

Paweł Hanczar¹
Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu

Symulacja – narzędzie analizy przepływu towarów w systemie dystrybucyjnym²

Podniesienie poziomu zarządzania z poziomu przedsiębiorstwa i poprawy jego funkcjonowania na poziomie całego łańcucha dostaw wymusza szczegółowe planowanie przepływu towarów pomiędzy wszystkimi ogniwami łańcucha. Dodatkowym utrudnieniem w dziedzinie zarządzania łańcuchem dostaw jest fakt, że wiele nowych koncepcji dotyczących funkcjonowania przedsiębiorstw w tym łańcuchu, pomimo że wymaga decyzji na poziomie operacyjnym, jest możliwa do oceny dopiero w dłuższym okresie.

Klasyczne modele analityczne, wciąż wykorzystywane we wspomaganie planowania przepływu dóbr, nie są już wystarczająco szczegółowe dla potrzeb koordynacji przepływu produktów pomiędzy ogniwami łańcucha dostaw. Coraz częściej do analizy procesów zachodzących w łańcuchach dostaw jest wykorzystywana symulacja.

Nowym, często stosowanym podejściem w symulacyjnej analizie przepły-

wu produktów w łańcuchu dostaw jest podejście interaktywne. Pozwala ono szczegółowo śledzić wszystkie wielkości charakteryzujące analizowaną konfigurację łańcucha oraz wielkości przepływów pomiędzy ogniwami. Ponadto, dzięki specjalnym interfejsom użytkownika, umożliwia uczestniczenie w symulacji zespołom ludzkim.

Struktura systemu symulacji

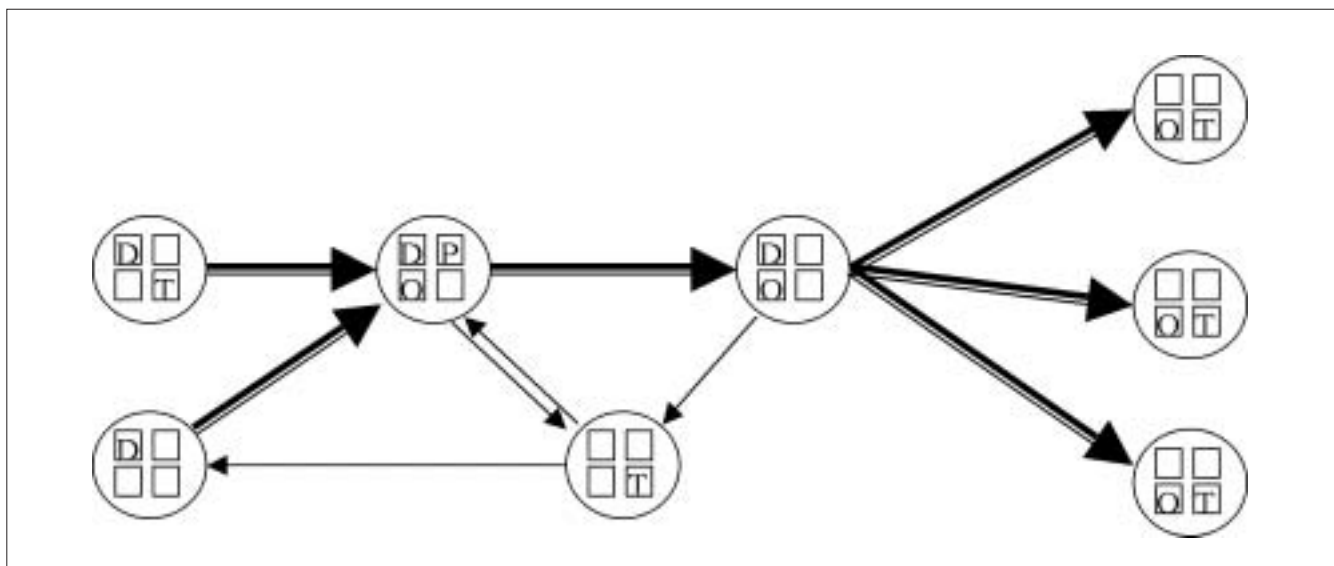
System został zaprojektowany w taki sposób, aby umożliwiał symulowanie kluczowych procesów biznesowych, realizowanych we wszystkich ogniwach łańcucha logistycznego. Podstawowymi obiektami w systemie są: węzeł, produkt oraz pojazd. Węzeł określa geograficzne położenie ogniw łańcucha dostaw, a także jego maksymalną pojemność. Produkt to obiekt, który reprezentuje dobra przesyłane pomiędzy węzłami. Pojazd odpowiada środkom transportu, używanym do przemiesz-

