zarządzie KGHM „Polska Miedź” S.A. konieczność przeprowadzenia szerokich procesów inwestycyjnych o charakterze przemysłowym.

Obejmować mają one budowę szeregu nowych obiektów budowlanych wraz przynależnymi instalacjami technologicznymi niezbędnymi dla zmodernizowania procesu produkcji miedzi w Hucie Miedzi „Głogów-I”. W ramach realizacji zadań modernizacyjnych zaplanowano zastąpienie stosowanej obecnie technologii Pieców Szybowych technologią Pieca Zawieszinowego do bezpośredniego wytwarzania miedzi blister.

Zmiana technologii Pieców Szybowych na pirometalurgię Pieca Zawieszinowego pociąga za sobą konieczność wprowadzenie szeregu zmian techniczno-technologicznych oraz organizacyjno-zarządczych w pomocniczych procesach produkcyjnych. Jednym z nich jest proces przygotowania i transportu dodatków wsadowych dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego oraz Pieców Konwertorowych.

Realizacja całości przedsięwzięcia oparta została o Koncepcję Modernizacji Pirometalurgii. Jednym z przewidzianych w niej zadań inwestycyjnych jest modernizacja Wydziału Przygotowania Wsadu P-1. Propozycje rozwiązań techniczno-technologicznych Wydziału Przygotowania Wsadu charakteryzują znaczne ograniczenia czasowe. Przykładem takiej sytuacji jest Linia Przygotowania i Transportu Dodatków Wsadowych do Pieca Elektrycznego i Pieców Konwertorowych. Z uwagi na zwartą zabudowę Wydziału Przygotowania Wsadu realizacja koncepcji programowo przestrzennej w jego zakresie wiąże się w szczególności z wykorzystaniem eksploatowanych obecnie maszyn i urządzeń oraz obiektów technologicznych wraz ich doposażeniem w nowe niezbędne jednostki lub węzły produkcyjne.

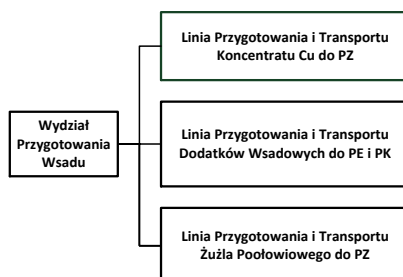
Przewidywany w koncepcji zakres zadania inwestycyjnego nie wykorzystuje – zdaniem autorów pracy – pełnego potencjału Wydziału P-1 oraz wszystkich możliwości optymalizacji procesu, wynikających ze struktury oraz topografii H.M. „Głogów-I”.

Z tego też względu, przeprowadzono poniższą analizę w celu dalszej optymalizacji procesu przygotowania i transportu dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego oraz Pieców Konwertorowych w H.M. „Głogów-I”.

3. ANALIZA PROCESU PRZYGOTOWANIA I TRANSPORTU DODATKÓW WSADOWYCH DO PIECA ELEKTRYCZNEGO I PIECÓW KONWERTOROWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM PARKU MASZYNOWEGO.

Dla potrzeb technologii produkcji miedzi z zastosowaniem w H.M. „Głogów - I” Pieca Zawieszinowego profil produkcji Wydziału Przygotowania Wsadu (Rys. 1.) obejmuje:

- a) Przygotowanie i transport Koncentratu Cu oraz Żuźla Poolowiowego do Pieca Zawieszinowego,
- b) Przygotowanie i transport dodatków procesowych (wsadowych) do:
 - **Pieca Elektrycznego** (koks, kamień wapienny, żużel stały),
 - **Pieców Konwertorowych** (koks, kamień wapienny, piasek kwarcytowy).



Rys. 1. Struktura produkcji WPW (opracowanie własne wg materiałów wewnętrznych firmy 2009).

Ze względu na zastosowanie nowej technologii produkcji miedzi wyszczególnione powyżej materiały wsadowe wymagają odpowiedniego przygotowania do procesu w następującym zakresie (materiały wewnętrzne firmy):

- Organizacji, przyjmowania dostaw oraz magazynowania dostarczonych materiałów – **Magazyn Surowców**,
- Uzyskania odpowiedniej wilgotności poprzez suszenie (koks, kamień wapienny, piasek kwarcytowy) oraz magazynowania wysuszonych materiałów – **Węzeł Suszenia Dodatków Wsadowych** wraz z **Magazynem Zapasu Dodatków Wsadowych**,
- Uzyskania wymaganego uziarnienia oraz jego magazynowania (żużel stały) – **Węzeł Kruszenia Żuźła** wraz z **Magazynem Zapasu Żuźła**,
- Podania przygotowanych dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego i Pieców Konwertorowych – **Ciągi podawania dodatków wsadowych**.

3.1. Magazyn surowców

Do realizacji dostaw, rozładunku i magazynowania surowców (mokre dodatki wsadowe) wykorzystano istniejący Magazyn Surowców. Po wstępnej ocenie obiekt spełnił warunki na przyjęcie, rozładunek oraz magazynowanie: koksu, kamienia wapiennego, piasku kwarcytowego oraz żuźła stałego. Wymagane jest jednak, aby nawa magazynu podzielona została na odrębne rejony (pola składowania) poszczególnych surowców.

Ilości materiałów wsadowych przyjmowanych na magazyn surowców przedstawia się następująco:

– Koks	39 134 t/rok
– Kamień wapienny	73 229 t/rok
– Piasek kwarcytowy	11 997 t/rok
– Żużel stały	40 399 t/rok

Dostawa koksu i kamienia wapiennego do Magazynu Surowców odbywa się tak, jak obecnie tj. transportem kolejowym wagonami samo rozładowniczymi. Rozładunek obu surowców następuje do zasieków magazynowych usytuowanych wzdłuż torów – wysyp z wagonów nastąpi po otwarciu luków rozładowniczych. Przeładunek suwnicą

chwyதாகową w docelowy rejon składowania oraz do nowych zbiorników przelotowo-magazynowych dla koksu i kamienia wapiennego (Juran J. M., Gryna F. M., 1998).

Dostawa piasku odbywa się transportem samochodowym - samochodami samo rozładowniczymi - bezpośrednio do zasięgu magazynowego w nawie magazynu surowców. Przeladunek suwnicą chwyதாகową w rejon nowych zbiorników przelotowo-magazynowych pisaku.

Żużel stały dostarczany jest z Oczyszczalni Kadzi transportem kolejowym. Jego magazynowanie odbywa się tak, jak obecnie na Magazynie Surowców.

Wszystkie w/w surowce dostarczane są do Magazynu surowców w formie sypkiej i/lub kawałkowej (materiałów wewnętrznych firmy, 2010).

3.2. Węzeł suszenia dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego i Pieców Konwertorowych

Grupę dodatków wsadowych dla potrzeb technologicznych PE stanowią koks, kamień wapienny oraz żużel stały. Dla potrzeb technologicznych PK obok koksu i kamienia wapiennego istotnym dodatkiem procesowym jest piasek kwarcytowy (materiały wewnętrzne firmy, 2010).

Wszystkie w/w dodatki wsadowe (oprócz żużla stałego) przed podaniem do Pieca Elektrycznego lub Pieców Konwertorowych muszą zostać wysuszone do zawartości 3 ÷ 4 [%] H₂O [8; 9]. Dla potrzeb suszenia dodatków wsadowych do wymaganego poziomu wilgotności zaadoptowany został istniejący zespół nr 5 suszarni obrotowo – bębnowej linii brykietowania koncentratów Cu łącznie z nawą hali brykietowni, w której jest ona zabudowana. Wykorzystana część nawy hali brykietowni zagospodarowana jest zespołem nowych urządzeń i obiektów technologicznych służących do załadunku surowców do suszarni oraz odbioru wysuszonych dodatków wsadowych.

Dla transportu dodatków wsadowych do Węzła Suszenia zaproponowano wykonanie i zabudowę trzech nowych zbiorników magazynowo przelotowych zabudowanych w nawie Magazynu Surowców łącznie z zespołem odbioru składającym się z 3 szt. podajników wibracyjnych S-1, S-1a, S-1b oraz przenośnika taśmowego S-2. Odebrane ze zbiorników - mokre dodatki wsadowe (piasek, koks i kamień wapienny) – podane zostaną na istniejący przenośnik taśmowy T-135. Adaptacja przenośnika T-135 polega na jego skróceniu oraz jego częściowej modernizacji łącznie z galerią transportową. Nowa część galerii wprowadzona zostanie na poziom eksploatowanych aktualnie mieszalników dwuwałowych do istniejącej nawy Hali Suszarni Obrotowych. Transportowane przenośnikiem taśmowym T-135 materiały trafią następnie na przenośniki taśmowy S-3, a z niego do walczaka suszarni obrotowej linii nr 5, gdzie nastąpi proces ich suszenia do wymaganej wilgotności.

Suszarnia Koncentratu Cu nr 5 podlega modernizacji. Zakres jej modernizacji obejmował będzie jedynie wymianę wewnętrznego wyposażenia walczaka suszarni. Łańcuchy zastąpione zostaną celkami przesypowo-suszającymi. Rozwiązanie to wynika bezpośrednio ze zmiany przeznaczenia przedmiotowej suszarni 95.27 Firmy Makrum z Bydgoszczy tj. suszenie koksu, kamienia wapiennego oraz piasku kwarcytowego

zamiast koncentratu Cu. W wyniku takiego postępowania powstanie nowy obiekt technologiczny – Suszarnia Dodatków Wsadowych.

Układ odbioru wysuszonych dodatków wsadowych zapewnia następujące możliwości ich odbioru:

- a) Bezpośredni odbiór suchego koksu, kamienia wapiennego oraz piasku na ciąg podawania dodatków wsadowych do Pieców Konwertorowych,
- b) Bezpośredni odbiór suchego koksu oraz kamienia wapiennego na ciąg podawania dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego,
- c) Bezpośredni odbiór suchego koksu, kamienia wapiennego oraz piasku na Magazyn Zapasu Dodatków Wsadowych (obecnie Magazyn Zapasu Brykietów).

W przypadku konieczności bezpośredniego odbioru wysuszonego koksu lub kamienia wapiennego z suszarni na ciągi transportowe do Pieca Elektrycznego lub Pieców Konwertorowych strumień określonego materiału kierowany będzie z odbieralnika suszarni na przenośnik S-4 oraz S-5. Następnie za pośrednictwem przesypów dwudrogowych trafi - w zależności od aktualnych potrzeb technologicznych PE lub PK na jeden istniejący istniejących przenośników taśmowych:

- na T-101 (transport do zbiorników nadawczych nad PK),
- na T-102 (transport do zbiorników nadawczych nad PE),

W celu podania wysuszonego koksu lub kamienia wapiennego z suszarni do Magazynu Zapasu Dodatków Wsadowych strumień materiału po przejściu przez nowoprojektowane przenośniki taśmowe S-4 oraz S-5 skierowany zostanie na istniejący taśmowy przenośnik rewersyjny T-103. Następnym ogniwem transportowym są eksploatowane obecnie na WPW przenośniki taśmowe T-130 i T-131, z których transportowane materiały trafią bezpośrednio do odpowiednich zbiorników przelotowo - magazynowych Magazynu Zapasu Dodatków Wsadowych (obecnie Magazyn Zapasu Brykietów).

Odbiór wysuszonego piasku kwarcytowego z odbieralnika suszarni na ciąg transportowy do zbiorników nadawczych nad PK odbywa się podobnie jak odbiór koksu i kamienia wapiennego tzn. poprzez przenośniki S-4 oraz S-5, następnie za pośrednictwem przesypów dwudrogowych piasek trafia na przenośnik taśmowy T-101.

Transport suchego piasku do Magazynu Zapasu rozwiązano za pośrednictwem zespołu pompy pneumatycznej. Odebrany z suszarni piasek po przejściu przez przenośniki taśmowe S-4, S-5, T-103 oraz przenośnik kieszeniowy S-6 do transportu pionowego zmagazynowany zostanie w zbiorniku, z którego poprzez zespół roboczy pompy pneumatycznej przetransportowany zostanie do zasobników piasku w Magazynie Zapasu Dodatków Wsadowych (materiały wewnętrzne firmy, 2010).

3.3. Ciąg podawania dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego wraz z Węzłem Kruszenia Żuźła

W rejon PE dodatki wsadowe koks, kamień wapienny oraz żużel podawane będą zespołem przenośników taśmowych: istniejącego T-102 oraz nowoprojektowanych C-1, C-2, C-3.

Żużel stały pobierany jest ze zbiorników przelotowo-magazynowych Magazynu Surowców za pośrednictwem dwóch przenośników stalowo-członowych. Przed podaniem żużla do PE wymaga on kruszenia do granulacji $0\div 150$ [mm] na istniejącym i w całości zaadoptowanym do tego celu Węźle Kruszenia Żużla (kruszarce szczękowe). Otrzymany w wyniku kruszenia żużel podawany będzie za pośrednictwem przenośnika taśmowego T-6 do zbiorników przelotowo-magazynowych Magazynu Zapasu Żużla. Następnie po przejściu przez zespół podajników wibracyjnych oraz wybierające przenośniki taśmowe T-8; T-8A trafi na ciąg podawania dodatków wsadowych do PE (materiały wewnętrzne firmy).

3.4. Ciąg podawania dodatków wsadowych do Pieców Konwertorowych

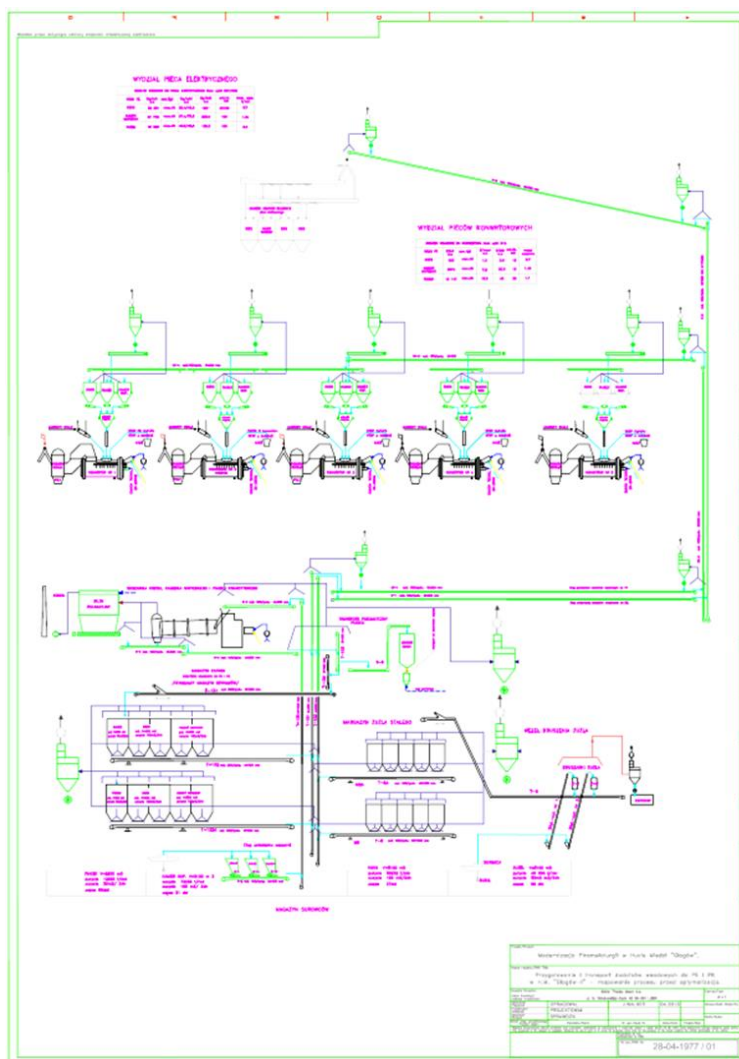
W rejon Pieców Konwertorowych dodatki wsadowe (koks, kamień wapienny oraz piasek kwarcytowy) podawany jest pojedynczym ciągiem przenośników taśmowych zabudowanych we wspólnej galerii z ciągiem transportowym dodatków do Pieca Elektrycznego. Ciąg ten składa się z przenośników taśmowych: istniejącego przenośnika T-101 (poddanego skróceniu i częściowej modernizacji) oraz przenośników nowoprojektowanych: CK-1, CK-2, CK-3, CK-4. Przenośnik CK-4 będzie przenośnikiem taśmowym przejezdny (rewersyjny) przeznaczonym do bezpośredniego załadunku nowych zbiorników magazynowo nadawczych kamienia wapiennego, piasku oraz koksu. Zbiorniki te usytuowane zostały nad każdym z 5-ciu pieców konwertorowych w Hali Wydziału Ogniwego.

Namiarowanie dodatków procesowych do PK odbywać się będzie przez zbiorniki namiarowe wyposażone w wagowy zespół tensometryczny, od którego przez układ automatyki (sterownik programowalny po zadaniu ilości) uruchamiane będą podajniki wibracyjne zasilające istniejący zespół zasypowy konwertora. Obsługa lokalna układu namiarowania realizowana będzie ze sterówki konwertora.

3.5. Odpylanie i odciągi miejscowe

W celu zmniejszenia emisji czynników szkodliwych do otoczenia takich jak: pyły oraz zanieczyszczone gazy procesowe wszystkie ciągi transportowe w rejonie stacji przesypowych oraz pozostałe obiekty technologiczne przewidziane w strukturze Linii przygotowania i transportu dodatków wsadowych do PK i PE wyposażone zostaną w indywidualne zespoły odpylające.

Opisany proces technologiczny przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Mapowanie procesu przed optymalizacją (opracowanie własne wg materiałów wewnętrznych firmy).

3.6. Analiza funkcji procesu

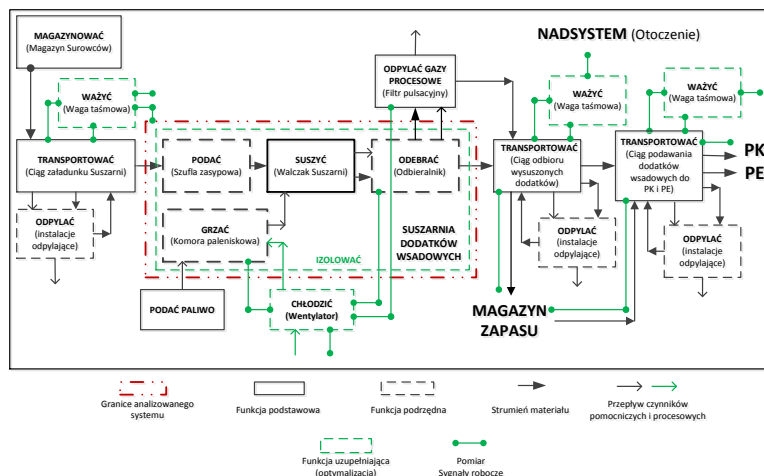
W oparciu o złożoność rozpatrywanego procesu technologicznego tj. „Przygotowanie i transport dodatków wsadowych do Pieców Konwertyrowych i Pieca Elektrycznego” oraz jego strukturę wyodrębniono następujące główne funkcje procesowe:

- Suszenie dodatków wsadowych tj. koksu, piasku kwarcytowego oraz kamienia wapiennego,
- Kruszenie żużla stałego z Oczyszczalni Kadzi,
- Transport przygotowanych dodatków wsadowych poprzez poszczególne ciągi transportowe do Pieca Elektrycznego i Pieców Konwertorowych.

Uwzględniając powiązania pomiędzy w/w funkcjami głównymi sporządzono poniższe schematy blokowe. Odzwierciedlają one poszczególne funkcje technologiczne rozpatrywanego systemu produkcyjnego w ujęciu „nadsystemu” (otoczenia zewnętrznego).

Za pomocą bloków określono poszczególne funkcje proste rozpatrywanej części procesu produkcyjnego (suszenie + transport). Każdemu z bloków przypisano istniejące i eksploatowane obecnie środki techniczne, przy użyciu, których dana funkcja jest realizowana. Przedstawione moduły wyjściowe rozbudowano także o dodatkowe funkcje operacyjne w procesie produkcyjnym.

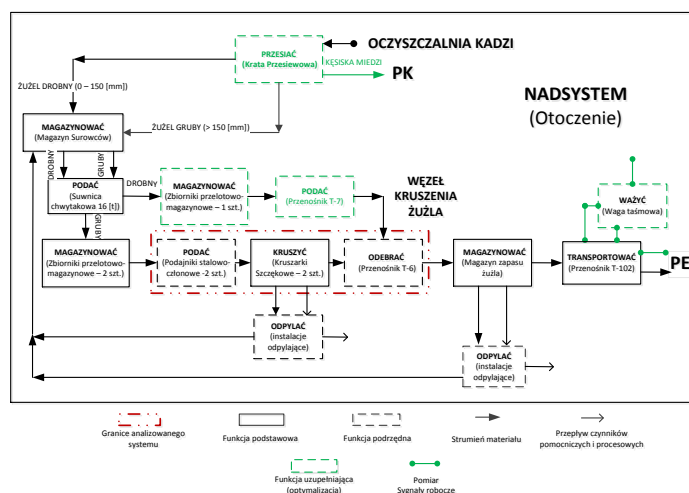
Na rys. 3. przedstawiono najlepszy schemat funkcji: „suszenie + transport”. Odzwierciedla on propozycję optymalizacji rozpatrywanego procesu.



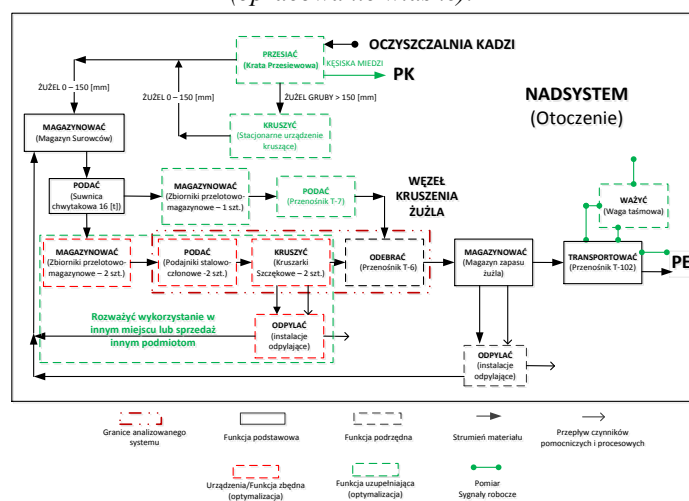
Rys. 4. Struktura funkcji „suszenie + transport” - optymalizacja (opracowanie własne).

Jak widać w podstawowy funkcyjny schemat blokowy wkomponowano trzy funkcje uzupełniające: „ważyć”, „chłodzić” oraz „suszyć”. Funkcję „ważyć” zastosowano trzykrotnie – dla każdego z ciągów transportowych oddzielnie. Przedstawienie strumienia przepływu czynników pomocniczych i procesowych oraz sprzężeń sygnałów roboczych oraz pomiarowych pomiędzy analizowanym systemem a jego otoczeniem daje pełnowartościowy obraz optymalizacji.

Postępując analogicznie dla złożenia funkcji: „kruszenie + transport” możliwe było wygenerowanie alternatywnych modułów funkcjonalnych, odzwierciedlających jednocześnie proponowane warianty optymalizacji. Przedstawiono je na rys. 4. i 5.



Rys. 4. Struktura funkcji „kruszenie + transport” – optymalizacja – wariant 1 (opracowanie własne).



Rys. 5. Struktura funkcji „kruszenie + transport” – optymalizacja – wariant 2 (opracowanie własne).

4. PROPOZYCJE ZMIAN PRZEBIEGU PROCESU ORAZ NOWYCH ROZWIĄZAŃ

Na podstawie przeprowadzonych analiz, które szczegółowo opisano w pracy dyplomowej (Mędrkowski M. 2014) oraz szczegółowej konfrontacji ich wyników z topografią Huty Miedzi „Głogów-I” (w szczególności Wydziału Przygotowania Wsadu)

opracowano propozycje zmian oraz zastosowania nowych rozwiązań technicznych dla Linii Przygotowania i Transportu Dodatków Wsadowych do Pieca Elektrycznego i Pieców Konwertorowych w H.M. „Głogów – I”. Wśród nich wskazać można:

➤ **Wykorzystanie przenośnika taśmowego T-134,**

Adaptacja przenośnika T-134 zapewni nie tylko bezpieczną strefę obsługowo – komunikacyjną w rejonie przenośnika, ale pozwoli również na zabudowę przenośnika S-2 bez konieczności zatrzymywania produkcji Wydziału Przygotowania Wsadu oraz Wydziału Pieców Szybowych. Zauważyć także należy, że wykorzystując istniejący przenośnik taśmowy T-134 ograniczymy koszty inwestycyjne – nowo zakupione przenośniki taśmowe S-2 oraz S-3 będą krótsze o ok. 2,5 [m] każdy.

➤ **Zamiana podajników wibracyjnych S-1, S-1a, S-1b na wybieracze taśmowe**

Konstrukcja podajników wibracyjnych oraz rzeczywista lokalizacja przenośnika T-135 wprowadzają duże ograniczenia w odniesieniu do możliwości zabudowy przenośnika odbiorczego S-2. Ponadto specyfika pracy podajników wibracyjnych będzie źródłem emisji do otoczenia znacznej ilości hałasu oraz pyłów transportowanych surowców. Kolejną wadą tego rozwiązania jest niski poziom żywotności podajników wibracyjnych przy zastosowaniu do transportu przewidywanych materiałów wsadowych – w szczególności piasku kwarcytowego oraz koksu. W związku powyższym, jako alternatywne rozwiązanie zaproponowano zabudowę przenośnika taśmowego S-2 poza ścianą Magazynu Surowców z równoczesną zabudową wybieraczy taśmowych w miejsce podajników wibracyjnych.

Zalety rozwiązania:

- Prace budowlane prowadzone byłyby tylko w obrębie Hali Brykietowni,
- Prace budowlane nie wymagają wyłączenia z ruchu przenośników T-134, T-135,
- Wykorzystany jest przenośnik T-134 (min. odległość od ściany tunelu 800mm),
- Obniżenie mocy koniecznej do napędu przenośnika,
- Krótkie zasypy pomiędzy przenośnikami.

➤ **Zmiana układu załadunku Suszarni Dodatków Wsadowych**

Przenośnikowy ciąg transportowy jest ciągiem istniejącym - używanym obecnie w technologii Pieców Szybowych. Jego adaptacja do celów nowej technologii – Pieca Zawieszinowego wymaga niewielkich nakładów inwestycyjnych związanych z opomiarowaniem parametrów pracy poszczególnych przenośników oraz ich sprzężenia z Nadrzędnym Systemem Sterowania.

➤ **Racjonalizacja transportu pneumatycznego**

Zabudowa infrastruktury związanej z transportem pneumatycznym wymaga dużych nakładów inwestycyjnych, wśród których wyróżnić można: roboty budowlane – montażowe, zakup nowych urządzeń i instalacji technologicznych, wyposażenie układu w aparaturę pomiarową i sterowania, itp. Uwzględniając złożoność proponowanego układu, odległość zespołu pompy pneumatycznej od Magazynu Zapasu (ok. 250 m), właściwości piasku oraz doświadczenia SUR-u w zakresie jego transportu stwierdzono, że rozwiązanie to będzie generować w przyszłości znaczące koszty eksploatacyjne. Uwzględniając konstrukcję oraz uwarunkowania zabudowy istniejącego przenośnika taśmowego T-130 możliwe jest ograniczenie układu odbioru wysuszonych dodatków z

suszarni tylko do przenośnikowego ciągu transportowego - zastosowanie pasma jodełkowego. Stosując pasmo jodełkowe na przenośniku T-130 wyeliminowano konieczność zabudowy zespołu pompy pneumatycznej oraz całej przynależnej mu infrastruktury techniczno - technologicznej do transportu piasku kwarcytowego. Realizacja przedstawionej propozycji pozwoli zmniejszyć bieżące koszty inwestycyjne oraz przyszłe koszty produkcyjne.

➤ **Zmiana lokalizacji zabudowy przenośnika taśmowego T-103**

W technologii Pieców Szybowych przenośnik T-103 zabudowany jest we wspólnym tunelu transportowym wraz z przenośnikami T-101 i T-102. Przenośniki te wykorzystywane są do podawania materiałów wsadowych do Hali Pieców Szybowych. Dodatkowo przenośnik T-103 jest przenośnikiem rewersyjnym, co pozwala mu transportować brykiety na Magazyn Zapasu Brykietów. Obecnie długość przenośnika taśmowego T-103 wynosi 330 m. Dla nowej technologii przewidziano jego skrócenie i wykorzystanie jedynie ok. 9 m jego długości do podawania wysuszonych dodatków wsadowych na Magazyn Zapasu. Korzystniejszym, zdaniem autorów pracy, rozwiązaniem jest zabudowa nowego przenośnika T-103 z jednoczesną zmianą lokalizacji jego zabudowy. Przyjęcie proponowanego rozwiązania umożliwi obniżenie kosztów realizacji, skrócenie czasu realizacji zadania.

➤ **Zabudowa zespołów ważących na przenośnikach taśmowych T-101, T-102, T-134, S-5**

Oferowane obecnie na rynku wagi przenośnikowe charakteryzują się wysoką dokładnością i powtarzalnością pomiarów. Mogą być instalowane zarówno na poziomych przenośnikach jak i tych zabudowanych pod kątem nawet do 30°. Posiadają zabezpieczenie przed przeciążeniem czujników tensometrycznych. W rozpatrywanym przypadku optymalizacja Linii Przygotowania i Transportu Dodatków wsadowych wymaga zabudowy tensometrycznych wag taśmowych na następujących przenośnikach taśmowych:

- T-101 - ciąg podawania dodatków wsadowych z Magazynu Zapasu do PK,
- T-102 - ciąg podawania dodatków wsadowych z Magazynu Zapasu do PE,
- T-134 - ciąg załadunku Suszarni Dodatków Wsadowych,
- S-5 - ciąg odbioru wysuszonych dodatków wsadowych z Suszarni.

Dzięki małym błędom pomiaru (0,25%) wykorzystanie wag przenośnikowych zapewni dokładne i ciągłe monitorowanie przepływu materiałów pomiędzy poszczególnymi wydziałami produkcyjnymi tj. Wydziałem Przygotowania Wsadu, Wydziałem Pieców Konwertyzacyjnych oraz Wydziałem Pieca Elektrycznego. Ułatwi to prowadzenie rozliczeń międzywydziałowych. Zapewnią także możliwość szybkiego i precyzyjnego określenia aktualnych stanów magazynowych w celu ustalenia zdolności produkcyjnych w stanach awaryjnych strategicznych dla produkcji urządzeń i obiektów technologicznych takich, jak np. Suszarnia Dodatków Wsadowych lub urządzenia załadunkowe agregatów hutniczych (pieca elektrycznego, pieców konwertyzacyjnych). Ponadto sprzężenie proponowanych zestawów ważących z Nadrzędnym Systemem Sterowania zapewni możliwość płynnej i okresowej obsługi poszczególnych ciągów transportowych tj. tylko w wymaganych okresach pracy, np.: załadunek suszarni, odbiór

wysuszonych dodatków z suszarni, załadunek zbiorników nad PE lub PK, itp. Przełoży się to z kolei na zmniejszenie zużycia: energii elektrycznej oraz elementów roboczych przenośnika.

➤ **Zmiana trasy galerii przenośników Ciągu Podawania Dodatków Wsadowych do Pieców Konwertorowych**

Zgodnie z Koncepcją Programowo Przestrzenną w ciągu podawania dodatków wsadowych do PK wykorzystano istniejący przenośniki T-101. Przewidziano jego skrócenie oraz zabudowę stacji przesypowej w rejonie drogi nr 1.

