

Waldemar Kaczmarczyk*

Planowanie dostaw przy zmiennym popycie w ramach kontraktu *Vendor Managed Inventory*

1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy przedstawiony jest problem planowania dostaw, gdy kontrakt zobowiązuje dostawcę do utrzymywania określonego poziomu zapasów u odbiorcy (*Vendor Managed Inventory* – VMI). Tak więc odbiorca nie planuje swojego zaopatrzenia, a jedynie zgłasza dostawcy (producentowi) z pewnym wyprzedzeniem swoje dzienne zapotrzebowanie i prognozy na przyszłość. Na tej podstawie dostawca sam decyduje kiedy i ile części dostarczyć, aby zaspokoić potrzeby odbiorcy i utrzymać uzgodniony zapas bezpieczeństwa. Przegląd podobnych strategii przenoszenia odpowiedzialności za tworzenie zapasów na dostawców i ocenę skutków ich stosowania można znaleźć m.in. w pracach Lee [1] oraz Sahina i Robinsona [2]. Prace nad koordynacją w tak zorganizowanych łańcuchach dostaw dotyczyły dotychczas przypadków z losowym, ale stacjonarnym popytem i ograniczały się do adaptacji klasycznych polityk uzupełniania zapasów. W tej pracy opisany zostanie przypadek deterministyczny, gdy popyt jest zmienny i znany producentowi z pewnym wyprzedzeniem. Dostawcą jest producent części, a odbiorcami kilku producentów samochodów. Prezentowane tu dane liczbowe zaczerpnięte zostały z pracy Miodońskiej [3].

Zadanie planowania dostaw obejmuje podejmowanie decyzji kiedy, do kogo i jak dużą skierować dostawę. Ten sam towar można skierować bowiem do kilku odbiorców. Celem planowania jest minimalizacja kosztów transportu. Ponieważ planowanie dostaw jest w rękach producenta, to może on ten plan skoordynować ze swoim planem produkcyjnym, minimalizując koszty zapasów i przezbrajania maszyn. Takie **zadania koordynacji produkcji i dystrybucji** były już opisywane, ale dla przypadków, gdy zakłady produkujące części i ich odbiorcy były częścią jednej firmy. Przegląd takich zadań można znaleźć w pracy Chena [4], a w publikacjach [5–9] przykłady różnych modeli zbliżonych do modelu opisanego w niej. Chandra i Fisher [5] przedstawili analizę wpływu takiej koordynacji na łączne koszty. Według ich szacunków, w zależności od szeregu parametrów, dzięki koordynacji można uzyskać oszczędności od 3 do 20%.

* Katedra Badań Operacyjnych i Technologii Informacyjnych, Wydział Zarządzania, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

W kolejnych rozdziałach omówione zostaną warunki organizacyjne VMI, model programowania liniowego całkowitoliczbowego (PLC) wraz z charakterystyką liczbową pewnego rzeczywistego przypadku. Następnie przedstawiona zostanie analiza źródeł niepewności, które mogą odgrywać w tym zadaniu istotną rolę.

2. Kontrakt *Vendor Managed Inventory*

Rosnącą popularnością cieszą się dzisiaj różnorodne strategie przenoszenia odpowiedzialności za tworzenie i utrzymywanie zapasów w górę łańcucha dostaw, tzn. do hurtowni i producentów [1–2]. Ich celem jest ograniczenie kosztów zapasów i zwiększenie poziomu obsługi klientów, czyli zmniejszenie ryzyka braku towaru w magazynie, gdy klient się po niego zgłosi. Przeniesienie części zapasów z magazynów lokalnych do magazynu centralnego umożliwia obniżenie łącznego zapasu bezpieczeństwa, dzięki skumulowaniu niepewności popytu w jednym miejscu. Zmienność popytu poszczególnych odbiorców jest bowiem większa od zmienności ich popytu łącznego. Dodatkową korzyścią jest scentralizowanie planowania produkcji, dostaw i zapasów w jednym ręku, co umożliwia zmniejszenie łącznych kosztów. Dotychczas główną barierą osiągnięcia tego celu były sprzeczne interesy dostawców i odbiorców. Dzięki zręcznemu ułożeniu wzajemnych stosunków pomiędzy nimi można teraz te konflikty ominąć. Aby to było możliwe, odbiorcy muszą udostępnić dostawcom swoje prognozy popytu, gdyż tylko wtedy dostawcy będą mogli samodzielnie planować dostawy i zapasy. Wymaga to wzajemnego zaufania i stworzenia zaawansowanych systemów wymiany informacji.