czania produktów pomiędzy lokalizacjami. W systemie wyróżniono cztery grupy węzłów:

- dostawca – realizuje dostawy towarów
- producent – realizuje transformację produktów w inne produkty
- odbiorca – zamawia i przyjmuje produkty
- operator – odpowiada bazie działu lub firmy spedycyjnej.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładową strukturę łańcucha dostaw, w której przepływy można symulować przy pomocy opisywanego systemu. Jedno ogniwo łańcucha dostaw może być odzwierciedlane w systemie przez jeden lub kilka węzłów należących do różnych grup. Zakres funkcji realizowanych przez system symulacyjny w każdym ogniwie zależy od typów węzłów w danej lokalizacji.

Przepływ produktów między ogniwami jest możliwy wyłącznie wtedy, gdy bezpośrednio współpracujące ze



Rys. 1. Przykładowa struktura łańcucha dostaw. Symbole D, P, O oraz T w węzłach oznaczają odpowiednio dostawcę, producenta, odbiorcę oraz operatora. Strzałki podwójne oznaczają przepływy pojazdów i produktów, strzałki pojedyncze – pojazdów. Źródło: opracowanie własne.

¹ Dr Paweł Hanczar, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu, Katedra Logistyki (przyp. red.).

² Artykuł recenzowany (przyp. red.).



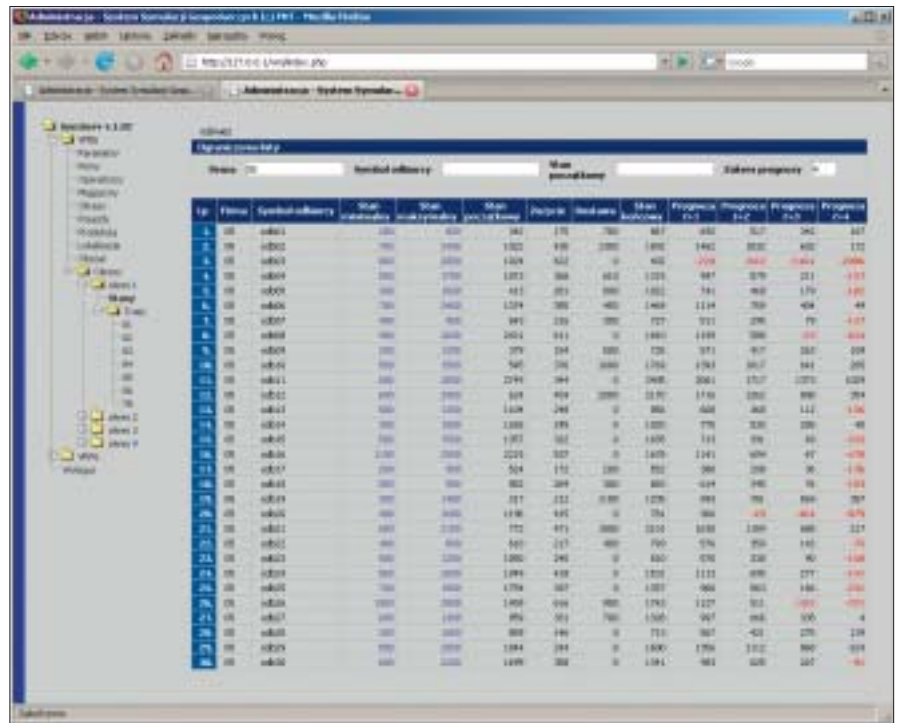
Rys. 2. Lista surowców, półproduktów i produktów – wgląd producenta.
Źródło: opracowanie własne.



