# Wstęp

## Wprowadzenie do problemu

Efektywne zarządzenie rzeczywistym łańcuchem dostaw nieoderwalnie związane jest z szeregiem procesów planowania. Przed każdym przedsiębiorstwem produkcyjno-dystrybucyjnym staje zadanie takiego sterowania przypływem materiałów w sieci, by zapewnić możliwie wysoki poziom obsługi klienta przy jednoczesnym minimalizowaniu zapasów oraz kosztów związanych ze składowaniem i transportem materiałów. Są to jedne z wielu wskaźników efektywności (ang. KPI[[1]](#footnote-1)), które pozwalają ocenić to, czy łańcuch dostaw zarządzany jest w sposób zbliżony do optymalnego.

Ilość danych, które należy przetworzyć i przeanalizować procesie planowania sprawia, że nieodzowne jest wykorzystywanie zaawansowanych systemów komputerowych. Praktycznie niemożliwa jest jednak pełna automatyzacja tego procesu. Liczba wyjątków występująca ze względu na różnorodność produktów, zróżnicowana struktura łańcuchów dostaw w sieci, a także dynamika branży FMCG[[2]](#footnote-2) uniemożliwiają potraktowania problemu dystrybucji jako klasycznego zadania optymalizacyjnego.

Konieczne staje się zatem rozpoznanie typowych problemów, które pojawić mogę się na ścieżce planowania produkcji i dystrybucji artykułów FMCG, a także wypracowania określonych strategii mitygowania ryzyka możliwych do wdrożenia w środowisku biznesowym. Z oczywistych względów nie jest wskazane, aby rozwijać i wypracowywać rozwiązania takich problemów wyłącznie w sposób praktyczny. Niesie to ze sobą znaczące ryzyko poniesienia strat pieniężnych, a także obarczone jest koniecznością długiego oczekiwania na rezultaty podjętych decyzji. Z tego powodu autor niniejszej pracy zdecydował się na wykorzystanie symulacji komputerowej jako narzędzia do badań. Wiąże się to również z szeregiem innych korzyści – możliwości modelowania i odwzorowania dowolnych łańcuchów dostaw, czy przeprowadzania wielokrotnych testów i badania wrażliwości systemu na zmiany parametrów jego poszczególnych ogniw.

Jakość wyników symulacji komputerowej jest jednak silnie zależna od zaimplementowanego w niej modelu i jego zbieżności z rzeczywistością. Aby pozostać możliwie blisko realiów biznesowych w pracy wykorzystane zostaną dane historyczne rzeczywistego przedsiębiorstwa X funkcjonującego w branży FMCG. Składać się na nie będą dane dotyczące popytu i sprzedaży, struktura łańcuchów dostaw, a także ograniczenia związane z wytwarzaniem poszczególnych produktów.

## Przegląd literatury

Problem modelowania łańcucha dostaw oraz badania przepływu materiałów w sieci nie jest nowy. Powstało wiele publikacji wpisujących się w tę tematykę, jednak żadna z nich nie wyczerpuje dostatecznie tematu wykorzystywania symulacji komputerowej w celu odnalezienia dobrych praktyk w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Co więcej, w publikacjach można zaobserwować pewną polaryzację. Pierwsza grupa prac to te skupione wokół tworzenia jak najdokładniejszych modeli matematycznych łańcucha dostaw, które pozbawione są kontekstu biznesowego. Przeciwnym biegunem są zaś publikacje magazynów branżowych, kładące akcent przede wszystkim na aspekty biznesowe, które dowodzą słuszności stawianych w nich tez poprzez odwołania do rzeczywistych przedsiębiorstw i wdrożonych w nich rozwiązań oraz efektu ich implementacji.

*Modeling Suppy Chain Dynamics: A Multiagent Approach* (Swaminathan, Smith i Sadeh, 1998) opisuje podstawy tworzenia modeli łańcucha dostaw w oparciu elementy dwóch klas – strukturalnej (odzwierciedlającej ogniwa łańcucha) i kontrolnej (reprezentującej przepływ popytu, materiałów i informacji). O ile publikacja stanowi dobry punkt wyjściowy dla tworzenia symulacji w oparciu o system wieloagentowy, nie dostarcza przykładów ani propozycji implementacji, zaś sam problem omówiono pozbawiając go jakiegokolwiek podłoża biznesowego. Pozycja ta nie wyczerpuje zatem postawionego w rozdziale 1.1 problemu.

*A multi-agent system for chemical supply chain simulation and management support* (Garcıa-Flores i Wang, 2002) jest kolejną pozycją, która traktuje o modelowaniu łańcucha dostaw z wykorzystaniem MAS[[3]](#footnote-3) w oparciu o protokół komunikacyjny KQML[[4]](#footnote-4). Choć omawiany jest tutaj problem dystrybucji artykułów chemicznych, wszelkie poczynione wnioski wspólne będą dla wszystkich łańcuchów dostaw, które charakteryzują się długim czasem reakcji na bodziec oraz koniecznością produkcji pojedynczej partii o wysokim wolumenie. Zawężenie dziedziny pracy niesie ze sobą jednak korzyść w postaci silnego oparcia o konkretny proces produkcyjny (technologiczny) w firmie o określonej i rzeczywistej strukturze. Dodatkowym atutem publikacji są również przykłady implementacji pomiędzy agentami z wykorzystaniem języka KQML. Praca wpisuje się więc mocno w postawiony w pracy problem, jednak poprzestaje na zagadnieniu tworzenia symulacji. Autorzy nie wykorzystują tworzonego modelu w celu wskazania i analizy konkretnych strategii zarządzania przepływem materiałów w sieci.