Opracowano szereg różnorodnych form organizacyjnych takiej współpracy. Jedną z nich, *Vendor Managed Inventory* (VMI), jest z powodzeniem stosowana także w produkcji przemysłowej jako swoiste uzupełnienie metodologii *just-in-time*. W ramach takiego kontraktu odbiorca zobowiązuje się do przekazywania dostawcy swoich prognoz krótko- i średnioterminowych. Na podstawie prognoz długoterminowych dostawca może planować swoją produkcję, a prognozy krótkoterminowe, umożliwiają rewizję planów produkcyjnych i zaplanowanie dostaw. Dostawca z kolei zobowiązuje się do realizowania dziennych zamówień przedkładanych przez odbiorcę oraz utrzymywania uzgodnionego zapasu bezpieczeństwa w swoich magazynach położonych praktycznie u bram odbiorcy. Takie magazyny określane są jako platformy logistyczne. Odbiorca z dnia na dzień określa swoje rzeczywiste zapotrzebowanie i płaci za towar dopiero w momencie jego odbioru na terenie swoich zakładów.

Nie oznacza to jednak, że może z dnia na dzień dowolnie zmieniać swoje zamówienia. Na pewien czas przed planowanym odbiorem, prognozy krótkoterminowe traktowane są jak górny limit zamówień i mogą zostać zweryfikowane jedynie w dół, tzn. zamówienia nie mogą być od nich większe. Jeżeli więc rzeczywisty popyt przekracza prognozy zgłoszone w pewnym krótkim okresie, to dostawca nie jest zobowiązany go zaspokoić. Konieczne są wtedy dodatkowe uzgodnienia co do wielkości, terminów i kosztów dodatkowych dostaw.

3. Model PLC koordynacji produkcji i dystrybucji

Koordinacja produkcji i dystrybucji może przybierać szereg różnorodnych form opisanych przez Lee [1]. Zadania te różnią się przyjętą charakterystyką popytu, warunkami transportu, rodzajem procesów produkcyjnych i szczegółowością samego planowania. Celem takiej koordynacji jest minimalizacja łącznych kosztów produkcji i dystrybucji, a także utrzymywania zapasów, i to zarówno u producenta, jak i u jego odbiorców.

Poniżej przedstawiony jest model programowania liniowego całkowitoliczbowego (1) opracowany dla opisywanego przedsiębiorstwa podobny do opisanych w literaturze [5–9]. Różni się od nich wykorzystywaniem różnych rodzajów pojazdów i związanymi z tym różnymi czasami transportu. Ograniczenia te można jednak spotkać w prostszych zadaniach dystrybucji. Odmienny jest też model procesu produkcyjnego. W tabeli 1 podane są parametry modelu.

Tabela 1
Parametry

$\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$	– zbiór okresów, gdzie T to liczba okresów
$\mathcal{N} = \{1, \dots, n\}$	– zbiór produktów, gdzie n to liczba produktów
$\mathcal{K}$	– zbiór klientów
$\mathcal{S}$	– zbiór rodzajów pojazdów
d_{jkt}	– popyt klienta k na produkt j w okresie t
SS_{jk}	– zapas bezpieczeństwa produktu j u klienta k , <i>safety stock</i>
h_{jk}	– jednostkowy koszt magazynowania produktu j u klienta k , przy czym $k = 0$ oznacza dostawcę
p_j	– czas wykonywania produktu j
C_t	– zdolność produkcyjna w okresie t
s_j	– koszt przebrojenia przed produktem j
L_s	– ładowność pojazdu s
$q(k, s)$	– czas transportu pojazdem s do klienta k
c_{ks}	– jednostkowy koszt transportu do klienta k pojazdem s