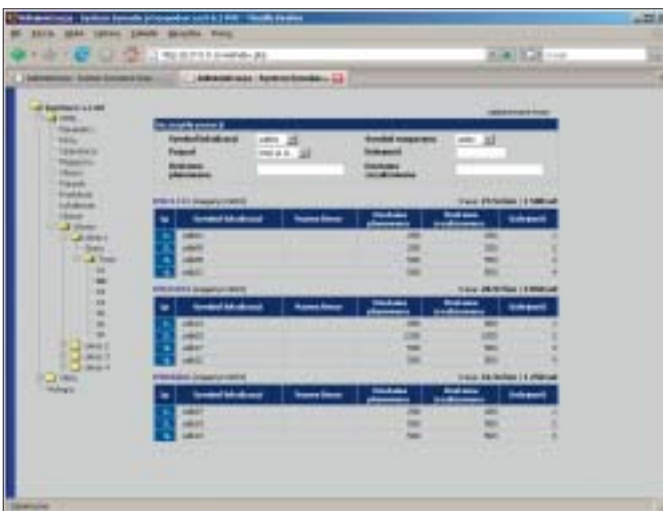
Rys. 3. Drzewo produktu – wgląd producenta.
Źródło: opracowanie własne.

sobą węzły należą do odpowiednich grup. Przykładowo ogniwo, które nie jest *dostawcą*, nie może zaopatrywać *odbiorcy*, a przesyłanie towarów może odbywać się tylko przy zaangażowaniu węzła typu *operator*. Dodatkowo do węzłów typu *operator* są przypisane pojazdy (każdy pojazd dokładnie do jednego węzła). Podczas realizacji dostawy pojazd musi rozpoczynać i kończyć trasę w węźle, do którego jest przypisany.

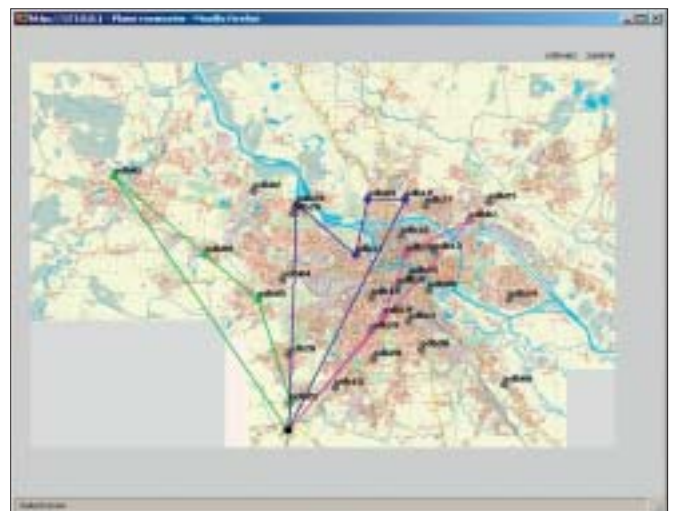
W każdym ogniwie, należącym do grupy *producent*, wymagane jest podanie zależności produkcyjnych. W tym celu należy określić listy materiałowe dla wytwarzanych w danej lokalizacji produktów, czasy wytwarzania poszczególnych półproduktów, a także liczbę maszyn oraz ich zdolności produkcyjne. Dane te są wykorzystywane podczas symulacji do określania maksymalnej wielkości przepływu transformowanych produktów przez ogniwo. Na rysunkach 2 i 3 zostały zaprezentowane



Rys. 4. Stany magazynów odbiorców VMI – podgląd dostawcy.
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Planowanie tras dostaw – podgląd operatora.
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Prezentacja graficzna tras dostaw – widok operatora.
Źródło: opracowanie własne.

wane wybrane zrzuty z ekranów, dotyczące systemu symulacji służące do tworzenia modelu produkcji.