*Supply chain simulation - a tool for education, enhancement and endeavor* (Holweg i Bicheno, 2002) jest publikacją, która w oparciu o Lean Leap Logistics Game dowodzi tezy, jako że wykorzystanie symulacji komputerowej do analizy modelu rzeczywistego przedsiębiorstwa może przynieść realne zyski. W pracy zaprezentowany i omówiony został spadek zapasów przedsiębiorstwa, który wynikał z zsynchronizowania ze sobą poszczególnych ogniw łańcucha dostaw. Efektem analizy modelu, a także symulacji komputerowej przeprowadzonej w oparciu o niego, było także zmniejszenie buforów czasowych występujących w transporcie oraz zwiększenie stabilność popytu. Pozycja ta, o ile nie przedstawia konkretnych, uniwersalnych i skalowalnych metod zarządzania łańcuchem dostaw, dowodzi użyteczności symulacji komputerowej jako narzędzia do rozwiązywania rzeczywistych problemów biznesowych.

*Distributed Supply Chain Simulation Across Enterprise Boundaries* (Gan i inni, 2000) to publikacja, która porównuje ze sobą dwa różne podejścia do tworzenia symulacji łańcucha dostaw. Pierwsze z nich zakłada integrację symulacji ze produkcyjnym środowiskiem, w którym dostępne są informacje o przepływie materiałów w sieci. Zakłada więc stworzenie wysokopoziomowej aplikacji rozszerzającej możliwości systemu SCM[[5]](#footnote-5) zaimplementowanego w firmie. Drugie podejście, bardziej teoretyczne i klasyczne, opiera się o modelowanie fizycznej sieci dystrybucyjnej przedsiębiorstwa i odwzorowaniu go jako układu dyskretnego. Następnie dokonywane badania modelu. Oba podejścia porównywane są sobą pod względem wydajności oraz interoperacyjności. Publikacja ta jest więc dobrym źródłem informacji na temat tego jakie podejście do symulacji należy wybrać w zależności od tego, co chcemy badać. Nie dotyka jednak zagadnienia optymalizacji elementów oraz struktury badanego łańcucha dostaw. Z uwagi na czas, który minął od stworzenia artykułu należy również z ograniczoną ufnością podejść do wyników dotyczących wydajności. Stacje robocze, na których przeprowadzone były badania (Sun UltraSparc II 250MHz) dysponują mocą obliczeniową o trzy rzędy wielkości niższą od komputera wyposażonego w procesor Intel Core i7 7700K.

Popełniony powyżej przegląd literatury wskazuje jednoznacznie na to, że choć istnieje wiele pozycji wpisujących się w nurt tworzenia symulacji komputerowych łańcucha dostaw, żadna nie wyczerpuje dostatecznie problemu w kontekście poszukiwania optymalizacji. Stąd też możliwe jest wyciągnięcie wniosku, jakoby niniejsza praca nie powielała rozwiązanych już problemów. Uzasadnia to zatem jej powstanie i nadaje jej cechy rozwiązującej określony problem badawczy.

## Określenie problemu badawczego

Po dokonaniu przeglądu literatury fachowej dostrzec można, że nie istnieją pozycje, które w bezpośredni sposób odnosiłyby się do tworzenia symulacji komputerowej w celu poszukiwania możliwych optymalizacji. Żadna z wymienionych w rozdziale 1.2 publikacji nie nawiązuje też do logiki powszechnie wykorzystywanych systemów planowania opartych o MRP[[6]](#footnote-6). Istnieje zatem pewna luka, którą autor tej pracy pragnie wypełnić. Rzeczywiste przedsiębiorstwa sięgają po sprawdzone i skalowane rozwiązania takie jak – ogólnie pojęty – SAP[[7]](#footnote-7). Ponieważ sposób planowania produkcji i dystrybucji oparty o SAP rządzi się określonymi prawami oraz ograniczeniami (omówionymi dokładnie w rozdziale 2.), symulację należy stworzyć w taki sposób by poczynione w pracy wnioski mogły znaleźć zastosowanie w biznesowej rzeczywistości.

Problem badawczy dotyczy zatem skonstruowania symulacji, która działa w oparciu mechanizmy MRP i uwzględnia predefiniowane w systemach planowania mechanizmy planowania produkcji i dystrybucji. Na stworzonym modelu, zasilanym rzeczywistymi danymi, przeprowadzane będą badania weryfikujące postawione w rozdziale 1.4 tezy. Rozwiązywanym problemem będzie zatem odpowiedź na pytanie w jaki sposób planować produkcję i dystrybucję (jakie strategie przyjmować) by optymalizować kluczowe wskaźniki efektywności sieci.

## Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest zbadanie oddziaływania określonych parametrów związanych z planowaniem produkcji i dystrybucji na funkcjonowanie łańcucha dostaw. Zamiarem autora jest dokonanie analizy wybranego łańcucha dostaw na kilku płaszczyznach:

* Zbadanie wpływu parametrów odpowiedzialnych za generowanie replenishmentów[[8]](#footnote-8) (strategii, progów) na KPI łańcucha dostaw
* Zbadanie zachowania łańcucha dostaw pod wpływem błędnego prognozowania sprzedaży oraz określenie zakresu możliwości reagowania na nieoczekiwany popyt
* Zbadanie wpływu zdarzeń losowych takich jak kradzież towaru, uszkodzenia linii produkcyjnych czy rozbieżności pomiędzy danymi w systemach SCM a rzeczywistością na funkcjonowanie łańcucha dostaw

Analiza wybranych łańcuchów dostaw przeprowadzona zostanie w oparciu o rzeczywiste dane i posłuży do wyciągnięcia zarówno generycznych jak i odnoszących się do konkretnego przypadku wniosków, jakie strategie zarządzania łańcuchem dostaw należy przyjąć, by parametry sieci zbliżyły się do optimum.

