

Paweł SITEK, Jarosław WIKAREK
Politechnika Świętokrzyska, Katedra Systemów Sterowania i Zarządzania

KONCEPCJA SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI LOGISTYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję systemu wspomaganie decyzji logistycznych. Zaproponowano dodatkową warstwę informacyjno-funkcjonalną, która umożliwia współpracę ze standardowymi strukturami systemu zarządzania klasy ERP oraz solverami optymalizacyjnymi. Szczegółowo opisano jeden z problemów decyzyjnych – wieloetapowy problem transportowy. Przedstawiono model matematyczny i jego implementację. Omówiono podstawową strukturę informacyjną systemu wspomaganie decyzji.

Słowa kluczowe: wspomaganie decyzji, programowanie w logice z ograniczeniami, relacyjne bazy danych

THE CONCEPT OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR LOGISTIC PROBLEMS

Summary. The concept of decision support system for logistic problems has been presented. Additional layer for information and functionality structures which enable to cooperate with ERP and optimization solvers has been described. The mathematical model for the transportation problem with distribution centers and implementation of them have been presented. The article discusses the basic information structure of the system.

Keywords: decision support, constraint logic programming, relational database

1. Wstęp

Zarządzanie łańcuchem dostaw (ang. *Supply Chain Management* – SCM) jest najczęściej definiowane jako zbiór rozwiązań, które służą przedsiębiorstwu do zarządzania sieciowym łańcuchem dostaw [1]. Dzięki zastosowaniu tych rozwiązań oraz ich informatycznej imple-

mentacji możliwa jest synchronizacja przepływu materiałów pomiędzy poszczególnymi kooperantami, co wyraźnie ułatwia firmie dostosowanie się do określonego popytu rynkowego. Przedmiotem zarządzania w SCM jest przepływ informacji, produktów i usług. Wewnętrzne SCM obejmuje zagadnienia związane z zaopatrzeniem, produkcją i dystrybucją. Zewnętrzne SCM integruje przedsiębiorstwo z jego dostawcami i klientami.

Dla przykładowego łańcucha dostaw można wyróżnić trzy grupy procesów logistycznych. Są to procesy należące do logistyki dostawy, logistyki dystrybucji oraz wewnątrzmagazynowe procesy logistyczne. Oczywiście jest, że niektóre procesy przynajmniej w swojej części należą do różnych obszarów logistycznych. Przykładowo, proces kompletacji wysyłki oraz samej wysyłki jest zarówno procesem wewnątrzmagazynowym, jak i logistyką dystrybucji. Obecnie zauważalna jest również tendencja centralizacji dystrybucji w łańcuchach dostaw. Centralizacja dystrybucji redukuje liczbę transakcji w porównaniu z liczbą transakcji w przypadku braku dystrybucji centralnej. Dostawca nie musi wysyłać przesyłek do wielu odbiorców, lecz wysyła jedną do wydzielonego centrum dystrybucji. Podobnie odbiorca nie musi przyjmować wielu przesyłek od wielu nadawców, lecz odbiera przesyłkę zbiorczą z centrum dystrybucji. Dzięki redukcji liczby transakcji pomiędzy dostawcami i odbiorcami uzyskuje się przede wszystkim bardzo istotne skrócenie przeciętnego czasu dostawy, ale także redukcję kosztów tych transakcji. Wprowadzenie centralizacji dystrybucji w postaci pojawienia się centrów dystrybucyjnych powoduje nieporównywalnie większe możliwości optymalizacji zasobów, procesów, kosztów itp.

Ze względu na dużą liczbę procesów, zasobów oraz ich wzajemnych powiązań, istnieje potrzeba wspomaganie decyzji zarówno w obszarze zewnętrznym, jak i wewnętrznym realizowanego łańcucha dostaw.