Ciąg transportu wysuszonych dodatków wsadowych do Pieców Konwertorowych zabudowany miałby być we wspólnej galerii biegnącej wzdłuż drogi nr 1 wraz z ciągiem transportu dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego. Przewidywana wysokość omawianej galerii waha się w granicach od 0,00 m do + 31,700 [m] - do Hali Pieców Konwertorowych oraz od 0,00 do +45,0 [m] - do Hali Pieca Elektrycznego. Koncepcja zabudowy przenośników ciągu podawania dodatków wsadowych do PK i PE we wspólnej galerii generuje duże koszty inwestycyjne. Realizacja tego zdania charakteryzować się będzie również długim czasem wykonania. Rozwiązanie to naruszy także jedyny ciąg komunikacyjny dla pieszych zlokalizowany wzdłuż drogi nr 1 oraz ingerować będzie miejscowo w samą drogę. Z uwagi na w/w wady rozwiązania alternatywnie zaproponowano budowę dwóch niezależnych ciągów transportowych – zachowując jednocześnie ideę wykorzystania przenośników T-101 i T-102. Aktualna lokalizacja przenośnika T-101 umożliwi bezpośrednie dostarczenie wysuszonych dodatków wsadowych na poziom + 27,0 [m] w Hali Pieców Szybowych, która połączona jest z Halą Pieców Konwertorowych. Wykorzystanie T-101 bez jego skracania wraz z jednoczesną zabudową nowego przenośnika CK-3 w miejscu istniejącego przenośnika taśmowego T-114 pozwoli wyeliminować całkowicie koszty związane z zakupem przenośników CK-1 i CK-2 oraz znacząco ograniczyć koszty związane z budową mostów transportowych, w których miałyby być one zabudowane. Dzięki temu ciąg transportu dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego zabudowany zostanie w pojedynczej galerii biegnącej wzdłuż drogi nr 1 i poprowadzonej następnie do hali PE.

➤ **Zmiana przenośnika taśmowego S-4 na przenośnik zgrzeblowy**

Rozwiązanie koncepcyjne ciągu odbioru wysuszonych dodatków wsadowych z suszarni przewiduje odbiór wysuszonych materiałów z suszarni przenośnikiem taśmowym S-4. Przenośnik ten zabudowany miałby być przy fundamencie hali Brykietowni. Rozwiązanie to uniemożliwia zabudowę elementów czyszczących taśmę oraz utrudnioną obsługę przenośnika. Rozpiętość fundamentów hali brykietowni uniemożliwia zmianę lokalizacji jego zabudowy oraz zmianę jego kształtu. Ponadto konstrukcja przesypu z odbieralnika suszarni na zaproponowany przenośnik taśmowy nie zapewni wymaganego i wysokiego stopnia szczelności. Wentylator odciągowy filtra suszarni zaciągał będzie duża ilość wolnego powietrza z przesypu, co obniży skuteczność odpylania i odciągu gazów procesowych z walczaka i odbieralnika pracującej suszarni. Jako rozwiązanie zamiennie zaproponowano zastąpienie przenośnika taśmowego S-4 przenośnikiem zgrzeblowym zabudowanym poziomo pod wysypem z odbieralnika suszarni ponad stopą fundamentu hali brykietowni. Konstrukcja przenośnika zgrzeblowego zapewni dużą

szczelność, zwiększając jednocześnie skuteczność odciągu gazów suszarniowych z walczaka i odbieralnika suszarni. Uniknie się kolizji z fundamentami hali Brykietowni, co pozwoli obniżyć koszty ewentualnych prac budowlanych. Stalowa konstrukcja przenośnika zgrzeblowego pozwoli obniżyć temperaturę wylotową materiałów wsadowych (120⁰C) przed ich podaniem na taśmę przenośnika S-5.

➤ **Kruszenie i przesiewanie żużła stałego na Oczyszczalni Kadzi,**

W rozwiązaniu koncepcyjnym założono, że żużle stałe będące produktem procesu oczyszczania kadzi odlewniczych poddane zostaną kruszeniu na kruszarkach szczękowych pozostających w strukturze Węzła Kruszenia Żużła. Kruszenie wykonane zostanie na Wydziale Przygotowania Wsadu, a po jego zakończeniu żużel zawrócony będzie do ponownego przetopu w Piecu Elektrycznym.

Z ekonomicznego punktu realizacji inwestycji jest to rozwiązanie jak najbardziej zasadne. Ogranicza ono, bowiem nakłady inwestycyjne np. w zakresie zakupu nowych urządzeń ciągu kruszenia. Ale skupiając się zbyt mocno (w chwili opracowywania koncepcji) na aspekcie finansowym, zbagatelizowano wówczas równie ważny aspekt technologiczny przeróbki żużli z Oczyszczalni Kadzi dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego.

Żużle pozyskiwane w procesach oczyszczania kadzi odlewniczych zawierają w swoim składzie chemicznym znaczne ilości miedzi. Z tego też względu w celu minimalizacji strat produkcyjnych poddawane są do ponownego przetopu piecach hutniczych. Drugim źródłem występowania miedzi w tych żużlach są skrzepy i rozlewy tzw. kęsiska miedzi. Bardzo często rozmiary kęsisk kilkukrotnie przewyższają ziarnistość żużli zwracanych do ponownego przetopu.

Do głównych skutków negatywnych zaliczyć można:

- zwiększenie częstotliwości awarii urządzeń ciągu technologicznego,
- wydłużenie cyklu produkcyjnego wsadu żużlowego,
- zwiększenie kosztów.

Dlatego też w celu częściowej minimalizacji a nawet całkowitego uniknięcia negatywnych skutków oddziaływania w/w zjawisk oraz dla jednoczesnej poprawy funkcjonalności procesu zaproponowano rozwiązania alternatywne.

Propozycja nr 1 odpowiada schematowi funkcyjnemu przedstawionemu na Rys. 4.5. Odzyskany w wyniku oczyszczenia kadzi odlewniczych żużel stały składowany będzie na Hali Oczyszczalni Kadzi. Za pośrednictwem suwnicy wyposażonej w czerpak żużel stały w postaci kawałkowej podany będzie na kratę przesiewową. Na kracie nastąpi oddzielenie frakcji drobnoziarnistej (0÷150mm) od frakcji gruboziarnistej (> 150mm).

Frakcja drobnoziarnista stanowić będzie gotowy produkt (materiał wsadowy) dla Pieca Elektrycznego. Za pośrednictwem ładowarki ŁK-1 zostanie on wybrany spod kraty przesiewowej i załadowany na platformy wagonowe. Transportem kolejowym przetransportowany zostanie na Magazyn Surowców zlokalizowany w rejonie Wydziału Przygotowania Wsadu, skąd za pośrednictwem przenośników taśmowych T-7 i T-6 trafi bezpośrednio na Magazyn Zapasu Żużła, a stamtąd podany będzie na ciąg transportowy do Pieca Elektrycznego. Natomiast odsiana frakcja gruboziarnista żużła oraz „kęsiska miedzi” zmagazynowane zostaną w boksie magazynowym poza kratą przesiewową. Odseparowane „kęsiska miedzi” wymagać będą transportu na Wydział Pieców

Konwertorowych, gdzie, jako wsad stały trafią do ponownego przetopu. Odsiany żużel gruboziarnisty o frakcji (150÷450 mm) stanowił będzie półprodukt. Podobnie jak frakcja drobnoziarnista przetransportowany zostanie transportem kolejowym na Magazyn Surowców w rejonie Wydziału Przygotowania Wsadu skąd trafi do ponownego kruszenia. Kruszarki szczękowe zapewnią uzyskanie wymaganej granulacji żużla do 150 mm - wówczas ostatecznie stanowił on będzie materiał wsadowy do Pieca Elektrycznego.

W przypadku, gdy granulacja żużla grubego będzie większa niż 450 mm wymagane będzie jego wstępne skruszenie (suwnica+kula) na Oczyszczalni Kadzi, ponowne przesianie na kracie i transport na Wydział Przygotowania Wsadu w postaci wsadu gotowego dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego (0÷150 mm) lub frakcji przewidzianej do końcowego kruszenia na kruszarkach szczękowych (150÷450 mm).

Wariant 2 przedstawiony na Rys. 4.6. przewiduje zabudowę na Oczyszczalni Kadzi kraty przesiewowej wraz ze stacjonarnym urządzeniem kruszącym. Krata przesiewowa pełnić będzie taką samą rolę jak ta opisana dla wariantu 1. Zabudowa stacjonarnego urządzenia kruszącego spowodować ma ograniczenie procesu przerobczego żużla wyłącznie do rejonu Oczyszczalni Kadzi. Kruszenie oraz przesiewanie żużla w obiegu zamkniętym na Oczyszczalni Kadzi pozwoli uzyskać produkt gotowy dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego, jakim będzie żużel kawałkowy o granulacji 0÷150 mm. Wymagany będzie jedynie jego transport na Wydział Przygotowania Wsadu i jego podanie do Pieca Elektrycznego.

Zastosowanie tego rozwiązania pozwoli wyeliminować całkowicie z eksploatacji istniejący na Wydziale Przygotowania Wsadu Węzeł Kruszenia Żużla. Znacząco ograniczyć to może przyszłe jednostkowe koszty produkcji.

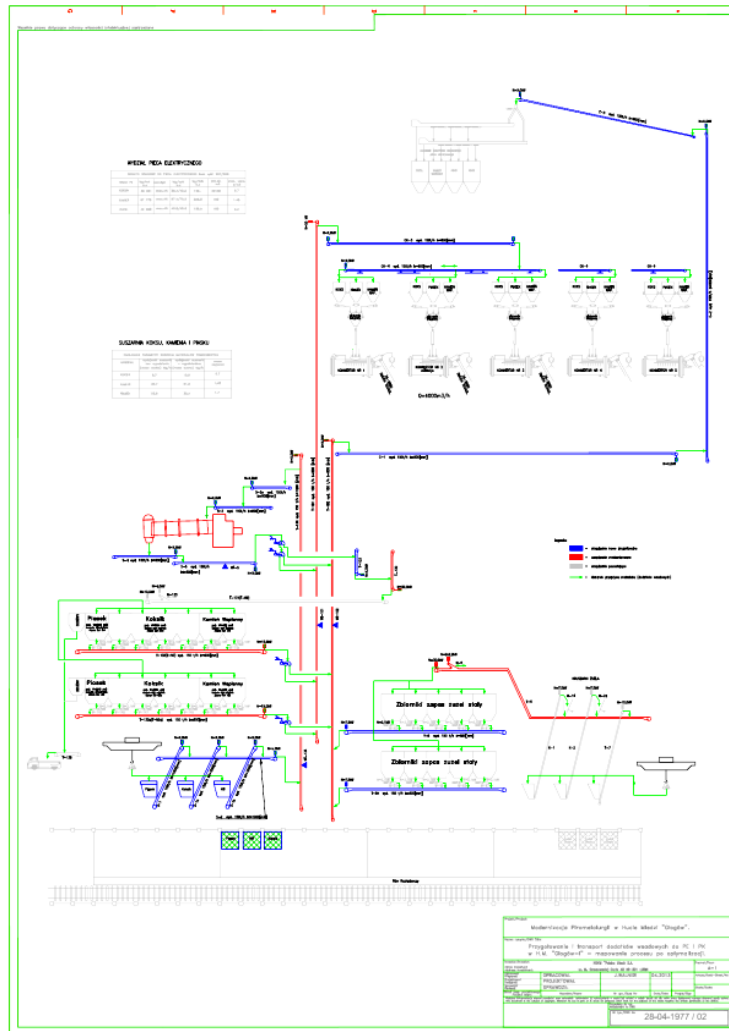
➤ **Adaptacja Suszarni Koncentratu Cu na Suszarnię Dodatków Wsadowych**

Eksploatowane obecnie w H.M. „Głogów-I” Suszarnie Koncentratu Cu (miedzi) dostarczona były do zakładu w latach siedemdziesiątych. Przez okres eksploatacji poddawane były regularnym remontom, przeglądom i zabiegom konserwacyjnym.

Zgodnie z przyjętą koncepcją w celu suszenia dodatków wsadowych tj. koksu, kamienia wapiennego oraz piasku dla potrzeb technologicznych Pieca Elektrycznego przewidziano – po uprzedniej modernizacji - wykorzystanie istniejącej suszarni nr 5. Zakres modernizacji obejmować miał jedynie wymianę wewnętrznego wyposażenia walczaka suszarni oraz zabudowę odpylni suchej (filtr workowy), pozostawiając resztę infrastruktury suszarni w niezmiennym stanie. Cecha charakterystyczną tych urządzeń jest to, że wszelkie czynności obsługowe wykonywane są ręcznie przez pracowników obsługi. Uwzględniając dzisiejsze osiągnięcia techniki w znacznej mierze usprawnić można działanie jak również obsługę tego urządzenia. Rozbudowa układu funkcyjnego, przedstawiona na Rys. 4.4. umożliwi zastosowanie następujących rozwiązań:

- Zastosowanie izolacji termicznej walczaka
- Zastosowanie automatycznego układu chłodzenia komory grzewczej
- Zastosowanie automatycznego układu chłodzenia odciągu gazów suszarniowych

Opisane propozycje zmian procesu przygotowania i transportu dodatków wsadowych do Pieca Elektrycznego oraz Pieców Konwertorowych zestawiono na rys. 6.



Rys. 6. Mapowanie procesu po optymalizacji (opracowanie własne)

5. WNIOSKI

Realizacja niniejszego opracowania w całości odnosi się do rzeczywistych wad oraz niedoskonałości analizowanego procesu produkcyjnego. Wynikiem końcowym przeprowadzonych działań jest niewątpliwie osiągnięcie celów sformułowanych w początkowym etapie pracy.

Osiągnięcie wyników analizy końcowej nie byłoby jednak możliwe bez analizy wstępnej, na którą złożyły się:

- Analiza oraz strukturyzacja celów,
- Analiza wymagań i ograniczeń,
- Analiza funkcji procesu.

Hierarchizacja celów w początkowym etapie pracy wytyczyła główne kierunki przyszłych działań, mających na celu wielokryterialną optymalizację rozpatrywanego procesu produkcyjnego.

Znaczący wpływ na podjęte działania operacyjne tj.: tworzenie, ocenę oraz wybór wariantów rozwiązań do realizacji miała analiza wymagań i ograniczeń. W jej wyniku zebrano i uporządkowano oczekiwania Inwestora, przyszłego Użytkownika oraz Zespołu Projektowego. Działanie takie pozwoliło uniknąć błędnych decyzji oraz straty czasu na tworzenie wadliwych koncepcji dla osiągnięcia zdefiniowanych wcześniej celów. Przyczyniło się także do właściwego rozpoznania oraz ograniczenia potencjalnych problemów w późniejszej fazie tworzenia wariantów rozwiązań.

Równie pomocna w działaniach operacyjnych dla optymalizacji analizowanego procesu produkcyjnego okazała się analiza funkcji składowych procesu. W jej wyniku rozbudowano moduły funkcjonalne głównych węzłów produkcyjnych. Ideą zastosowanej analizy było funkcjonalne rozpatrywanie elementów analizowanego procesu produkcyjnego tzn.: określenie, „co jest realizowane” z jednoczesnym uwzględnieniem kolejnych kroków przebiegu procesu (np.: przepływ materiału, strumień czynników procesowych, itp.). Dzięki temu określenie sposobu realizacji danej funkcji w sensie technicznym tzn.: „jak” względnie, „czym” będzie ona realizowana w rzeczywistości, ograniczone zostało do funkcji prostych. Znacząco ułatwiło to najpierw poszukiwanie, a później wskazanie rozwiązania.

W zasadzie dzięki w/w działaniom operacyjnym stworzenie wariantów rozwiązań dla rozpatrywanych problemów produkcyjnych oraz techniczno-technologicznych było już tylko czystą formalnością. A jej dopełnieniem była ocena i wybór rozwiązań optymalnych w oparciu o przyjęte kryteria oceny.

Jak widać zaproponowany sposób optymalizacji procesu przygotowania i transportu dodatków wsadowych pozwala na generowanie oszczędności.

Osiągnięte zyski – w przypadku zastosowania proponowanych rozwiązań – przeznaczyć będzie można na modernizację lub remonty innych ogniw ciągu technologicznego Huty Miedzi „Głogów -I”, a to z kolei przyniesie z pewnością dalsze korzyści finansowe.

Proponowane rozwiązania posiadają również zalety ogólnospołeczne. Ich wdrożenie wpłynie pozytywnie na zmniejszenie emisji czynników szkodliwych (hałas, temperatura, pyły oraz gazy procesowe) do środowiska naturalnego. Spodziewać się należy, że automatyzacja funkcji oraz operacji procesowych pozwoli ograniczyć czas przebywania pracowników obsługi w niekorzystnych i uciążliwych warunkach pracy, a w niektórych przypadkach pozwoliłaby nawet na ograniczenie zatrudnienia. Potwierdzenia tej tezy wymaga jednak dalszej i szczegółowej analizy

ANALIZA PROCESU MONTAŻU KONTENEROWEJ WYTWÓRNI MASY BITUMICZNEJ

1. WPROWADZENIE

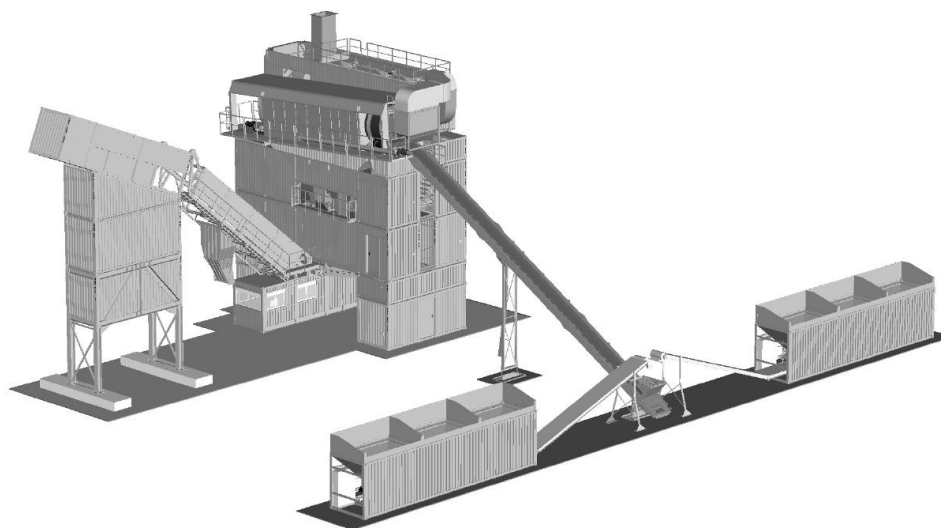
Planowanie procesów produkcyjnych wiąże ze sobą wiele aspektów, które należy uwzględnić, aby zapewnić możliwość jak najszybszego wprowadzenia konkurencyjnego produktu na rynek. W przypadku procesów produkcyjnych w branży mechanicznej istotnym ich elementem jest proces montażu. Proces ten, wg różnych źródeł literaturowych pochłania od 30 do 50% kosztów całkowitych wprowadzenia produktu na rynek (Anderson D.M., 2010; Jakubowski J., Peterka J., 2014; Whitney D.E., 2004). Dlatego istotne jest planowanie procesów montażu i najogólniej można przyjąć, że proces ten powinien być tak zaplanowany, aby uzyskać możliwie tani i szybki montaż (Sąsiadek M., 2013). W procesach montażu ważne jest wyznaczenie odpowiedniej kolejności montażu (tzw. sekwencji montażowej), która determinuje wiele innych parametrów tego procesu. Najkorzystniejszą sekwencję montażu należy określić w możliwie wczesnym etapie realizacji wyrobu.

W literaturze spotkać można wiele podejść rozpatrujących zagadnienie planowania sekwencji montażu (Baldwin D.F., 1991; De Fazio T.L., Whitney D.E., 1987; Gottipolu R.B., Ghosh K., 1997; Sanderson A.C., 1990; Sąsiadek M., 2009). Do modelowania i optymalizacji kolejności procesu montażu wykorzystywane są przede wszystkim różne formy grafów oraz macierzy. Opracowane algorytmy poszukiwania optymalnych sekwencji montażu umożliwiają wygenerowanie optymalnej (wg przyjętych kryteriów) lub zbioru dopuszczalnych (w sensie wykonalnych) sekwencji montażu, odpowiednio wartościowanych.

W niniejszym artykule wykorzystano metodę tzw. macierzy zależności do analizy zapisanych w jej strukturze procesów. Komputerową implementacją tej metody jest program PSM (Problem Solving Matrix). Program ten wykorzystany został do analizy rzeczywistego procesu montażu kontenerowej wytwórni masy bitumicznej. Analiza ta opisana jest w dalszej części artykułu.

2. CHARAKTERYSTYKA KONTENEROWEJ WYTWÓRNI MASY BITUMICZNEJ

Kontenerowe wytwórnie masy bitumicznej zaprojektowane są z przeznaczeniem do ich wykorzystywania "w terenie" tzn. tam, gdzie nie ma dostępnych tego typu fabryk stacjonarnych. Wytwórnie te, dzięki zabudowie kontenerowej można łatwo przewozić na określone miejsce i następuje tam montaż modułów wytwórni (kontenerów). Zaletami tej wytwórni są przede wszystkim jej mobilność oraz brak konieczności fundamentowania. Na rysunku 1 przedstawiono ogólny widok kontenerowej wytwórni mas bitumicznych.



Rys.1. Kontenerowa wytwórnia masy bitumicznej (Łazarski K., 2014)

Do modułów kontenerowych wchodzących w skład wytwórni asfaltu należą:

- Dozownik kruszywa CFG (do wstępnego dozowania surowców mineralnych i do ich transportu do przenośnika taśmowego),
- Sito przesiewowe SMG (służy do ostatecznego przesiania kruszywa, które jest transportowane z dozownika do taśmociągu),
- Przenośnik taśmowy TBG (służy do transportu kruszywa do bębna sortującego),
- Bęben sortujący kruszywo SDG (urządzenie służące do sortowania minerałów na poszczególne frakcje),
- Palnik wytwórni BRENNER (mocowany jest do kontenera SD06 - bębna susząco - sortującego kruszywo i ma za zadanie ogrzanie i osuszenie świeżo zasypanego kruszywa),
- Kontener „gorącej kieszeni” HBG (służy do sortowania minerałów na odpowiednie frakcje),
- Silos własnego wypełniacza FSG (gromadzi pył z kruszywa odzyskany w kontenerze filtracyjnym),
- Przedłużenie silosu własnego wypełniacza FEG (stanowi nadbudowę kontenera FSG, zwiększając jednocześnie jego pojemność, co ma bardzo istotne znaczenie, gdyż ma wpływ na zwiększenie wydajności całej wytwórni),
- Mieszalnik masy bitumicznej MXG (służy do mieszania surowców mineralnych i kruszyw z masą bitumiczną i innymi dodatkami),
- Kontener filtra FIG (zadaniem kontenera filtra jest oczyszczanie surowego gazu z bębna sortującego mieszającego i odzyskiwania zawartej w nim mączki mineralnej, która następnie dostarczona jest przy pomocy przenośników ślimakowych do procesu mieszania jako wypełniacz mieszanki bitumicznej),

- Kontener transportowy TRG (jest umiejscowiony pod silosem własnego wypełniacza. Prowadzą przez niego kanały transportowe z wypełniaczami i dodatkowo kontener ten pełni rolę klatki schodowej),
- Pomosty wytwórni MPG (łączą one przestrzeń pomiędzy kontenerami wzdłuż dłuższego boku. Służą jako ciągi komunikacyjne i elementy łączące pojedyncze kontenery),
- Kabina sterownicza CRG (jest platformą obsługową wytwórni asfaltu),
- Kontener “podwalina” SCG - 2 (stanowi nadstawkę nad kontenerem PRG celem zwiększenia wysokości przejazdu pod wytwórnią. Daje to możliwość podniesienia przejazdu pod wytwórnią, aby auto ciężarowe mogło podstawić się pod mieszalnikiem po odbiór gotowego asfaltu),
- Kontener pomp PRG (znajdują się w nim pompy od oleju termalnego i w zależności od wersji, znajduje się tu podgrzewacz oleju termalnego służący do podgrzewania mieszanki bitumicznej),
- Kontener warsztatowy SRG (wkorzystywany jest przez operatorów jako pomieszczenie, w którym można przeprowadzić doraźne naprawy i konserwacje),
- Kontener “podwalina” SCG - 1 (stanowi nadstawkę nad kontenerem SRG/LTG i służy zwiększeniu wysokości przejazdu samochodu ciężarowego pod mieszalnikiem po odbiór gotowego asfaltu),
- Zbiornik masy bitumicznej BTG (jest to zbiornik na ciekłą smołę, która jest jednym z głównych składników mieszanki bitumicznej. Ma pojemność 50 000l i w zależności od potrzeb przy wytwórni mogą być zamontowane dwa, trzy, lub nawet cztery zbiorniki),
- Stacja pomp ciekłej smoły BVG (jej zadaniem jest dostarczanie smoły do procesu wytwarzania mieszanki bitumicznej),
- Piec grzewczy THERM (służy do podgrzewania oleju, który wykorzystywany jest do podgrzewania ciekłych składników mieszanki betonowej przed procesem mieszania),
- Silos wypełniacza obcego CSG (gromadzi zapas materiałowy dostarczonego z zewnątrz wypełniacza, który jest potrzebny do produkcji asfaltu),
- Kontener ulepszacza do asfaltu BIG BAG (mały kontener, w którym zawieszony jest pojemnik z dodatkiem dosypywanym do masy bitumicznej),
- Silos masy gotowej VERLADESILO (silos załadowniczy jest to opcja dodatkowa do wytwórni asfaltu. Służy do przechowywania i załadunku gotowego asfaltu na ciężarówkę, którymi jest transportowany na miejsce budowy),

2.1. Procesu montażu wytwórni

Proces montażu wytwórni stanowi obecnie największe i jedno z najbardziej kosztownych przedsięwzięć w stosunku do całego procesu wytwórczego i stanowi około 15% ogółu kosztów przypadających na proces budowy wytwórni. Duży nakład pracy i zaangażowanie wielu osób nie przekłada się na wymierne efekty tym bardziej, że proces montażu przeprowadzany jest dwukrotnie. Pierwszy raz wytwórnia montowana jest na placu montażowym w celu spasowania ze sobą wszystkich jej elementów oraz przete-

stawiania układów, systemów i instalacji wytwórni. Kolejny raz wytwórnia montowana jest u klienta na budowie. I nie jest powiedziane, że jest montowana u klienta tylko raz, gdyż zdarza się często, iż wytwórnia z racji swojej mobilności przenoszona jest na inny plac budowy i ekipa montażowa boryka się po raz kolejny z problemami występującymi podczas montażu. Ponadto przed każdym transportem wytwórnia musi być zdemontowana do pojedynczych modułów kontenerów. Montaż i demontaż wytwórni jest procesem skomplikowanym, jest to przedsięwzięcie wymagające dużych nakładów pracy, zdolności organizacyjnych i logistycznych. Jak przy każdym przedsięwzięciu zdarzają się sytuacje nieprzewidziane, czasami niezależne bezpośrednio od działu zajmującego się montażem, lecz będące wynikiem przeoczeń lub zaniedbań działów poprzedzających dział montażu. Konsekwencją tego jest fakt, iż wszystkie niedociągnięcia ze strony produkcji, wszelkie opóźnienia w stosunku do planu produkcyjnego, a także nieprzewidziane sytuacje losowe kumulują się w procesie montażu. Proces montażu wymaga zintensyfikowanej koordynacji na każdym etapie. Duża złożoność procesów, wielopoziomowa struktura produktu nie działa na korzyść ekonomii tego przedsięwzięcia. Brak usprawnień podczas przebiegu montażu oraz złożoność konstrukcji powodują, że proces ten jest mało elastyczny i musi przebiegać według określonej kolejności.

W związku z powyższym celowość przeprowadzenia analizy tego procesu ukierunkowanej na skrócenie czasu montażu, a także na określenie możliwości wykonywania prac równoległych jest zasadna.

3. ANALIZA PROCESU MONTAŻU W PROGRAMIE PSM

Do analizy przyjęto rzeczywisty proces montażu kontenerowej wytwórni mas bitumicznych, którego obecnie realizowaną kolejność przedstawiono w dalszej części artykułu przy omawianiu uzyskanych wyników. W tabeli 1 zestawiono 19 zespołów montażowych, które scharakteryzowano w poprzednim rozdziale oraz określono relacje poprzednictwa pomiędzy nimi.

Dane zawarte w tabeli 1 wykorzystano do macierzowego zapisu struktury analizowanego procesu montażu w programie PSM. Sprzężenia występujące pomiędzy zespołami naniesiono w komórkach na skrzyżowaniu wiersza i kolumny charakteryzujących odpowiednie zespoły. W macierzy zapisano 48 relacji pomiędzy poszczególnymi zespołami, w tym, zarówno sprzężenia progresywne (pod przekątną macierzy) jak i zwrotne (nad przekątną macierzy). Okno dialogowe programu PSM z wypełnioną macierzą zależności przedstawiono na rysunku 2.

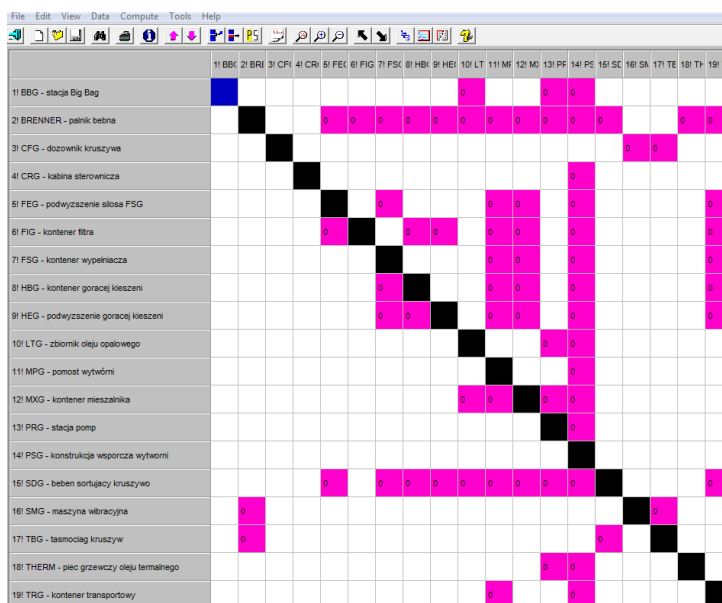
Po wykonaniu wymaganych kroków algorytmu w programie PSM uzyskano wynikową, uporządkowaną macierz zależności z proponowanymi poziomami realizacji. Wynikowe okno dialogowe przedstawiono na rysunku 3.

W programie PSM proces montażu został podzielony na 12 poziomów realizacji. Poziom 1 jest etapem, od którego rozpoczyna się próbny montaż, poziom 11 jest etapem kończącym cały proces. Po ukończeniu ustawiania podpór wytwórni bezpośrednio na podłożu, w kolejnym etapie równolegle mogą być montowane 3 podzespoły. Podzespół CRG i PRG są to podzespoły znajdujące się również bezpośrednio na podłożu, lecz do ich ustawienia niezbędne jest ustalenie właściwej pozycji względem podpór PSG. Pomo-

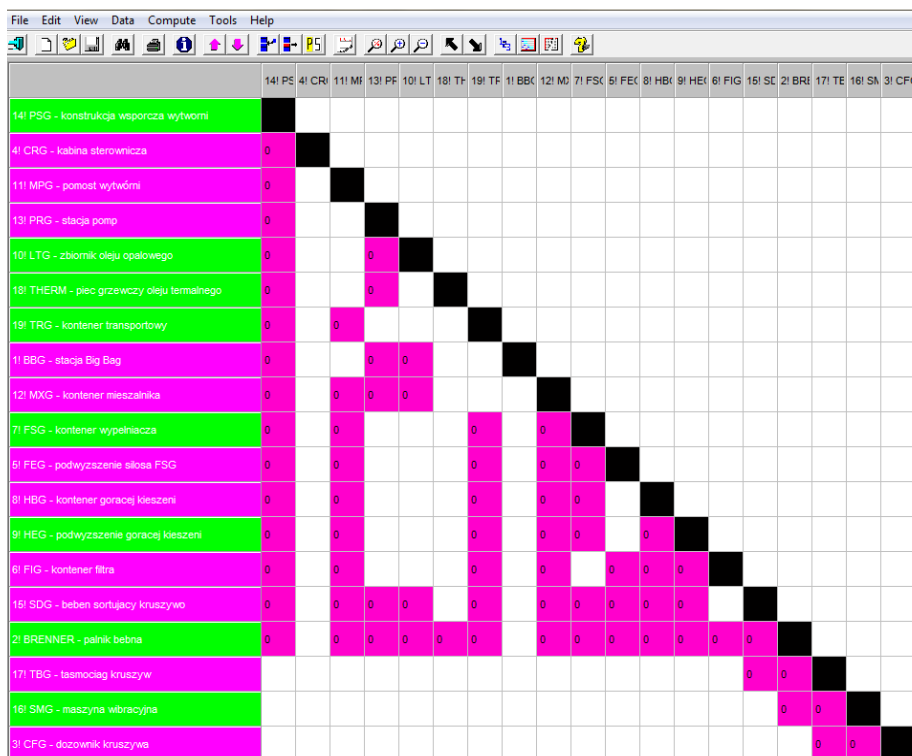
sty MPG montowane są jako kolejny element umożliwiając tym samym montaż kolejnych poziomów wytwórni. Na poziomie 3 następuje montaż zbiornika oleju opałowego LTG, jednocześnie montowany może być piec oleju THERM w kontenerze PRG, aby w tym samym czasie bezpośrednio na podporach ustawić kontener TRG. Poziom 4 to montaż mieszalnika MXG bezpośrednio na podporach oraz ustawienie stacji Big Bag bezpośrednio na podłożu obok podpór PSG.