Z uwagi na mnogość scenariuszy możliwych do zbadania za pomocą symulacji oraz chęć rozszerzenia zakresu badań poza same parametry systemów planowania w pracy zweryfikowane zostaną następujące hipotezy:

|  |
| --- |
| Możliwe jest dokonanie poprawy funkcjonowania łańcucha dostaw poprzez odpowiednie skalibrowanie parametrów systemów planowania. |

|  |
| --- |
| Niska dokładność prognoz sprzedaży wprowadza do łańcucha dostaw istotne zaburzenia znacząco wpływające na KPI. |

|  |
| --- |
| Symulacja komputerowa jest efektywnym sposobem analizowania łańcucha dostaw i umożliwia optymalizację rzeczywistych systemów |

# Planowanie produkcji i dystrybucji w środowisku SAP

## Wstęp – model MRP

Planowanie produkcji i dystrybucji w środowisku SAP opiera się o model MRP. Istnieje wiele standardów oraz implementacji tego modelu, jednak wspólne dla wszystkich ramy znajdują się na rysunku 1.



Rysunek 1- Model MRP, Źródło: Opracowanie własne

Model MRP opiera się na logice, w której pierwotnie określany jest generalny, ramowy plan funkcjonowania całego przedsiębiorstwa, a następnie, wraz z każdym krokiem, jest on uszczegóławiany aż do poziomu egzekucji produkcji poszczególnych dóbr. Występują w nim sprzężenia zwrotne, które zakładają, że plan idealny może być niemożliwy do osiągnięcia. W takim przypadku należy stworzyć plan, który możliwy będzie do realizacji po uwzględnieniu dostępnych zasobów – materiałowych, produkcyjnych, ludzkich. To właśnie ten element (RCCP[[9]](#footnote-9)) stanowi główna różnice pomiędzy modelami MRP oraz MRP II.

Pierwszym krokiem w MRP jest planowanie wysokiego poziomu. To tutaj określane są cele biznesowe organizacji – strategia rozwoju, portfolio produktów, sposoby docierania do potencjalnych klientów, a także sposób pozyskiwania sprzedawanych dóbr. Wszystkie plany są generyczne i na tym etapie nie są uwzględniane żadne rzeczywiste ograniczania. Momentem przejścia na niższy poziom jest tworzenie planu strategicznego. Jest to ciągle planowanie na wysokim poziomie, jednak następuje tutaj rozbicie produktów na pewne rodziny dla których zakładane są określone wolumeny sprzedaży. To właśnie względem tych wolumenów tworzona będzie prognoza finansowa przychodów przedsiębiorstwa. Zakładane wielkości sprzedaży stanowią również bazę do kalkulacji wymaganych zasobów produkcyjnych.

Jeżeli analiza wysokiego poziomu wskazuje na to, że zakładane cele są możliwe do osiągnięcia (to znaczny – nie istnieją teoretyczne ograniczenia produkcji i dystrybucji, które mogłyby w oczywisty sposób uniemożliwić osiągnięcie zadanego poziomu sprzedaży) następuje przejście na poziom planowania szczegółowego. Właśnie na tym etapie model MRP dostarcza odpowiedzi na pytanie, co, kiedy i w jakiej ilości produkować/zamawiać. Tworzony jest więc plan replenishmentu idealnego. Jednocześnie na tym etapie występować będzie najwięcej ograniczeń, które wymagać będą dostosowania rzeczywistego planu produkcji/dostaw do teoretycznie idealnych zapotrzebowań materiałowych. Wraz ze wzrostem różnorodności oferowanych produktów oraz zaawansowaniem technologii ich wytwarzania, uwidacznia się pewna luka pomiędzy prostym modelem MRP a rzeczywistością. Ilość danych i potencjalnych scenariuszy do przeanalizowania zdecydowanie przerasta możliwości człowieka. Jednocześnie sam model MRP nie dostarcza odpowiedzi na pytanie jak powinno przebiegać RCCP. Z pomocą przychodzą jednak rozszerzenia SAP omówione dokładnie w rozdziale 2.2.2.

Planowanie szczegółowe nie ogranicza się wyłącznie do ilości, kolejności i momentu produkcji wyrobów gotowych. Należy zdać sobie sprawę z występowania wzajemnej zależności komponentów, półproduktów oraz produktów końcowych. Wielokroć to właśnie one są głównym ograniczeniem i jednoznacznie decydują o możliwości, bądź braku możliwości wykonania produkcji. Oczywistym sposobem przeciwdziałania wahaniom zapotrzebowań i dostaw jest wprowadzenie buforów, odpowiednio zdefiniowanych progów replenishmentu. Stanowią one często nie tylko dodatkowe zabezpieczanie, ale też kompensację rzeczywistych ograniczeń związanych z produkcją/dostawami.

Upewniwszy się, że stworzony plan produkcji jest odpowiedzią na realne zapotrzebowania i możliwy jest do wykonania z punktu widzenia dostępnych zasobów, konieczne jest przejście do trzeciego i ostatniego głównego bloku MRP – egzekucji i kontroli. Głównym celem jest weryfikacja tego, czy stworzony wcześniej (zgodny z teoretycznymi założeniami) plan wykonywany jest zgodnie z harmonogramem. Być może założona wydajność linii produkcyjnej czy stacji roboczej nie odpowiada rzeczywistości i wymaga korekty przy kolejnych kalkulacjach. Może zdarzyć się tak, że procent odpadów z produkcji przekracza założony próg i by wyprodukować wymaganą ilość pełnowartościowego produktu należy tak naprawdę brać pod uwagę zwiększone zapotrzebowanie na komponenty. Ostatecznie – teoretyczne zużycie materiałów obliczone przez inżyniera procesu może różnić się od rzeczywistego, co wymaga korekcji BOM[[10]](#footnote-10). Potencjalnych scenariuszy może być wiele, jednak każde odstępstwo od teoretycznych założeń powinno zostać odnotowane, a sam model skorygowany w taki sposób, by następna kalkulacja zaowocowała dokładniejszymi i bliższymi prawdy obliczeniami.