W firmie opisanej w pracy Miodońskiej [3] okresami w takim modelu są dni. Model ten można też dopasować do mniejszej jednostki czasu, wymagałby to jednak wyróżnienia okresów, w których można dokonywać załadunku. Horyzont planowania wynosi 30÷60 dni, gdyż takie są średnioterminowe prognozy, na których jest oparty. Liczba wyrobów $n = 2$, a klientów od 3 do 7. Stosowane są cztery różne samochody dostawcze. Czasy transportu dla małych samochodów wynoszą 2, a dla dużych 3 dni. Popyt w trakcie tygodnia

ulega dużym wahaniom nawet o 100%. Podobne wahania można zaobserwować również w dłuższym horyzoncie czasowym. W tabeli 2 opisane są zmienne modelu.

Tabela 2
Zmienne

x_{jt} – wielkość produkcji wyrobu j w okresie t
$y_{jt} = 1$, gdy w okresie t produkowany jest wyrób j , 0 inaczej
$z_{jt} = 1$, gdy w okresie t uruchamiany jest produkcja wyrobu j , 0 inaczej
u_{jkst} – wielkość dostawy produktu j do klienta k w okresie t , przy czym $u_{jkst} = 0$ dla $t \leq q(k, s)$
$v_{kst} = 1$, gdy do klienta k w okresie t wysyłany jest pojazd s , 0 inaczej
I_{jkt} – zapas produktu j na koniec okresu t u klienta k , gdzie $t = 0$ oznacza zapas początkowy, natomiast $k = 0$ zapasy dostawcy

Zmienne binarne z_{jt} i v_{kst} opisują „uruchomienie” produkcji bądź transportu i mogłyby łatwo zostać zastąpione zmiennymi całkowitymi opisującymi liczbę „uruchomionych” maszyn lub samochodów.

$$\min \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} (s_j z_{jt} + h_{j0} I_{j0t} + \sum_{k \in \mathcal{K}} h_{jk} I_{jkt}) + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} c_{ks} v_{kst} \quad (1a)$$

$$\text{p.o.} \quad I_{jk,t-1} + \sum_{s \in S} u_{jks,t-q(k,s)} - d_{jkt} = I_{jkt}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K} \quad (1b)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} u_{jkst} \leq L_s v_{kst}, \quad t \in T, k \in \mathcal{K}, s \in S \quad (1c)$$

$$I_{j0,t-1} + x_{jt} - \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} u_{jkst} = I_{j0t}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N} \quad (1d)$$

$$x_{jt} \leq B_{jt} y_{jt}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N} \quad (1e)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} y_{jt} \leq 1, \quad t \in T \quad (1f)$$

$$y_{jt} - y_{j,t-1} \leq z_{jt}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N} \quad (1g)$$

$$x_{jt}, u_{jkst}, I_{jkt}^O \geq 0, \quad t \in T, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K} \quad (1h)$$

$$I_{jkt} \geq SS_{jk}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K} \quad (1i)$$

$$y_{jt}, z_{jt}, v_{kst} \in \{0, 1\}, \quad t \in T, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, s \in S \quad (1j)$$

gdzie $B_{jt} = \min\{C_t / p_{jt}, \sum_{l=t, \dots, T} d_{jl}\}$ to liczba na pewno większa od wielkości produkcji x_{jt} .

Ograniczenie (1b) opisuje bilans zapasów, dostaw i popytu odbiorców, a (1d) bilans zapasów, produkcji i wysłanych dostaw producenta. Ograniczenia (1c) wymusza, by wielkość dostaw była mniejsza od ładowności wybranych pojazdów, a (1e), by wielkość produkcji była mniejsza od czasu pracy maszyny. Ograniczenie (1f) zezwala na produkcję co najwyżej jednego wyrobu dziennie, tj. w jednym okresie, a (1g) sprzęga zmienne opisujące stan maszyny y_{jt} ze zmienną przebrojenia z_{jt} . Czas dostawy zależny od wyboru samochodu wymusił utworzenie oddzielnych ograniczeń (1c) oraz osobnych zmiennych u_{jks} dla każdego rodzaju samochodu. Czas dostawy $q(k, s)$ jest bezpośrednio uwzględniony w ograniczeniu (1b) przy wyznaczaniu właściwej zmiennej wielkości dostawy u_{jks} dla danego dnia.