Tab. 1. Zestawienie zespołów montażowych i relacji pomiędzy nimi

Lp.	Nazwa zespołu	Zespoły poprzedzające
1	BBG - stacja Big Bag	LTG, PRG, PSG
2	BRENNER - palnik bebna	FEG, FIG, FSG, HBG, HEG, LTG, MPG, MXG, PRG, PSG, SDG
3	CFG - dozownik kruszywa	SMG, TBG
4	CRG - kabina sterownicza	PSG
5	FEG - podwyższenie silosa FSG	FSG, MPG, MXG, PSG, TRG
6	FIG - kontener filtra	HBG, HEG, MPG, MXG, PSG, TRG
7	FSG - kontener wypełniacza	MPG, MXG, PSG, TRG
8	HBG - kontener gorącej kieszeni	MPG, MXG, PSG, TRG
9	HEG - podwyższenie gorącej kieszeni	MPG, MXG, PSG, TRG
10	LTG - zbiornik oleju opałowego	PRG, PSG
11	MPG - pomost wytwórni	PSG
12	MXG - kontener mieszalnika	PRG, PSG
13	PRG - stacja pomp	PSG
14	PSG - konstrukcja wsporcza wytwórni	-
15	SDG - beben sortujący kruszywo	TRG
16	SMG - maszyna wibracyjna	TBG
17	TBG - tasmociąg kruszyw	-
18	THERM - piec grzewczy oleju termalnego	-
19	TRG - kontener transportowy	-



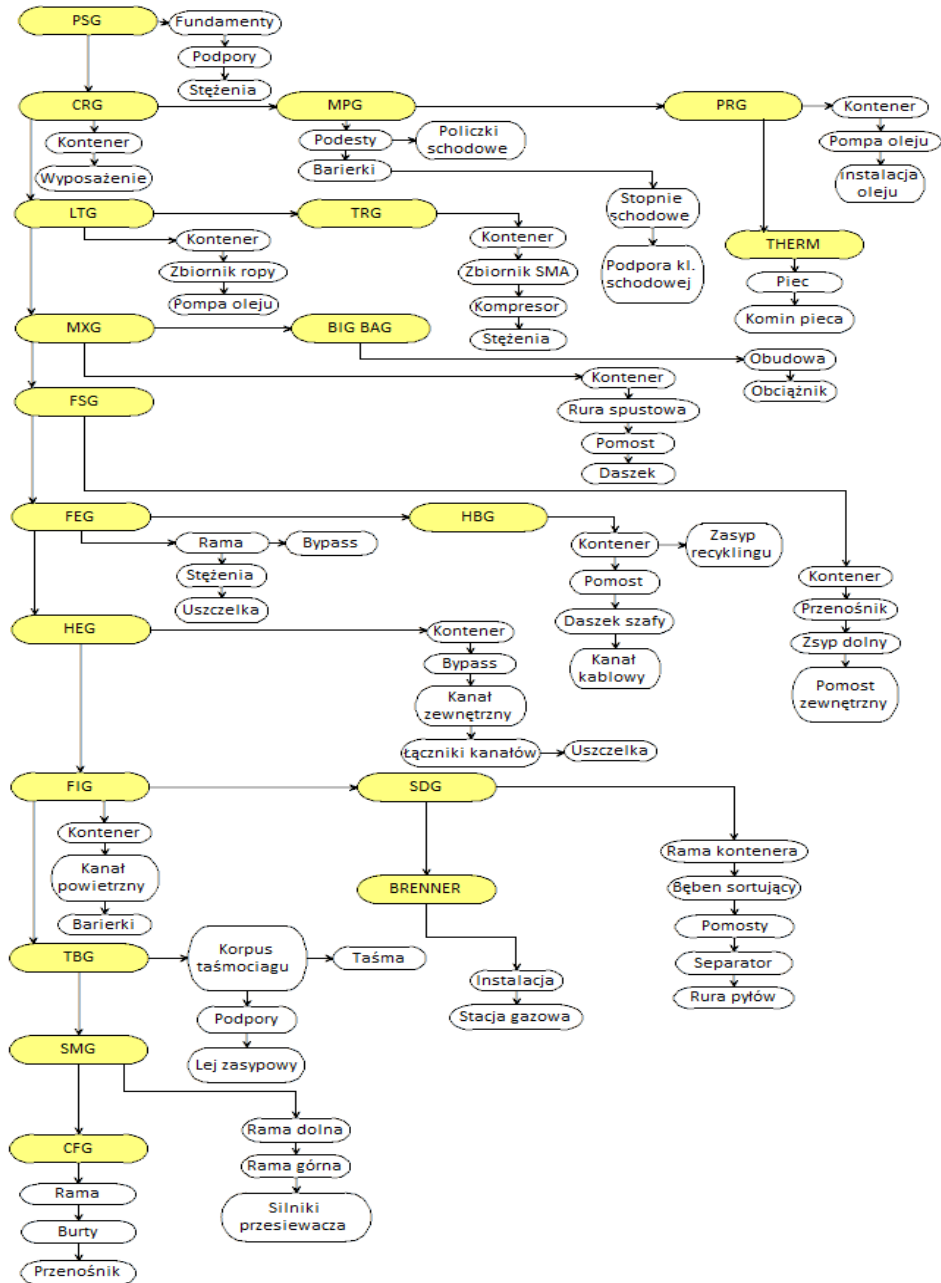
Rys. 2. Okno programu PSM po wprowadzeniu zależności



Rys. 3. Wynikowe okno dialogowe PSM

Na poziomie 5 rozpoczyna się montaż drugiego piętra wytwórni. Zamontowany zostaje kontener FSG. Na etapie montażu w poziomie 6 na kontenerze FSG montowany jest kontener FEG oraz ustawiany jest kontener HBG na kontenerze MXG. Następnie na poziomie 7 na kontenerze HBG montowane jest podwyższenie kontenera, czyli HEG, kolejno na poziomie 8 montowane jest ostatnie piętro, czyli kontenery SDG i FIG, a następnie montowany jest palnik BRENNER. Na tym etapie kończy się montaż wieży. Na kolejnych poziomach zespoły montowane są na podłożu, i tak kolejno montowane są zespoły TBG, do niego SMG i na końcu CFG.

Dla każdego z wyodrębnionych zespołów montażowych przeprowadzono analogiczną analizę w programie PSM. Dzięki temu uzyskano całkowitą strukturę montażu kontenerowej wytwórni mas bitumicznych i przedstawiono ją na rysunku 4. W strukturze tej wyodrębniono wszystkie podzespoły analizowanych wcześniej zespołów montażowych. Zauważyć można, że w niektórych zespołach możliwy jest równoległy montaż podzespołów (zespoły montażowe: MPG, FEG, HGB, HEG, TBG).



Rys.4. Schemat struktury montażu kontenerowej wytwórni mas bitumicznych

4. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI KOŃCOWE

Kontenerowa wytwórnia mas bitumicznych jest urządzeniem posiadającym strukturę wielopoziomową. Z uwagi na stopień skomplikowania analizie zostały poddane zespoły i podzespoły montażowe. W etapie pierwszym analizowano 19 zespołów wchodzących w skład wytwórni natomiast w etapie drugim wyodrębniono 66 podzespołów wchodzących w skład tych 19 zespołów.

W celu uproszczenia do analizy przyjęto wyliczenia w jednostkach czasu. Proces montażu metodą obecnie realizowaną w firmie trwa 600 roboczogodzin [rh] i składa się z 66 podzespołów montażowych. Przyjęto zatem założenie, że do zmontowania 66 podzespołów potrzebnych jest 66 operacji montażowych, przy czym jedna operacja trwa jedną jednostką czasu [jc]. Na tej podstawie wyliczono, że: $600rh : 66jc = 9,1 rh$. Oznacza to, że jedna jednostka czasu [jc] wynosi 9,1 roboczogodziny [rh]. Zastosowanie tego przelicznika ułatwiło w znaczny sposób wykonanie obliczeń porównawczych.

W tabeli 2 przedstawiono poziomy realizacji montażu poszczególnych zespołów przed i po reorganizacji. Proces montażu został skrócony o 7 kroków w stosunku do montażu realizowanego w firmie. Zauważyć można, że część operacji montażowych zespołów można wykonać równolegle. Jest to istotne, gdyż czas montażu wytwórni ulegnie skróceniu.

Tab. 2. Porównanie procesu montażu przed reorganizacją i po reorganizacji

LEGENDA:	POZIOM:	ZESPOŁY MONTAŻOWE:					
PSG - konstrukcja wsporcza wytwórni	1	PRZED REORGANIZACJĄ	PSG	PO REORGANIZACJI	PSG		
MPG - pomost wytwórni	2		MPG		CRG	MPG	PRG
TRG - kontener transportowy	3		TRG		LTG	THERM	TRG
MXG - kontener mieszalnika	4		MXG		BIG BAG	MXG	
FSG - kontener wypełniacza	5		FSG		FSG		
FEG - podwyższenie silosa FSG	6		FEG		FEG	HBG	
HBG - kontener gorącej kieszeni	7		HBG		HEG		
HEG - podwyższenie gorącej kieszeni	8		HEG		FIG	SDG	
FIG - kontener filtra	9		FIG		BRENNER		
BRENNER - palnik bebna	10		BRENNER		TBG		
SDG - beben sortujący kruszywo	11		SDG		SMG		
THERM - piec grzewczy oleju termalnego	12		THERM		CFG		
BBG - stacja Big Bag	13		BIG BAG				
PRG - stacja pomp	14		PRG				
LTG - zbiornik oleju opalowego	15		LTG				
CRG - kabina sterownicza	16		CRG				
TBG - tasmociąg kruszyw	17		TBG				
SMG - maszyna wibracyjna	18		SMG				
CFG - dozownik kruszywa	19		CFG				

W tabeli 3 pokazano efekt przeprowadzenia reorganizacji procesu na poziomie podzespołów. W wyniku analizy w programie PSM w czterech podzespołach proces monta-

żu można przeprowadzić w sposób równoległy, co generuje oszczędność 4 jednostek czasu. W efekcie reorganizacji czas montażu podzespołów obniżono o 11%.

Tab. 3. Reorganizacja procesu na poziomie podzespołów

ZESPÓŁ	PODZESPÓŁ PRZED REORGANIZACJĄ	JEDN. CZASU	ZESPÓŁ	PODZESPÓŁ PO REORGANIZACJI	JEDN. CZASU	
FEG	Bypass	1,0	FEG	Rama kontenera	Bypass	1,0
	Rama kontenera	1,0		Stężenie konstrukcji		1,0
	Stężenie konstrukcji	1,0		Uszczelka gumowa		1,0
FSG	Uszczelka gumowa	1,0	FSG	Kontener		1,0
	Pomost zewnętrzny	1,0		Przełożnik ślimakowy		1,0
	Przełożnik ślimakowy	1,0		Zsyp dolny wypełniacza		1,0
	Rama kontenera	1,0		Pomost zewnętrzny		1,0
HBG	Zsyp dolny wypełniacza	1,0	HBG	Kontener	Zasyp recyklingu	1,0
	Daszek szafy sterowniczej	1,0		Pomost zewnętrzny		1,0
	Kanał kablowy	1,0		Daszek szafy sterowniczej		1,0
	Pomost zewnętrzny	1,0		Kanał kablowy		1,0
	Rama kontenera	1,0		Kontener		1,0
HEG	Zasyp recyklingu	1,0	HEG	Bypass		1,0
	Bypass	1,0		Kanał zewnętrzny		1,0
	Kanał zewnętrzny	1,0		Łączniki kanałów zsypanych	Uszczelka gumowa	1,0
	Łączniki kanałów zsypanych	1,0		Podesty	Policzki schodowe	1,0
MPG	Rama kontenera	1,0	MPG	Barierki		1,0
	Uszczelka gumowa	1,0		Stopnie schodowe		1,0
	Barierki	1,0		Podpora klatki schodowej		1,0
	Podesty	1,0		Kontener		1,0
	Podpora klatki schodowej	1,0		Rura spustowa kruszywa		1,0
MXG	Policzki schodowe	1,0	MXG	Pomost zewnętrzny		1,0
	Stopnie schodowe	1,0		Daszek szafy sterowniczej		1,0
	Daszek szafy sterowniczej	1,0		Korpus tasmociągu		1,0
	Pomost zewnętrzny	1,0		Taśma przenośnika		1,0
TBG	Rama kontenera	1,0	TBG	Lej zasypowy kruszywa		1,0
	Rura spustowa kruszywa	1,0		Podpory tasmociągu		1,0
	Korpus tasmociągu	1,0		Kontener		1,0
	Lej zasypowy kruszywa	1,0		Zbiornik dodatku SMA		1,0
TRG	Podpory tasmociągu	1,0	TRG	Kompresor		1,0
	Taśma przenośnika	1,0		Stężenia dachowe		1,0
	Kompresor	1,0				
	Rama kontenera	1,0				
TRG	Stężenia dachowe	1,0				
	Zbiornik dodatku SMA	1,0				
	SUMA:	35		SUMA:	31	

Z uwagi na to, iż podzespoły wchodziły w skład zespołów, skróceniu uległ także proces montażu całej wytwórni, co jest logicznym następstwem redukcji czasów montażu podzespołów. Po reorganizacji na tym poziomie, sumaryczny czas montażu wytwórni wynosi 62 jednostki czasu. Na bazie doświadczenia i praktyki przemysłowej przyjęto zasadę, że przy montażu równoległym zespołów czasy montażowe zostaną skrócone o 15%.

Montaż wytwórni przed reorganizacją wynosił 66 jednostek czasu. W wyniku reorganizacji kolejności procesu montażu wytwórni został skrócony do 57,2 jednostki czasu, co daje redukcję czasu montażu wytwórni o 13,3%.

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, iż wykonanie reorganizacji procesu montażu było zasadne. Wynik jest zadowalający, gdyż zaplanowanie procesu w programie PSM i przeprowadzenie montażu według planu dało oszczędność w wysokości 6 400zł, co stanowi 11% ogólnych kosztów próbnego montażu. Biorąc pod uwagę

liczbę próbnich montażu przeprowadzanych w ciągu roku kalendarzowego, sumę tę można pomnożyć co najmniej kilkunastokrotnie.

W efekcie przeprowadzonej analizy stwierdzono:

- proces montażu wytwórni realizowany dla podzespołów można skrócić co najmniej o 4 jednostki czasu (redukcja wynosi **6,1%**),
- całkowity proces montażu wytwórni po proponowanych zmianach można wykonać w czasie krótszym od realizowanego obecnie o 8,8 jednostki czasu (redukcja wynosi **13,3%**),
- proces montażu wytwórni można skrócić z około 6,5 dnia roboczego do 5 dni roboczych. Jest to zadowalający wynik i może mieć wpływ na poprawę efektywności całego procesu (redukcja wynosi **13,3%**),
- koszty ogólne montażu zostały zmniejszone z 58 000,00 zł do 51 600,00zł (oszczędność wynosi **11%**).

ANALIZA MOŻLIWOŚCI URUCHOMIENIA NOWEGO WYROBU W FIRMIE PRODUKCYJNEJ NA PRZYKŁADZIE PRODUCENTA PNEUMATYKI MOTORYZACYJNEJ

1. WPROWADZENIE

W dzisiejszych czasach sukces przedsiębiorstwa zależy od wielu czynników. Najważniejszym z nich oprócz możliwej do akceptacji przez odbiorcę ceny oferowanego wyrobu, jest jakość oraz szybkość realizacji zamówienia, czyli czas jaki musi upłynąć od momentu złożenia zapytania ofertowego do jego realizacji. Kolejny czynnik trudny do przecenienia to elastyczność. W aspekcie procesu produkcyjnego, jest to jego zdolność do przystosowania się w krótkim czasie do produkcji nowego, oczekiwanego przez odbiorcę wyrobu. Oczywiście jest, że w obszarze tym większe szanse mają mniejsze firmy, gdzie proces produkcyjny nie jest wysoce zautomatyzowany i nie występują w nim złożone linie produkcyjne, rozbudowane automaty montażowe, zautomatyzowane systemy kontrolne, itp. Wysoce wydajne linie produkcyjne, charakterystyczne dla dużych przedsiębiorstw produkujących na skalę masową, cechują się niewielką elastycznością, a ich przestawienie na produkcję innego wyrobu jest czasochłonne i kosztowne. Linie takie, projektowane pod produkcję masową, mają na celu osiągnięcie maksymalnej wydajności, w możliwie najkrótszym czasie i przy jak najmniejszych kosztach produkcji. Tylko duże przedsiębiorstwa, związane długoterminowymi umowami dostaw konkretnego, niezmiennego w długim czasie asortymentu, mogą pozwolić sobie na rozwiązanie tego rodzaju. Przewaga wspomnianego podejścia w tym wypadku jest bezsporna, a mniejszym firmom trudno konkurować wówczas cenowo i jakościowo z dużymi producentami. Sytuacja ta, jakkolwiek niesprzyjająca mniejszym przedsiębiorstwom, paradoksalnie w określonych sytuacjach może być dla nich korzystna. Taką firmą, działającą od lat na rynku pneumatyki motoryzacyjnej jest MB-Pneumatyka, która mieści się w miejscowości Sulechów, a funkcjonuje na rynku od 2002 roku. Od początku swej działalności przedsiębiorstwo zajmuje się projektowaniem i produkcją elementów pneumatyki, głównie do pojazdów użytkowych na całym świecie. Jej klientami są znani producenci pneumatycznych systemów hamulcowych i producenci pojazdów użytkowych.

Jeden z dotychczasowych odbiorców firmy zwrócił się z zapytaniem o możliwość dostarczenia pewnego rodzaju zaworu. Zapytanie dotyczyło zaworu kontrolnego, który miałby być dostarczany w dużych ilościach, w kilkunastu wersjach wymiarowych. Jest to złożone zadanie, ale jego realizacja postrzegana jest przez zarząd, jako szansa rozwoju potencjału firmy i możliwość znaczącego rozwoju współpracy z wiodącym odbiorcą.

Realizacja tego projektu będzie jednak wymagała wielu analiz dowodzących ewentualnej opłacalności przedsięwzięcia. Tak więc, przed podjęciem decyzji konieczny będzie:

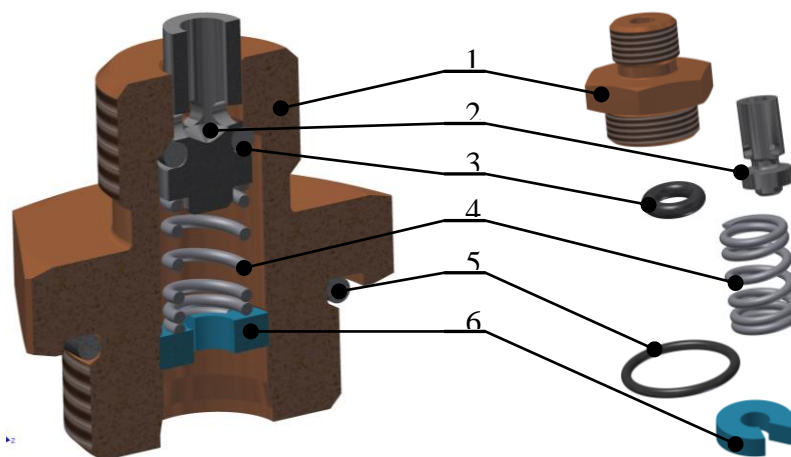
- przegląd infrastruktury firmy,
- określenie możliwości wytwórczych firmy (park maszynowy, wytwarzanie elementów zaworu),
- określenie możliwości montażowych (zasoby ludzkie, infrastruktura działu montażu, stanowiska montażowe, automatyzacja procesów montażu),
- pozyskanie dostawców i kooperantów elementów produkowanych poza firmą,
- rewizja zasobów ludzkich, zarówno w sferze produkcji, montażu, jak i wyższego szczebla (konstruktorzy, inżynierowie jakości),
- określenie możliwości zapewnienia procesów kontrolnych (pomiary geometrii, badania funkcjonalności, szczelności zaworów, itp.)

Wymienione wyżej analizy będą treścią kolejnych punktów niniejszego opracowania.

2. DEKOMPOZYCJA WYROBU

Przedmiotem zapytania jest zawór kontrolny, produkowany w kilkunastu wariantach. Każdy z nich charakteryzuje się analogiczną budową, różnią się jedynie wymiarami korpusów, a głównie średnicą gwintów zewnętrznych.

Gotowy wyrób składa się z sześciu elementów takich jak: korpus, tłoczek, uszczelnienie tłoczka, sprężyna, pierścień sprężynujący i uszczelnienie gwintu. Zawór, zwany również "testpoint'em", jest elementem pneumatycznej instalacji hamulcowej, występującej w każdym samochodzie ciężarowym lub w naczepie. Element ten służy przede wszystkim do podłączenia manometru, celem sprawdzenia ciśnienia w instalacji, bądź do załączenia dodatkowych, zewnętrznych urządzeń zasilanych sprężonym powietrzem, pochodzącym z instalacji pojazdu. Budowę zaworu przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Budowa zaworu kontrolnego

Przedmiotowy zawór składa się z następujących elementów:

1 - korpus zaworu, materiał: mosiądz, sposób pozyskania: produkcja własna na automatach tokarskich CNC,

2 - tłoczek zaworu, materiał: poliamid z włóknem szklanym, sposób pozyskania: wtrysk w firmie zewnętrznej w ramach kooperacji,

3 - o-ring tłoczka, materiał: NBR, sposób pozyskania: zakup od producenta uszczelnień,

4 - sprężyna, materiał: stal sprężynowa nierdzewna, sposób pozyskania: zakup od producenta sprężyn,

5 - o-ring gwintu, materiał: NBR, sposób pozyskania: zakup od producenta uszczelnień,

6 - pierścień sprężynujący - materiał: poliamid z włóknem szklanym, sposób pozyskania: wtrysk w firmie zewnętrznej w ramach kooperacji.

3. ANALIZA PROCESU PRODUKCYJNEGO

Po dekompozycji przedmiotowego zaworu określono, że jedynym produkowanym bezpośrednio w firmie elementem będzie jego korpus.

W poniższej tabeli zestawiono wszystkie rodzaje zaworów.

Tabela. 1. Ilościowe zestawienie planowanej produkcji zaworów kontrolnych

Rodzaj	Ilość produkowanego zaworu na rok	Wymiar sześciokąta
Typ 1	959816	S17
Typ 2	272775	S22
Typ 3	156060	S22
Typ 4	116100	S17
Typ 5	68800	S28
Typ 6	59550	S17
Typ 7	6225	S22
Typ 8	4700	S19
Typ 9	3200	S27
Typ 10	2500	S22
Typ 11	1000	S17

Na podstawie przytoczonych danych podjęto próbę analizy procesu produkcyjnego zaworów o największej ilości, czyli wyrobu określonego jako Typ 1, z produkcją ponad miliona sztuk rocznie (zaznaczone w tabeli kolorem szarym).

Pozostałymi elementami wchodzącymi w skład zaworu, prócz wspomnianego korpusu, są: części z tworzywa sztucznego, sprężyna oraz uszczelnienia.

Kolejne etapy procesu produkcyjnego, po wytworzeniu i zakupie wszystkich elementów zaworu, to montaż i proces kontroli gotowego wyrobu.

3.1. Założenia produkcyjne

Odbiorca przedstawił następujące założenia produkcyjne dotyczące omawianego zaworu kontrolnego:

- wielkość produkcji: 1 200 000 sztuk/rok,
- dostawy: 100 000 sztuk/miesiąc,
- kontrola jakości: 100% kontroli poprawności montażu, działania, szczelności.

3.2. Przegląd infrastruktury firmy

Firma od kwietnia bieżącego roku funkcjonuje w nowym budynku. Kompleks ten, to nowo wybudowany obiekt biurowy o powierzchni ok 600m², wraz z halą produkcyjną o powierzchni ok. 1000m². Całość uzupełnia przestrzeń magazynowa, pomieszczenia montażu, kontroli oraz własne laboratorium wyposażone między innymi w: komorę klimatyczną, stanowiska do badań szczelności elementów pneumatyki, maszynę wytrzymałościową, sprężarkę do wysokich ciśnień i inne urządzenia badawcze. Powierzchnia hali zagospodarowana jest w ok. 70%, co oznacza wolną przestrzeń dla kolejnych maszyn wytwórczych na potrzeby realizowanego projektu (automatów tokarskich CNC), jeśli w wyniku analizy możliwości produkcyjnych obecnego parku maszynowego zajdzie potrzeba ich zakupu. W dziale montażu również istnieje możliwość lokalizacji kolejnych stanowisk/urządzeń montażowych czy kontrolnych. Można więc stwierdzić, że pod względem wymaganej przestrzeni i infrastruktury, istnieją możliwości realizacji analizowanego projektu.

3.3. Możliwości wytwórcze

Kolejny do rozważenia problem, to ocena możliwości wytwórczych obecnego parku maszynowego. Firma w chwili obecnej posiada 11 wysokowydajnych automatów tokarskich CNC, w tym 9 z podajnikami prętów. Jak wykazano powyżej, w planowanym do wdrożenia zaworze tylko jeden element będzie produkowany bezpośrednio w firmie. Będzie to korpus zaworu, który będzie wykonywany w procesie toczenia z półfabrykatów pod postacią prętów sześciokątnych o wielkości sześciokąta S17mm, z mosiądzu typu MO58. Do wytwarzania korpusu będzie zatem potrzebny automat tokarski z podajnikiem prętów. Po opracowaniu technologii wytwarzania korpusu, po napisaniu programu wykonawczego na maszynę CNC określono, że czas wykonania jednego korpusu będzie wynosił 35 sekund. Przy założeniu produkcji w systemie czterobrygadowym (praca w weekendy, święta, itp.) oraz przy uwzględnieniu współczynnika wykorzystania maszyn OEE na poziomie 80% (20% - czas potrzebny na remonty, konserwacje, inne nieplanowane przestoje) obliczono wymaganą ilość maszyn potrzebnych do realizacji produktu.

$$t_r = t_d \cdot t_g \cdot OEE$$

gdzie: t_r - ilość godzin w roku przepracowanych przez jedną maszynę,
 t_d - ilość dni pracy maszyny/rok, $t_d = 365$,
 t_g - ilość godzin pracy maszyny/dobę, $t_g = 24$
 OEE - wskaźnik wykorzystania maszyn w firmie (na podstawie statystyk), $OEE=80\%$, (Brzeziński A., 2010, Mazurek W., 2014)

$$t_r = 365 \cdot 24 \cdot 80\% = 7008 \text{ h/rok}$$

Przyjmując czas wykonania jednego korpusu obliczyć można ilość korpusów, jakie mogą być wytworzone przez jedną maszynę w ciągu roku.

$$i_{kr} = t_r \cdot i_{kg}$$

gdzie: i_{kr} - ilość korpusów wytworzonych przez jedną maszynę w ciągu roku,
 t_r - ilość godzin w roku przepracowanych przez jedną maszynę,
 $t_r = 7008 \text{ h/rok}$,
 i_{kg} - ilość wytworzonych korpusów w czasie jednej godziny przez jedną maszynę w czasie godziny $i_{kg} = \frac{3600}{35} = 103 \text{ szt/h}$

$$i_{kr} = 7008 \cdot 103 = 721824 \text{ szt/rok}$$

Z powyższych obliczeń wynika, że jedna maszyna wykona rocznie ok. 720 000 sztuk korpusu planowanego do wdrożenia zaworu. Przy założeniu wysokości produkcji na poziomie 1 200 000 sztuk/rok, niezbędny będzie zakup dwóch nowych maszyn wytwórczych.

3.4. Elementy zakupowe

Jak wynika z dekompozycji przedstawionej w punkcie 2, jedynym wytwarzanym bezpośrednio w firmie elementem będzie korpus zaworu. Pozostałe elementy będą pochodziły z zakupu, jako typowe wyroby katalogowe, lub jako detale wytwarzane na zamówienie w ramach kooperacji. Firma od lat współpracuje z dostawcą elementów z tworzyw sztucznych, więc założono, że komponenty takie jak tłoczek zaworu oraz pierścień sprężynujący, wykonywane z poliamidu wzmocnianego włóknem szklanym, będą zlecane do wytwarzania w kooperacji. Produkcją sprężyn oraz uszczelnień również zajmują się wyspecjalizowane w tym firmy, więc elementy te także zostaną zakupione od dostawców zewnętrznych. Realizacja tych zadań, zarówno zakupów jak i zleceń wykonania elementów, nie powinna więc stanowić zagrożenia dla realizacji projektu.

3.5. Możliwości montażowe

Kolejny krok w analizie potencjału firmy, to określenie możliwości montażowych. W chwili obecnej, proces montażu produkowanych dotąd w firmie złącz i zaworów odbywa się w sposób ręczny, z niewielkim udziałem przyrządów, uchwytów i stanowisk montażowych. Produkowane dotychczas ilości złącz i zaworów nie uzasadniały inwestycji w rozbudowane systemy montażowe. W przypadku analizowanego projektu należy rozważyć ten aspekt, gdyż mowa tu o znacznie większych ilościach produkowanych zaworów. Wątek ten zostanie rozwinięty w dalszej części opracowania.

Próby montażu przykładowego zaworu na prototypowych elementach składowych wykazały, że czas montażu gotowego wyrobu wynosi około 30s. Przy założeniu produkcji w systemie jednozmianowym, współczynnika efektywności pracy $ECP=75\%$, z wyłączeniem weekendów i świąt, obliczono ilość efektywnego czasu pracy jednego pracownika z działu montażu.

$$t_{rp} = t_{dp} \cdot t_{gp} \cdot ECP$$

gdzie: t_{rp} - ilość efektywnych godzin pracy w roku przepracowanych przez jednego pracownika,
 t_{dp} - ilość dni roboczych/rok, $t_{dp} = 252$,
 t_{gp} - ilość godzin pracy pracownika/zmianę, $t_{gp} = 8$
 ECP - wskaźnik wykorzystania maszyn w firmie (na podstawie statystyk), $ECP=75\%$, (Kowalski M., Kuchta D., 2006)

$$t_{rp} = 252 \cdot 8 \cdot 75\% = 1512 \text{ h / rok}$$

Przyjmując czas montażu jednego zaworu obliczyć można ilość zaworów, jakie mogą być zmontowane przez jednego pracownika w ciągu roku.

$$i_{krp} = t_{rp} \cdot i_{kgr}$$

gdzie: i_{kr} - ilość zaworów zmontowanych przez jednego pracownika w ciągu roku,
 t_{rp} - ilość godzin w roku przepracowanych przez jedną maszynę,
 $t_{rp} = 1512 \text{ h/rok}$,
 i_{kgr} - ilość zaworów zmontowanych w czasie jednej godziny przez jednego pracownika

$$i_{kgr} = \frac{3600}{30} = 120 \text{ szt / h}$$

$$i_{krp} = 1512 \cdot 120 = 181440 \text{ szt / rok}$$

Z powyższych obliczeń wynika, że jeden pracownik zmontuje rocznie ok. 180 000 sztuk zaworu. Przy założeniu wysokości produkcji na poziomie 1 200 000 sztuk/rok, niezbędne będzie zatrudnienie siedmiu nowych pracowników działu montażu.