Jak można się domyślić – cały proces MRP jest dynamiczny. Z uwagi na ilość czynników wpływających na określony efekt końcowy kalkulacje zapotrzebowań prowadzone są z co najmniej dobową częstotliwością. Możliwe byłoby oczywiście doprowadzenie do sytuacji, w której kalkulacja prowadzona byłaby w czasie zbliżonym do rzeczywistego, jednak wbrew pozorom nie jest to stan w pełni pożądany. Owocowałoby to brakiem spójności obrazu widzianego z różnych perspektyw – planowania popytu, planowania dystrybucji, planowania produkcji, planowania materiałowego. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę tzw. efekt byczego bicza – małe zmiany na początku łańcucha zależności owocują bardzo dużymi wahaniami na jego końcu.

Dlatego właśnie większość rzeczywistych przedsiębiorstw definiuje interwały odświeżania składowych modelu MRP. W przypadku omawianej w kolejnych rozdziałach firmy X są one następujące:

* Plan strategiczny – 1 miesiąc
* Prognoza popytu – 1 tydzień
* Długoterminowy plan produkcji – 1 tydzień
* Krótkoterminowy plan produkcji – 1 dzień

## Implementacja modelu MRP w SAP

Opisany w rozdziale 2.1 model MRP można w rzeczywistości w stosunkowo prosty sposób przekształcić do postaci, która umożliwi precyzyjne obliczanie zapotrzebowania materiałowego. Aby to uczynić należy określić przestrzeń elementów MRP oraz ich dodatni/ujemny wpływ na bilans kalkulacji. Istnieje tutaj pełna dowolność w kwestii notacji i jest to zależne od konkretnej implementacji SAP. W przypadku badanej firmy X wyróżnić można następujące elementy MRP:

Tabela 1 - Wykaz dodatnich elementów MRP

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Element** | **Pełna nazwa** | **Opis elementu** |
| Stock | Stock | Zapas, fizycznie dostępny produkt spełniający określone wymogi jakościowe, który można zaoferować klientowi, bądź wykorzystać do produkcji wyższego rzędu |
| PchOrd | Purchase Order | Potwierdzona dostawa produktu (pozostająca w fazie planowania), która fizycznie nie opuściła ogniwa zasilającego |
| ShipNt | Shipment Notification | Potwierdzona dostawa produktu, która fizycznie opuściła ogniwo zasilające i aktualnie znajduje się w tranzycie |
| PlOrd | Planned Order | Zależnie od ogniwa – niepotwierdzona produkcja bądź zlecenie replenishmentu |
| PrcOrd | Process Order | Potwierdzona produkcja towaru, która zlecona została fabryce |
| QMLot | Quality Inspection Lot | Wyprodukowany towar, który nie przeszedł kontroli jakości, nie można zaoferować go klientowi, bądź wykorzystać do produkcji wyższego rzędu |

Tabela 2 - Wykaz ujemnych elementów MRP

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Element** | **Pełna nazwa** | **Opis elementu** |
| Safety Stock | Safety Stock | Próg replenishmentu – statyczna wartość, określająca docelową wartość bilansu w danym ogniwie łańcucha |
| Order | Order | Niepotwierdzone zamówienie klienta, może ono nie mieć pokrycie w fizycznie dostępnym zapasie |
| Deliv | Delivery | Potwierdzone zamówienie klienta mające fizyczne pokrycie w zapasie, bądź zlecenie replenishmentu to ogniwa niższego rzędu |
| DepReq | Dependent Requirement | Zapotrzebowanie zależne, wykorzystanie w produkcji wyższego rzędu |
| PlORel | Planned Order Release | Otrzymanie replenishmentu od ogniwa niższego rzędu |
| IndReq | Independent Requirement | Prognoza sprzedaży |

Wymienione wyżej elementy tworzyły będą tak zwane MRP listy – czyli zestawienia odpowiednich ruchów materiałowych, które umożliwiają dokonania kalkulacji zapotrzebowania, tak by zapewniona była ciągłość i terminowość dostaw towarów.

Przeanalizujmy kilka przykładów MRP List:



Rysunek 2 - MRP Lista produktu 1

Jest to wyjątkowo prosty przypadek. Obecny zapas produktu wynosi 147 [CS]. Każdego dnia spodziewana jest sprzedaż na poziomie 6-9 [CS] reprezentowana przez elementy Independent Requirement. Obecnie żaden z klientów nie zdecydował się na założenie zamówienia – nie są spodziewane są więc żadne wysyłki – stąd brak elementów typu Order czy Delivery. Nie są spodziewane również żadne zasilenia ogniw niższego rzędu, co sugeruje brak elementów PlORel. Możliwe do zauważenia jest natomiast zasilenie z lokacji 5053. Co istotne - występuje przed momentem, gdy projekcja stanu magazynowego osiągnie poziom 0. Można więc określić próg repelnishmentu dla tego produktu. Wynosi on około 50 [CS]. Zwrócić uwagę należy również na wielkość samego zasilenia, która wynosi 100 [CS]. Nie jest to oczywiście wartość przypadkowa. W logice SAP dla każdego produktu określana jest rozdzielczość replenishmentu – minimalna ilość produktu, która może być dostarczona z ogniwa wyższego rzędu. W tym przypadku wynosi ona 100 [CS]. Nie wynika ona z żadnej kalkulacji, a jest odzwierciedleniem biznesowych realiów. W tym konkretnym przypadku do lokacji A751 możemy dostarczyć minimum jedną paletę, a dla produktu 83725610 oznacza to równowartość 100 kartonów [CS].