Większość znanych modeli koordynacji produkcji i dystrybucji uwzględnia możliwość wysłania jednego pojazdu do kilku odbiorców i zaplanowania dla niego trasy. W opisywanej firmie nie ma takiej praktyki i każdy pojazd przewozi dostawę wyłącznie do jednego odbiorcy. Nie ma jednak żadnych przeciwwskazań, by i powyższy model w taki sposób rozbudować.

Jeżeli koszty utrzymywania zapasów we wszystkich lokalizacjach są takie same, to z funkcji celu można wyeliminować zmienne wielkości zapasów, zastępując je różnicą skumulowanej produkcji i skumulowanego popytu wszystkich klientów. A ponieważ skumulowany popyt jest stałą, więc nie trzeba uwzględniać go w funkcji celu

$$\min \sum_{j \in \mathcal{N}} \sum_{t \in T} (s_j z_{jt} + h_j \sum_{l \in T: l \leq t} x_{jl}) + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} c_{ks} u_{kst} \quad (2)$$

Funkcja (2) różni się od (1a) tylko o wartość stałą wynikającą z istnienia zapasów początkowych i bezpieczeństwa.

Z uwagi na liczbę produktów i wielkość partii produkcyjnych proces produkcyjny modelowany był dotychczas [5–9] jako planowanie partii przy ograniczonych zasobach (*Capacited Lot Sizing Problem* – CLSP). Tutaj zastosowany został natomiast model jeden z modeli planowania i szeregowań partii, tzw. CSLP (*Continuous Setup Lot-sizing Problem*). Zmiana ta wynika z faktu iż partie produkcyjne obejmują po kilka okresów. Model CLSP tego nie dopuszcza, a CSLP już tak. Przegląd takich modeli można znaleźć, m.in. w pracach Drexla i Kimmsa [10] oraz Pocheta i Wolseya [11]. Opis procesu produkcyjnego w tej pracy pełni drugorzędną rolę, więc nie będzie już więcej dyskutowany.

Przedstawiony powyżej model zasadniczo poprawnie opisuje metody planowania stosowane obecnie w firmie opisaną w [3], z dwoma wyjątkami. Po pierwsze planowanie produkcji i dystrybucji nie jest wykonywane równocześnie, tylko sekwencyjnie, najpierw powstaje plan produkcyjny, a później dystrybucyjny. Po drugie planowanie dystrybucji wykonują pracownicy tak trochę na wycucie, dostawy planują tak późno, jak to tylko możliwe, by poziom zapasów u odbiorców nie spadł za bardzo. W ten sposób maksymalizują wielkość dostaw. Jak już wiadomo, kiedy będzie dostawa, to wtedy dobiera się pojazd i szuka ewentualnie możliwości połączenia dostawy z dostawami innych firm, aby podzielić się z nimi stałymi kosztami transportu.

Dla firmy opisanej w [3], zważywszy na stosunkowo niewielkie rozmiary tego zadania, może ono zostać rozwiązane za pomocą standardowych programów do rozwiązywania ogólnych zadań PLC. Należy jednak zaznaczyć, że proces produkcyjny nie był autorowi bliżej znany i w rzeczywistości może być znacznie bardziej skomplikowany. Również dodanie możliwości wysyłania jednego transportu do kilku odbiorców znacznie zwiększyłoby złożoność zadania.

4. Źródła i modelowanie niepewności

Przedstawiony w poprzednim rozdziale model jest czysto deterministyczny. Takie są też wszystkie modele dla zmiennego popytu opisane w literaturze [4–9]. Budzi on jednak szereg wątpliwości, którym poświęcone następne podrozdziały. Najpierw opisane zostaną zagadnienia związane z organizacją transportu, a następnie znacznie ważniejsze i trudniejsze zagadnienia wynikające z niepewności popytu. Pominięte w tej pracy zostaną źródła niepewności wynikające z procesu produkcyjnego.