3.6. Zapewnienie procesów kontrolnych

Ostatni etap procesu produkcyjnego przedmiotowego zaworu, to proces kontroli jakościowej. Zapewnienie wymaganej jakości wyrobu satysfakcjonującej klienta oraz istniejący w firmie system jakości ISO 9001, wymuszają ciągle pomiary parametrów wyrobu, ich kontrolę i sporządzanie odpowiednich zapisów. Pomiary wielkości geometrycznych nie stanowią problemu, gdyż firma dysponuje odpowiednimi środkami i możliwościami technicznymi do ich realizacji. Posiadane przyrządy i urządzenia pomiarowe, wraz z planowaną do zakupu maszyną pomiarową 3D CNC, pozwalają na pomiar praktycznie każdej wielkości geometrycznej. Produkowany zawór musi jednak, oprócz wymiarów mieszczących się w zakresach tolerancji, spełniać również założenia funkcjonalne. Podstawowe oczekiwanie, to niezawodność zaworu, polegające na jego otwarciu po przyłożeniu osiowej siły do tłoczka. Działanie zaworu sprawdzane będzie podczas procesu jego montażu. Kolejna, ważniejsza funkcja analizowanego wyrobu, to jego szczelność. Odbiorca wymaga jej na określonym poziomie, podając maksymalny dopuszczalny wyciek powietrza w odniesieniu do czasu. Tak więc: dla temperatury pracy 20°C jest to 0,5cm³/min. Jak dotąd, pomiar szczelności produkowanych wyrobów realizowany był przy pomocy bardzo prostego, powolnego, jednakże skutecznego testu wodnego. Takie postępowanie w analizowanym przypadku nie jest możliwe, zarówno ze względu na czas trwania procesu testowania, jak i na dokładność otrzymanych wyników pomiaru. Wykonując test wodny nie ma możliwości wartościowania mierzonego wycieku, co uniemożliwia jego porównanie z wartością dopuszczalną. Należy więc rozważyć możliwość opracowania i wdrożenia do procesu testowania urządzenia kontrolnego do badania szczelności. Urządzenie to powinno być wydajniejsze od testu wodnego, powinno określać wartość mierzonego wycieku, oraz dokonywać automatycznej separacji wyrobów niezgodnych. Koncepcja takiego urządzenia, wraz z analizą kosztów jego wdrożenia będzie treścią kolejnych punktów niniejszego opracowania.

3.7. Rewizja zasobów ludzkich

Podjęcie realizacji złożonego zadania produkcji ponad miliona zaworów rocznie wymaga podsumowania dostępnych zasobów ludzkich i ich potencjału.

Na podstawie punktu 3.3, traktującego o możliwościach wytwórczych wnioskuje się, że w związku z wymogiem zakupu nowych maszyn CNC, zaistnieje potrzeba dodatkowego zatrudnienia dwóch operatorów obrabiarek numerycznych.

Przy wdrażaniu projektu winno się także zwrócić uwagę na udział pracowników umysłowych. W przypadku konstruktorów należy ocenić kompetencje pozwalające na opracowanie niezbędnej dokumentacji technicznej, zarówno modeli przestrzennych jak i rysunków płaskich dedykowanych produkcji, przygotowaniu i wdrożeniu instrukcji prawidłowego montażu zaworów, itp.

Pracownicy działu jakości muszą być gotowi na rozpoczęcie kontroli nowego i wyjątkowo obszernego procesu produkcji, nadzór nad bezpośrednią kontrolą dokonywana przez montażystów, wynikami kart pomiarów geometrycznych i badań funkcjonalnych

(warunek szczelności), gdzie tylko 100% poprawność warunkuje przyjęcie wyrobu przez klienta jako zgodnego.

Tabela. 2. Tabełaryczne zestawienie wymaganych zasobów ludzkich

Stanowisko	Uwaga	Wniosek
1	2	3
Operatorzy maszyn CNC	Na podstawie punktu 3.3 Możliwości wytwórcze, stwierdzono potrzebę zakupu dodatkowych maszyn CNC.	Zatrudnienie dwóch dodatkowych osób
Montażysty	Na podstawie punktu 3.5 Możliwości montażowe, stwierdzono potrzebę dodatkowego personelu montażowego.	Zatrudnienie siedmiu dodatkowych osób
Konstruktorzy	Podstawowe zadania związane z nowym projektem obejmują: opracowanie dokumentacji technicznej, wdrożenie i opracowanie instrukcji produkcyjnych.	Wystarczająca liczba osób z odpowiednimi kompetencjami
Inżynierowie jakości	Podstawowe zadania związane z nowym projektem obejmują: opracowanie dokumentacji jakościowej, nadzór nad wynikami kart badań geometrycznych i funkcjonalnych oraz kontrolą wizualną.	

Zarówno konstruktorzy, jak i inżynierowie jakości posiadają wiedzę niezbędną do uruchomienia projektu, realizowali podobne zadania w przeszłości. Dzięki swoim kompetencjom i doświadczeniu obecni pracownicy umysłowi zaspokajają w pełni potrzeby związane z pracami wdrożeniowymi.

3.8. Podsumowanie możliwości produkcyjnych firmy w aspekcie uruchomienia produkcji zaworu kontrolnego

Przeprowadzone powyżej analizy pozwalają na zestawienie możliwości wytwórczych firmy w aspekcie realizacji projektu wdrożenia do produkcji zaworu kontrolnego. W poniższej tabeli zestawiono krótkie podsumowanie dotyczące możliwości i ograniczeń firmy w tym zakresie.

Tab. 3. Zestawienie możliwości i ograniczeń firmy w aspekcie realizacji uruchamianego projektu

Analiza możliwości	Czy wystarczające do realizacji projektu ?	Uwagi
Infrastruktura firmy	TAK	
Możliwości wytwórcze	TAK (warunkowo)	Pod warunkiem zakupu dwóch obrabiarek CNC i zatrudnieniu

		dwóch operatorów
Możliwości montażowe	TAK (warunkowo)	Pod warunkiem zatrudnienia 7 osób, lub uruchomienia urządzenia montażowego
Procesy kontrolne	TAK (warunkowo)	Pod warunkiem uruchomienia urządzenia testowego
Zasoby ludzkie	TAK	

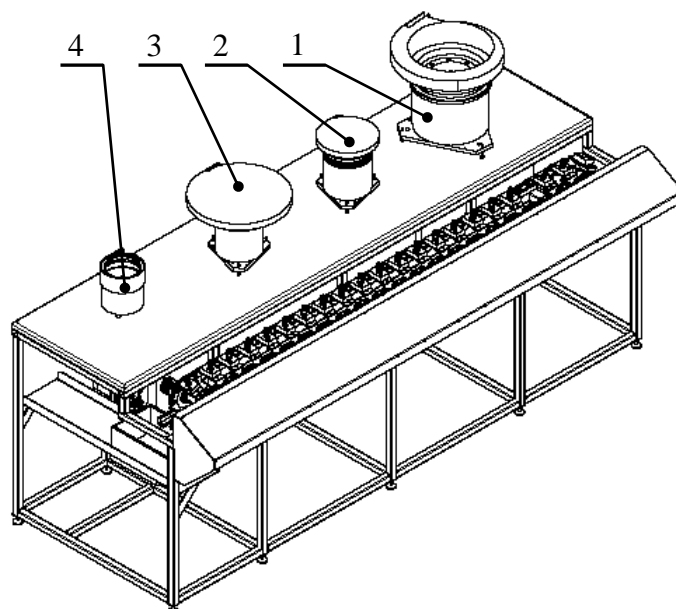
Chcąc podjąć ostateczną decyzję, należy rozważyć koszty zaprojektowania i wdrożenia ewentualnych dwóch urządzeń technologicznych, tj.: urządzenia do automatyzacji montażu zaworów oraz urządzenia do badania szczelności.

4. KONCEPCJA URZĄDZENIA MONTAŻOWEGO

Celem przystąpienia do prac projektowych urządzenia do automatycznego montażu, sformułowano wytyczne, które mają zawęzić obszar poszukiwań rozwiązania problemu:

- linia montażowa o wydajności min. 4 zaworów/minutę,
- możliwie duży stopień automatyzacji ograniczający pracę operatora,
- dopuszczalne dozowanie ręczne jedynie elementów takich jak: sprężyna i filtr,
- maksymalnie jeden operator obsługujący urządzenie,
- dostosowanie urządzenia do automatyzacji montażu zaworów produkowanych w największych ilościach, tj.: 120000 sztuk/rok,
- zakładana ogólna koncepcja liniowa,
- napędy, zarówno przenośnika linowego, jak i modułów montażowych realizowane za pomocą silników krokowych,
- układy wciskowe – napędzane pneumatycznie,
- elementy przesuwne (układy wciskowe) napędzane przekładnią z pasem zębatym, na prowadnicach liniowych, lub za pomocą prowadnic kulowych (śrub kulowych),
- całość sterowana modułem sterującym, opartym na sterowniku PLC,
- elementy podawane za pomocą podajników wibracyjnych,

Na podstawie powyższych założeń opracowano koncepcję urządzenia, przedstawioną na poniższym rysunku (Szymonowicz P., 2014).



Rys. 2. Ogólna koncepcja urządzenia montażowego

Urządzenie będzie działało według poniższego algorytmu.:

Podajnik wibracyjny 1 transportuje zawór do modułu dokującego, który pozycjonuje elementy na przenośniku łańcuchowym. Dalej element jest przemieszczany pod kolejny moduł dokujący, który uzupełniany jest przez podajnik wibracyjny 2 tłoczkiem z nałożonym o-ringiem.

Kolejna operacja realizowana będzie przez następny moduł dozujący i podajnik wibracyjny 3 umieszczając w korpusie stożkową sprężynę. Ostatnim etapem będzie pozycjonowanie pierścienia sprężystego, podawanego przez podajnik wibracyjny 4. Pomiedzy kolejnymi operacjami montażowymi montowane zawory są przemieszczane przy za pomocą gniazd, zamontowanych na przenośniku łańcuchowym, napędzanym przy pomocy silnika krokowego. Na końcu przenośnika znajduje się pojemnik, do którego wpadają zmontowane zawory. Proces powtarzany jest cyklicznie, w sposób ciągły, w zasadzie bez udziału operatora, którego rola sprowadza się do sporadycznego uzupełniania podajników wibracyjnych odpowiednimi elementami, o konieczności czego informowany będzie za pomocą sygnałów świetlnych i dźwiękowych.

Nadmienić należy, że prezentowany wyżej model urządzenia został wybrany spośród kilku opracowanych wcześniej koncepcji, jako najlepiej spełniający określone założenia funkcjonalne.

Tab.4. Wstępny kosztorys urządzenia do automatyzacji procesu montażu zaworów

Elementy składowe urządzenia	Cena/zł
Podajniki wibracyjne	45000
Napęd z przekładnią	4000
Rama	2200
Przenośnik taśmowy	1000
Sterownik PLC + moduł rozszerzający	4000
Kamery + czujniki	15000
Praca automatyków	12000
Panel sterujący	1400
Szafa elektryczna	500
Pneumatyka	500
Suma kosztów	85700

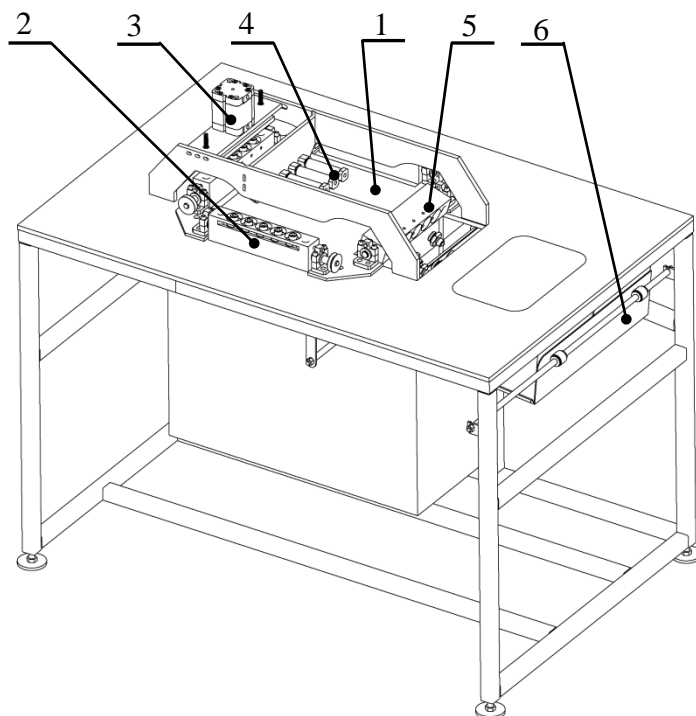
Z zestawienia zamieszczonego w powyższej tabeli wynika, że wstępne koszty urządzenia wyniosłyby około 86 tys. zł.

5. KONCEPCJA URZĄDZENIA KONTROLNEGO

Podobnie, jak w przypadku maszyny do automatycznego montażu, przed przystąpieniem do prac projektowych urządzenia do sprawdzania szczelności zaworów, sformułowano wytyczne, które mają zawęzić obszar poszukiwań rozwiązania problemu:

- wydajność umożliwiającą badanie 5 zaworów/minutę,
- możliwie duży stopień automatyzacji ograniczający pracę operatora,
- dopuszczalne dozowanie ręczne zaworów,
- maksymalnie jeden operator obsługujący urządzenie,
- dostosowanie urządzenia do automatyzacji montażu zaworów produkowanych w największych ilościach, tj.: 120000 sztuk/rok,
- zakładana ogólna koncepcja karuzelowa,
- znakowanie zaworów szczelnych,
- samoczynny wyładunek zbadanych zaworów,
- automatyczna segregacja zaworów szczelnych i braków, poprzez wysyp do odpowiednich pojemników,
- napędy realizowane za pomocą silników krokowych i/lub pneumatycznych elementów roboczych,
- całość sterowana modułem sterującym, opartym na sterowniku PLC,

Na podstawie powyższych założeń opracowano koncepcję urządzenia, przedstawioną na rys.3.



Rys. 3. Ogólna koncepcja urządzenia do badania szczelności zaworów

Urządzenie będzie działało według poniższego algorytmu.

W pierwszej kolejności operator ładuje 5 sztuk badanych zaworów do gniazd umieszczonych w listwie 2. Urządzenie posiada cztery takie listwy, zamontowane na obrotowym stole 1. Po załadunku zaworów, operator uruchamia urządzenie. Następuje wówczas obrót stołu o 90° , w efekcie którego listwa z załadowanymi zaworami przemieszcza się na stanowisko 3, a na miejsce załadowcze 2 przesuwa się kolejna listwa do załadunku. W tym momencie operator ładuje kolejne 5 sztuk zaworów do kolejnej listwy, a równocześnie na stanowisku 3 odbywa się proces sprawdzania szczelności. Po sprawdzeniu pierwszych 5 zaworów, jeśli wynik testu jest pozytywny, następuje ich oznaczenie przy pomocy siłowników 4 w z zamocowanymi na tłoczyskach trzpieniach znakującymi. Po kolejnym uruchomieniu urządzenia następuje kolejny obrót stołu o 90° , po czym sprawdzone zawory trafiają na stanowisko wyładowcze 5. Tutaj, w zależności od wyniku testu, zbadane zawory są wysypywane do pojemnika w kolorze zielonym (zawory szczelne), lub w kolorze czerwonym (braki). Proces ten powtarzany jest cyklicznie.

Nadmienić należy, że prezentowany wyżej model urządzenia został wybrany spośród kilku opracowanych wcześniej koncepcji, jako najlepiej spełniający określone założenia funkcjonalne.

Tab.5. Wstępny kosztorys urządzenia do badania szczelności zaworów

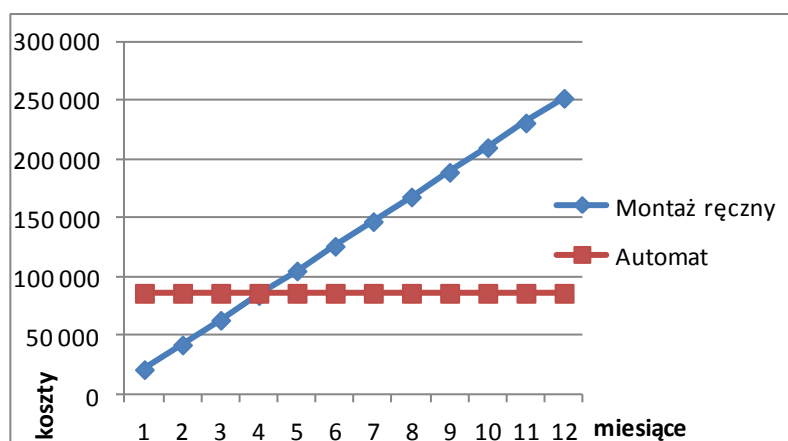
Elementy składowe urządzenia	Cena/zł
Listwy wraz z mechanizmem obrotu	1800
Napęd z przekładnią	5500
Rama	2000
Przetwornik ciśnienia	1600
Sterowanie PLC + moduł rozszerzający	4000
Czujniki pozycjonujące	800
Praca automatyków	6000
Panel sterujący	2000
Szafa elektryczna	500
Pneumatyka	500
Suma kosztów	24700

Z zestawienia zamieszczonego w powyższej tabeli wynika, że wstępne koszty urządzenia wyniosłyby około 25 tys. zł.

6. KOŃCOWA ANALIZA EKONOMICZNA PRZEDSIĘWZIĘCIA

Z przeprowadzonych analiz wynika, że firma posiada potencjał do uruchomienia omawianego projektu. Wykazano, że niezbędny będzie zakup kolejnych maszyn wytwórczych oraz zatrudnienie wykwalifikowanych pracowników. Konieczne będzie ponadto zaprojektowanie, wykonanie i wdrożenie urządzenia do badania szczelności produkowanych zaworów. O ile zakup obrabiarek i zatrudnienie ich operatorów oraz budowa urządzenia do badania szczelności to warunki konieczne, to zatrudnienie pracowników realizujących proces montażu wymaga dodatkowych analiz ekonomicznych. Alternatywą dla tego podejścia jest projekt i budowa urządzenia montażowego. W celu ułatwienia podjęcia decyzji przeprowadzona zostanie analiza porównawcza kosztów zatrudnienia 7 pracowników oraz budowy urządzenia montażowego.

Zakłada się, że miesięczne koszty zatrudnienia pracownika montażu, wynosić będą około 3000 zł. Jak wykazano w punkcie 3.5, aby zapewnić płynność procesu montażu ręcznego, należy zatrudnić siedmiu pracowników. Całkowity koszt miesięczny zapewnienia procesu montażu ręcznego wynosić więc będzie 21000 zł. Przybliżony koszt urządzenia montażowego natomiast, szacowany w punkcie 4 to 86000 zł. Czas, po którym zwróci się nakład na budowę i uruchomienie urządzenia pokazano na wykresie zamieszczonym na rys.4.



Rys. 4. Moment zrównania nakładów poniesionych na budowę automatu montażowego z kosztami zatrudnienia dodatkowych pracowników - cztery miesiące

7. WNIOSKI

Opracowanie miało dać odpowiedź na pytanie, czy firma posiada potencjał techniczny i kapitał ludzki umożliwiający realizację nowego, dużego przedsięwzięcia, jakim będzie uruchomienie produkcji zaworów kontrolnych dla klienta o globalnym zasięgu. Przeprowadzone analizy wykazały, że możliwe będzie uruchomienie projektu, pod pewnymi warunkami. Podstawowe z nich to: zakup dwóch maszyn wytwórczych oraz zatrudnienie ich operatorów. Kolejne konieczne do wypełnienia warunki, wynikające z założeń funkcjonalnych wymaganych przez klienta, to budowa i uruchomienie urządzenia do badania szczelności. Ponadto wykazano, że wąskim gardłem wdrażanego projektu będzie proces montażu przedmiotowych zaworów. Należy więc zwiększyć potencjał działu montażu poprzez zatrudnienie kolejnych siedmiu pracowników, lub automatyzację procesu montażowego. Wykazano, że nakłady na ewentualną budowę i uruchomienie automatu montażowego zwrócą się po czterech miesiącach w porównaniu z zatrudnieniem wymaganych siedmiu pracowników. Podsumowując można stwierdzić, że projekt będzie możliwy do realizacji, a jego uruchomienie może być szansą na rozwój firmy, zdobycie zaufania znaczącego odbiorcy, co w przyszłości może owocować kolejnymi podobnymi projektami. Dodać należy, że w opracowaniu nie analizowano opłacalności całego przedsięwzięcia, gdyż nie było to celem pracy, a poza tym dane jakie byłyby potrzebne do takich analiz są objęte tajemnicą handlową.

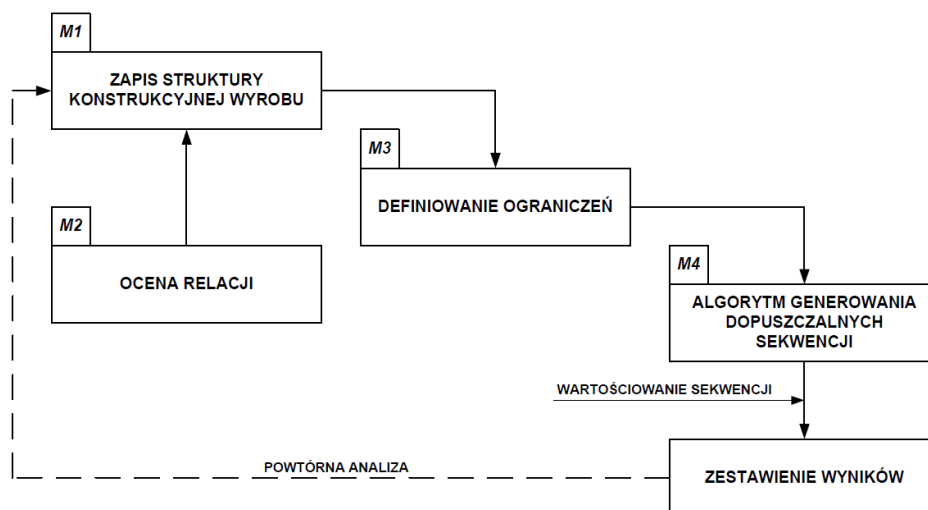
ZASTOSOWANIE METODY DFA W PROCESIE PROJEKTOWANIA KOLUMNY PROWADZĄCEJ OKROJNIKA DETALI ODLEWANYCH ZE STOPÓW ALUMINIUM

1. WPROWADZENIE

Jakość produktu przemysłowego kształtowana jest w procesie jego realizacji, składającego się z projektowania, wytwarzania i montażu. Największe znaczenie ma proces projektowania, ponieważ powinien uwzględniać wymagania technologiczne oraz montażowe. W nurcie tego procesu powstało wiele metod ukierunkowanych na różne aspekty projektowania. Jedną z nich jest metoda projektowania pod kątem montażu DFA (ang. Design For Assembly). W literaturze można spotkać wiele prac poświęconych tej tematyce (Boothroyd G., Dewhurst P 1991), (Booker J.D., Raines M., Swift K. G., 2001), (Kayyalethekker V., Mc Adams D., Stone R. 2003). Metoda ta polega na analizie projektu w celu ułatwienia jego montażu, zmniejszeniu ilości części składowych oraz potrzebnego czasu składania a co za tym idzie minimalizacji kosztów produkcji. Większość opracowanych w ciągu ostatnich piętnastu lat metod stosowania DFA znajduje najszersze zastosowanie przy tworzeniu projektu finalnego wyrobu. Coraz częściej jednak proponuje się ich wdrożenie w możliwie wczesnym etapie projektowania (Booker J.D., Raines M., Swift K. G., 2001), (Sąsiadek M. 2009). Uwzględnienie wszystkich wymagań procesu montażu już w fazie początkowej projektowania jest zadaniem bardzo skomplikowanym, dlatego też zastosowanie tej metodologii sprowadza się do intuicyjnego uwzględniania wymogów montażu, możliwych do przestrzegania w danym momencie procesu projektowania. Bardzo ważne jest zapewnienie projektantowi odpowiedniego narzędzia, umożliwiającego mu analizę i ocenę tworzonej przez niego konstrukcji pod kątem wydajności montażowej. W literaturze znaleźć można wiele różnych metod oceny konstrukcji zgodnie z zasadami DFA. Jedną z nich jest wskaźnik oceny połączeń montażowych q_a (Booker J.D., Raines M., Swift K. G., 2001) opracowany na podstawie wiedzy ekspertów oraz analiz prowadzonych w przedsiębiorstwach. Innym przykładem są nowoczesne aplikacje jak np.: prototypowy program komputerowy do tworzenia zbioru dopuszczalnych wariantów kolejności montażu urządzeń mechanicznych z uwzględnieniem DFA dostosowany do projektowania współbieżnego (Sąsiadek M. 2012). Tego typu aplikacje pozwalają na obniżenie wydatków związanych z wytwarzaniem przez co są coraz szerzej stosowane i zdobywają coraz większe uznanie.

2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA METODY

Zastosowana w pracy metoda wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu oraz ich wartościowaniu i selekcji została opracowana na podstawie koncepcji zaproponowanej i szczegółowo opisanej w pracach (Sąsiadek M. 2012) (Sąsiadek M. 2013). Metoda ta jest zaliczana do grupy formalnych metod klasycznych. Posiada ona cztery podstawowe części (moduły) (Rys. 1).



Rys. 1. Moduły metody i relacje pomiędzy nimi (Sąsiadek M. 2012)

W pierwszym module (M1) następuje identyfikacja wszystkich relacji kontaktowych pomiędzy częściami którą następnie przedstawia się w postaci macierzy struktury konstrukcyjnej M_k o rozmiarze $n \times n$ (gdzie n jest liczbą części składowych). W drugim module (M2) relacje z modułu pierwszego poddawane są ocenie według wskaźnika q_a zaczerpniętego z literatury (Booker J.D., Raines M., Swift K. G., 2001). Ma on na celu uzyskanie informacji na temat poziomu skomplikowania konstrukcji analizowanego wyrobu i jego elementów składowych pod względem montażu.

Wskaźnik q_a składa się z:

- charakterystyki dotyczącej chwytania i podawania komponentu – h_p ,
- charakterystyki procesu dotyczącego łączenia komponentów – f_p .

$$f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$$

gdzie:

- A – prawidłowość łączenia części pod kątem funkcji zespołu,
- B – pozycjonowanie dwóch łączonych elementów,
- C – orientowanie dwóch elementów,
- D – kierunek łączenia elementów,
- E – sposób łączenia części,
- F – ograniczenia dotyczące kontroli i dojścia do połączenia,
- G – możliwe utrudnienia, np. osiowanie,
- H – opory łączenia części.

Składowa D określa, ile zmian kierunku ruchu łączonych elementów wymaga dana sekwencja montażu. Wpływa więc na wartościowanie sekwencji i preferowanie tych, które wymagają mniejszej ich liczby. Osiągnięcie tego zostało umożliwione poprzez

dodanie do składowej współczynnika przekierowania d Mnożony jest on przez składową D , a jego wartość ustalana jest przez użytkownika. Wynikiem tego możemy ocenić poszczególne sekwencje montażu w taki sposób, że im większa wartość składowej D , tym trudniejsza do wykonania sekwencja montażu. Wzór na wskaźnik f_p przyjmuje wtedy postać (Sąsiadek M. 2013):

$$f_p = A \times B \times C \times (d \cdot D) \times E \times F \times G \times H$$

Do obliczania wartości wskaźnika oceny sekwencji montażu służy wzór:

$$Q = \sum_{i=1}^j q_a$$

gdzie: i, j - kolejne połączenia analizowanej sekwencji.

Wartościowanie sekwencji montażu polega na tym, że im niższa wartość wskaźnika oceny Q , tym korzystniejsza sekwencja. Najniższą możliwą wartością Q jest $Q = n \cdot 1.0$, gdzie n jest ilością połączeń w ocenianej sekwencji montażu.

Moduł trzeci (M3) to zbiór ograniczeń ustalający liczbę teoretycznych sekwencji montażu. Ograniczenia kolejnościowe są bardzo istotne w procesie poszukiwania optymalnej sekwencji montażu. Dotyczą one wszystkich połączeń ujętych w macierzy M_k , które podzielić można następująco:

- połączenie startowe (p_s) – połączenie dwóch części, rozpoczynające sekwencję montażu, służy ono do określenia części bazowych sekwencji,
- połączenie „pomiń” (p_p) – połączenie nie uwzględniane w sekwencji montażu,
- połączenie blokujące (p_b) – połączenie uniemożliwiające uzyskanie kompletnego wyrobu w dalszym etapie sekwencji montażu. Definiuje ono połączenia, które nie mogą być przedwcześnie wykonane. Jest to najważniejsze ograniczenie, patrząc pod kątem ustalania poprawnej sekwencji montażu.

Połączenia blokujące są definiowane za pomocą operatorów „i” (\wedge) oraz „lub” (\vee). Operator „i” przypisany do połączeń blokujących ($p_{b1} \wedge p_{b2} \wedge \dots \wedge p_{bn}$) mówi nam, że połączenie p_n , dla którego zostały zdefiniowane połączenia blokujące, może być wykonane w sytuacji, gdy nie wszystkie połączenia blokujące zostały zrealizowane. Oznacza to, iż dla połączenia p_n może być zrealizowanych $n-1$ połączeń blokujących, gdzie n oznacza ich liczbę. W przypadku, gdy zrealizowane zostaną wszystkie połączenia blokujące, nie można będzie zrealizować połączenia p_n .

Przypisanie operatora „lub” (\vee) do połączenia blokującego ($p_{b1} \vee p_{b2} \vee \dots \vee p_{bn}$), mówi nam, że połączenie p_n , dla którego zostały zdefiniowane połączenia blokujące, należy wykonać przed połączeniami blokującymi. Oznacza to, że jeżeli chociażby jedno połączenie blokujące zostanie wykonane, to niemożliwe będzie wykonanie połączenia p_n .

Moduł ostatni (M4) służy do generowania dopuszczalnych sekwencji montażu. Liczba możliwych kombinacji przy coraz większej liczbie elementów rośnie według prawa silni (permutacje elementów zbioru, gdzie n - ilość części składowych wyrobu). Zatem, przy dużej liczbie elementów systematyczna analiza wszystkich wariantów bez odpowiednio wspomagającego narzędzia komputerowego jest praktycznie niewykonalna. W niniejszym artykule, z uwagi na brak profesjonalnego oprogramowania wspomagającego, dopuszczalną ilość sekwencji montażu określono w oparciu na wiedzę i doświadczenie zawodowe autorów.

3. ANALIZA DFA KOLUMNY PROWADZĄCEJ

Celem analizy DFA jest ułatwienie procesu montażu poprzez niewielkie zmiany konstrukcji oraz wyznaczenie najbardziej wydajnych sekwencji montażu. Analiza projektu polega na podziale konstrukcji na poszczególne podzespoły i analizie połączeń między częściami składowymi tych podzespołów.

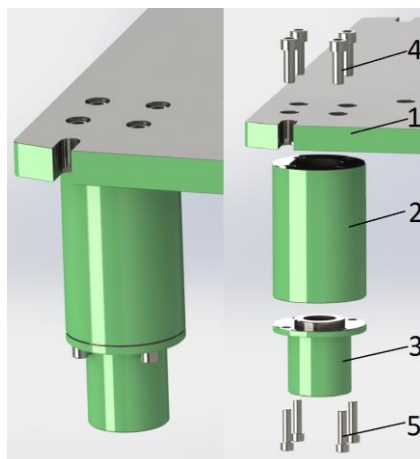
Pierwszym krokiem jest stworzenie macierzy zależności analizowanych podzespołów, w której zapisane zostaną wszystkie możliwe połączenia pomiędzy częściami składowymi podzespołów. Następnie usunięciu zostaną poddane połączenia nieistotne lub niemożliwe do realizacji i stworzona zostanie macierz zredukowana. Na podstawie tej macierzy stworzone zostaną możliwe sekwencje montażu bazując na połączeniach startowych oraz ograniczających. Po czym na ich bazie zostaną poddane analizie połączenia między częściami składowymi i wyznaczone wskaźniki f_p oraz finalnie q_a .

3.1 Analiza konstrukcji przed wprowadzeniem zmian

Kolumna prowadząca (Rys. 2) składa się z tulei mocującej połączonej z płytą górną okrojnika oraz tulei prowadzącej z kołnierzem, która połączona jest z tuleją mocującą. Połączenie tulei mocującej z płytą górną oraz tulei prowadzącej z tuleją mocującą zrealizowane jest za pośrednictwem śrub – dla każdego połączenia po 4 śruby. Płyta górna posiada odpowiednie podcięcie walcowe o średnicy tulei mocującej, ułatwiające jej pozycjonowanie.