Rysunek 3 - MRP Lista produktu 2

Również i w tym przypadku mamy do czynienia ze stosunkowo mało skomplikowaną sytuacją. W pierwszej kolejności uwagę należy zwrócić na obecność elementów Quality Inspection Lot oraz Process Order. Sugerują one od razu, że lokacja 2725 jest w rzeczywistości fabryką. Ponieważ oba te elementy występują jednocześnie (tzn. z tą samą datą) wyciągnąć można wniosek, że zlecona została produkcja 1452 [CS] produktu. W chwili generowania listy wyprodukowano już 396 [CS], ciągle odbywa się produkcja pozostałych 1056 [CS]. Wyprodukowane 396 [CS] nie są jednak możliwe do wykorzystania do wysyłki lub sprzedaży, ponieważ nie została przeprowadzona kontrola jakości produktów – nie są one jeszcze zapasem. 10.08 zaplanowana jest kolejna produkcja. Ponieważ nie została jeszcze ona zlecona, a jedynie wstępnie zaplanowana, reprezentowana jest przez MRP element, którym jest Planned Order.

Omówioną uprzednio produkcję zlecono ponieważ do fabryki spływają zlecenia replenishmentów z ogniwa niższego rzędu – lokacji 2621. Jest to jednocześnie jedyna lokacja, która wymaga zasilenia.

Należy również zwrócić uwagę na projekcje stanu magazynowego. Przed produkcją 10.08 wynosi ona aż -3036 [CS]. Potrzeby zasilenia ogniwa niższego rzędu znacznie przewyższają więc zaplanowaną produkcję. Konieczna jest zatem taka korekta planu produkcyjnego, by zaspokoić wszystkie zapotrzebowania.



Rysunek 4 - MRP lista produktu 3

Jest to przypadek zdecydowanie bardziej skomplikowany niż dwa poprzednie. W momencie generowania MRP listy do dyspozycji mamy 347 [CS]. Kolejne 324 [CS] znajdują się w tranzycie – odzwierciedlone jest to za pomocą elementu Shipment Notification. Ogniwem zasilającym jest 2621.

Zarówno obecnie dostępny zapas jak, produkty w tranzycie, jak i przyszłe replenishmenty wykorzystywane zostaną do produkcji wyższego rzędu. Zdradza to obecność zapotrzebowania zależnego. Część z tej produkcji została już zlecona (potwierdzone zapotrzebowania zależne – Order Reservation), część produkcji pozostają nadal w fazie planowania (Dependent Requirement).

Aby zaspokoić przyszłe zapotrzebowania zależne występujące w lokacji 2727 konieczne jest uzupełnienie zapasu – stąd wygenerowane są kolejne zasilenia z lokacji 2621. Jak widać – w żadnym momencie projekcja stanu magazynowego nie jest mniejsza niż 0. Oznacza to, występuje równowaga pomiędzy występującymi zapotrzebowaniami i zasileniami.

Nie jest również prognozowana sprzedaż produktu w lokacji 2727 – nie występują żadne zapotrzebownia niezależne (Independent Requirement). Z tego powodu nie jest konieczne definiowanie progu replenishmentu buforującego wahania zapotrzebownia i dostaw.

## Rozszerzenia SAP udoskonalające planowanie MRP

### Ograniczenia logiki MRP

W rozdziale 2.1 omówione zostało dokładnie działanie modeli MRP oraz MRP II. Różnica pomiędzy nimi polegała głównie na RCCP, czyli uwzględnianiu ograniczonych możliwości produkcyjnych oraz dystrybucyjnych przy tworzeniu planu replenishmentów. Niestety sam proces RCCP, zasady wybierania priorytetów a także metody i algorytmy balansowania dostaw nie zostały w żaden sposób określone w MRP. Z pomocą nie przychodzi również sama implementacja MRP w SAP. Wszystkie procesy podejmowania decyzji przeniesione zostały na użytkowników systemu. Jest to luka, która uwydatnia się w szczególności w przypadkach bardzo ograniczonych możliwości dostaw oraz względnie wysokiego zapotrzebowania – kiedy stosunek . Sytuacje te wymagają bardzo dużej ilości ręcznych interwencji w plan dostaw generowany przez MRP, co znacząco pomniejsza zyski płynące z wdrożenia SAP.

Kolejnym bardzo istotnym ograniczaniem MRP jest brak możliwości zróżnicowania klas zapotrzebowania. Wszystkie elementy MRP mają dokładnie taką samą wagę i taki sam priorytet. Nie oddaje to w żaden sposób biznesowych realiów, gdzie np. zamówienie klienta nieznajdujące pokrycia w zapasie będzie zdecydowanie ważniejsze niż zapotrzebowanie zależne produktu, czy zapotrzebowania dystrybucji z ogniw niższego rzędu. W szczególności , gdy replenishmenty potrzebne są jedynie, by osiągnąć parametry bezpieczeństwa. Nastręcza to problemów zarówno podczas planowania produkcji, jak i dystrybucji (kiedy dzielimy produkty pomiędzy ogniwami niższego rzędu, gdzie źródła powstawania zapotrzebowani mogą być znacząco różne).