4.1. Transport

Transport jest źródłem dwojakiego rodzaju niepewności. Po pierwsze, nie można mieć pewności, czy dostawy będą zrealizowane terminowo. Po drugie, jeżeli firma zamawiając transport nie jest w stanie wypełnić samochodu do końca, to pozostała jego część może zostać wypełniona ładunkiem innej firmy, nie jest to jednak pewne.

Niepewność trwania przesyłki nie jest jednak zbyt duża. Czas zarezerwowany na przejazd z Polski do Niemiec i Francji jest wystarczająco duży, aby zamortyzować ewentualne kłopoty wynikające z dużego ruchu na drogach, a nawet te wynikające z awarii samochodu.

Tabela 3
Koszty transportu

Samochód	Czas dojazdu [dni]	Ładowość [palety]	Koszt stały [euro]	Jednostkowy koszt wysyłki [euro/paletę]
s	$q(s)$	L_s	c_s	c_s/L_s
1	2	8	600	75,0
2	2	26	800	30,8
3	3	99	1300	13,1
4	3	132	1400	10,6

Koszty wysyłki stanowią natomiast istotny problem. W tabeli 3 przedstawione są parametry czterech użytkowanych samochodów dostawczych. Czas dojazdu został podany przy założeniu, że samochód jest ładowany w przeddzień wysyłki, a do miejsca docelowego dojeżdża i jest rozładowany w trakcie tego czasu. Samochody można zamawiać nawet z dnia na dzień i nie ma z tym kłopotów. Jak widać, jednostkowy koszt wysyłki największym po-

jazdem jest przeszło 7 razy niższy niż koszt wysyłki najmniejszym samochodem. Dwa najmniejsze samochody są w związku z tym wykorzystywane głównie do realizacji pilnych wysyłek, wynikających z niespodziewanego wzrostu zapotrzebowania klienta.

Planując termin dostawy, producent na ogół nie wie, czy znajdzie partnera, z którym będzie mógł podzielić się stałymi kosztami wysyłki, więc stara się w pełni wykorzystywać ładowność samochodów. Na ogół nie udaje się jednak do końca zapłacić tych największych i najtańszych samochodów. Łączeniem ładunków zajmuje się w zasadzie przewoźnik, ale producent sam też o to dba, choć nie ma do tego jednak na razie żadnych systemowych rozwiązań.

Jeżeli producent dysponuje **konkretnymi informacjami** o możliwościach łączenia dostaw, to zawsze można je uwzględnić jako dodatkowe kategorie samochodów dostawczych o odmiennej ładowności i kosztach. Jeżeli takich konkretnych informacji jeszcze nie ma, to nie znaczy, że taką możliwość należy zignorować.

Koszty transportu przy **braku informacji** o możliwościach łączenia dostaw są **zmienną losową** zależną od wielkości dostawy. Dostawca planując wysyłkę, wie, że będzie musiał zapłacić za część samochodu wypełnioną jego produktami $\sum_{j \in \mathcal{N}} u_{jkt}$ i prawdopodobnie w jakimś stopniu również za tę niewykorzystaną. Koszty wysyłki powinny więc być traktowane jak zmienna losowa. Jest to jednak zmienna niezależna od innych zdarzeń objętych tym planem. Tak więc łączne koszty transportu można wyliczyć, korzystając z jej wartości oczekiwanej. Jeżeli przyjmiemy, że wartość oczekiwana ładowności samochodu wykorzystanej przez inne firmy jest proporcjonalna do ładowności niewykorzystanej przez producenta, to ostatni składnik funkcji celu (1a) można zastąpić następującym wyrażeniem:

$$c_s / L_s \sum_{j \in \mathcal{N}} (u_{jkt} + \mu_{kst} w_{kst}) \quad (3)$$

gdzie w_{kst} to niewykorzystana ładowność samochodu, a $\mu_{kst} \in [0, 1]$ to wartość oczekiwana ułamka w_{kst} , który nie zostanie wykorzystany przez inną firmę i też będzie musiał zostać opłacony przez producenta. Wartość w_{kst} można wyznaczyć, zmieniając ograniczenie (1c):