Tworzenie macierzy zależności

Kolumna prowadząca składa się z 5 elementów. W tworzeniu listy możliwych połączeń oba zestawy 4 śrub traktowane są jako jedna część. Jednakże w obliczaniu wskaźnika q_a wartość dla połączeń zestawów śrub z elementami pozostałymi musi zostać powiększona 4 krotnie. Analizując budowę podzespołu części można wyróżnić następujące połączenia: $1 \leftarrow 4$, $1 \leftarrow 2$, $4 \leftarrow 1$, $4 \leftarrow 2$, $2 \leftarrow 1$, $2 \leftarrow 4$, $2 \leftarrow 3$, $2 \leftarrow 5$, $3 \leftarrow 2$, $3 \leftarrow 5$, $5 \leftarrow 3$, $5 \leftarrow 2$. Zatem macierz zależności przybiera postać zaprezentowaną w tabeli 1. Niektóre z połączeń z macierzy zależności są nieistotne bądź niemożliwe do realizacji. Są to połączenia: $4 \leftarrow 2$, $5 \leftarrow 2$, $5 \leftarrow 3$, $4 \leftarrow 1$. Po ich odrzuceniu powstaje macierz zredukowana w postaci tabeli 2.



Rys. 2. Budowa kolumny przewodzącej: 1 – stół górny, 2 – tuleja mocująca, 3 – tuleja przewodząca, 4,5 – śruby.

Tab. 1. Macierz zależności M_k

	1	2	3	4	5
1		X		X	
2	X		X	X	X
3		X			X
4	X	X			
5		X	X		

Tab. 2. Macierz zredukowana zależności M_k

	1	2	3	4	5
1		X			
2	X		X		
3		X			
4	X	X			
5		X	X		

Określenie połączeń startowych oraz blokujących.

Połączeniem startowym nazywamy połączenie od którego zaczyna się montaż wszystkich elementów. Dla analizowanego przypadku połączeniem startowym jest połączenie: $1 \leftarrow 2$. Połączeniami blokującymi są połączenia: $2 \leftarrow 4$ dla połączenia startowego oraz $2 \leftarrow 5$ dla połączeń $3 \leftarrow 2$, $2 \leftarrow 3$.

Określenie możliwych sekwencji montażu:

Na podstawie powyższych analiz stworzone zostały możliwe do realizacji sekwencje montażowe w postaci:

- a) 1 – 2 – 4 – 3 – 5,

b) 1 – 2 – 3 – 5 – 4,

c) 1 – 2 – 3 – 4 – 5,

które następnie poddano ocenie za pomocą wskaźników f_p oraz h_p . Wyniki oceny przedstawiono kolejno w tabelach 3-5 przy czym wartości połączeń montażowych $2 \leftarrow 4$ oraz $2 \leftarrow 5$ zostały powiększone 4 krotnie.

Tab. 3. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji a.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	4 · 14,03 = 56,12
2 ← 3	1,0	2,5	1,1	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	4,7	1,0	4,7
2 ← 5	1,0	2,5	2,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,5	15,3	1,1	4 · 16,83 = 67,32

Tab. 4. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji b.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 3	1,0	2,5	1,1	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	4,7	1,0	4,7
2 ← 5	1,0	2,5	2,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,5	15,3	1,1	67,32
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	56,12

Tab. 5. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji c.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 3	1,0	2,5	1,1	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	4,7	1,0	4,7
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	56,12
2 ← 5	1,0	2,5	2,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,5	15,3	1,1	67,32

Analizując wartości wskaźnika q_a dla wszystkich sekwencji montażowych widzimy, iż mają one tę samą wartość. Wywnioskować można, że efektywność każdej z nich jest taka sama, lecz należy pamiętać, że preferowana jest sekwencja z najmniejszą liczbą

zmian kierunku montażu. Do określenia sekwencji najlepszej pod tym względem przewidziany jest współczynnik przekierowania d , który określa liczbę zmian kierunku łączenia części w analizowanej sekwencji.

W przypadku zmiany mnożony jest przez składową D pierwszego połączenia w nowym kierunku montażu. Jego wartość dobiera się dowolnie i w tym przypadku dobrano $d = 2$. Należy zwrócić uwagę, że dla połączeń zestawów śrub z pozostałymi elementami podzespołu, współczynnik d mnożony jest przez składową D jednej śruby, a nie czterech, choć zestawy te są traktowane jako jedna część. Wartości d dla pozostałych trzech śrub pozostają bez zmian. Jest to spowodowane założeniem, że przykręcanie śrub zachodzi jedna po drugiej, np.: dla połączenia $2 \leftarrow 4$:

$$f_p = A \times B \times C \times (D \cdot d) \times E \times F \times G \times H + 3 \cdot (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H) = \\ = 1 \times 2,5 \times 2,0 \times (1,0 \cdot 2) \times 1,0 \times 1,0 \times 1,7 \times 1,5 + 3 \cdot (1 \times 2,5 \times 2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,7 \times 1,5) = 63,75$$

Założenie to zostanie zastosowane we wszystkich analizowanych przypadkach.

Zatem:

$$q'_a = 1,1 \cdot 63,75 = 70,13$$

Wartości q'_a oraz ich suma Q dla poszczególnych sekwencji zestawiono w tabeli 6.

Jak można zauważyć w tabeli 6 najbardziej wydajną sekwencją montażu jest sekwencja b) $1 - 2 - 3 - 5 - 4$, ponieważ suma q'_a ma najniższą wartość równą 150,55.

3.2 Analiza konstrukcji po wprowadzeniu zmian.

Kierując się wytycznymi projektowania pod kątem montażu i demontażu dokonano zmian w konstrukcji filaru prowadzącego (Rys 3). Usunięto dwa elementy, czyli tuleja prowadząca oraz zestaw śrub (Rys. 2 poz. 3 i 5). Dodano natomiast jeden nowy element – tuleję mosiężną (Rys. 3 poz. 2). Zadania tulei prowadzącej przejęła tuleja mocująca oraz tuleja mosiężna. Kolejną zmianą jest zmniejszenie liczby śrub mocujących z czterech do trzech (Rys.3. poz. 4). Zmniejsza to o 25% czasochłonność procesu montażu. W obliczeniach wskaźnika q_a traktowane one będą jako jedna część, podobnie jak w przypadku konstrukcji poprzedniej.

Tab. 6. Wartości wskaźnika oceny q_a z uwzględnieniem współczynnika przekierowania.

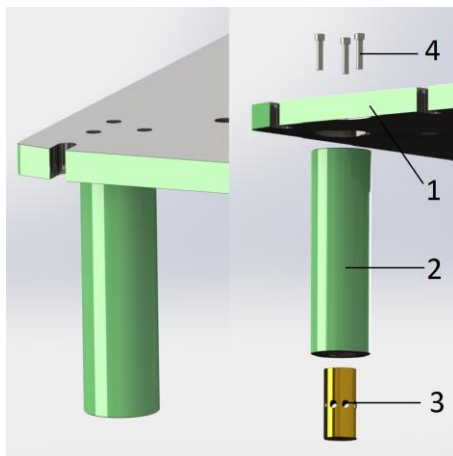
Sekwencja 1 – 2 – 4 – 3 – 5				Sekwencja: 1 – 2 – 3 – 5 – 4				Sekwencja: 1 – 2 – 3 – 4 – 5			
Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.		Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.		Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.	
		q'_a	skł. D			q'_a	skł. D			q'_a	skł. D
1 ← 2	8,4	8,4	1,2	1 ← 2	8,4	8,4	1,2	1 ← 2	8,4	8,4	1,2
2 ← 4	56,12	70,13	2	2 ← 3	4,7	4,7	1,7	2 ← 3	4,7	4,7	1,7
2 ← 3	4,7	9,35	3,4	2 ← 5	67,32	67,32	1,2	2 ← 4	56,12	70,13	2
2 ← 5	67,32	67,32	1,2	2 ← 4	56,12	70,13	2	2 ← 5	67,32	84,15	2,4
Q	136,54	155,2		Q	136,54	150,55		Q	136,54	167,38	

$Q = \sum_{i=1}^j q_a$, gdzie i, j – połączenia w sekwencji.

(6.1)

q'_a - wartość wskaźnika z uwzględnieniem współczynnika przekierowania.

Pogrubione wartości składowej D oznaczają zwiększenie jej wartości przez iloraz ze wskaźnikiem przekierowania.



Rys. 3. Budowa kolumny prowadzącej po wprowadzeniu zmian w konstrukcji.

Tworzenie macierzy zależności

Kolumna prowadząca składa się z 4 elementów. Analizując budowę możemy wyróżnić następujące możliwe połączenia: $1 \leftarrow 4$, $1 \leftarrow 2$, $2 \leftarrow 4$, $2 \leftarrow 3$, $3 \leftarrow 2$, $4 \leftarrow 2$, $4 \leftarrow 1$, $2 \leftarrow 1$. Zatem macierz zależności przyjmuje postać zaprezentowaną w tabeli 7. Po odrzuceniu połączeń niemożliwych do zrealizowania lub nieistotnych powstaje macierz zredukowana (Tab.8).

Tab. 7. Macierz zależności M_k

	1	2	3	4
1		X		X
2	X		X	X
3		X		
4	X	X		

Tab. 8. Macierz zredukowana zależności M_k

	1	2	3	4
1		X		
2	X		X	
3		X		
4	X	X		

Określenie połączeń startowych oraz blokujących.

Połączeniem startowym w analizowanej konstrukcji jest połączenie $1 \leftarrow 2$, tak samo jak podczas analizy konstrukcji pierwotnej lub połączenie $2 \leftarrow 3$. Połączeniami blokującymi dla połączenia startowego $1 \leftarrow 2$ jest połączenie $2 \leftarrow 4$. Dla połączenia $2 \leftarrow 3$ nie znajdujemy żadnego połączenia blokującego.

Określenie możliwych sekwencji montażu:

Po dokonanej analizie budowy oraz połączeń między częściami filaru stworzono możliwe sekwencje montażu w postaci:

- a) 1 – 2 – 4 – 3,
- b) 1 – 2 – 3 – 4,
- c) 2 – 3 – 1 – 4,

które następnie poddano ocenie za pomocą wskaźników f_p oraz h_p . Wyniki oceny przedstawiono kolejno w tabelach 9-11.

Tab. 9. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji a.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	$3 \cdot 14,03 = 42,09$
2 ← 3	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,98	1,0	1,98

Tab. 10. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji b.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 3	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,98	1,0	1,98
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	$3 \cdot 14,03 = 42,09$

Tab. 11. Ocena połączeń montażowych dla sekwencji c.

Poł. montaż.	Składowe wskaźnika f_p								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
2 ← 3	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,98	1,0	1,98
1 ← 2	2,0	2,5	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	8,4	1,0	8,4
2 ← 4	1,0	2,5	2,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,5	12,75	1,1	$3 \cdot 14,03 = 42,09$

Podobnie jak w analizie konstrukcji przed wprowadzeniem zmian wartości współczynnika q_a dla zestawu śrub zostały pomnożone przez ich liczbę. W tabeli 12 podane zostały wartości wskaźników q_a po uwzględnieniu współczynnika przekierowania d.

Tab. 12. Wartości wskaźnika oceny q_a z uwzględnieniem współczynnika przekierowania.

Sekwencja 1 – 2 – 4 – 3				Sekwencja: 1 – 2 – 3 – 4				Sekwencja: 2 – 3 – 1 – 4			
Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.		Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.		Połączenie	q_a	Z uwzględn. zmiany kierunku montażu.	
		q'_a	skł. D			q'_a	skł. D			q'_a	skł. D
1 ← 2	8,4	8,4	1,2	1 ← 2	8,4	8,4	1,2	2 ← 3	1,98	1,98	1,2
2 ← 4	42,09	56,12	2	2 ← 3	1,98	1,98	1,7	1 ← 2	8,4	8,4	1,7
2 ← 3	1,98	3,96	2,4	2 ← 4	42,09	56,12	2	2 ← 4	42,09	56,12	2
Q	52,47	68,48		Q	52,47	66,5		Q	52,47	66,5	
$Q = \sum_{i=1}^j q_a$, gdzie i, j – połączenia w sekwencji, (7.1)											
q'_a - wartość wskaźnika z uwzględnieniem współczynnika przekierowania.											
Pogrubione wartości składowej D oznaczają zwiększenie jej wart. przez iloraz ze wskaź. przekierowania.											

Patrząc na wyniki analizy przedstawione w tabeli 12 można stwierdzić, że najbardziej wydajnymi sekwencjami są sekwencje 1 – 2 – 3 – 4 i 2 – 3 – 1 – 4. Suma wartości wskaźników q'_a wynoszą dla tych przypadków $Q = 66,5$.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza DFA rozpatrywanej konstrukcji pozwoliła na jej uproszczenie poprzez eliminację elementów niepotrzebnych pod kątem funkcjonalności całości konstrukcji oraz wprowadzenie nieznacznych zmian w pozostałych elementach. Wynikiem tego było obniżenie wskaźnika q'_a , opisującego łatwość montażu i demontażu urządzenia. Wyniki badań przedstawione są w tabeli 13.

Tab. 13. Zestawienie wyników analizy DFA

Badany podzespół	Wartość q'_a przed analizą DFA		Wartość q'_a po analizie DFA		Różnica
	sekwencja	wartość q'_a	sekwencja	wartość q'_a	
filar prowadzący	1 – 2 – 4 – 3 – 5	155,2	1 – 2 – 4 – 3	68,48	84,05
	1 – 2 – 3 – 5 – 4	150,55	1 – 2 – 3 – 4	66,5	
	1 – 2 – 3 – 4 – 5	167,38	2 – 3 – 1 – 4	66,5	

Komórki w kolorze zielonym wskazują na sekwencje najwydajniejsze zarówno dla konstrukcji przed analizą DFA jak i po. Jak można łatwo zauważyć, różnice w wartościach wskaźników q'_a są znaczne. Dla filaru prowadzącego różnica wartości sekwencji optymalnych wynosi aż 84,05. Porównując stosunek wielkości różnicy tych wartości do wartości przed zmianami konstrukcji, to spadek o 55%. Największe spadki wartości wskaźnika zanotowano w przypadku usunięcia z konstrukcji elementów niepotrzebnych i przekazaniu ich zadań elementom pozostałym. Dzięki temu możliwe było skrócenie sekwencji montażowych oraz ich uproszczenie. Z konstrukcji pozbyto się tulei prowadzącej, stabilizującej ruch górnej części okrojnika podczas okrawania oraz śrub, łączących ją z tuleją mocującą, czyli aż pięciu elementów. Miało to decydujący wpływ na tak wysoki spadek wskaźnika q'_a . Powodem tych zmian była możliwość przejęcia zadań tulei prowadzącej częściowo przez tuleję mocującą oraz nowy element czyli tuleję mosiężną. Tuleja mosiężna, jak sama nazwa wskazuje, wykonana jest z mosiądzu i jej głównym zadaniem jest obniżenie współczynnika tarcia pomiędzy współpracującymi elementami (w przypadku konstrukcji przed zmianami pary tuleja prowadząca – prowadnica słupowa) i umożliwienie płynnej i długotrwałej pracy. Po analizie DFA powstały dwie sekwencje o równych wartościach wskaźnika q'_a . Jest to wynikiem tego, że nie zastosowany był w tym przypadku współczynnik przekierowania d , czyli w obu tych sekwencjach nie wystąpiła zmiana kierunku montażu. Różnica w połączeniach startowych tych sekwencji nie miały wpływu na wartość wskaźnika q'_a , zatem możemy je traktować za równe sobie pod kątem wydajności montażowej.

GENEROWANIE MODELI CLP PROCEDUR PLANOWANIA REALIZACJI ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH

1. WPROWADZENIE

Wśród oprogramowania ERP zawierającego moduły planowania i szczegółowego harmonogramowania produkcji dostępnego na rynku, można zauważyć pojawianie i utrwalanie się pewnych barier rozwojowych. Z punktu widzenia architektury systemowej moduły szczegółowego harmonogramowania produkcji przybierają postać zamkniętych zewnętrznych podsystemów, których sposób funkcjonowania określa się z dokładnością do pewnej założonej klasy problemów. Definicję klasy rozwiązywanych problemów można próbować jedynie odtworzyć (ponieważ specyfikacja stosowanych przez moduły optymalizacji produkcji algorytmów nie jest zazwyczaj dostępna). Jedynymi przesłankami co do oceny zakresu stosowalności danego modułu są zależności jakie dają się odwzorować dostarczonych przez system środków modelowania procesów produkcyjnych. Ocenę klasy rozwiązywanych problemów planowania produkcji określonej od strony bazy technologicznego przygotowania produkcji, należy dokonać stosując znane z literatury (Sawik T., 1992) kryteria klasyfikacji problemów planowania i harmonogramowania produkcji takie jak: pojemności zasobów, występowanie alternatywnych marszrut technologicznych, podzielności harmonogramowanych operacji, rodzaj ograniczeń kolejnościowych, kryteria optymalizacji. Należy jednak pamiętać, że swoboda definiowania problemów planowania produkcji z luźno zdefiniowanymi założeniami wynikowej klasy problemów planowania, skazuje algorytmy poszukujące optymalnych planów produkcyjnych na utratę efektywności. Kolejnym problemem jaki często pojawia się podczas wdrożenia modułów planowania produkcji jest ich niedopasowanie w płaszczynie odwzorowania przebiegu procedur planowania stosowanych w konkretnym przypadku organizacji produkcji (Borowiecki T., 2007).

Często potrzeba odwzorowania określonych typów ograniczeń i/lub kryteriów doboru planów produkcyjnych (nie dających się wyrazić bezpośrednio środkami modelowania dostarczonymi przez moduły planowania), powoduje konieczność włączenia operatora systemu planowania w pętlę zwrotną procedury wypracowania akceptowalnego planu produkcji, czyniąc też proces planowania wieloprzejęciowym. Jednocześnie jakość rozwiązań uzyskiwanych planów produkcyjnych staje się silnie zależna od sprawności osoby posługującej się narzędziem planowania. Wg autorów nadzwyczaj ważnym (dla możliwości skutecznego wykorzystania narzędzi planowania produkcji) jest opracowanie metod ich konstrukcji jako ściśle dopasowanych do danej sytuacji produkcyjnej. W miejsce drogi polegającej na poszukiwaniu uniwersalnych algorytmów optymalizacji, pokrywających swym zasięgiem coraz szersze klasy problemów. Zakłada się, że powiększanie zakresu stosowalności, można osiągnąć poprzez udostępnienie metod elastycznego dopasowania modeli procedur planowania do struktury procedur planowania stosowanych przez przedsiębiorstwo. W niniejszym opracowaniu konstrukcję modelu procedury planowania właściwego dla danego przypadku oparto na wykorzystaniu repozytorium modeli zadań cząstkowych -opracowanego na etapie badania dziedziny problemów planowania typowych dla określonej klasy systemów. Budowa modelu procedury planowania z elementów pewnej rodziny modeli zadań cząstkowych, stwarza szansę wykorzystania wiedzy, rozległej teorii planowania i harmonogramowania operacji.

Dodatkowo przejrzystość odwzorowania struktury procedury planowania ma powodować wzrost zaufania co do jakości uzyskiwanych za jej pomocą planów.

1.1. Przykład

Rozważmy następującą sytuację produkcyjną. Dany jest zbiór zleceń z_n gdzie $k(z_n)$ oznacza wytwarzany wyrób. Niech $v(z_n)$ oznacza wolumen zlecenia. Wyroby k wytwarzane są według marszrut produkcyjnych $r \in R_k$, rozumianych jako zbiory operacji j , wykonywanych na stanowiskach systemu $i \in I$. Opracowanie planu produkcji polega na doborze proporcji udziału poszczególnych marszrut produkcyjnych i opracowaniu szczegółowego harmonogramu operacji tak aby pokryć zapotrzebowanie

$$\sum_{r \in R(k)} v_r = v(z_n) \quad \text{dla } \forall k(z_n).$$

Proces decyzyjny W procesie planowania należy ustalić szczegółowy harmonogram operacji, potrzebnych do wyprodukowania wyrobów w ilościach odpowiadających zapotrzebowaniu. Zadanie polega zatem na wyznaczeniu terminów t_j rozpoczęcia operacji j związanej z realizacją marszrut wyrobu. Zbiory operacji w marszrutach uporządkowane są relacjami częściowego porządku, obrazującymi zależności technologiczne i dające się zapisać jako $t_{j1} - t_{j2} \geq p(j1, i)$ oraz relacjami wzajemnego wykluczania się operacji na zasobach $t_{j2} - t_{j1} \geq p(j1, i)$ xor $t_{j1} - t_{j2} \geq p(j2, i)$. $p(j1, i)$ oznacza czas wykonania operacji $j1$ na stanowisku systemu i .

Mając do czynienia z klasycznym problemem harmonogramowania niepodzielnych operacji na zasobach o jednostkowych pojemnościach, możemy do znalezienia harmonogramu, posłużyć się narzędziami rozwiązywania zadań programowania dyskretnego (np. w oparciu o model grafu dysjunktywnego (Sawik T., 1992) lub też bardzo skutecznymi solverami zadań sformułowanych jako CSP/COP (Constraints Satisfaction/Optimization Problem) (Philippe Baptiste, Claude Le Pape, Wim Nuijten, 2001) (Markus P.J. Fromherz, 2001). Jednak dla możliwość rozwiązania sformułowanego wyżej zadania harmonogramowania konieczne jest wcześniejsze określenie: zbiorów operacji, ich przydziału do stanowisk systemu, czasów operacji którymi zasoby będą obciążone oraz zbiorów ograniczeń kolejnościowych (tu schematu przepływu detali). W rozważanym przykładzie zapotrzebowanie na poszczególne operacje wynika z zapotrzebowania na wyroby w zleceniach. Zatem dopiero ustalenie proporcji udziału poszczególnych marszrut w realizacji zleceń, ustala zbiory operacji potrzebnych do wytworzenia wyrobów. Sformułowanie zadania doboru proporcji udziału marszrut technologicznych wraz z określeniem możliwych kryteriów optymalizacji można znaleźć m.in. w (Sawik T., 1992). Zadanie to jest formułowane i przedstawiane jako jeden z praktycznych problemów średnio/krótkookresowego planowania produkcji i w większości podejść jest ono rozwiązywane niezależnie od zadania harmonogramowania. Możliwe kryteria oceny doboru proporcji udziału marszrut technologicznych C - równoważenie

obciążeń maszyn gdzie $\sum_{r \in R(k)} h_{ir} \cdot v_r \leq C \quad \forall i \in I$ lub minimalny sumaryczny czas obcią-

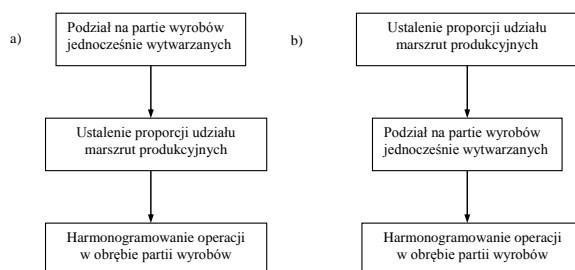
żenia maszyn C_{\max} wynikający z wykorzystania poszczególnych marszrut.

Złożoność problemów planowania i harmonogramowania wynika zarówno z rozmiaru pojawiających się zadań jak i różnorodności interakcji pomiędzy elementami systemów produkcyjnych (transportu i magazynowania międzystanowiskowego, gospodarki narzędziami, itp.).

Przyjmijmy jeszcze jedno wymaganie dla problemu wyjściowego. Załóżmy, że do wykonywania operacji na stanowiskach systemu konieczne jest zastosowanie odpowiednich narzędzi. Załóżmy ponadto, że wymiana narzędzi związana jest zatrzymaniem i jednoczesnym przebrojeniem całego systemu. Pojemności magazynków narzędziowych stanowisk oznaczmy przez $S(i)$. Pojawienie się wymagań względem dodatkowego oprzyrządowania zmusza do podziału zbioru wymaganych operacji na podzbiory, których wykonanie możliwe jest przy danym uzbrojeniu systemu. Przykład sformułowania zadania podziału zbioru wyrobów na partie produkcyjne można odnaleźć np. w (Sawik T., 1992). Dzieląc wynikowe zbiory operacji na podzbiory wykonywane w tym samym czasie należy brać pod uwagę uwarunkowania technologiczne i organizację procesu produkcyjnego. Np. w modelu problemu podziału wyrobów k wytwarzanych w zleceniach mogą pojawić się zmienne decyzyjne (podobnie jak w (Sawik T., 1992)) u_{kb} oznaczające przydział wyrobu k do partii b przy wymaganiach wyrobów względem narzędzi danych macierzą binarną a_{kg} .

Z kolei zakładając możliwość wykorzystania dowolnej z marszrut może okazać się, że potrzebna jest konstrukcja modelu w oparciu o zmienne decyzyjne u_{rb} , gdzie do partii produkcyjnych b przydzielane są marszruty wyrobów r . Wymagania narzędziowych zapiszemy wtedy relacją a_{rg} . Rozwiązując zadanie podziału na partie produkcyjne można zachować ograniczenia związane z pojemnością magazynków narzędziowych stanowisk i/lub liczby dostępnych narzędzi, dążąc do zminimalizowania liczby partii ogranicza się liczbę koniecznych przebrojeń systemu.

Przedstawione powyżej przykład ilustruje, że obowiązujące w określonym przypadku systemu zależności niosą ze sobą informację o istocie pojawiających się problemów planowania produkcji. Jednocześnie okazuje się, że przy danych założeniach co do organizacji proces decyzyjny związany z wypracowywaniem planu produkcji może przebiegać w różny sposób. Sposób dekompozycji ogólnego zadania planowania i harmonogramowania produkcji przekłada się na postać stosowanej w danym przypadku procedury planowania (Rys.1.).



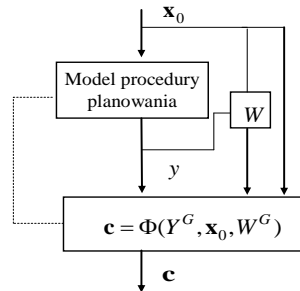
Rys. 1. Odzworowanie przebiegu procesu decyzyjnego jako struktury modelu procedury planowania

2. MODELE CSP/COP PROCEDUR PLANOWANIA REALIZACJI ZLECEŃ

Jako główne elementy wpływające na istotę rozwiązywanych w określonym przypadku sytuacji produkcyjnej problemów planowania należy wskazać: postać zbioru danych wejściowych procesu planowania, rodzaj realizowanych procesów produkcyjnych, obrane cele planowania. Na Rys. 2 przez x_0 oznaczono dane wejściowe procedury planowania. Dane wejściowe procedury planowania realizacji zleceń, pobierane są z bazy danych systemu produkcyjnego.

Stosując odpowiedni model procedury planowania, dla określonego zestawu danych wejściowych x_0 można wyznaczyć rozwiązanie dopuszczalne y (o ile takie rozwiązanie istnieje). W ogólności względem ograniczeń uwzględnianych w modelu procedury planowania dla danych wejściowych x_0 można też wyznaczyć zbiór dopuszczalnych rozwiązań problemu planowania Y . Rozwiązania problemu planowania realizacji zleceń produkcyjnych y podlegają ocenie względem funkcji kryterialnej W . Sterowania systemem produkcyjnym dokonuje się na podstawie zbioru rozwiązań dopuszczalnych Y i funkcji kryterialnej W (definiującej cel planowania) (Rys. 6.).

Na ogół istnienie funkcji kryterialnej (W) wiąże się z koniecznością wielokrotnego (iteracyjnego) przebiegu procesu wyznaczania wartościowań y . Na Rys. 2 linią przerywaną zaznaczono iteracje wynikające z istnienia funkcji kryterialnej W . Zakłada się również, że w sformułowaniu problemu planowania realizacji zleceń, mogą występować ograniczenia globalne G (nałożone na wyznaczane sterowania i/lub na wartości funkcji kryterialnej). Istnienie ograniczeń G może być również źródłem konieczności wykonywania powtórzeń procesu wyznaczania kolejnych rozwiązań problemu planowania produkcji $y \in Y$. Iteracje wymuszane są np. w sytuacji, gdy dane wartościowanie y spełniając ograniczenia uwzględniane w modelu procedury planowania, jednocześnie nie spełnia ograniczeń globalnych G (nałożonych na argumenty i/lub wartość funkcji celu).



Rys. 2. Rola modelu procedury planowania realizacji zleceń

2.1. Struktura modelu procedury planowania

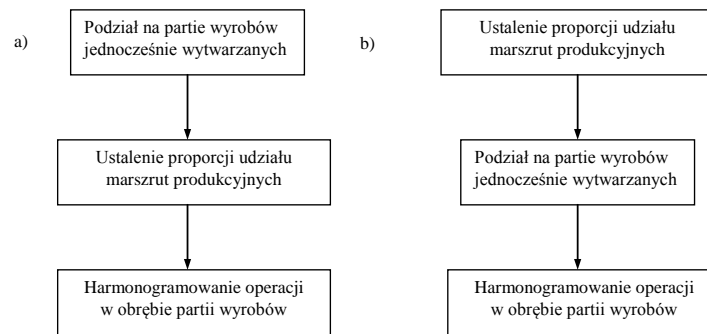
Różnorodność występujących w praktyce produkcyjnej uwarunkowań stanowi o tym, że opracowanie procedur optymalizacji planów i harmonogramów produkcji dla konkretnego przypadku systemu jest zadaniem kosztownym. Tradycyjna ścieżka postępowania w procesie projektowania systemu wspomagającego planowanie produkcji, wyróżnia następujące etapy: sformułowanie problemu planowania, opracowanie modelu matematycznego, implementacja, testowanie i korekcja. Etap sformułowania problemu planowania, musi poprzedzać rozpoznanie procesu technologicznego produkcji, powiązań występujących w systemie, wymagań generowanych przez strukturę systemu i organizację realizowanych w nim procesów produkcyjnych.

Próbując zidentyfikować problem planowania pod kątem dobór odpowiednich algorytmów, nieuniknione wydaje się prowadzenie każdorazowo prac badawczych. Z drugiej strony, procesy produkcyjne w różnych typach przedsiębiorstw mają wiele cech wspólnych. Powstaje zatem pytanie czy możliwe jest efektywne korzystanie z doświadczeń zdobytych w trakcie realizacji wcześniejszych projektów informatycznych z zakresu planowania i harmonogramowania produkcji (Bradwell R., Ford J., Mills P., Tsang E., Williams R., 2000). Przytoczony w punkcie 1.1. przykład ilustruje, że przy jednakowej postaci specyfikacji problemu wynikającej z analizy opisu sytuacji produkcyjnej, mogą istnieć różne dopuszczalne konfiguracje struktury poszukiwanego modelu procedury planowania. Strukturę procedury planowania determinuje przebieg przyjętego procesu decyzyjnego a jego etapy odpowiadają wyznaczaniu rozwiązań problemów cząstkowych.

2.2. Zadania cząstkowe

Podobnie jak model procedury planowania, niech zadanie cząstkowe p będzie scharakteryzowane przez: \mathbf{x}_p - wektor atrybutów wejściowych, Y_p - wektory dopuszczalnych wartościowań zmiennych decyzyjnych zadania cząstkowego (spełniających ograniczenia zadania p), wyznaczonych dla \mathbf{x}_p . Rozwiązanie problemu sformułowanego jako CSP/COP (Constraints Satisfaction Problem/Constraints Optimisation Problem) przebiega w oparciu o jego model (zapisany w postaci odpowiedniego skryptu). Rozwiązanie

uzyskiwane jest na drodze ukonkretnienia wartości (wartościowania) zmiennych występujących w modelu.