Trzecim głównym ograniczeniem logiki MRP jest brak możliwości kontrolowania przepływu materiałów w sieci. Jest to problem, który dotyczyć będzie przede wszystkim sieci i złożonej strukturze, w której występują wielopoziomowe replenishmenty. W takich przypadkach MRP nie posiada informacji na temat tego, w których ogniwach sieci najkorzystniej jest posiadać zapas. Kryteria wyboru mogą być różne (np. faktyczny koszt magazynowania towarów, czy też znacząco różniące się prognozy sprzedaży w poszczególnych ogniwach sieci), jednak niezależnie od podłoża, logika MRP nie posiada mechanizmu wspierającego podejmowanie takich decyzji.

Wymienione w tym rozdziale ograniczania nie wyczerpują rzecz jasna problemu niedoskonałości MRP. Potencjalne problemy można by zapewne znaleźć analizując konkretne problemy biznesowe. Przytoczone jednak luki wspólne są dla wszystkich systemów opartych o MRP niezależnie od obecnych tam procesów, czy rodzaju prowadzonego biznesu.

Można byłoby w tym momencie poczynić wniosek, jakoby rozważane w tym rozdziale ograniczenia eliminowały MRP (oraz jego implementację w SAP) jako skuteczną metodę planowania nowoczesnego przedsiębiorstwa produkcyjno-dystrybucyjnego. Należy jednak powstrzymać się od zbyt szybkiej oceny i zdać sobie sprawę, że wdrożenie jakiegokolwiek oprogramowania klasy ERP[[11]](#footnote-12) wymaga bardzo dużych nakładów finansowych i czasowych. Częstokroć implementacja tego typu rozwiązań nieodzownie związana jest z modyfikacją obecnie istniejących procesów, ich eliminacją, czy też zastąpieniem nowymi procedurami. Podobnie sam proces integracji zaburza efektywność działania przedsiębiorstwa. Dlatego właśnie dużo bardziej rozsądnym jest uzupełnienie istniejącego już rozwiązania o rozpoznane braki, niż tworzenie oraz implementacja zupełnie nowego oprogramowania.

W rozdziałach 2.3.2 oraz 2.3.3 omówione zostaną 2 rozwiązania, które eliminują omówione wcześniej ograniczenia. Mogą to być rozwiązania dostarczone bezpośrednio przez SAP, dostosowane do potrzeb konkretnego przedsiębiorstwa, jak i produkty zewnętrznych dostawców zintegrowane z SAPem.

### APS

Główne ograniczenia MRP w kontekście planowania produkcji dotyczyły braku algorytmów balansowania oraz nadawania priorytetów produkcji, a także konieczność rozpatrywania zbiorczych zaporzebowań w sieci zamiast aktualnego stanu każdego z węzłów. Odpowiedź na ten problem stanowi oprogramowanie klasy APS[[12]](#footnote-13). Jest ono całkowicie zintegrowane z SAP. Za pomocą interfejsu pobiera dane na temat zapasów oraz zapotrzebowań. Posiada zdefiniowane koszty produkcji. Dysponuje również odpowiednio skonstruowanym systemem kar – za całkowite wyczerpanie zapasu, projekcję zapasu poniżej progu replenishmentu, a także projekcję zapasu powyżej maksymalnego dopuszczalnego zapasu. Działanie systemu APS opiera się więc na programowaniu liniowym oraz wielowymiarowym minimalizowaniu kar.

Uzupełnieniem warstwy algorytmicznej jest możliwość implementacji rozbudowanego graficznego interfejsu użytkownika, co niemożliwe jest w natywnym środowisku SAP. Wbrew pozorom GUI nie stanowi jedynie estetycznego uatrakcyjnia aplikacji, ale może znacząco rozszerzać funkcjonalność np. poprzez wyświetlenie BOM dla każdej z zaplanowanych produkcji po jej podświetleniu, zmianę harmonogramu produkcji za pomocą metody przeciągnij i upuść, czy informowaniu o potencjalnych brakach materiałowych za pomocą komunikatów pop-up.

Główne korzyści płynące z wdrożenia sytemu APS:

1. **DC Network** - możliwość planowania produkcji uwzględniając zapotrzebowania każdego ogniwa w sieci osobno, nie zaś rozważając zbiorcze zapotrzebowania występujące w ogniwie zasilającym.
2. **Minimum Cost Flow** - możliwość przyznawania pierwszeństwa wybranym ogniwom w sieci na podstawie zróżnicowanego systemu kar za wykraczanie poza pożądane okno zapasu.
3. Balansowanie produkcji na poziomie dnia/tygodnia/miesiąca, możliwość planowania produkcji z wyprzedzeniem, kiedy spodziewane są problemy z dostępnością zasobów produkcyjnych w przyszłości (tzw. prebuild).
4. **GUI -** dynamiczna informacja o brakujących komponentach, zasobach, wykorzystaniu maszyn.
5. Możliwość przeprowadzania analiz what-if w celu oceniania różnych potencjalnych scenariuszy planowania produkcji.

### APO

Moduł APO[[13]](#footnote-14) odpowiada za udoskonalone planowanie dystrybucji. Jego główną różnicą względem planowania MRP jest tworzenie dwóch równoległych planów replenishmetnów generowanych za pomocą dwóch silników:

1. **Optimizer** – tworzy plan w krótkim horyzoncie (6 tygodni), oparty jest na ograniczonych zasobach i reguluje przepływ materiałów w sieci poprzez minimalizację kosztów: magazynowania produktu, niedostępności produktu w danym ogniwie, opóźnienia replenishmentu.
2. **Heuristic** – tworzy plan w długim horyzoncie (18 miesięcy), oparty jest on na nieograniczonych zasobach i odzwierciedla idealny plan replenishmentu. Jest więc on dokładnym odzwierciedleniem planowania materiałowego MRP.