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} u_{jkt} + w_{kst} = L_s v_{kst}, \quad t \in \mathcal{T}, k \in \mathcal{K}, s \in \mathcal{S} \quad (4)$$

Założenie liniowego wzrostu kosztów ułatwia rozwiązanie zadania, ale jest zapewne źródłem błędów. Można na przykład przypuszczać, że w sytuacji gdy producent niemal w całości wykorzystał ładowność samochodu, to znalezienie firmy, która chciałaby wykorzystać ten transport, jest mniejsze niż w przypadku gdy niewykorzystana ładowność jest duża. Trudno też oczekiwać, by takie łączone dostawy w pełni wykorzystywały w 100% ładowność samochodu. Takie uproszczone modelowanie jest jednak z pewnością lepsze od zupełnego ignorowania możliwości łączenia wysyłek różnych firm.

4.2. Popyt

Podstawą dla całego procesu planowania są prognozy krótko- i średnioterminowe udostępniane przez odbiorców producentowi. W firmie opisanej w przez Miodońską [3] prognozy średnioterminowe stanowią podstawę planowania produkcji, obejmują co najmniej

kilka następnych tygodni, a uaktualniane są co tydzień. Prognozy krótkoterminowe są podstawą do planowania dystrybucji, czasem wymuszają też rewizję planów produkcyjnych, a uaktualniane są codziennie.

Deterministyczne modele planowania produkcji są powszechnie stosowane, ponieważ planowanie rolowane, tj. systematyczna rewizja planów w miarę aktualizacji prognoz jest na ogół w stanie „zamortyzować” błędy wynikające z niepewności prognoz. Należy się zastanowić, czy tak jest również i w prezentowanym przypadku. Jest kilka źródeł wątpliwości wynikających ze specyfiki przyjętego kontraktu i konieczności koordynacji produkcji z dystrybucją.

Po pierwsze umowy typu VMI zakładają zazwyczaj pewien wymagany **poziom obsługi klienta**, tzn. odpowiednio wysokie prawdopodobieństwo, że odbiorca zgłosi się do magazynu po towar, ale go nie dostanie. Poprawny opis takiego warunku wymagałby zmiany ograniczenia (1i):

$$P(I_{jkt} \geq SS_{jk}) \geq p_{\min}, \quad t \in \mathcal{T}, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K} \quad (5)$$

gdzie P oznacza funkcję prawdopodobieństwa, a $p_{\min}$ wymaganą minimalną jej wartość.

Model z takimi probabilistycznymi ograniczeniami (*Probabilistic Chance Constraints*) jest znacznie trudniejszy do rozwiązania, ich wprowadzenie może m.in. oznaczać, że zadanie stanie się nieliniowe [12]. Takie dokładne modelowanie tego warunku nie jest jednak potrzebne. Wymagany poziom obsługi jest bowiem zazwyczaj tak wysoki (97÷99%), że łatwiej jest przyjąć w trakcie planowania 100%, a dopuszczalne 1÷3% niepewności pozostawić na nieobjęte planowaniem źródła ryzyka.

Planowanie oparte na długoterminowych prognozach w zasadzie powinno być modelowane za pomocą stochastycznego programowania liniowego [12]. Jak już jednak wspomniano wcześniej, z losowymi wahaniami popytu firmy zazwyczaj dobrze sobie radzą za pomocą planowania rolowanego. Jest jednak jeden wyjątek. Otóż zdarza się czasem, że odbiorca zgłasza krótkoterminowo znacznie większy popyt, niż to było pierwotnie prognozowane. Producent dążąc do minimalizacji stałych kosztów uruchamiania produkcji i transportu, stara się tworzyć możliwie duże partie produkcyjne i transportowe. Starając się ograniczyć koszty zapasów, odkłada produkcję najpóźniej jak to możliwe. Kiedy więc pojawia się zwiększony popyt, to zazwyczaj nie ma wolnych zasobów, aby go zaspokoić. Aby zachować możliwość zaspokojenia takiego niespodziewanego popytu, należałoby zarezerwować pewną zdolność produkcyjną. I to jest zapewne pole do zastosowania wielostadialnego programowania stochastycznego (*Multistage Recourse Models*). Zadania tego rodzaju są jednak dość załozone, gdyż należałoby przeanalizować ogromną ilość scenariuszy. Przyjmując dla każdego okresu tylko dwie prawdopodobne wartości popytu po 30 dniach, otrzymuje się 2^{30} różnych scenariuszy. Ograniczenie ich liczby jest możliwe przy wykorzystaniu specyficznych własności ich rozkładu prawdopodobieństwa, tj. zależności od pewnych parametrów.