Rys. 3. Odzworowanie procesu decyzyjnego jako struktura modelu procedury planowania

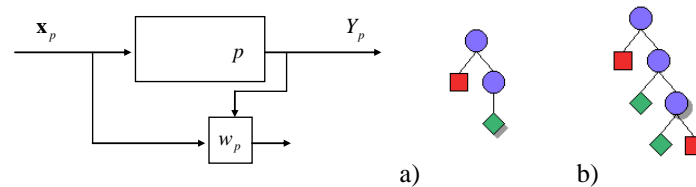
Wartościowanie wykonywane jest za pomocą dystrybutora(ów) i musi spełniać ograniczenia występujące w zadaniu. Np. w systemie Mozart (i większości systemów pozwalających na rozwiązywanie problemów CSP/COP) model problemu CSP/COP ma następującą strukturę: deklaracja zmiennych problemu, definicja ograniczeń, definicja strategii ukonkretniania zmiennych (Rys. 4.). Szersze omówienie istoty działania mechanizmów prowadzących do rozwiązania problemu sformułowanego jako CSP/COP jak i algorytm budowy drzewa przeszukiwań można znaleźć (dla systemu Mozart) można znaleźć w (Schulte Ch., Smolka, G. Wurtz J., 1998).

```

proc {Skrypt Rozwiązanie}
  %% deklaracja zmiennych problemu
in
  %% definicja ograniczeń
  %% deklaracja strategii wartościowania zmiennych
end
[ {Search.One[Rozwiązanie]} | {Search.All[Rozwiązanie]} | {Search.Best[Rozwiązanie]} ]
  
```

Rys. 4. Podstawowa struktura skryptu CSP w języku systemu Mozart

Pojawienie się wielu poziomów w modelach problemów optymalizacyjnych, wiąże się zwykle ze sformułowaniem zadań optymalizacji względem lokalnych (obowiązujących dla danego zadania) kryteriów. Niech $w_p = \eta(x_p, \mathbf{y}_p)$ gdzie $\mathbf{y}_p \in Y_p$ będzie funkcją celu zdefiniowaną dla zadania p .



Rys. 5. Model zadania cząstkowego i towarzyszący mu proces przeszukiwania przestrzeni rozwiązań a) rozwiązanie dopuszczalne b) zupełne drzewo przeszukiwań.

Rozważając zagadnienia konstrukcji modeli procedur planowania realizacji zleceń dla pewnej klasy dyskretnych systemów produkcyjnych, przyjęto następujące założenia:

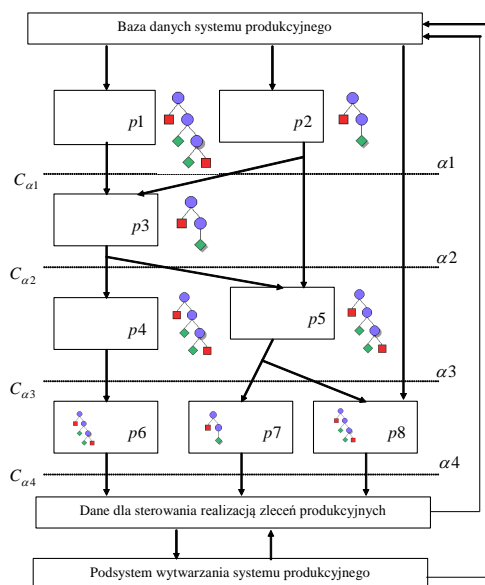
- rozwiązanie problemu optymalizacji planowania realizacji zleceń jest trudne lub nie jest możliwe bez podania modelu procedury planowania,
- konstrukcja modelu procedury planowania jest procesem trudnym i korzystanie z metod generowania modeli procedur planowania jest uzasadnione,
- zakłada się możliwość opracowania zbioru modeli (repozytorium modeli) zadań cząstkowych charakterystycznych dla danej klasy systemów produkcyjnych,
- zakłada się, że możliwe jest wyrażenie powiązań występujących między zadaniami cząstkowymi oraz uwarunkowań generowanych przez środowisko implementacyjne,
- zakłada się iż możliwe jest oszacowanie złożoności procesu rozwiązania problemu planowania realizacji zleceń produkcyjnych dla określonej sytuacji produkcyjnej i przy zastosowaniu opracowanego modelu procedury planowania,
- rozwiązanie problemu optymalizacji planu realizacji zleceń można uzyskać przez opracowanie użytecznego (funkcjonalnie i obliczeniowo) modelu procedury planowania realizacji zleceń produkcyjnych, odpowiedniego dla danej sytuacji produkcyjnej.

Model zadania cząstkowego postrzegany jest jako etap pewnego procesu decyzyjnego reprezentowanego strukturą modelu procedury planowania (Rys. 6.) . Dla zbioru danych wejściowych planowania, pochodzących z bazy danych systemu produkcyjnego, wypracowywane jest rozwiązanie, mieszczące się w przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych (określonej ograniczeniami problemu cząstkowego). Rozwiązanie zadania cząstkowego podawane jest ocenie względem lokalnych kryteriów optymalizacji.

Przyjmijmy, że zadania wyszczególnione w procesie badania dziedziny problemów planowania realizacji zleceń w danej klasie systemów produkcyjnych, odwzorowano w strukturach odpowiednich skryptów (sformułowań CSP/COP). W pracy (Borowiecki T., 2007) zawarto przykłady: definicji struktury modelu zadania cząstkowego (zapisaną w konwencji dokumentu XSD). Zawarto tam również bibliotekę przykładowych skryptów (modeli zadań cząstkowych) dla systemu Mozart.

Rozwiązaniu zadania cząstkowego alokowanego na poziomie α wielopoziomowego modelu procedury planowania zleceń produkcyjnych towarzyszy ustalenie wartościowań

atrybutów wyjściowych tego zadania \mathbf{y}_p , zbioru dopuszczalnych wartościowań wektora $\mathbf{y}_p \in Y_p$ i/lub wartościowania(ń) optymalnych $\bar{\mathbf{y}}_p \in \bar{Y}_p$.



Rys.6. Przepływ informacji w wielopoziomym modelu procedury planowania realizacji zleceń

Dla rozwiązania zadania cząstkowego alokowanego na poziomie α modelu procedury planowania potrzebne jest ustalenie wartościowań wszystkich atrybutów \mathbf{x}_p względem których zadanie jest rozwiązywane.

Zakładamy też, że wartościowania atrybutów wejściowych zadania alokowanego na poziomie α (wielopoziomowego modelu procedury planowania realizacji zleceń produkcyjnych) są dostępne nie później niż na poziomie $\alpha - 1$. Podsumowując, w strukturze wielopoziomowego modelu procedury planowania zleceń produkcyjnych wyróżniać będziemy następujące typy elementów:

- modele zadań cząstkowych
- algorytmy deklaracji
- struktury danych odpowiadające argumentom wejściowym i wyjściowym modeli zadań cząstkowych i algorytmów deklaracji
- pomocnicze struktury danych.

Przyjmijmy, że elementy wymienionych wcześniej typów, tworzą zbiór potencjalnych elementów struktur poszukiwanych modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych. *Rodzina modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych* nazywać będziemy rodziną podzbiorów, zbioru potencjalnych elementów struktur mode-

li procedur planowania zleceń produkcyjnych. Od elementów rodziny modeli procedur planowania, wymagać będziemy spełnienia określonych warunków. Oznacza to, że nie każdy z podzbiorów zbioru potencjalnych elementów struktur modeli procedur planowania, należąc będzie do rodziny modeli procedur planowania zleceń produkcyjnych.

Dla możliwości bardziej intuicyjnego sformułowania problemu doboru konfiguracji elementów struktury modelu procedury planowania realizacji zleceń produkcyjnych, zależności występujące w zbiorze potencjalnych elementów struktur modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych, przedstawimy w postaci hipergrafu.

Oznaczmy przez $IT = (U, V)$ relacje występujące między atrybutami rozważanych zadań cząstkowych i ich konfiguracji oraz algorytmów deklaracji (it_p i K). Niech V , oznacza zbiór wszystkich struktur danych będących atrybutami rozważanych zadań cząstkowych i algorytmów deklaracji. U - oznacza zbiór dopuszczalnych konfiguracji atrybutów. Zbiór V wraz ze zdefiniowanymi relacjami it_p i K tworzy strukturę:

$S = \langle V, \{R_m\} \rangle$, gdzie $R_m \subset \underbrace{V \times \dots \times V}_{r(m) \text{ razy}}$ i $r(m)$ jest najbardziej liczną relacją. W każdej

relacji R_m , $m = 1, \dots, M$ utworzymy podzbiory równoważnych (nierozróżnialnych z punktu widzenia celu modelowania) elementów $\mathbf{v} \in R_m$. Wprowadźmy teraz nazwy dla wyodrębnionych elementów (w ten sposób, że nierozróżnialne elementy otrzymują tę samą nazwę), zbiór nazw tworzy zbiór E hipergałęzi hipergrafu.

W zbiorze E wyróżnimy: nazwy zadań cząstkowych, nazwy konfiguracji zadań cząstkowych oraz nazwy algorytmów deklaracji. Utwórzmy zbiór Γ w ten sposób że,

$\langle \mathbf{v}, e \rangle \in \Gamma$ wtedy i tylko wtedy gdy e jest nazwą elementu \mathbf{v} . Zatem $\Gamma = \bigcup_{m=1}^M \Gamma_m$, gdzie

$$\Gamma_m = \{ \langle \mathbf{v}, e \rangle \in \Gamma : \mathbf{v} \in R_m \}.$$

Hipergrafem (skończonym) nazywa się trójkę uporządkowaną (Korzeń B., 1978) $H = \langle V, E, \Gamma \rangle$ gdzie: V - jest zbiorem wierzchołków hipergrafu, zbiór E (przyjętych nazw) tworzy zbiór hipergałęzi.

Zgodnie z definicją hipergrafu $\Gamma \subset \bigcup_{t=1}^{\infty} V^t \times E$, gdzie V^t - t - krotny produkt kartezjański

zbioru V a Γ spełnia następujące warunki (Korzeń B., 1978): $\forall_{e \in E} \exists_{t \in N} \exists_{\mathbf{v} \in V^t} \langle \mathbf{v}, e \rangle \in \Gamma$

$$\forall_{e \in E} \forall_{t, k \in N} \forall_{\mathbf{v}_1 \in V^t} \forall_{\mathbf{v}_2 \in V^k} [\langle \mathbf{v}_1, e \rangle \in \Gamma \wedge \langle \mathbf{v}_2, e \rangle \in \Gamma \Rightarrow \mathbf{v}_2 \in \pi(\mathbf{v}_1)]$$

$\pi(\mathbf{v})$ -zbiór permutacji ciągu składowych wektora \mathbf{v} , $\langle \mathbf{v}, e \rangle \stackrel{ozn}{=} \langle v_1, \dots, v_t, e \rangle$.

Z punktu widzenia przyjętego celu modelowania nie ma potrzeby rozróżniania elementów relacji różniących się tylko permutacjami atrybutów odpowiednio wejściowych, wyjściowych oraz atrybutów kryterialnych. Można zatem przyjąć, że hipergraf opisujący

zależności w zbiorze potencjalnych elementów struktur poszukiwanych modeli procedur planowania jest skierowany (wszystkie hipergałęzie można zastąpić hiperłukami).

Uwzględniając, że deklaracja atrybutu wejściowego danej konfiguracji atrybutów zadania cząstkowego (lub algorytmu) może zależeć od innych parametrów wejściowych (danej konfiguracji zadania lub algorytmu), przyjęto, że uporządkowanie w permutacji elementów wektora \mathbf{v} hiperłuku $\langle \mathbf{v}, e \rangle$, wyznacza dopuszczalną kolejność deklarowania atrybutów wejściowych, konfiguracji zadania lub algorytmu deklaracji. Zaproponowany tu model hipergrafu zależności w rodzinie modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych pozwala walidować poprawność struktury prototypowanych metamodeli (Rys. 11a).

3. IMPLEMENTACJA

W przytoczonym przykładzie (Punkt 1.1.) poszukujemy harmonogramu operacji niezbędnych do wytworzenia wyrobów według zapotrzebowania określonego w zleceniach. Sposób wyznaczenia parametrów zadania harmonogramowania zależy od decyzji dotyczących wyboru sposobu realizacji zleceń (określenia proporcji udziału marszrut technologicznych przy jednoczesnym uwzględnieniu ograniczeń powodujących konieczność podziału zbioru zleceń na partie produkcyjne).

Odwzorowanie przebiegu przyjętej postaci procesu decyzyjnego sprowadza się do zapisu modeli zadań cząstkowych w wielopoziomowej strukturze skryptu/modelu CSP/COP procedury planowania. Wartościowania zmiennych problemów nadrzędnych, służą za argumenty pewnych przekształceń wyznaczających parametry zadań podrzędnych. W rozważanym przykładzie, wyznacza się suboptymalne lub optymalne rozwiązanie problemu harmonogramowania, względem wybranych kryteriów.

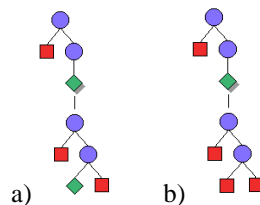
Suboptymalność otrzymywanych rozwiązań zadań podrzędnych wynika z tego, że zbiór ich rozwiązań może być ograniczony (w zależności od struktury metamodelu) do rozwiązań wyznaczonych przy ustalonym wcześniej wartościowaniu zmiennych zadania nadrzędnego. Opis sposobu konstrukcji modeli procedur planowania oparte o przykładowe sformułowania i modele zadań cząstkowych jak też odpowiednie przykłady liczbowe można znaleźć w (Borowiecki T., 2007).

Kluczowym dla skutecznej implementacji modelu CSP/COP jest przestrzeganie zasad deklaracji zmiennych, użycia propagatorów implementujących ograniczenia problemu jak też dystrybutorów ukonkretniających wartości zmiennych (Schulte Ch., Smolka, G. Wurtz J., 1998) (Hooker J. N., 2004). Dla zagwarantowania bezblokadowego przebiegu procesu przeszukiwania przestrzeni rozwiązań generowanej przez daną postać modelu CSP/COP procedury planowania realizacji zleceń, opracowano odpowiednie zasady konstrukcji (Borowiecki T., 2007). Reguły te pozwalające budować modele o strukturach wielopoziomowych, gdzie elementami są odpowiednio implementowane modele zadań cząstkowych oraz algorytmy deklaracji odpowiadające za przepływ informacji między zadaniami cząstkowymi. Algorytmy deklaracji kształtują również przestrzeń przeszukiwań generowaną przez konstruowany model (Borowiecki T.,).

Przyjmijmy następujące schematy kodowania struktur poszukiwanych modeli CSP/COP procedur planowania realizacji zleceń (Rys. 7.):

- skrypty o przebiegu jednorzędziowym
- skrypty z zadaniami zagnieżdżonymi
- skrypty zawierający pętle wprowadzania parametrów
- skrypty o strukturach mieszanych

Modelem wielopoziomowym problemu sformułowanego jako CSP/COP o strukturze jednorzędziowej nazwano model gdzie dla każdego poziomu, przekazywane parametry mają postać C , gdzie $|C|=1$. C - jest zbiorem wektorów odpowiadających elementom zbioru rozwiązań dopuszczalnych Y poziomu nadrzędnego. W modelu o strukturze jednorzędziowej każde zadanie cząstkowe p rozwiązywane jest jednokrotnie względem wektora parametrów wejściowych x_p .



Rys.7. Drzewa rozwiązań (zadanie nadrzędne przekazuje sterowanie a) realizowalne, b) nierealizowalne (w sensie ograniczeń zadania podrzędnego).

```

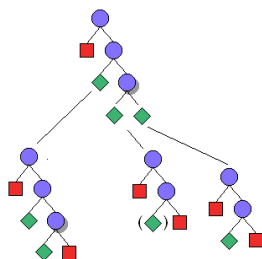
declare
RozwiązanieOgólne
RozwiązaniePoziom1 RozwiązaniePoziom2 %...RozwiązaniePoziomN
{ deklaracje innych zmiennych globalnych
}
proc {Problem1 Solution1}
{ deklaracje zmiennych zadania poziomu 1 (pierwszego)
}
in
{ ograniczenia i strategia ukonkretniania poziomu 1
}
end
Rozwiązanie1={SearchOne Problem1}
proc {Problem1 Solution2}
{ deklaracje zmiennych zadania poziomu 2 (drugiego)
}
in
{ ograniczenia i strategia ukonkretniania poziomu 2
}
end
Rozwiązanie2={SearchOne Problem2}
RozwiązanieOgólne=rozw(rozwl:Rozwiązanie1 rozw2:Rozwiązanie2)

```

Rys. 8. Struktura skryptu o przebiegu jednorzędziowym.

Przebieg procesu rozwiązywania problemu CSP/COP w oparciu o model o strukturze jednoprzęściowej uważa się za obliczeniowo najmniej kosztowny (ze względu na brak iteracji wykonywanych pomiędzy zadaniami poszczególnych poziomów). Struktura jednoprzęściowa związana jest jednocześnie z potencjalnie najniższą skutecznością (rozumianą jako zdolność odnajdowania rozwiązań dopuszczalnych i/lub jakościowo dobrych w sensie zdefiniowanych kryteriów).

Modelem wielopoziomowym problemu sformułowanego jako CSP/COP o strukturze umożliwiającej budowę pełnego drzewa rozwiązań nazwano model, gdzie każde zadanie przekazuje parametry wyznaczone w oparciu o wszystkie elementy zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Każdy poziom modelu przekazuje zestawy parametrów w postaci iloczynu kartezjańskiego parametrów przekazywanych przez zadania należące do tego poziomu i ew. tych przekazywanych z poziomów nadrzędnych.



Rys. 9. Zadanie podrzędne rozwiązywane dla alternatywnych zestawów parametrów - przekazywanych z zadania nadrzędnego.

Skrypty o strukturze zagnieżdżonej dają możliwość przeszukiwania pełnej przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych. Zadania podrzędne w skrypcie o strukturze zagnieżdżonej rozwiązywane są wielokrotnie względem kolejnych rozwiązań dopuszczalnych poziomu nadrzędnego.

```

declare
RozwiazanieOgolne
  { deklaracje zmiennych globalnych }
proc {Zagniezdzenie Solution}
  RozwProblem1
    { deklaracje zmiennych zadania poziomu 1 (pierwszego) }
in
  { ograniczenia i strategia ukonkretniania poziomu 1 }
  local
  RozwProblem2
    { deklaracje zmiennych zadania poziomu 2 (drugiego) }
  in
    Solution=rozw(rozwl:RozwProblem1 rozwl2:RozwProblem2)
    { ograniczenia i strategia ukonkretniania poziomu 2 }
  end
end
RozwiazanieOgolne={SearchOne Zagniezdzenie}

```

Rys. 10. Skrypt z zadaniami zagnieżdżonymi

Przetawione powyżej schematy w łatwy sposób można ze sobą łączyć, tworząc skrypty o przebiegu mieszanym. Model wielopoziomowy problemu sformułowanego jako CSP/COP jest modelem o przebiegu mieszanym jeśli co najmniej jedno z zadań cząstkowych (lub poziom modelu) przekazuje sterowanie postaci C gdzie C wymusza rozwiązywanie pewnych zadań wielokrotnie względem zbioru możliwych parametrów wejściowych X .

3.1. Wsparcie dla prototypowania modeli procedur planowania realizacji zleceń.

Opracowanie odpowiedniego modelu wielopoziomowego problemu CSP/COP o przebiegu mieszanym (funkcjonalnie odpowiedniego dla danej sytuacji produkcyjnej), umożliwia osiągnięcie kompromisu pomiędzy dwoma sprzecznymi kryteriami: skutecznością modelu (w sensie zdolności do odnajdowania rozwiązań dopuszczalnych i/lub o odpowiednich wartościach funkcji kryterialnych) i koniecznym do poniesienia kosztem obliczeniowym.

Oszacowanie skuteczności i kosztu obliczeniowego dla danego badanego wariantu struktury modelu procedury planowania prowadzić w oparciu o eksperymenty polegające na weryfikacji otrzymanego modelu, używając zbiorów danych testowych. W praktyce dane testowe można pozyskać na podstawie danych historycznych gromadzonych w bazie TPP lub też w przypadku ich braku można posłużyć się zbiorami danych generowanych losowo.

Przykład podejścia do problemu oceny kosztu obliczeniowego związanego z daną konfiguracją modelu procedury można znaleźć w (Borowiecki T., Politowicz K., Banaszak Z., 2001) (Borowiecki T., Banaszak Z., Stryjski R., 2004).

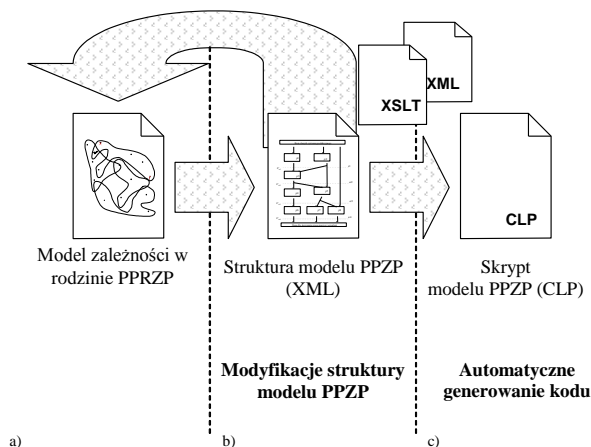
Ważnym elementem prezentowanego tu podejścia jest ostatnia faza procesu projektowania modelu procedury planowania zleceń produkcyjnych – transformacja metamodelu na wykonywalny kod CSP/COP solevera (Rys.11c). Dzięki zapisowi struktury modelu w odpowiedniej postaci (Rys.13.) daje się ona stosunkowo łatwo transformować na wykonywalny kod wybranego solvera CSP/COP. Transformacja prototypu modelu procedury planowania zleceń jest wykonywana w oparciu o odpowiedni dla danej rodziny modeli procedur planowania skrypt, zapisany w języku transformacji (Rys. 12 transformacjaStrukturyModeluProced.xslt). Rezultatem transformacji jest wykonywalny skrypt CSP/COP pozwalający na rozwiązywanie zadań planowania realizacji zleceń produkcyjnych dla dowolnych ale dopuszczalnych wartości parametrów wejściowych.

W pracy (Borowiecki T., 2007) jako środowisko uruchomieniowe zastosowano biblioteki systemu Mozart jednak w literaturze można znaleźć wiele opracowań potwierdzających pogląd, że ze względu na deklaratywną postać zapisu modeli CSP/COP dają się one dość łatwo transformować do postaci akceptowalnych przez różne solvery. Dla weryfikacji proponowanej metodyki konstrukcji modeli procedur planowania opracowano też bibliotekę przykładowych modeli cząstkowych zawierających implementacje zadań cząstkowych zapisanych w języku Mozart. Dość łatwo jednak pokazać, że w miejsce zastosowanego tam solvera można użyć innego modyfikując odpowiednie elementy zaproponowanej architektury. Niezależności proponowanego podejścia od zastosowanego solvera bazowego można również postulować opierając się na publikacjach potwier-

dzające możliwość budowy dziedzinowych języków np. Zinc (Guido T., 2013) (Kevin L., Mears Ch., Tack G., Garcia de la Banda M., 2013). Gdzie można zaobserwować stosowanie mechanizmów, łączących różne techniki rozwiązywania problemów optymalizacyjnych.

Prowadzone są też prace rozwijające funkcjonalności poszczególnych solverów w obszarze udostępniania funkcji własnych i korzystania z funkcjonalności innych środowisk CSP/COP (Nethercote N., Stuckey P., Becket R., Brand S., Duck G., Tack G., 2007).

W pracy (Borowiecki T., 2007) skrypt transformacji zapisu metamodelu do postaci wykonywalnego skryptu został zaimplementowany ręcznie na potrzeby aplikacji. W pracy [Ozga K., 2008] prowadzono badania wskazujące na możliwość wykorzystania narzędzi wsparcia dla opracowania schematów mapowania, co ma szczególne znaczenie w przypadku chęci wykorzystania innego dostępnego środowiska rozwiązywania problemów klasy CSP/COP.



Rys.11. Struktura informacyjna środowiska projektowania modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych a) walidacja struktury modelu, b) metamodel procedury planowania, c) generowanie wykonywalnego kodu procedury planowania.

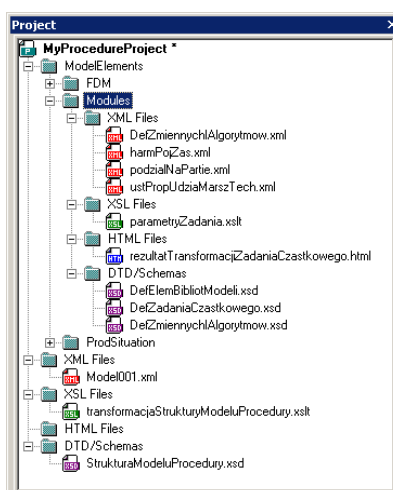
4. PODSUMOWANIE

W ramach badań prowadzonych w (Borowiecki T., 2007) opracowano aplikację CPMo-
delsDesigner - integrująca działania i wspomagającą proces projektowania modeli pro-
cedur planowania zleceń. Zadania wspomnianego systemu rozciągają się na następujące
cztery główne obszary:

- opracowania metamodelu (zapisu struktury modelu) procedury planowania zleceń,
- walidacji metamodelu względem modelu zależności w rodzinie modeli procedur planowania realizacji zleceń produkcyjnych

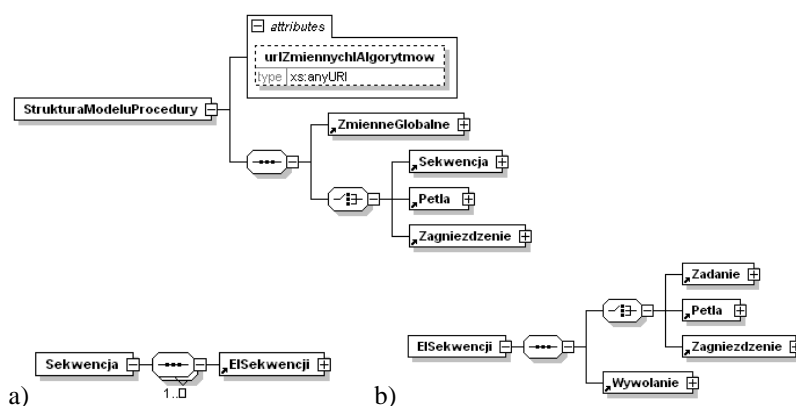
- generowania wykonywalnego kodu (skryptów) dla opracowanego prototypu modelu procedury planowania realizacji zleceń,
- zarządzania elementami biblioteki modeli zadań cząstkowych oraz elementami modelu zależności między nimi występujących.
- dodatkowym aspektem jest możliwość automatycznego prototypowania struktury modelu procedury planowania na podstawie opisu sytuacji produkcyjnej.

ModelDesigner Przykładową implementację biblioteki modeli cząstkowych oparto o odpowiednio opracowane definicje: modeli zadań cząstkowych, model struktury procedury planowania, model zależności funkcjonalnych występujących w zbiorze elementów struktur poszukiwanych modeli procedur planowania, model opisu sytuacji produkcyjnej (służący do zapisu specyfikacji i będący podstawą identyfikacji/prototypowania modeli procedur planowania zleceń). Elementy opracowanego wzorca repozytorium są stałą częścią, każdego nowego projektu.



Rys. 12. Repozytorium prototypów modeli procedury planowania.

Poszczególne elementy składające się na moduł "ModelElements" zaimplementowano tak aby mogły podlegać rozszerzeniom. Rezultatem procesu prototypowania struktury modelu procedury planowania zleceń są pliki zawierające opis prototypowanych struktur modeli procedur planowania (Rys. 12 Model001.xml). Za pomocą opracowanych definicji elementów repozytorium i dzięki integracji z edytorem wspierającym technologie XML osiągnięto możliwość generowania podpowiedzi co do możliwości użycia elementów struktur prototypowanych modeli jak też możliwość walidacji strukturalnej / funkcjonalnej, metamodelu procedury.



Rys. 13. Ogólna struktury modelu procedury planowania zleceń i przykład rozwinięcia elementów struktury (tu elementu sekwencja)

Modele zadań cząstkowych są elementami struktur prototypowanych modeli procedur planowania. Przepływ informacji między poziomami wielopoziomowego modelu procedury planowania może być w łatwy sposób modyfikowany. Poprawność struktur prototypowanych modeli weryfikowana jest przy pomocy odpowiedniej definicji (fragment schematu definicji przedstawiono na Rys. 13).

Wspomniana wcześniej aplikacja została zrealizowana na bazie dostępnych na dany moment technologii informatycznych. Jako kierunki rozwoju opisywanego tu podejścia można wskazać wykorzystanie intensywnie obecnie rozwijanej teorii języków specyficznych dziedzinowo (DSL – Domain Specific Languages). Opracowana aplikacja udowodniła sprawność procesu prototypowania modeli procedur planowania w oparciu o proponowane mechanizmy manipulowania strukturą modelu (skryptu CSP/COP) procedury planowania. Co prawda edycja struktur opracowywanych modeli, przebiega przy użyciu edytora tekstowego to dostępne obecnie techniki inkubacji oprogramowania pozwalają konstruować graficzne narzędzia dla języków specyficznych dziedzinowo i wydają się być bardzo interesujące z praktycznego punktu widzenia dla zastosowania proponowanego tu podejścia.

USPRAWNIENIE ŁAŃCUCHA DOSTAW PRZEZ REORGANIZACJE PROCESU ZARZĄDZANIA ZAPASAMI NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

1. WPROWADZENIE

Głównym celem działania przedsiębiorstwa jest osiągnięcie zysku poprzez prowadzenie działalności gospodarczej. Aby tego dokonać dane przedsiębiorstwo musi w sposób skuteczny sprzedawać towary. Na przełomie XX i XXI wieku rozwój gospodarczy znacznie przyspieszył, co miało znaczący wpływ na funkcjonowanie przemysłu oraz handlu. Pojęcie logistyki nabrało na znaczeniu, a wiele przedsiębiorstw zaczęło poważnie inwestować w logistykę, aby sprostać wymaganiom stawianym przez klientów. Rozwój infrastruktury sprawił, że dobra znalazły swoich odbiorców nie tylko wewnątrz kraju, ale także poza granicami. Rozwinął się import oraz eksport. Niestety duże odległości, które dzieliły zakłady produkcyjne od centrów dystrybucyjnych sprawiły, iż zaczęto zastanawiać się jak usprawnić łańcuch dostaw.

Prawidłowe sterowanie magazynem w przedsiębiorstwie, jest warunkiem koniecznym, aby zakład mógł osiągnąć oczekiwany zysk. Wymaga to stosowania coraz to nowszych systemów w zakresie dystrybucji towarów oraz utrzymania stanów magazynowych na odpowiednim poziomie. W niniejszym artykule opisano koncepcji usprawnienia procesu zarządzania zapasami w wybranym przedsiębiorstwie dystrybucyjnym, w którym zaobserwowano zjawiska wyczerpywania zapasów oraz nadwyżki stanów magazynowych. Wykorzystując metody empiryczne zaproponowano modele, mające na celu poprawę funkcjonowania przedsiębiorstwa. Z kolei dogłębna analiza badań pozwoliła na wyciągnięcie wniosków, które przyczyniły się do wskazania możliwych rozwiązań w celu usprawnienia procesu zarządzania zapasami.

2. METODY BADAWCZE WYKORZYSTANE DO OCENY INWESTYCJI FARMY WIATROWEJ

Na podstawie przeprowadzonych badań, dotyczących eksportu polskich produktów spożywczych do krajów unii europejskiej należy zwrócić szczególną uwagę na relacje Polska-Niemcy. Analizując dane statystyczne można wysunąć następujące wnioski, które przemawiają za tym, iż współpraca ta daje szeroki możliwości biznesowe dla obu krajów. Do udogodnień zalicza się następujące aspekty:

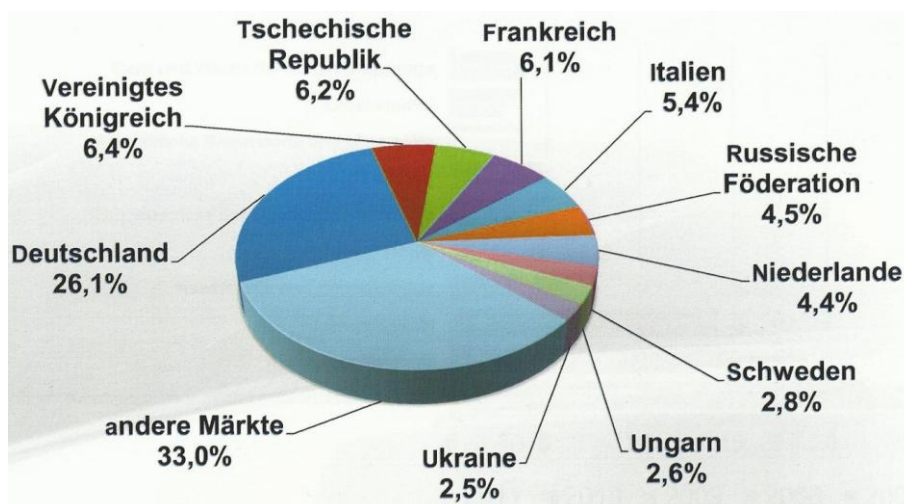
- mała odległość dzieląca oba kraje, Polskę i Niemcy (jesteśmy sąsiadami wzdłuż całej granicy zachodniej),
- długa wspólna granica, a co za tym idzie wiele punktów komunikacyjnych, dzięki którym producenci mają mniejsze odległości do pokonania, niższe koszty transportu,
- dobrze rozwinięta infrastruktura techniczna (w tym komunikacyjna),
- różnorodność rynków ze względu na różnice potrzeb konsumentów,
- wysoka akceptacja marek „Made in Poland” oraz „Made in Germany”,
- wsparcie z funduszy europejskich,
- wysoka jakość produktów.