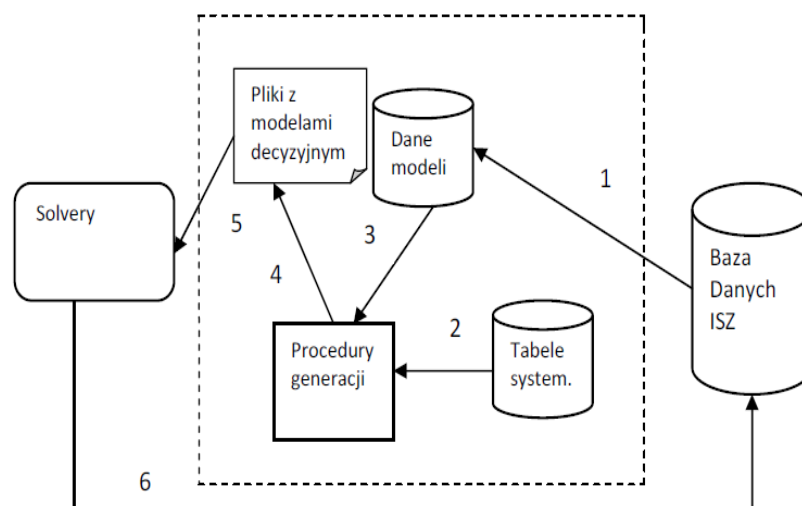
W artykule przedstawiono koncepcje i podstawowe struktury systemu wspomaganie decyzji logistycznych związanych z zarządzaniem łańcuchem dostaw. Koncepcja wspomaganie decyzji została oparta na środowiskach deklaratywnych.

2. Koncepcja systemu wspomaganie decyzji logistycznych

Większość informatycznych systemów zarządzania oparta jest najczęściej na zintegrowanej bazie danych. Zwykle jest to baza danych wykorzystująca model relacyjny [2]. Jest to najbardziej rozpowszechniony model organizacji danych, bazujący na matematycznej teorii mnogości, w szczególności na pojęciu relacji. W najprostszym ujęciu, w modelu relacyjnym dane grupowane są w relacje, które reprezentowane są przez tabele. Relacje są pewnym zbiorem rekordów o identycznej strukturze wewnętrznie powiązanych za pomocą związków zachodzących pomiędzy danymi. Model relacyjny można traktować również jako model logiki

pierwszego rzędu. Językiem związanym z tym modelem jest SQL (ang. *Structured Query Language*) – strukturalny język zapytań używany do tworzenia, modyfikowania baz danych oraz do umieszczania i pobierania danych z baz danych. Język SQL jest językiem deklaratywnym. Decyzję o sposobie przechowywania i pobrania danych pozostawia się systemowi zarządzania bazą danych (DBMS).

Powszechność modelu relacyjnego baz danych, jako podstawy większości informatycznych systemów zarządzania, spowodowała, że system wspomagania decyzji zaproponowano jako dodatkową warstwę informacyjną systemu zarządzania, której głównymi komponentami są tabele oraz mechanizmy relacyjnej bazy danych o określonej strukturze. Zaproponowana struktura systemu umożliwi automatyzację generacji modeli wspomaganie i optymalizacji decyzji na podstawie zapisów w bazie danych, ich uruchomienie przez wywołanie odpowiednich programów optymalizacyjnych, a następnie zapisanie w bazie danych uzyskanych wyników w odpowiedniej formie. Ogólny schemat struktury systemu wspomaganie decyzji logistycznych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat struktury systemu wspomaganie decyzji
Fig. 1. The simplified schema of the structures for decision support system

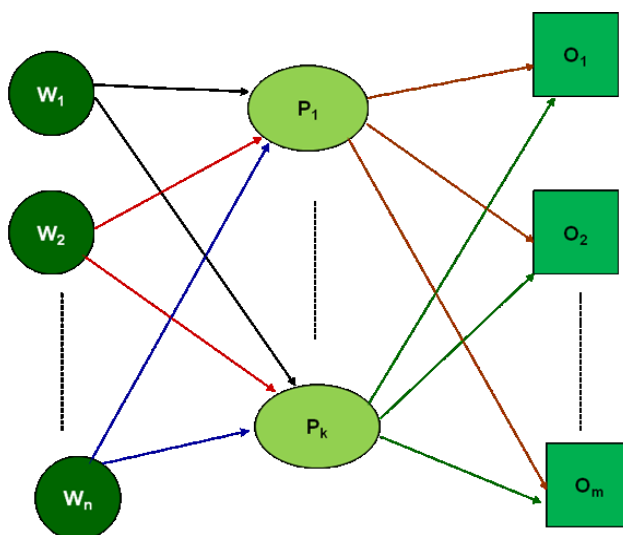
Poszczególne funkcje warstwy wspomaganie decyzji:

1. Mapowanie – uzupełnianie struktur danych modeli decyzyjnych na podstawie bazy danych informatycznego systemu zarządzania, np. klasy ERP [3].
2. Pobranie informacji o strukturze i funkcjach dla modeli decyzyjnych z tabel systemowych systemu wspomaganie decyzji.
3. Pobranie danych dla modeli decyzyjnych z tabel systemu wspomaganie decyzji.
4. Generacja modeli w postaci plików tekstowych w odpowiednim formacie (metajęzyku programu optymalizacyjnego).
5. Przesłanie plików z modelami do programu optymalizacyjnego.
6. Zapis uzyskanych wyników (decyzji do bazy danych).

Jako solvery zaproponowano dwa środowiska. Jedno deklaratywne, oparte na programowaniu w logice z ograniczeniami (*Constraint Logic Programming-CLP*) [4, 5], a drugie na programowaniu całkowitoliczbowym (*Mixed Integer Programming-MIP*) [6, 7]. Wybór obu środowisk podyktowany jest strukturą problemów decyzyjnych występujących w logistyce zarządzania łańcuchem dostaw.

3. Wieloetapowe zagadnienie transportowe

Jako obszar zastosowania prezentowanej koncepcji wspomagania decyzji może być przedstawiona logistyka dystrybucji towarów. W systemie mogą być implementowane autor-skie lub znane z literatury modele decyzyjne. Funkcjonalność i możliwości praktyczne systemu wspomagania decyzji zostaną zaprezentowane na przykładzie problemów transportowych.



Rys. 2. Przykładowy schemat dostaw z punktami pośrednimi (wieloetapowe zagadnienie transportowe)

Fig. 2. Exemplified schema for transportation problem with distribution centers

Proces transportowy dotyczy najczęściej przemieszczania ładunków z miejsc ich wytworzenia (nadania) do miejsc dostawy (odbioru). W miastach takim procesem jest na przykład dostawa towarów z hurtowni lub zakładów produkcyjnych do sieci sklepów, a w przemyśle dostawa materiałów, półproduktów i elementów pomiędzy zakładami produkcyjnymi. Proces ten jest realizowany przez ustalony system transportowy, przy użyciu wybranych typów środków transportowych, jak na przykład samochodów, wagonów kolejowych, samolotów itp. Przy realizacji procesu transportowego przez ustalony system transportowy pojawia się wiele zagadnień decyzyjnych, których efektywne rozwiązanie ma istotny wpływ na zarządzanie całym łańcuchem dostaw. Problemy transportowe dzielimy na:

- **Klasyczne zagadnienie transportowe (KZT)**, w którym szuka się sposobu możliwie jak najtańszego rozwiezienia towaru od dostawców do odbiorców (np. towarów masowych, cementu, rur itp.).
- **Wieloetapowe zagadnienie transportowe (WZT)**, w którym oprócz dostawców i odbiorców istnieją jeszcze punkty pośrednie, np. centra dystrybucyjne (rys. 2.), gdzie zbiór $W=\{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ określa dostawców/wytwórców/, zbiór $O=\{O_1, O_2, \dots, O_m\}$ odbiorców, natomiast zbiór $P=\{P_1, \dots, P_k\}$ pośredników, np. hurtownie, centra dystrybucyjne, magazyny logistyczne.

Tabela 1

Indeksy, parametry i zmienne decyzyjne modelu optymalizacyjnego

Indeksy używane w modelu	
j	indeks miasta (punktu dostawy) ($j=1..M$)
i	indeks fabryki ($i=1..N$)
s	indeks punktu pośredniego (centrum dystrybucyjnego) ($s=1..E$)
N	liczba fabryk
M	liczba miast/punktów dostaw
E	liczba punktów pośrednich
Parametry modelu	
C_i	koszt wytworzenia produktu w fabryce i ($i=1..N$).
W_i	zdolności produkcyjne fabryki i ($i=1..N$).
Z_j	zapotrzebowanie miasta /punktu j ($j=1..M$)
A_{is}	koszt dostawy z fabryki i do punktu pośredniego s ($i=1..N$) ($s=1..E$)
G_{sj}	koszt dostawy z punktu pośredniego s miasta j ($s=1..E$) ($j=1..M$)
Zmienne decyzyjne	
X_{is}	wielkość dostawy z fabryki i do punktu pośredniego s
Y_{sj}	wielkość dostawy z punktu pośredniego s do sklepu j