Dla wszystkich węzłów z grup *dostawcy* i *odbiorcy* są podane produkty oraz ich maksymalne ilości, jakie mogą być obsługiwane w danym ogniwie. W przypadku, gdy wartość ta jest równa zero, produkt nie może być obsługiwany przez dane ogniwo.

W skład systemu wchodzi cztery moduły: symulacji popytu, gospodarki magazynowej, realizacji produkcji oraz realizacji transportu. Moduł symulacji popytu jest stosowany tylko w ogniwach, które należą wyłącznie do grupy *odbiorca*. W każdym okresie symulacji za jego pomocą są generowane wielkości zapotrzebowań w ogniwach. Moduł gospodarki magazynowej odpowiada za wyznaczanie i prezentację stanu zapasów w węzłach. Dla każdego ogniwa moduł prezentuje stan magazynu oraz (w zależności od koncepcji realizowanej pomiędzy ogniwami współpracy) stany magazynów w innych lokalizacjach. Moduł realizacji produkcji jest odpowiedzialny za kontrolę wielkości transformacji strumienia produktów w węzłach z grupy *producent*. Ostatni moduł – moduł realizacji transportu – symuluje przesyłanie produktów pomiędzy ogniwami.

Proces symulacji w opisywanym systemie jest realizowany etapowo, to znaczy w każdym etapie symulacji, w zależności od rodzaju symulacji i typu ogniwa, przy wykorzystaniu analizowanych metod podejmuje się decyzje dotyczące wielkości zamówień, wielkości produkcji oraz sposobu realizacji dostaw. Podstawą planowania jest ana-

liza złożonych zamówień, a także stanu własnych lub obcych magazynów.

Przykład zastosowania – porównanie dostaw klasycznych z dostawami realizowanymi w koncepcji VMI

Symulacje, których wyniki prezentujemy w dalszej części pracy, dotyczyły zadania mało skomplikowanego. Uczestnicy badania realizowali dostawy do 30 odbiorców z terenu Wrocławia. Każdy z zespołów dysponował jednym magazynem oraz 4 pojazdami o ładowności 4 000 sztuk produktów. Żaden zespół nie mógł zmieniać lokalizacji węzła dostawcy, a także nie mógł zwiększyć lub zmniejszyć liczby środków transportowych. W przypadku etapu I symulacji, każdy z zespołów otrzymywał zamówienia od odbiorców. Natomiast w etapie II zespoły na bieżąco dysponowały informacją o wielkości zapasu produktu u każdego obsługiwanego odbiorcy. Wszystkie warunki symulacji, w szczególności zaangażowanie odbiorców, są takie same w obu etapach. Celem zadania było zaplanowanie tras gwarantujących realizację zamówień, których łączna długość będzie najmniejsza.

Wyniki pierwszych czterech okresów pierwszego etapu symulacji przedstawiono w tabeli 1. Wiersze 1 - 6 to wyniki zespołów biorących udział w symulacji. Wiersz siódmy zawiera średnią z wyników wszystkich zespołów. Ostatni, ósmy wiersz to rozwiązanie wzorcowe, uzyskane przy pomocy dokładnej metody „podział – trasa” [Hanczar, 2005].

Kolumny *okres 1* do *okres 4* prezentują długość tras oraz liczbę tras. Kolumna *Łączna długość tras* zawiera sumę długości tras dla każdego zespołu. Kolejna kolumna to liczba dostarczonych produktów. Ostatnia kolumna to stosunek sumy długości wszystkich tras do liczby produktów dostarczonych na tych trasach. Wartość ta określa część kilometra, jaką pokonano w celu dostarczenia jednej sztuki produktu. Zostanie ona wykorzystywana w dalszej części do porównania wyników obu strategii.

Wstępna analiza wyników symulacji pozwala od razu zauważyć dużą różnicę pomiędzy długością tras zaplanowanych przez uczestników symulacji, a wynikami uzyskanymi przy pomocy metod optymalizacyjnych. Trasy planowane przez uczestników są średnio o 15% dłuższe od rozwiązania optymalnego. Wynik ten jest tym bardziej nieoczekiwany, że symulowane zadanie zalicza się do prostych; w jednym okresie zamówienie składało maksymalnie 12 spośród 30 odbiorców. Ponadto należy zauważyć, że liczba tras w okresie 1 i 4 wynosiła 4, w okresach 2 i 3 niezbędne były odpowiednio dwie i trzy trasy.