Rysunek 1 pokazuje udział procentowy poszczególnych Państw w polskim eksporcie. Największy udział mają wspólnie rynek Azjatycki, Amerykański oraz Afrykański (określone mianem „andere Markte” co w tłumaczeniu oznacza pozostałe rynki). Biorąc pod uwagę, że jest to bardzo szeroka grupa odbiorców polskich towarów ważniejszym partnerem dla Polski są Niemcy. Ich udział w polskim eksporcie wynosi 26,1%. Następnymi dużymi partnerami Polski są Anglia 6,4%, Czechy 6,2%, Francja 6,1%, Włochy 5,4%, Rosja 4,5%, Holandia 4,4%, Szwecja 2,8%, Węgry 2,6% oraz Ukraina 2,5%.

Niemcy zaliczają się do najbardziej rozwiniętych krajów przemysłowych na świecie. Liczące ponad 80 milionów mieszkańców państwo jest także największym i najważniejszym rynkiem Unii Europejskiej. W ostatnich latach handel pomiędzy Polską a Niemcami nabrał ogromnej dynamiki. Nie bez znaczenia był fakt wstąpienia Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku. Powołując się na dane Ambasady Polskiej w Niemczech, Wydziału Promocji Handlu i Inwestycji, Niemcy są dla Polski najważniejszym partnerem handlowym [Robak J., 2013].

W 2012 roku Polska znajdowała się na 11 pozycji wśród partnerów handlowych Niemiec. Według danych zgromadzonych przez Federalny Urząd Statystyczny w Niemczech obroty obu tych państw wyniosły 75,7 mld euro w roku 2012. W tym eksport 42,2 mld euro, import 33,5 mld euro. Głównymi produktami, które Polska eksportuje do zachodnich sąsiadów są:

- maszyny,
- pojazdy,
- sprzęt gospodarstwa domowego,
- artykuły spożywcze,
- produkty chemiczne,
- meble.



Rys. 1. Procentowy udział państw w polskim eksporcie [Robak J., 2013].

Analizując dogłębniej eksport do Niemiec największy udział mają maszyny oraz urządzenia elektroniczne. Stanowią one około 25% całkowitego eksportu. Kolejną grupą są auta, części samochodowe oraz stal i żelazo. Średni udział w eksporcie tych produktów to około 14-15%. Również meble oraz tworzywa sztuczne są bardzo pożądanym towarem na zachodzie. Powołując się na dane z Ambasady Polskiej w Niemczech wymienione produkty stanowią około 6-8%. Jest również grupa produktów, których udział w ogólnym eksporcie do Niemiec stanowi ok.: 3-5%. Należą do niej: artykuły spożywcze, odzież oraz artykuły chemiczne [Robak J., 2013]. Mając na uwadze częstotliwość problemów występujących w eksporcie produktów spożywczych do naszych wschodnich sąsiadów, Niemcy są dla Polski podstawą stabilizacji w wymianie handlowej. Stąd uporządkowanie procesów dystrybucji w obszarze makroekonomicznym zależy od sposobu i umiejętności dostosowywania się do warunków zewnętrznych przez polskie przedsiębiorstwa produkcyjne i dystrybucyjne, do którego niewątpliwie należy analizowana firma.

2. PROPOZYCJA USPRAWNIENÍ PROCESU ZARZĄDZANIA ZAPASAMI W ANALIZOWANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE DYSTRYBUCJI TOWARÓW SPOŻYWCZYCH

Badania przeprowadzone w przedsiębiorstwie dystrybucji towarów spożywczych polegały na dokładnej analizie wszystkich zidentyfikowanych indeksów (numeryczny odpowiednik eksportowanych towarów). W tym celu dokonano klasyfikacji (podziału) towarów na trzy grupy, w których kluczowym był fakt, iż przedsiębiorstwo nie zamawia towarów z grupy I oraz II na magazyn. Ilości, którymi handluje w przedmiocie badania oraz fakt braku występowania zapasów świadczą o tym, iż proces obsługi wybranej

grupy klientów (eksport na rynek niemiecki) funkcjonował w sposób prawidłowy. Problem pojawił się w III grupie towarów, które dział zaopatrzenia zamawiał na magazyn. Fakt występowania zapasów w tej kategorii był zgodny z założeniami przedsiębiorstwa, jednak analizując wykresy oraz stany magazynowe w poszczególnych okresach zaobserwowano, iż brak jest automatyzacji tego procesu. Dział zaopatrzenia nie posiadał narzędzi, które pomogłyby usprawnić system zamawiania. Skutkiem tego były zarówno chwilowe braki, jak i niepotrzebnie wysokie stany magazynowe.

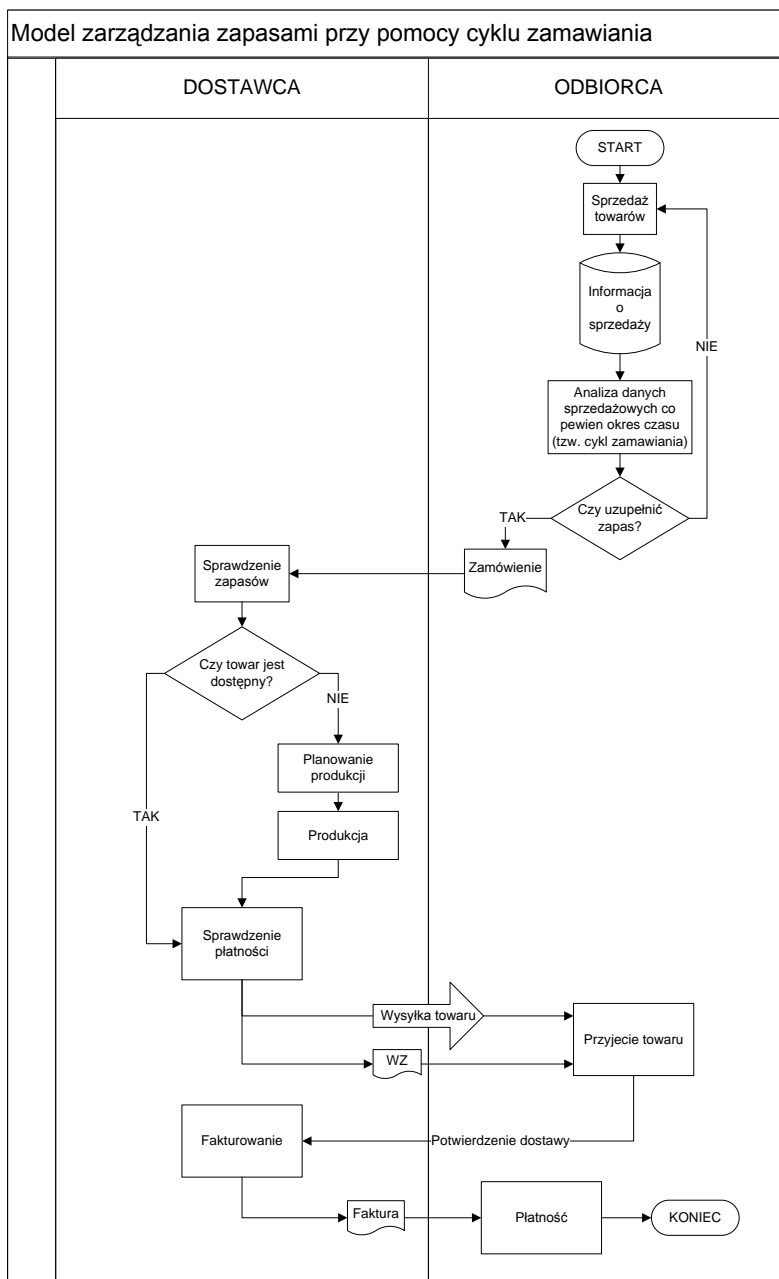
W związku z tym zaproponowano dwie propozycje usprawnień, dążące do zmniejszenia ryzyka wystąpienia nadmiaru lub braku zapasów. Propozycje przedstawiono w postaci algorytmu na rysunkach 2 i 3. Rysunek 2 przedstawia model zarządzania zapasami przy pomocy cyklu zamawiania. Z lewej strony zamieszczono procesy, decyzje oraz przepływ informacji i dokumentów występujące po stronie dostawcy. Po prawej stronie natomiast zamieszczono zadania leżące po stronie odbiorcy. Z uwagi na to, że czynnikiem kluczowym decydującym o momencie uzupełnienia zapasów jest sprzedaż towarów proces ten inicjuje cały schemat. W modelu tym zgromadzone dane są poddawane analizie, co pewien okres czasu. W badanym przedsiębiorstwie większość transportów planowanych jest w ostatni dzień tygodnia roboczego, zatem słusznym byłoby sprawdzanie stanów magazynowych właśnie w tym momencie. Umożliwiłoby to szybką reakcję oraz dostarczenie brakującej partii towaru na początek następnego tygodnia. Warunkiem koniecznym sprawnego funkcjonowania takiego modelu jest utrzymanie przez producenta na własnym magazynie zapasu bezpieczeństwa na wcześniej określonym poziomie. W przypadku braku buforu magazynowego i braku towaru w magazynie producenta, cały proces dostawy zostałby zachwiany, a czas dostawy znacznie by się wydłużył. W analizie tego rozwiązania, do głównych zalet dla odbiorcy zaliczono:

- ✓ lepsza możliwość planowania transportów łączonych,
- ✓ zmniejszenie ryzyka braku zapasów,
- ✓ brak obowiązku udostępniania danych o klientach dostawcom.

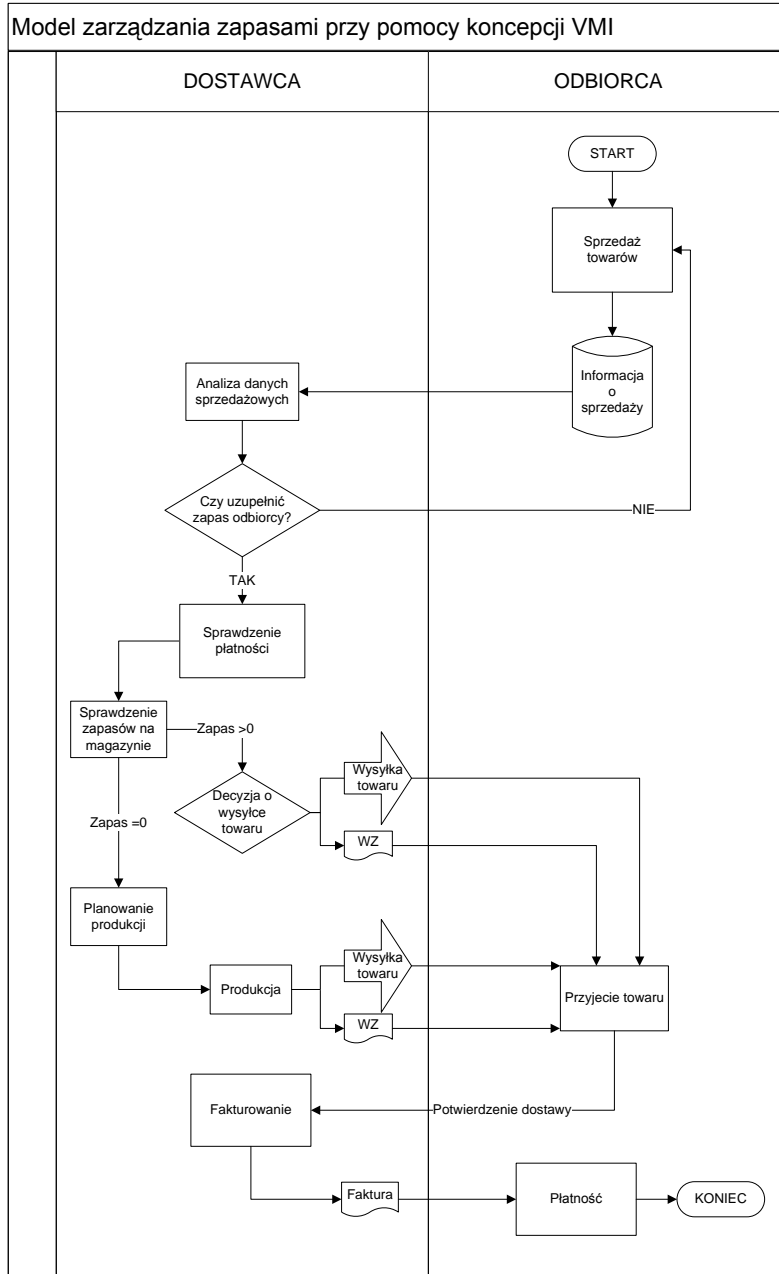
Z kolei do wad dla odbiorcy zaliczono:

- ✓ analiza danych sprzedażowych,
- ✓ obowiązek utrzymania zapasu na odpowiednim poziomie,
- ✓ koszty transportu.

Drugim modelem, mającym na celu usprawnienie procesu zarządzania zapasami jest model VMI. Podobnie jak w przypadku modelu cyklu zamawiania, proces sprzedaży produktów rozpoczyna cały schemat. Kolejnym krokiem jest wysyłka informacji o sprzedaży do producenta.



Rys. 2. Model zarządzania zapasami przy pomocy cyklu zamawiania



Rys. 3. Model zarządzania zapasami przy pomocy koncepcji VMI

To on po wcześniejszej analizie danych decyduje czy należy uzupełnić zapas odbiorcy. W przypadku, gdy zapas bezpieczeństwa został przekroczony następuje sprawdzenie płatności, a następnie dostawca weryfikuje poziom swoich stanów magazynowych. Jeśli $Zapas=0$ następuje produkcja, a następnie wysyłka. W przypadku, gdy $Zapas>0$ zostaje podjęta decyzja o dostawie partii towaru do odbiorcy. W owym modelu transport leży po stronie dostawcy. Odbiorca po przyjęciu towaru wysyła do dostawcy informacje o dostawie. Dostawca wystawia oraz wysyła fakturę, po czym następuje płatność. Na rysunku 3. przedstawiono model zarządzania zapasami przy pomocy koncepcji VMI (Vendor Managed Inventory). Widać na nim iż większość obowiązków znajduje się po stronie dostawcy. W tym przypadku, do głównych zalet wynikających dla odbiorcy zaliczono:

- niższy współczynnik błędu wynikającego z zamówienia,
- mniejsza odpowiedzialność za zaopatrzenie,
- niższy poziom zapasów,

Z kolei do podstawowych wad tego rozwiązania zaliczono większe uzależnienie się odbiorcy od dostawcy.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Do wyciągnięcia poniższych wniosków przyczyniła się dokładna analiza zebranych materiałów oraz ich przeprowadzenie badania z wykorzystaniem metody ABC/XYZ. Działanie to umożliwiło wyodrębnienie artykułów, którymi zarządzanie stanowiło dla analizowanego przedsiębiorstwa poważny problem. Badana grupa charakteryzowała się następującymi cechami: były to wybrane artykuły, na które popyt występował cały rok, a ich wartość nie przekraczała 20 % całego sprzedawanego asortymentu.

Dogłębna analiza badań pozwoliła na wyciągnięcie wniosków, które przyczyniły się do wskazania możliwych rozwiązań. Zaproponowano dwa modele sterowania zapasami. Pierwszym był model cyklu zamawiania, którego zaletami są lepsza możliwość planowania transportów łączonych, zmniejszenie ryzyka braku zapasów oraz brak obowiązku udostępniania danych o klientach dostawcom. Model ten niesie jednak za sobą także wady, do których zaliczono obowiązek analizy danych sprzedażowych po stronie odbiorcy, obowiązek utrzymania zapasu na odpowiednim poziomie oraz wyższe koszty transportu.

Drugą propozycją usprawnienia procesu zamawiania był model zarządzania zapasami przy pomocy koncepcji VMI. Głównymi zaletami dla odbiorcy wynikającymi z wdrożenia tego oto modelu są niższy współczynnik błędu wynikającego z zamówienia, mniejsza odpowiedzialność za zaopatrzenie, niższy poziom zapasów. Do głównych wad zaliczyć można większe uzależnienie się odbiorcy od dostawcy.

Analizując wszystkie za oraz przeciw zaproponowanych usprawnień autorzy sugerują wdrożenie nowoczesnych koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw w oparciu o model VMI. Należy jednak pamiętać, iż efekty z wdrożenia owego modelu nie są widoczne od razu. Koncepcja VMI zakłada obustronne silne zaangażowanie we wspólny cel, jakim jest osiągnięcie zysku.

WYKORZYSTANIE TECHNIKI IDEF3 DO USPRAWNIANIA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA MŚP

1. WPROWADZENIE

Aktywność małych i średnich przedsiębiorstw odgrywa zasadniczą rolę w rozwoju gospodarczym Polski. Zgodnie z danymi GUS działające w Polsce przedsiębiorstwa są głównym motorem rozwoju gospodarki i generują blisko trzy czwarte polskiego PKB, z czego połowę wytwarzają przedsiębiorstwa sektora MŚP. Firmy te mają zasadnicze znaczenie dla sprawnego funkcjonowania gospodarki [Tarnawa A., Zadura-Lichota P., 2012]. Ponad 1,6 mln podmiotów sektora MSP w Polsce, to dominująca siła naszej gospodarki. Firmy te w Polsce są miejscem pracy dla ponad sześciu i pół mln osób. Aż 70% pracujących w Polsce to osoby zatrudnione w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw. Cechując się elastycznością i łatwością dostosowania do sytuacji rynkowej, będącymi źródłem ich przewagi rynkowej, natrafiają jednak na bariery, które ograniczają ich rozwój. Jedną z nich jest konieczność reagowania na zmiany technologiczne, która od dłuższego już czasu jest jednym z wyznaczników międzynarodowej konkurencyjności firm, sektorów i gospodarek. To, czego małe podmioty nie mogą szybko pozyskać, to wiedza, do której większe podmioty mają dostęp w postaci znacznie większej liczby pracowników o zróżnicowanych kwalifikacjach i kompetencjach. Dla małych firm pozyskanie użytecznej wiedzy to proces kosztowny i pracochłonny. Dlatego tak istotnym jest, zwłaszcza dla przedsiębiorstw produkcyjnych, zaoferowanie im stosunkowo nieskomplikowanego narzędzia, które, przy ograniczonych możliwościach finansowych i ograniczonym dostępie do infrastruktury badawczej, pozwoliłoby na usprawnianie procesów produkcyjnych bez konieczności zwracania się do specjalistów najwyższej klasy i bez konieczności sięgania po kosztowny sprzęt. Jednym z takich narzędzi mogłaby być rodzina technik IDEF, stworzona w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia dla potrzeb sił powietrznych USA.

2. RODZINA METOD IDEF

Prace nad pierwotną wersją metod z rodziny IDEF rozpoczęły się w na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych dwudziestego wieku. Początkowo nosiły nazwę ICAM (*ang. Integrated Computer-Aided Manufacturing*) i były wynikiem prac sił powietrznych Stanów Zjednoczonych nad modernizacją produkcji samolotów. Prace te miały na celu utworzenie programu, którego zadaniem było rozwijanie narzędzi, technik

oraz procesów wspomagających integrację procesów produkcyjnych. W roku 1999 zmieniono nazwę na IDEF (*ang. Integrated DEFINition*), która odnosiła się do metod modelowania w zakresie projektowania systemów oraz inżynierii oprogramowania. Obejmują one swoim zakresem zastosowania w modelowaniu danych, symulacji, analizie obiektowej, projektowania oraz wykorzystywania wiedzy. W rezultacie opracowano rodzinę 14 standardów znanych jako IDEF (ICAM Definition), które zostały udostępnione do użytku publicznego [www.idef.com, 1993].

Najczęściej stosowane są techniki IDEF0 i IDEF3. IDEF0 wykorzystywana jest do budowy „modelu funkcji”, tj. strukturalnej reprezentacji funkcji, czynności i procesów w modelowanym systemie czy obszarze badań, IDEF3 definiuje kompleksowe narzędzie do modelowania procesów. Proces rozumiany jest tu jako ciąg uporządkowanych wydarzeń, w które zaangażowane są osoby, surowce, energia i wyposażenie, i których odpowiednie wykorzystanie ma za zadanie osiągnąć odpowiedni rezultat.

Opis techniki IDEF3 nie ogranicza się wyłącznie do przekazania notacji niezbędnej do graficznego przedstawienia modeli. Norma przedstawia określone etapy dla najlepszego możliwego wykorzystania notacji. W celu odpowiedniej realizacji zadania niezbędne jest udokumentowanie istniejącego procesu. Może to być zastosowane w formie opisowej, która posłuży do modelowania pierwotnej wersji procesu. Dzięki graficznemu przedstawieniu procesu możliwe jest pogładowe przekazanie najważniejszych informacji dotyczących procesu oraz analiza istniejącego stanu rzeczy. Umożliwia to wprowadzenie ewentualnych usprawnień, ich zamodelowanie i przeprowadzenie kolejnej analizy.

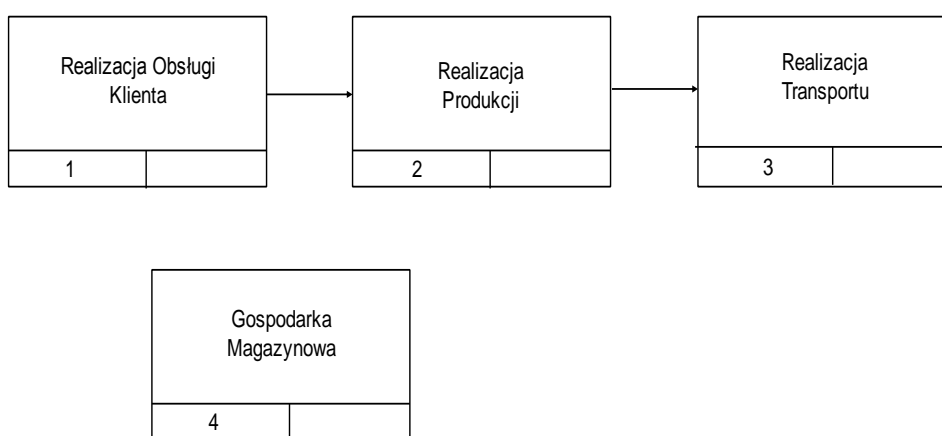
3. ZASTOSOWANIE TECHNIKI IDEF3 W FIRMIE KAMPOL

W celu zbadania efektywności modelowaniu procesów produkcyjnych i ich zrozumiałości dla pracowników firmy skorzystano z pomocy firmy KAMPOL Sp. z o.o. z siedzibą w Świdnicy koło Zielonej Góry. W odróżnieniu od znanych z publikacji [Marowski W., 2010, Ulan A., Sitkowska J., Duda J., 2014] prób wykorzystania techniki IDEF0 do graficznego przedstawienia procesów wytwarzania czy wspomagania procesów projektowania w poniższym zastosowana została technika IDEF3. W ramach badań [Huzarski J., 2014] zamodelowane zostały z wykorzystaniem normy IDEF3 podstawowe procesy wykonywane w zakładzie, takie jak obsługa zamówienia, procesy produkcyjne czy funkcjonowanie gospodarki magazynowej. Następnie podjęta została próba usprawnienia tych procesów z wykorzystaniem modelu oraz przedstawienie tych usprawnień na nowym modelu.

3.1. Model realizacji zamówienia

Dzięki zastosowaniu modelu z wykorzystaniem metody IDEF3 możliwe jest zaprezentowanie całości procesu realizacji zamówienia od momentu złożenia zamówienia poprzez produkcję, aż do transportu. Schemat przedstawiony na rysunku 1 przedstawia podział procesu ze względu na rodzaje podprocesów w nim zawartych. Stopień rozszerzenia informacji na temat procesów wchodzących w skład całości zależy od stopnia dekompozycji bloków UOB. Umożliwia to skupienie się nad daną częścią procesów

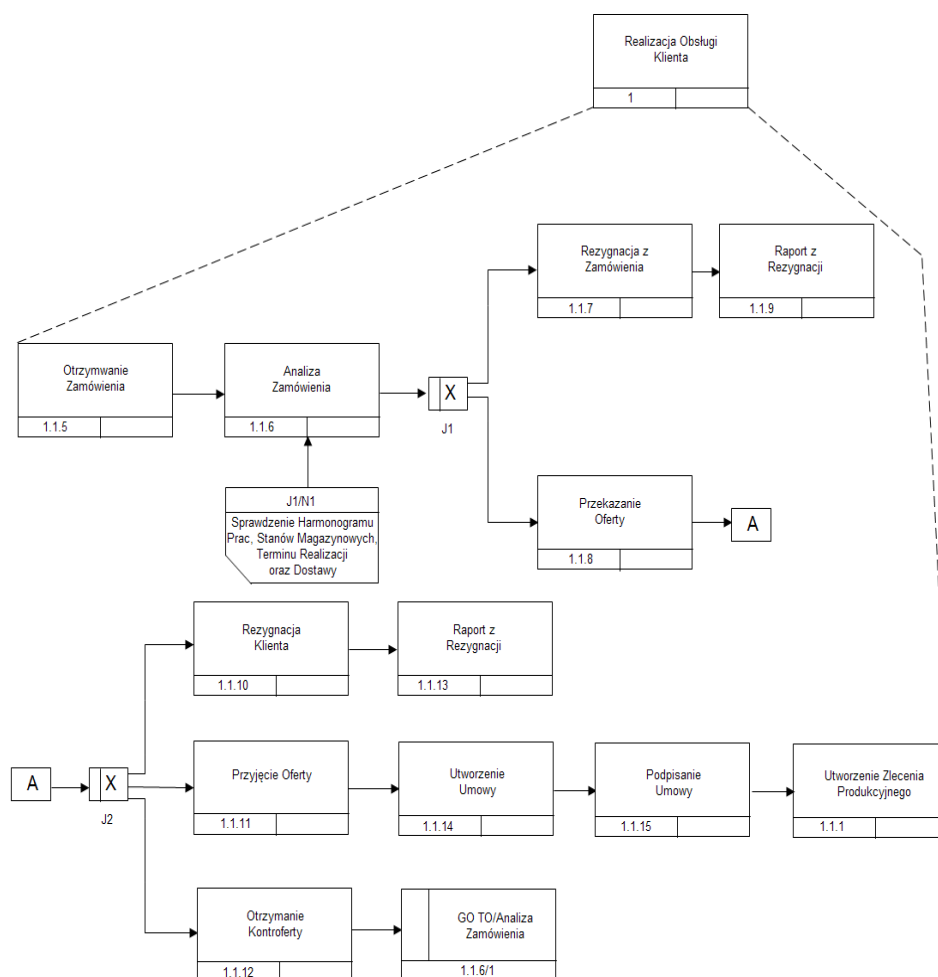
wykonywanych w firmie oraz dokładne zaprezentowanie kolejności oraz możliwych do podjęcia decyzji. Schemat taki doskonale pokazuje zależność jednego procesu od drugiego. Tak zamodelowany proces umożliwia łatwe zrozumienie procesów zachodzących w firmie w trakcie realizacji zamówienia. Schemat ten jest podzielony pomiędzy 4 schematy UOB, z pomiędzy których 3 posiadają ze sobą bez pośrednią relację i odnoszą się jeden do drugiego. Wyjątkiem jest blok reprezentujący gospodarkę magazynową firmy. Wynika to, że specyfiki dokonywania zapasów magazynowych w firmie co zostanie omówione w podrozdziale 3.5.



Rys.1. Specyfikacja realizacji zamówienia

3.2. Obsługa klienta

Model procesu obsługi klienta przedstawiony jest na rys. 2. Firma KAMPOL ze względu na swój wieloletni okres działania w branży stara się zachować szczególnie dobre relacje ze swoimi stałymi klientami. Ich zamówienia stanowią około 90 % wszystkich zamówień realizowanych przez firmę. Kontakt z nimi prowadzony jest przez pracowników firmy, którzy dbają o to aby realizacja zlecenia zgodna była z oczekiwaniami klienta.



Rys.2. Specyfikacja procesów obsługi klienta

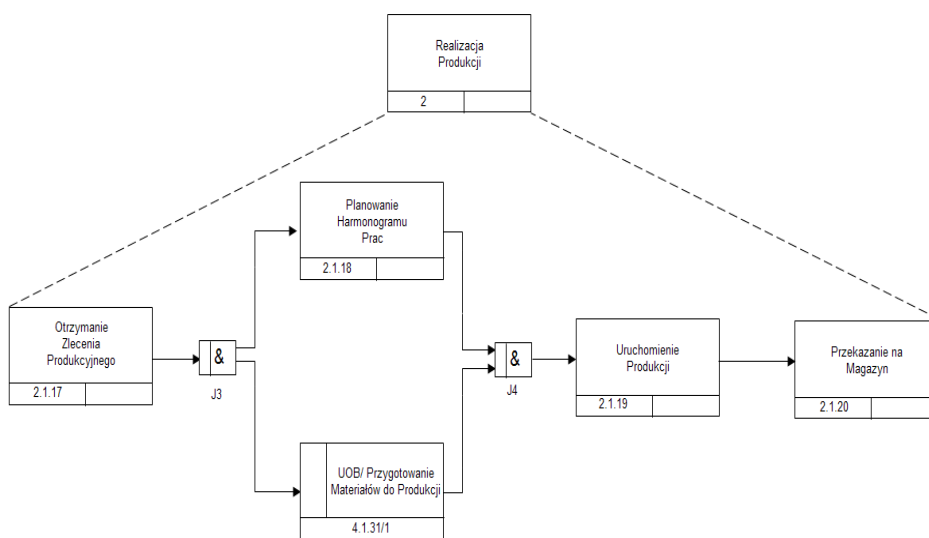
To właśnie dzięki stałym klientom oraz ich zamówieniom firma jest w stanie przewidzieć zapotrzebowanie na określone materiały oraz dokonać z wyprzedzeniem zamówień tworząc odpowiedni na dany rok zapas magazynowy. Przeważnie klienci takie zamówienia realizują telefonicznie z potwierdzeniem mailowym. Drugą formą zgłoszenia zlecenia przez klienta jest zakup poprzez stronę internetową. Jest też trzecia forma w postaci zgłoszenia zlecenia w jednym z firmowych sklepów.

Po otrzymaniu zlecenia firma rozpatruje możliwość realizacji zadania z uwzględnieniem obecnych zleceń, możliwości przerobowej oraz ilości posiadanych materiałów, a następnie przekazuje klientowi ofertę jego realizacji. Po jej zaakceptowaniu zlecenie

wraz z niezbędnymi danymi przekazane jest do realizacji. W przypadku, gdy firma nie może zrealizować zlecenia informuje o tym klienta oraz dokonuje analizy prawdopodobieństwa wystąpienia takiej sytuacji w przyszłości oraz możliwości jej zapobieżenia.

3.3. Model procesów produkcyjnych

Po otrzymaniu zamówienia kierownik produkcji, analizuje je oraz rozplanowuje produkcję w celu optymalnego wykorzystania możliwości przerobowych hali. Następnie przekazuje niezbędne dane, konieczne do wykonania zadania, pracownikom hali produkcyjnej. Najważniejszą informacją potrzebną pracownikom to rodzaj wykonywanego produktu, materiał, wymiary oraz metody obróbki. Aby rozpocząć produkcję konieczne jest sprowadzenie materiałów z magazynu firmy oraz przestrojenie maszyn do danej produkcji. Dobrze przygotowana linia produkcyjna umożliwia szybkie, wykonanie zadania oraz możliwość przejścia do następnego zlecenia.