Plan generowany przez Optimizera jest więc wykorzystywany podczas planowania wysyłek, zasileń ogniw niższego rzędu, zaś plan stworzony przez Heuristic będzie stanowić bazę do planowania produkcji. APO, podobnie jak APS wymaga zdefiniowania kosztów (kar) za magazynowanie produktu w danym węźle sieci, a także wykraczania poza zdefiniowane okno zapasu. Tworzenie planu dystrybucji polega więc na minimalizowania kosztów w sieci.

Główne korzyści płynące z wdrożenia APO:

1. **Invetory Assignment Tool** – narzędzie agregujące wszystkie informacje niezbędne do podjęcia decyzji o zaplanowaniu transferu materiałów pomiędzy węzłami sieci: nieograniczony plan dystrybucji, ilość zamówień i prognoza sprzedaży w węźle do którego planowana jest dostawa, ilość produktu w całej sieci, zaplanowane kolejne produkcje/dostawy, priorytet dostarczenia produktu oraz – co najważniejsze – sugerowana wielość oraz data wysyłki.
2. **Coverage Report** – projekcja stanu magazynowanego produktu we wszystkich ogniwach w sieci uwzględniająca ograniczone zasoby produkcji/dystrybucji, która pozwala wychwycić oraz zmitygować potencjalne ryzyko niedostępności produktów.
3. **Planning Book** – podsumowanie zamówień, zapotrzebowań, replenishmentów które pozwala dokonywać analiz projekcji stanu magazynowego oraz analiz what-if w zdefiniowanych agregacjach czasowych: dobowych, tygodniowych, miesięcznych.
4. **Interchangeability** – narzędzie umożliwiające łącznie par produktów PIPO[[14]](#footnote-15), by możliwe było planowanie pary produktów w taki sam sposób, jak gdyby były one jednym produktem. Minimalizuje to ilość pozostałości na produkcie, który wycofywany jest ze sprzedaży i umożliwia opóźnienie produkcji nowego produktu, co przekłada się na mniejszą ilość zapasu w sieci, bez stwarzania ryzyka niedostępności produktu.
5. **Time Phased Safety** – funkcjonalność umożliwiająca tworzenie profili bezpieczeństwa zależnych od czasu. Nie stanowią one w takim wypadku integralnej części tzw. danych stałych i umożliwiają stosowanie różnych strategii bezpieczeństwa (np. podniesienie progu replenishmentu o 20% podczas okresu wakacyjnego), zależnych od bieżących potrzeb.
6. **Integracja z Business Warehouse** (SAP BO) – archiwizacja i zapewnienie dostępu do kalkulacji przeprowadzonych w przeszłości, tak by możliwe było przeprowadzanie analiz z ich wykorzystaniem.

## Powiązania pomiędzy MRP, SAP a stworzoną symulacją komputerową

Celem niniejszej pracy nie jest wyłącznie odwzorowanie samego modelu MRP, jego ulepszenie, czy też integracja MRP z modułami klasy APO/APS. W najlepszym przypadku implementacja taka zaowocowałaby stworzeniem kopii opisanych w rozdziale 2. rozwiązań To w oczywisty sposób nie umożliwiłoby weryfikacji postawionych w rozdziale 1.4. tez. Dlatego właśnie stworzona na potrzeby tej pracy symulacja komputerowa (choć oparta o MRP i dziedzicząca po SAP logię kalkulacji) służyć będzie przede wszystkim badaniu zjawisk i zależności w łańcuchu dostaw.

Model MRP będzie więc jedynie punktem wyjściowym dla szerszego i bardziej skomplikowanego problemu, jakim jest efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw. Dużo łatwiej powielić dobre praktyki, które powstały w oparciu o istniejące i sprawdzone rozwiązania, niż te, które wypracowane zostały wyłącznie na podstawie teoretycznych rozważań niekoniecznie znajdujących odzwierciedlenie w rzeczywistości. Jeżeli zaś sam model zasilony zostanie rzeczywistymi danymi dotyczącymi prognozowanej sprzedaży i faktyczną sprzedażą możliwe będzie wyciągnięcie znaczących oraz wiarygodnych wniosków.

Co pozostanie jednak bez zmian to sama logika kalkulacji MRP wraz z jej ograniczeniami, nomenklatura samych elementów MRP omówionych w rozdziale 2.2., a także sposób przeglądania wyników kalkulacji zgodny z konwencją MRP Listy w SAP. Wszystkie dane stałe (Master Data), a także składowe samego modelu oraz referencje pomiędzy nimi a SAP omówione zostały dokładnie w rozdziale 3.