Wyniki II etapu symulacji, to jest dla sytuacji, w której dostawcy podejmowali decyzje o terminie i wielkości dostaw na podstawie pełnej informacji o stanie magazynów odbiorców, przedstawiono w tabeli 2. Z wyjątkiem kolumny *dostawa* zawiera analogiczne dane, jak tabeli 1. Kolumna *liczba tras* została zastąpiona kolumną *dostawa*. Zaprezentowano w niej wielkość dostawy zrealizowanej przez dany zespół w da-

Tab. 1. Wyniki I etapu symulacji (planowanie dystrybucji na podstawie zamówień).

Lp.	Zespół	okres 1		okres 2		okres 3		okres 4		Łączna długość tras	Suma dostarczonych produktów	Wskaźnik [km / szt.]
		długość tras	liczba tras	długość tras	liczba tras	długość tras	liczba tras	długość tras	liczba tras			
1.	01	92.88	4	44.68	2	73.16	3	89.01	4	299.73	41 520	0.0072
2.	02	97.06	4	44.68	2	70.5	3	85.28	4	297.52	41 520	0.0072
3.	03	101.36	4	53.59	2	88.68	4	89.05	4	332.68	43 220	0.0077
4.	04	97.81	4	44.68	2	75.35	3	85.28	4	303.12	41 520	0.0073
5.	05	107.88	4	54.23	2	74.59	3	80.58	4	317.28	41 520	0.0076
6.	06	98.78	4	52.88	2	84.17	4	80.58	4	316.42	41 520	0.0076
7.	AVG	99.295		49.123		77.741		84.963		311.125		0.00743
8.	TR	82.61	4	44.68	2	72.5	3	73.97	4	273.77	41 520	0.0066

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników symulacji.

Tab. 2. Wyniki II etapu symulacji (zarządzanie zapasami sterowane przez dostawcę).

Lp.	Zespół	okres 1		okres 2		okres 3		okres 4		Łączna długość tras	Suma dostarczonych produktów	Wskaźnik [km / szt.]
		długość tras	dostawa	długość tras	dostawa	długość tras	dostawa	długość tras	dostawa			
1.	01	97.55	13 950	18.02	3800	60.92	7850	49.28	7600	225.77	33 200	0.0068
2.	02	80.84	5800	0	0	55.82	11 800	86.24	12 000	222.91	29 600	0.0075
3.	03	100.14	15 558	68.24	11 900	0	0	32.33	4000	200.71	31 458	0.0064
4.	04	79.12	11 000	46.88	8000	17.43	4000	47.98	7950	191.41	30 950	0.0062
5.	05	104.82	16 000	19.92	4000	22.18	4000	55.46	7950	202.37	31 950	0.0063
6.	06	95.72	16 000	67.30	8000	0	0	57.93	8000	220.95	32 000	0.0069
7.	AVG	93.03	13 051	36.72	5950	26.06	4680	57.87	7917	210.69	31 526	0.0067
			10 244				10 288				10 277	
8.	TR	55.46	8000	44.98	8000	52.03	8000	46.19	8000	198.65	32 000	0.0062

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników symulacji.

nym okresie. Wiersz 7, prezentujący wartości średnie, zawiera tutaj dwie wartości. Jako pierwsza (wyżej) jest przedstawiona średnia wartość dostawy, druga (poniżej) to suma zaangażowania wszystkich odbiorców w danym okresie. Wynik wzorcowy (wiersz ósmy) opracowano według krótkoterminowego algorytmu przybliżonego opracowanego na podstawie pracy [1].