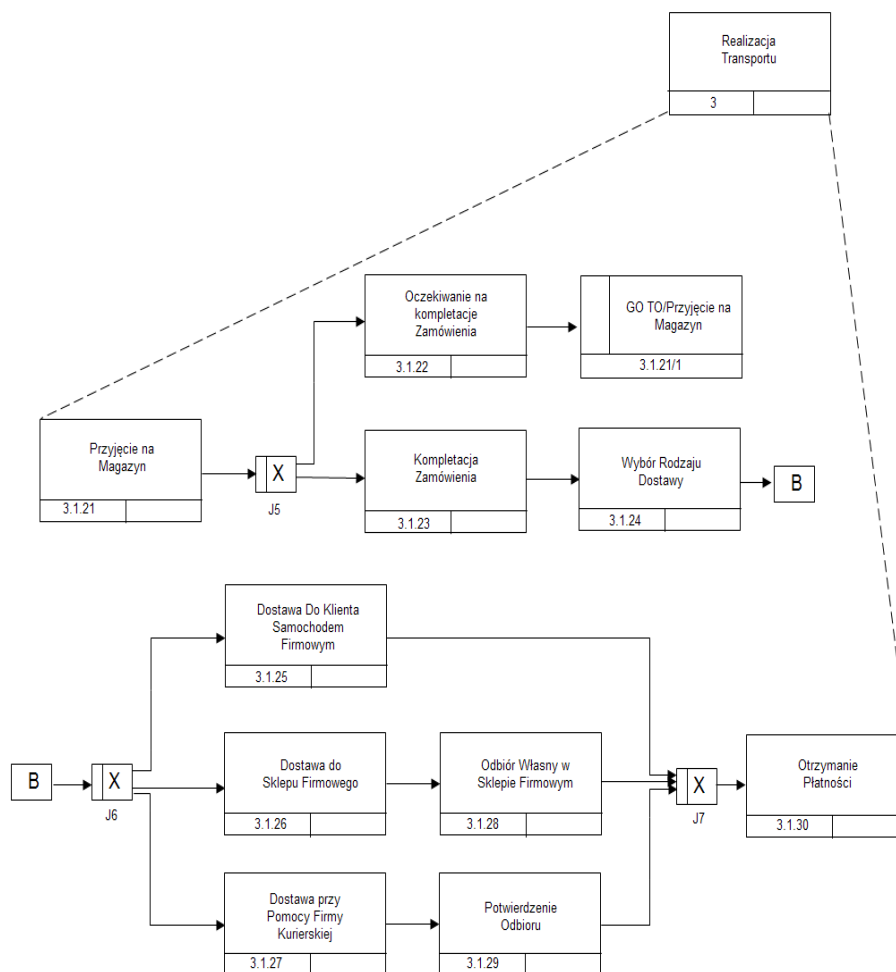


Rys. 3. Specyfikacja procesów produkcji

3.4. Transport

Po odpowiednim przygotowaniu produkt końcowy jest składowany do momentu całkowitej realizacji zlecenia. W tym momencie następuje rozpoczęcie realizacji transportu poprzez przygotowanie towaru do transportu. Środek transportu przeważnie jest już ustalony w momencie składania zamówienia. W celu zapewnienia korzystniejszej oferty transport dużych zamówień jest przeprowadzany dwomawłasnymi samochodami ciężarowymi. Transport mniejszych zamówień odbywa się własnym samochodem dostawczym. Firma dostarcza również systematycznie towar do swoich sklepów w Zielonej

Górze, gdzie możliwy jest odbiór osobisty. Jeśli chodzi o inne formy dostawy to jest też możliwe zamówienia kuriera, gdyż firma posiada umowę z firmą transportowo-spedycyjną. Kończącą czynnością jest sprawdzenie zgodności zamówienia przez klienta oraz podanie informacji zwrotnej o przyjęciu zamówienia, rys. 4.



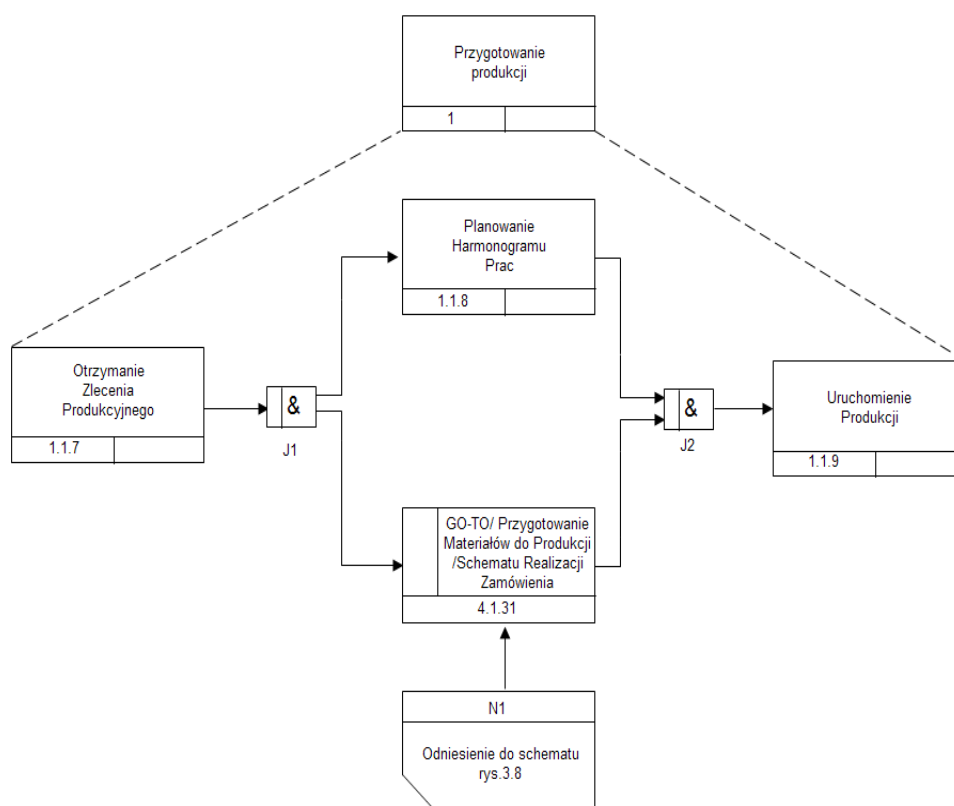
Rys. 4. Specyfikacja procesu transportu

3.5. Gospodarka magazynowa

W każdej firmie istotnym jest zachowanie możliwie najlepszej ciągłości produkcji. Dlatego tak ważnym jest, aby zapasy magazynowe odpowiadały przewidywanym zapotrze-

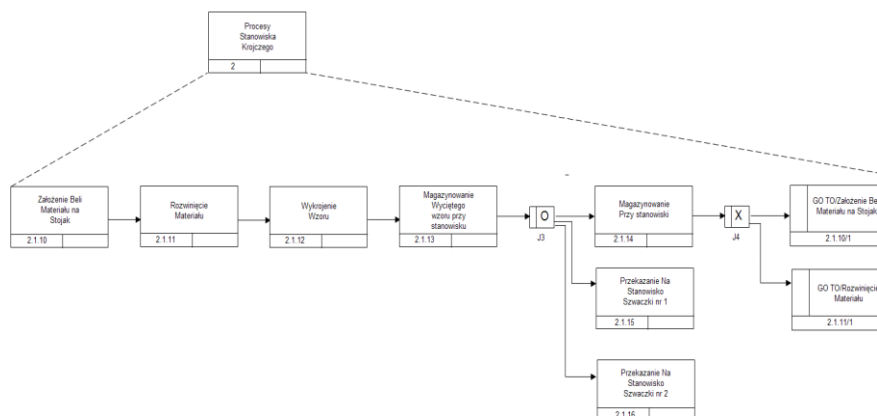
Podkład Camel Leon powstaje z wysokiej jakości wełny wielbłądziej. Podkład składa się z dwóch warstw zewnętrznych wełny oraz podkładu znajdującego się między nimi. Materiał jest ze sobą łączony za pomocą nici. Zakończenia wyrównuje się wszywając lamówkę, co nadaje przyjemny estetyczny wygląd oraz chroni materiał przed zadzieraniem się na krawędziach.

Rys. 6 przedstawia etap przygotowania produkcji. W momencie otrzymania zlecenia kierownik hali produkcyjnej sprawdza u magazyniera dostępności surowców oraz ustala harmonogram ich dostaw na poszczególnych stanowiska.



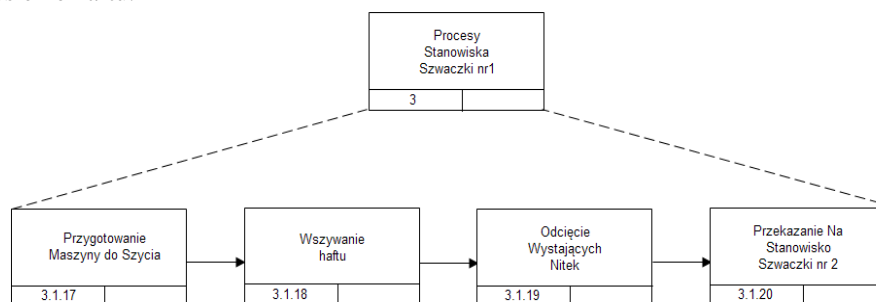
Rys. 6. Specyfikacja procesu przygotowania produkcji

Rys. 7 przedstawia proces produkcyjny na stanowisku krojczego. Pracownik stanowiska krojczego na każdą sztukę gotowego podkładu wycina jeden wzór wkładu poliestrowego oraz dwie warstwy wierzchnią i spodnią wełny.



Rys. 7. Specyfikacja procesów na stanowiska krojczego

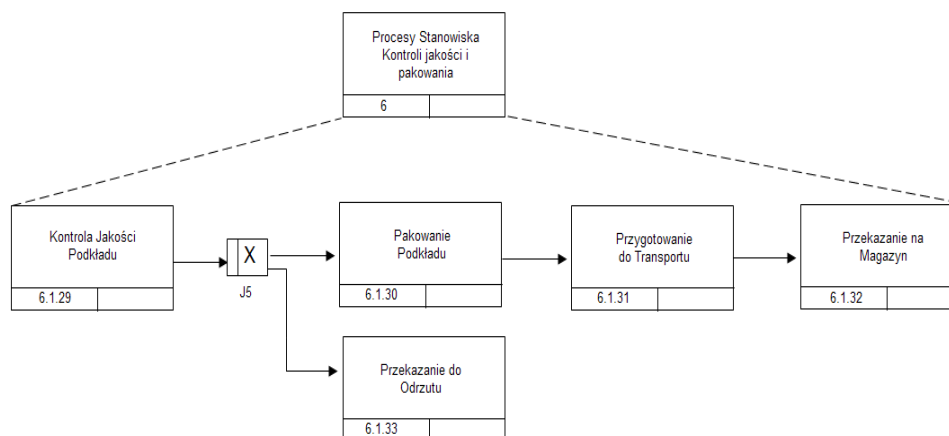
Rys. 8 przedstawia pracę na stanowisku szwaczki, do której obowiązków należy naniesienie haftu.



Rys.8. Specyfikacja procesów na stanowiska szwaczki nr1

Źródłem ewentualnych przestoju jest czas związany z nanoszeniem haftu, co powodowało, że pozostałe szwaczki musiały czekać.

Rys. 9 przedstawia proces na stanowisku kontroli jakości i pakowania. Pracownicy stanowiska kontroli jakości i pakowania dokonują oględzin gotowego produktu. Pracownicy na tym stanowisku sprawdzają produkt pod względem wymiarów, rodzaju oraz jakości wykorzystanego materiału oraz jego zgodności ze zleceniem. Sprawdzają też jakość szyc, haftowania oraz umocowania metek. Następnie wykorzystując gotowe opakowania pakują produkt oraz przekazują do magazynu.



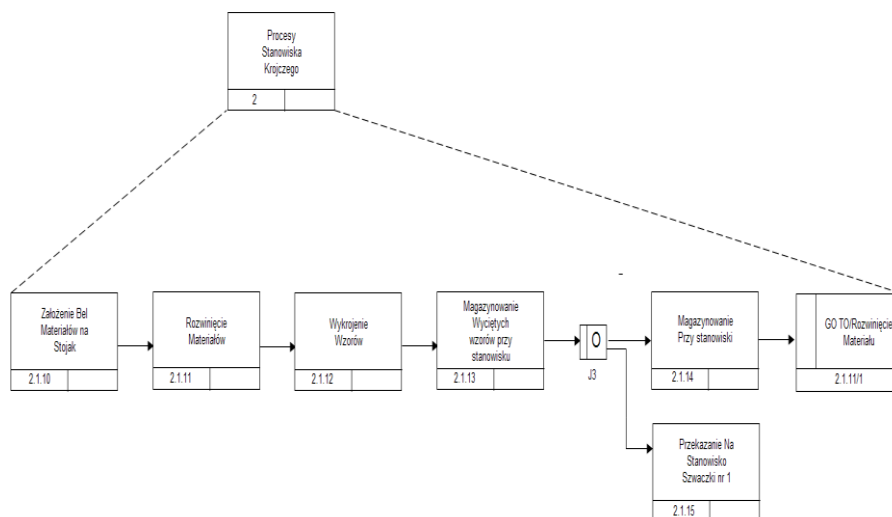
Rys. 9. Specyfikacja procesów na stanowisku kontroli jakości i pakowania

4. USPRAWNIANIE PROCESÓW PRODUKCYJNYCH.

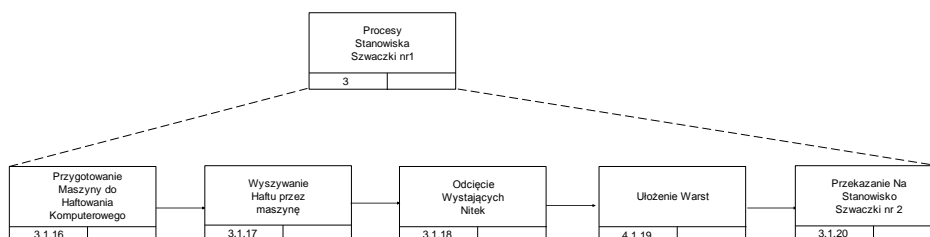
Przedstawiony w poprzednim rozdziale model przedstawiony z wykorzystaniem techniki IDEF3 ukazuje dokładny przebieg procesu. Model ten był w pełni zrozumiały dla pracowników firmy. Dzięki temu można było wprowadzić usprawnienia, które pozwolą na zwiększenie efektywności produkcji i zmniejszenie kosztów.

W przypadku stanowiska krojczego wprowadzono stojak umożliwiający przechowywanie trzech zamiast jednej beli z materiałami. Umożliwia to naprzemienne wykrawanie wzorów zgodnie z zapotrzebowaniem, a także łączenie ze sobą materiałów oraz ich równoczesne wykrawanie. Usprawnienie to wprowadza realną oszczędność czasu wynikająca z braku konieczności przezbrajania stanowiska. Powoduje to również większą płynność produkcji dzięki możliwości bieżącego dostarczania wzorów wykrawanych z obu rodzajów materiałów. Rys.10 przedstawia specyfikację procesu po usprawnieniu.

Podobnie udało się usprawnić stanowisko szwaczki, co jednak wiązało się z dodatkową inwestycją w postaci automatycznej maszyny do haftowania. W ten sposób nie tylko zlikwidowano przestoje wynikające ze zbyt długiego czasu haftowania, ale i podniesiono jakość haftu. Rys. 11 przedstawia specyfikację procesu na stanowisku szwaczki odpowiedzialnej za haft po usprawnieniu.



Rys.10. Specyfikacja procesów usprawnionego stanowiska krojczego



Rys.11. Specyfikacja procesów usprawnionego stanowiska krojczego

5. PODSUMOWANIE

Prezentowana w niniejszej pracy metodyka umożliwia przedstawienie dowolnych procesów produkcyjnych w postaci przejrzystych modeli. Przejrzysty sposób zobrazowania procesów pozwala spojrzeć na nie z różnych perspektyw co ułatwia weryfikację i kontrolę poprawności procesów oraz dokonanie usprawnień mających wpływ na efektywność produkcji. Uniwersalność notacji pozwala na modelowanie prostych oraz złożonych procesów zarówno biznesowych jak i produkcyjnych.

IDEF3 oferuje kombinacje wzajemnie uzupełniających się narzędzi do budowania modeli i projektów. Za pomocą niewielkiej ilości komponentów pozwalają one na przedstawienie procesu. Stworzone dzięki nim schematy są zrozumiałe i pomagają zbudować optymalny proces produkcyjny. Cechuje je spójność i jednoznaczność. Każdy z elementów graficznych jest jasno zdefiniowany, dzięki czemu prezentowany proces można łatwo zinterpretować w poprawny sposób. Stworzone modele są łatwe w odbiorze i zrozumiałe dla osób nie zajmujących się na co dzień modelowaniem.

BIBLIOGRAFIA

- Adamski M., Salamaj M.,** *Programowalny sterownik logiczny*, Patent nr 217315, 2014r.
- Anderson D.M.,** *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering*, CIM Press, vol. 8, str. 251-260, 2010r.
- Baldwin D.F., Abell T.E., Lui M.C., de Fazio T.L., Whitney D.E.,** *An integrated computer aid for generating and evaluating assembly sequences for mechanical products*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 7(1), str.78–89, 1991r.
- Bartoszewicz A.,** *Eliminacja zjawiska chatteringu w układach sterowania o zmiennej strukturze z ruchem ślizgowym*, PAK 4/2001, 2001r.
- Baykasoglu A., Gocken M.,** *A simulation based approach to analyze the effects of job release on the performance of a multi-stage job-shop with processing flexibility*, International Journal of Production Research, , vol. 49(2), str. 585-610, 2011r.
- Booker J.D., Raines M., Swift K. G.,** *Designing Capable and Reliable Products*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001r.
- Boothroyd G., Dewhurst P.,** *Design fof Assembly*. Boothroyd Dewhurst Inc., Wakefield, RI, 1991r.
- Borowiecki T., Banaszak Z., Stryjski R.,** *An approach for CSP/COP modelling of decision making procedures*, Proceedings of the 6th Workshop on Constraint Programming for Decision and Control, Wydaw. Pracowni Komputerowej J. Skalmierskiego, 2004r.
- Borowiecki T.** *Synthesis of models of Production Planning Procedures for Work Orders Execution*. PhD dissertation Department of Electronics Technical University of Poznań, 2007r.
- Borowiecki T., Banaszak Z.,** *Production flow planning tasks integration with Constraints Programming paradigm*, Inżynieria Maszyn, Wrocław, 2000r.
- Borowiecki T., Politowicz K., Banaszak Z.,** *Customised Feature-Driven Computer Aided Production Planning Packages. A CLP Approach*. Proc. of the Workshop on Constraint Programming for Decision and Control, ed. J. Figwer, Gliwice, Poland 2001r.
- Bradwell R., Ford J., Mills P., Tsang E., Williams R.,** *An Overview Of The CACP Project: Modelling And Solving Constraint Satisfaction/Optimisation Problems With Minimal expert Intervention*, Constraints Programming 2000 Workshop on Analysis and Visualisation of Constraint Programs and Solvers, 2000r.
- Brock S., Kaczmarek T.,** *Zastosowanie metody ruchu ślizgowego do sterowania serwonapędów robotów*, Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, vol. 103 (47), Wrocław, 2001r.
- Brzeziński A.,** *OEE – sposób na zwiększenie efektywności produkcji*, Wiedza i praktyka, 2010r.
- Catalog of Electronic Components, 16Kx16 Dual Port RAM - IDT70V26, <http://www.chipcatalog.com/cat/664.htm>, 2014r.
- Cox R.,** *Some Statistical Methods Connected with Series of Events*, Journal of the Royal Statistical Society, vol.17, 1955r.

- De Fazio T.L., Whitney D.E.**, *Simplified generation of all mechanical assembly sequences*, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 3(6), str. 640-656, 1987r.
- Drajewicz M., Wasylak J.**, *Poprawa właściwości fizykochemicznych szkła float*, Świat szkła vol. 12, 2008r.
- Dzierżek K.**, *Programowanie Sterowników GE FANUC w przykładach i zadaniach*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2007r.
- Ehrenberg C., Zimmermann J.**, Simulation-based optimization in make-to-order production: scheduling for a special-purpose glass manufacturer. In: Proceedings of the 2012 winter simulation conference, str. 1–12, 2012r.
- Gajski D.D.**, *Principles of Digital Design*, Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster, 1997r.
- Ganowska I.**, *SOA – kluczowy warunek efektywnego stosowania technologii Web 2.0*, Wrocław, 2007r, <http://www.bankier.pl/wiadomosc/SOA-kluczowy-warunek-efektywnego-stosowania-technologie-Web-2-0-1652656.html>, data (22.02.2014), godz. 15.00.
- Gottipolu R.B., Ghosh K.**, *Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning*, International Journal of Production Research, vol. 35 (12), str. 3447-3465, 1997r.
- Guido T.**, *Embedding MiniZinc*, The 19th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, 2013r.
- Halang W.A., Śnieżek M.**, *A Safe Programmable Electronic System*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, 2010r.
- Halang W.A., Śnieżek M., Trybus L.**, *An Industrial Programmable Logic Controller with Fail Safe Behaviour*, 12 Internationale Mittweidaer Fachtagung, Innovative Technologien, 1996r.
- Hooker J. N.**, *A hybrid method for planning and scheduling*. In Wallace, M., ed., Principles and practice of Constraints Programming Lect. Notes Comput. Sci. 3258. Springer, Berlin., 2004r.
- Integration Definition for Function Modelling (IDEF0). National Institute of Standards and Technology, USA, www.idef.com, 1993.
- ISO/IEC 15909-1:2004, Systems and software engineering - High-level Petri nets - Part 1: Concepts, definitions and graphical notation, International Organization for Standardization, 2004r.
- Huzarski J.**, *Modelowanie oraz usprawnianie produkcji procesów produkcyjnych wybranej firmy z wykorzystaniem metody IDEF3*. Praca dyplomowa. Uniwersytet Zielonogórski, WM, Zielona Góra 2014
- Izydorczyk J.**, *Komputerowa symulacja układów elektronicznych*, Helion, Gliwice 1993r.
- Jakubowski J., Peterka J.**, "Design for manufacturability in virtual environment using knowledge engineering", Management and Production Review, (2014), Vol. 5, No. 1, pp.3-10.
- Julius A.**, GALS - global asynchronous local synchronous circuits, Humboldt-Universität (HUBerlin), 2004r.
- Juran J. M., Gryna F. M.**, *Juran's Quality Control Handbook*, New York, 1998r.
- Kaczorek T.**, *Teoria układów regulacji automatycznej*, WNT, Warszawa 1977r.

- Kalos M. H., Whitlock P. A.**, *Monte Carlo Methods*, Wiley-Vch Verlag GmbH, 2008r.
- Kayalethekker V., Mc Adams D., Stone R.**. *A product architecture based conceptual DFA technique*. Department of Mechanical Engineering, University of Missouri Rola, Rola 2003r.
- Kevin L., Mears Ch., Tack G., Garcia de la Banda M.**, *Globalizing Constraint Models*. CP'13, vol. 8124 of LNCS, str. 432-447, Springer, 2013r.
- Kmera M.**, Przewodnik po badaniach szyb do przemysłu kolejowego, 2007r.
- Kmera M.**, Control of railway glasses in Saint-Gobain Sekurit, , 2007r.
- Knuth D. E.**, *The Art of Computer Programming*, tom 2: Seminumerical Algorithms, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1969r.
- Kowalski M., Kuchta D.**, Wykorzystanie czasu pracy jako parametru rozliczania kosztów zużycia zasobów, w *Badania Operacyjne i Decyzje*, vol. 2, 2006r.
- Kraśniewski A.**, *Projektowanie Wiarygodnych Systemów Cyfrowych*, Politechnika Warszawska, 2007r.
- Król A., Moczko J.**, *Symulacja i optymalizacja układów elektronicznych*, Nakom, Poznań, 1998r.
- Łazarski K.**, Planowanie i analiza sekwencji montażu na przykładzie kontenerowej wytwórni masy bitumicznej, praca magisterska, Zielona Góra, 2014r.
- Markus P.J. Fromherz**, *Constraint-based Scheduling*, American Control Conference, vol.4, 2001r.
- Marowski W.**, *Wykorzystanie techniki IDEF0 i relacyjnej bazy danych we wspomaganiu procesów projektowych*. Przegląd Mechaniczny, Zeszyt 10/2010, s.18-25
- Marsan M. A.**, *Stochastic Petri Nets: an elementary introduction*, Advances in Petri Nets, vol. 424, 1989r.
- Materiały wewnętrzne firmy**, *Instrukcja technologiczna HMG/IT/P1/01 - Technologia przygotowania wsadu do pieców szybowych*. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, 2009r.
- Materiały wewnętrzne firmy**, *Instrukcja technologiczna HMG/IT/P21/01- Przygotowanie wsadu do pieca zawieszinowego i materiałów pomocniczych do pieca elektrycznego i konwertorów*. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, 2010r.
- Materiały wewnętrzne firmy**, *Instrukcja technologiczna HMG/IT/P23/01 – Odmiedziowanie żużla zawieszinowego w piecu elektrycznym*. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, 2010r.
- Materiały wewnętrzne firmy**, *Instrukcja technologiczna HMG/IT/P23/02 - Konwertorowanie stopu Cu-Pb-Fe*. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, 2010r.
- Materiały wewnętrzne firmy**, *Koncepcja Programowo Przestrzenna – Projekt Modernizacji Pirometalurgii w H.M. „Głogów – I”*. Bipromet S.A., Katowice, 2008r.
- Mazurek W.**, *Wskaźnik OEE – teoria i praktyka*, Neuron, 2014r.

- McAfee A.**, *Firma 2.0. Sukces dzięki nowym narzędziom internetowym*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa, 2011r.
- McDermid J., Kelly T.**, *Software in Safety Critical Systems: Achievement and Prediction*, Nuclear Future, 2006r.
- Milecki A.**, *Liniowe serwonapędy elektrohydrauliczne*, Modelowanie i sterowanie, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2003r.
- Milecki A.**, *Wybrane metody poprawy właściwości liniowych serwonapędów elektrohydraulicznych*, Politechnika Poznańska, 1999r.
- Muhlemann A.P., Oakland J.S., Lockyer K.G.**, *Zarządzanie produkcją i usługami*, WNT, Warszawa, 1997r.
- Nandagawe S., Sarmah S. P.**, *Development and application of a simulation model for throughput improvement in the melting shop of a steel plant*, International Journal of Operational Research, vol. 6(2), str. 267–81, 2009r.
- Negahban A., Smith J. S.**, *Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis*, Journal of Manufacturing Systems, vol. 33, str. 241-261, 2014r.
- Nethercote N., Stuckey P., Becket R., Brand S., Duck G., Tack G.**, *Towards a Standard CP Modelling Language*. Thirteenth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, Providence, RI, USA, vol. 4741 of Lecture Notes in Computer Science, str. 529-543, Springer-Verlag, September, 2007r.
- Ozga K.**, *Zastosowanie technik XML do opisu struktur modeli procedur planowania i realizacji zleceń produkcyjnych*. Praca dyplomowa pierwszego stopnia. Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, 2008r.
- Petri C.A.**, *Kommunikation mit Automaten*, Ph. D. Thesis, Bonn: Uniwersytet Bonn, 1962.
- Philippe Baptiste, Claude Le Pape, Wim Nuijten.** *Constraint-Based Scheduling*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2001r.
- Pizoń A.**, *Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki*, WNT, 1995r.
- Pulaczewski J.**, *Cyfrowe algorytmy regulacji. Rozwój, zastosowania, perspektywy*, Konferencja Automotion, 2000r.
- Rettberg J.**, *Blogging*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2012r.
- Robak J.**, *Materiały wewnętrzne Polskiej Ambasady w Niemczech*, Wydział Promocji Handlu i Inwestycji, 2003 r.
- Robinson S.**, *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2004r.
- Rubinstein R. Y., Kroese D. P.**, *Simulation and the Monte Carlo Method*, wyd. 2, Nowy Jork, John Wiley and Sons Inc., 2007r.
- Salamaj M.**, *Conception of a control unit for critical systems*, International Journal of Electronics and Telecommunications, 2013r.
- Sanderson A.C., Homem de Mello L.S., Zhang H.**, *Assembly sequence planning*, AI Mag, vol. 11(1), str. 62–81, 1990r.
- Sawik T.** *Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1992r.
- Sąsiadek M.**, *Komputerowo wspomagane planowanie sekwencji montażu z uwzględnieniem zasad DF*, Przegląd Mechaniczny, 2012r.

- Sąsiadek M.**, *Projektowanie dla montażu - ocena połączeń elementów i zespołów maszyn*. Technologia i Automatykacja Montażu, 2013r.
- Sąsiadek M.**, *Projektowanie wyrobów i planowanie sekwencji montażu z uwzględnieniem zasad DFA (Design of products and planning of assembly sequence according to DFA)*, Technologia i Automatykacja Montażu, nr 2, str. 4-7. 2009r.
- Sąsiadek M.**, *Współbieżne projektowanie wyrobów i planowanie kolejności ich montażu (Concurrent design of products and planning of their assembly sequence)*, In: Metody i techniki zarządzania w inżynierii produkcji, red. J. Matuszek, M. Gregor, B. Mičeta, R.6., Wydaw. Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała, str. 109-124, 2013r.
- Schulte Ch., Smolka, G. Wurtz J.**, *Finite Domain Constraint Programming in Oz. DFKI OZ documentation series*, German Research Centre for Artificial Intelligence, Stuhlsaltzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken, Germany, 1998r.
- Singhal M.**, Performance analysis of the basic timestamp ordering algorithm via Markov modeling, Performance Evaluation, nr 12, 1991r.
- Szpyrka M.**, Sieci Petriego w modelowaniu i analizie systemów współbieżnych, WNT, Warszawa, 2008r.
- Szymonowicz P.**, *Analiza możliwości automatyzacji procesu montażu szybkozłączna pneumatycznego*, Praca dyplomowa magisterska, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, 2014r.
- Śnieżek M., Halang W.A.**, *Bezpieczny programowalny sterownik logiczny*, Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 1998r.
- Śnieżek M., Halang W.A.**, Electronic system for safety tasks programmed with logic diagrams and flow charts uses two computers for processing function block references and converting data flow between function blocks and signal sequences specified by flow charts, Patent nr DE19861281, 2008r.
- Śnieżek M., Stackelberg J.**, *A fail safe programmable logic controller*, Annual Reviews in Control 27, Elsevier Ltd, 2003r.
- Tarnawa A., Zadura-Lichota P. (ed.)**, *Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce w latach 2010–2011*. PARP, Warszawa 2012.
- Ulan A., Sitkowska J., Duda J.**, *Wykorzystanie techniki IDEF0 do graficznego przedstawienia procesu wytwarzania cementu*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Zakopane 2014, s. 1055 - 1064
- Urbanowicz K.**, Firma 2.0, czyli o rewolucji jaka czeka nasze przedsiębiorstwo, Warszawa, 2007r.
- Utkin V.**, *Ckolaszczcie rierzimy i ich primienienia w sistemach s pieremiennoj strukturoj*, Nauka, Moskwa, 1974r.
- Volovoi V.**, *Modeling of System Reliability Using Petri Nets with Aging Tokens*, Reliability Engineering and System Safety, nr 84, 2004r.
- Wang J.**, Timed Petri Nets. Theory and Application, Springer Science, 1998r.
- Waters D.**, *Zarządzanie operacyjne towary i usługi*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2001r.
- Whitney D.E.**, *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press, nr 15, str. 379-391, 2004r.

- Wu W., Kelly T.,** *Safety Tactics for Software Architecture Design*, 28th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2004), 2004r.
- Zbysiński P., Pasierbiński J.,** *Układy programowalne*, Wydawnictwo BTC, 2004r.
- Zdanowicz R., Świder J.,** *Modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych w programie Enterprise Dynamics*, WPS, 2005r,
- Żaba S.,** *Analiza czasowa cyfrowych interfejsów mikroprocesorowych z architekturą master-slave*, Pomiary Automatyka Robotyka, 2005r.