Model matematyczny optymalizacji dla wieloetapowego zagadnienia transportowego został sformułowany w postaci problemu programowania liniowego z minimalizacją funkcji celu, która przedstawia całkowity koszt transportu i wytwarzania przy ograniczeniach od (2) do (6). Ograniczenie (2) zapewnia realizowalność dostaw z wybranej fabryki do danego punktu pośredniego, ze względu na zdolności produkcyjne fabryki. Zrealizowanie dostaw zgodnych z zapotrzebowaniami poszczególnych miast zapewnia ograniczenie (3). Zbilansowanie punktu pośredniego, tzn. zaopatrzenia z wysyłką, umożliwia ograniczenie (4). Ograniczenia (5), (6) są to standardowe ograniczenia dla problemu programowania liniowego całkowitoliczbowego.

Funkcja celu – minimalizacja kosztów transportu i wytwarzania:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^E A_{i,s} * X_{i,s} + \sum_{s=1}^E \sum_{j=1}^M G_{s,j} * Y_{s,j} + \sum_{i=1}^N (C_i * \sum_{s=1}^E X_{i,s}), \quad (1)$$

Ograniczenia:

$$\sum_{s=1}^E X_{i,s} \leq W_i \text{ dla } i = 1..N, \quad (2)$$

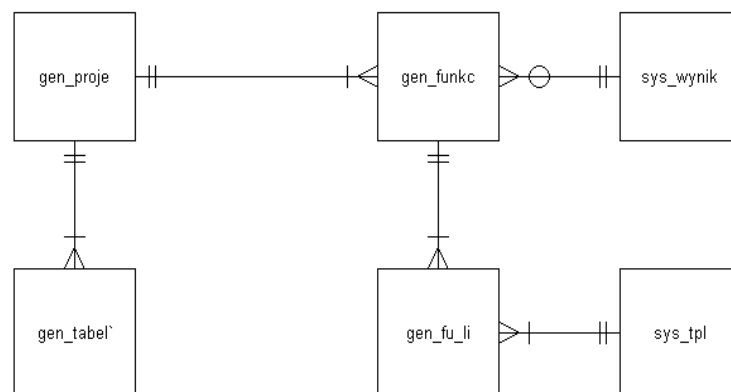
$$\sum_{s=1}^E Y_{s,j} \geq Z_j \text{ dla } j = 1..M, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i,s} = \sum_{j=1}^M Y_{s,j} \text{ dla } s = 1..E, \quad (4)$$

$$X_{i,s} \geq 0 \text{ dla } i = 1..N \text{ oraz } s = 1..E, \text{ całkowitoliczbowe,} \quad (5)$$

$$Y_{s,j} \geq 0 \text{ dla } s = 1..E \text{ oraz } j = 1..M, \text{ całkowitoliczbowe.} \quad (6)$$

4. Podstawowe struktury danych systemu wspomaganie decyzji logistycznych dla wieloetapowego zagadnienia transportowego



Rys. 3. Fragment schematu ERD dla tabel systemowych systemu wspomaganie decyzji
 Fig. 3. The part of ERD diagram for the system tables of decision support system

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie tabel systemowych, których miejsce w systemie wspomaganie decyzji jest widoczne na rys. 1. Zależności pomiędzy tabelami systemowymi pokazano na schemacie ERD (Entity Relationship Diagram) – rys. 3. W tabeli 3 przedstawiono wybrany zbiór tabel z danymi potrzebnymi do generacji modelu dla wieloetapowego zagadnienia transportowego. Zależności pomiędzy tymi tabelami zostały przedstawione również w postaci schematu ERD na rys. 4. Miejsce i funkcja tabel w systemie wspomaganie decyzji są widoczne na rys. 1.