Analiza wyników zawartych w tabeli 2 nie jest tak jednoznaczna, jak poprzednio. Powodem tego jest specyfika problemu wyznaczania tras przepływu zapasów, w którym wyniki decyzji operacyjnych mogą być oceniane dopiero w długim okresie. W pierwszej kolejności należy zauważyć, że wynik uzyskany przy pomocy metody optymalizacyjnej nie jest jedynym najlepszym. Najlepszy uzyskany wynik to rozwiązanie zaproponowane przez zespół 04. Stosunek długości tras do liczby dostarczonych produktów w przypadku rozwiązania zaproponowanego przez zespół 04 oraz dla rozwiązania uzyskanego przy pomocy metod optymalizacyjnych są takie same. Jednak dużą zaletą tego drugiego jest fakt, że we wszystkich okresach do realizacji dystrybucji są wykorzystywane tylko dwa pojazdy.

Możliwość decydowania, kiedy może nastąpić dostawa spowodowała, że łączne wielkości dostaw w każdym przypadku są inne. Wartości te dla każdego zespołu są niższe, niż suma zużycia wszystkich odbiorców w czterech okresach. Oznacza to, że w początkowej fazie symulacji stany magazynowe u odbiorców zmniejszają się. Porównując średnią sumę produktów dostarczonych

w czterech pierwszych okresach drugiego etapu symulacji (31 526 sztuk produktów) z sumą zamówień złożonych przez odbiorców w analogicznych okresach etapu pierwszego symulacji (41 520 sztuk produktów), stany w magazynach odbiorców zmalały średnio o 25%. Z analizy wielkości dostaw w poszczególnych okresach wynika, że na początku symulacji wszystkie zespoły zachowywały się bardzo asekuracyjnie dostarczając więcej, niż wynosiło zużycie odbiorców (na przykład dla pierwszego okresu dostarczono średnio 13 051 sztuk produktów przy łącznym zużyciu wszystkich odbiorców na poziomie 10 244 sztuk). W kolejnych okresach uczestnicy zaczęli wykorzystywać większą dowolność, jaką daje strategia VMI. Jednak trudności, liczne pytania i znacznie dłuższy czas planowania dostaw dla tego etapu symulacji potwierdza jednoznacznie, że zapasy zarządzane przez dostawcę to duże wyzwanie dla przedsiębiorstwa.

Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki potwierdzają dużą użyteczność interaktywnych metod symulacyjnych w analizie przepływu produktów w łańcuchu dostaw. Wykorzystanie symulacji pozwoliło wyznaczyć i przeanalizować większość istotnych wielkości, takich jak stany magazynowe, długość tras, czy liczba pojazdów koniecznych do zrealizowania dystrybucji. Umożliwiła także zaprezentowanie uczestnikom symulacji głównych zalet oraz wad symulowanych koncepcji uzupełniania zapasów.

STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano koncepcję i realizację systemu symulacyjnego służącego do analizy różnych konfiguracji łańcucha logistycznego, bądź jego wybranych segmentów. Celem przeprowadzenia symulacji może być zarówno stwierdzenie zasadności zmian w konfiguracji łańcucha, jak również dokonanie oceny przygotowywanych rozwiązań logistycznych.

W drugiej części artykułu przedstawiono przykładowe wyniki symulacji, które pozwalają zidentyfikować trudności podczas realizacji koncepcji uzupełniania zapasów sterowanego przez dostawcę w porównaniu z klasycznym podejściem, polegającym wyłącznie na realizowaniu przyjętych zamówień.

SUMMARY

The concept of simulation system for research of supply chain configuration is presented in the paper. Proposed system constitutes a realistic environment in which participants could become actively involved in making managerial decisions about flows and configuration of supply chain.

The results of demonstration experiments presented in the paper support the significant distinctions between vendor managed inventory and a classic approach that consists merely in fulfilling orders.

LITERATURA:

- [1] Golden B., Assad A., Dahl R. (1984), *Analysis of a large scale vehicle routing problem with inventory component*. „Large Scale Systems”, 7/1984.
- [2] Hanczar P. (2005), *Zastosowanie wybranych metod podziału zbioru do rozwiązywania problemu wyznaczania tras dostaw*. Praca doktorska, AE, Wrocław, 2005.