# Modelowanie łańcucha dostaw

## Model odzwierciedlony w symulacji

### Elementy modelu



Rysunek 5 - Struktura badanego łańcucha dostaw

### Założenia upraszczające model

### Algorytmy regulujące funkcjonowanie modelu

## Wybór technologii wykorzystanej do stworzenia symulacji

### Wymagania dotyczące technologii

### Przegląd technologii

## Architektura aplikacji

# Symulacja komputerowa

## Kluczowe wskaźniki efektywności

### Motywacja wyboru określonych wskaźników

### Definicje

## Scenariusze testowe

### Zaburzenia występujące w rzeczywistych łańcuchach dostaw

### Scenariusz 1

### Scenariusz 2

### Scenariusz 3

### Scenariusz 4

## Dane testowe

### Informacje o danych testowych

### Pochodzenie danych testowych

# Wyniki

## Omówienie uzyskanych rezultatów

### Scenariusz 1

### Scenariusz 2

### Scenariusz 3

### Scenariusz 4

# Podsumowanie

## Weryfikacja postawionych tez

## Wnioski

# Załączniki

## Standard tworzenia sygnatur elementów MRP w symulacji

Z praktycznego punktu widzenia dobrą praktyką jest tworzenie sygnatur generowanych MRP elementów. Umożliwia to łatwe tworzenie referencji pomiędzy poszczególnymi elementami. Jest to istotne również z punktu widzenia użytkownika systemu ERP, który widząc sygnaturę o określonej budowie (zaczynającą się od odpowiedniego znaku alfanumerycznego, posiadającą ściśle określoną długość) jest w stanie zidentyfikować związany z nią MRP element. Odnosząc się również do architektury aplikacji, która oparta może być na relacyjnej bazie danych, jest to rozwiązania pożądane.

O ile implementacja sygnatur nie jest niezbędna w bieżącym zakresie pracy, może być bardzo pomocna w przypadku rozszerzenia ram symulacji.

Tabela 3 - Spis sygnatur elementów MRP

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **MRP Element** | **Pełna nazwa** | **Standard sygnatury** |
| Stock | Stock | Numeracja nie jest wymagana |
| ShipNt | Shipment Notification | 2xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘2’, unikalna |
| PchOrd | Purchase Order | 4xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘4’, unikalna |
| PrcOrd | Process Order | 6xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘6’, unikalna |
| PlOrd | Planned Order | 8xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘8’, unikalna |
| QMLot | Quality Inspection Lot | 0xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘0’, unikalna |
| Safety Stock | Safety Stock | Numeracja nie jest wymagana |
| Order | Order | 1xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘1’, unikalna |
| Deliv | Delivery | 3xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘3’, unikalna |
| DepReq | Dependent Requirement | 5xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘5’, unikalna |
| PlORel | Planned Order Release | 7xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘7’, unikalna |
| IndReq | Independent Requirement | 9xxxxxx : 7 cyfr, pierwsza to zawsze ‘9’, unikalna |

## Standard tworzenia znaczników czasu elementów MRP w symulacji

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **MRP Element** | **Pełna nazwa** | **Standard znacznika czasu** |
| Stock | Stock |  |
| ShipNt | Shipment Notification |  |
| PchOrd | Purchase Order |  |
| PrcOrd | Process Order |  |
| PlOrd | Planned Order |  |
| QMLot | Quality Inspection Lot |  |
| Safety Stock | Safety Stock |  |
| Order | Order |  |
| Deliv | Delivery |  |
| DepReq | Dependent Requirement |  |
| PlORel | Planned Order Release |  |
| IndReq | Independent Requirement |  |

1. KPI – Key Performance Indicators, wskaźniki wykorzystywane do pomiaru stopnia realizacji celów biznesowych [↑](#footnote-ref-1)
2. FMCG – Fast Moving Consumer Goods, zróżnicowane dobra sprzedawane często, o względnie niewielkiej wartości i wysokich wolumenach sprzedaży, tj. artykuły higieniczne czy środki czystości [↑](#footnote-ref-2)
3. MAS – Multi Agent System, system złożony z komunikujących i współpracujących między sobą agentów, realizujących określone cele, częstokroć wykorzystywany w do modelowania rozproszonych i złożonych obliczeniowo problemów [↑](#footnote-ref-3)
4. KQML - Knowledge Query and Manipulation Language, język i protokół komunikacji pomiędzy agentami i systemami opartymi o dane, umożliwiający wzajemną komunikację [↑](#footnote-ref-4)
5. SCM – Supply Chain Management, kontrola przepływu materiałów i ładunków między ogniwami łańcucha dostaw, najczęściej realizowana przy pomocy dedykowanego oprogramowania [↑](#footnote-ref-5)
6. MRP – Material Requrements Planning – ogół procesów planowania zapotrzebowania materiałowego, sterowania produkcją i zapasami [↑](#footnote-ref-6)
7. SAP – zintegrowane, modułowe oprogramowanie służące do zarządzania zasobami przedsiębiorstwa, stworzone przez SAP SE [↑](#footnote-ref-7)
8. Replenishment – uzupełnienie zapasów, dostawa [↑](#footnote-ref-8)
9. RCCP – Rough Cut Capacity Planning – weryfikacja dostępnych zasobów względem planu idealnego, podstawowy element planowania długoterminowego [↑](#footnote-ref-9)
10. BOM – Bill Of Materials, struktura produktu określająca zestawienie półproduktów, komponentów i surowców wraz z ilościami, które niezbędne są do wytworzenia jednostki produktu końcowego [↑](#footnote-ref-10)
11. ERP – Enterprise Resource Planning, zbiór systemów informatycznych wspomagających całościowe zarządzanie przedsiębiorstwem oraz jego zasobami [↑](#footnote-ref-12)
12. APS – Advanced Planning and Scheduling – rozszerzenie standardowych procesów zintegrowanego planowania produkcji oparte o określone rozwiązanie IT, np. OMP Plus [↑](#footnote-ref-13)
13. APO – Advanced Planner and Optimizer, rozszerzenie SAP R/3 wykorzystywane do planowania dystrybucji w rozproszonym łańcuchu dostaw [↑](#footnote-ref-14)
14. PIPO – Phase In Phase Out, para produktów, które rozróżnialne są z punktu widzenia planowania (np. posiadają różne BOM, różne metody paletyzacji), lecz nierozróżnialne są dla klienta (posiadają taki sam kod EAN) [↑](#footnote-ref-15)