Najpoważniejszy zarzut pod adresem przedstawionego modelu związany jest jednak ściśle z rodzajem kontraktu pomiędzy dostawcą a odbiorcą. Jeżeli jedną z dwóch głównych zalet VMI jest centralizacja zapasów, wspomniana już w rozdziale 2, mająca na celu zredukowanie niepewności popytu, poprzez jego agregację w magazynie centralnym, to model

planowania dostaw powinien to uwzględniać. Tymczasem w modelu (1) wystarczy niewielka różnica, pomiędzy kosztami utrzymywania zapasów u producenta i na platformach logistycznych położonych blisko odbiorców, aby znaczna część zapasów w rozwiązaniu optymalnym znalazła się raz u producenta, a kiedy indziej na platformach, bez żadnego związku ryzykiem wahań popytu.

5. Podsumowanie

W niniejszej pracy został przedstawiony model równoczesnego planowania produkcji u jednego producenta i dystrybucji do kilku odbiorców produktów przemysłowych w przypadku, gdy producent zawarł z odbiorcami kontrakt typu Vendor Managed Inventory. Przedstawiona analiza źródeł niepewności wskazuje, że model ten nie wykorzystuje w sposób wystarczający wszystkich możliwości jakie otwierają się po zastosowaniu VMI.

Literatura

- [1] Lee C.C., Chu W.H.J.: *Who should control inventory in a supply chain?* Eur. J. Op. Res., 164, 2005, 158–172
- [2] Sahin F., Robinson P.E. Jr.: *Information sharing and coordination in make-to-order supply chains.* J. Oper. Manag., 23, 2005, pp. 579–598
- [3] Miodońska B.: *Koordynacja w łańcuchach dostaw.* Wydział Zarządzania AGH w Krakowie, 2006 (Praca dyplomowa)
- [4] Chen Z.L.: *Integrated Production and Distribution Operations: Taxonomy, Models, and Review, chapter 17.* in: Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era, edited by D. Simchi-Levi, S.D. Wu, and Z.-J. Shen, Kluwer Academic Publishers, 2004
- [5] Chandra P., Fisher M.L.: *Coordination of Production and Distribution Planning.* Eur. J. Op. Res., 72, 1994, 503–517
- [6] Arntzen B.C., Brown G.G., Harrison T.P., Trafton L.L.: *Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation.* Interfaces, 25, 1995, 69–93
- [7] Mohamed Z.M.: *An Integrated Production-Distribution Model for a Multi-National Company Operating under varying exchange rates.* Int. J. Prod. Econ., 58, 1999, 81–92
- [8] Fumero F., Vercellis C.: *Synchronized Development of Production, Inventory, and Distribution Schedules.* Transportation Science, 33, 1999, 330–340
- [9] Kaczmarczyk W., Sawik T., Schaller A., Tirpak T.: *Production planning and coordination in customer driven supply chains.* Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej, Komitet Transportu Polskiej Akademii Nauk, 2006, nr 3, 81–89
- [10] Drexel A., Kimms A.: *Lot sizing and scheduling – survey and extensions.* Eur. J. Op. Res., 99, 1997, 221–235
- [11] Pochet Y., Wolsey L.A.: *Production Planning by Mixed-Integer Programming.* New York, Springer 2006
- [12] Sen S., Hingle J.L.: *An introductory tutorial on stochastic linear programming models.* Interfaces, 29, 2; March-April 1999, 33–61