Tabela 2

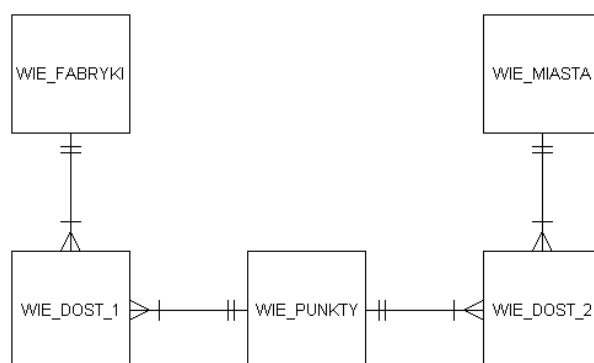
Tabele systemowe

Tabela	Opis	Nazwa pola	Klucz	Opis kolumny
sys_typl	Typy linii	KD_IDLIN	PK	Identyfikator typu linii
		ID_NAZWA		Nazwa typu linii
sys_wynik	Wynik zadzia- łania	KD_WYNIK	PK	Identyfikator typu wyniku
		ID_OPIS		Opis typu wynik
gen_proje	Projekty w systemie	KD_IDPRO	PK	Identyfikator projektu
		ID_NAZWA		Nazwa projektu
		ID_SKROT		Skrót nazwy
		ID_OPIS		Opis projektu
gen_funkc	Funkcje w czasie obsługi projektu	KD_IDPRO	PK(FK)	Identyfikator projektu
		KD_IDFUN	PK	Identyfikator funkcji
		FD_WYNIK	FK	Identyfikator typu wyniku
		ID_OPIS		Opis funkcji
gen_fu_li	Kody funkcji w czasie ob- sługi projektu	KD_IDPRO	PK(FK)	Identyfikator projektu
		KD_IDFUN	PK(FK)	Identyfikator funkcji
		KD_ID_KO	PK	Numer linii
		FD_IDLIN	FK	Identyfikator typu linii
		ID_DANA		Kod linii
gen_tabel	Tabele projek- tu	KD_IDPRO	PK(FK)	Identyfikator projektu
		KD_ID_TA	PK	Nazwa tabeli w projekcie
		ID_ID_AL		Ogólna nazwa tabeli
		ID_OPIS		Opis tabeli

Tabela 3

Tabele z danymi dla wieloetapowego zagadnienia transportowego

Nazwa tabeli	Opis	Nazwa pola	Klucz	Opis kolumny
Wie_fabryki	Miejsca produkcji	ID_FABRYKI	PK	Identyfikator fabryki
		ID_NAZWA		Nazwa fabryki
		ID_CENA		Koszt wyprodukowa- nia
		ID_WYDAJ		Zdolność produkcyjna
Wie_miasta	Miasta	ID_MIASTA	PK	Identyfikator miasta
		ID_NAZWA		Nazwa miasta
		ID_ZAPOT		Zapotrzebowanie
Wie_punkty	Punkty pośrednie- centra dystrybucyjne	ID_PUNKT	PK	Identyfikator punktu
		ID_NAZWA		Nazwa punktu
Wie_dost_1	Informacje na temat dostaw: Fabryka – Punkt (centrum dys- trybucyjne)	ID_FABRYKI	PK(FK)	Identyfikator fabryki
		ID_PUNKT	PK(FK)	Identyfikator punktu
		ID_KOSZT		Koszt dostawy
		ID_WIELKOSC		Wielkość dostawy
Wie_dost_2	Informacje na temat dostaw: Punkt – Miasto (odbiorca)	ID_PUNKT	PK(FK)	Identyfikator punktu
		ID_MIASTA	PK(FK)	Identyfikator miasta
		ID_KOSZT		Koszt dostawy
		ID_WIELKOSC		Wielkość dostawy



Rys. 4. Fragment schematu ERD dla tabel z danymi do generacji modelu
 Fig. 4. The part of ERD diagram for the tables of model generation

Po dokonaniu implementacji modelu (1) – (5), w środowisku deklaratywnym (baza danych SQL oraz system programowania w logice z ograniczeniami – ECLiPSe) przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe dla danych widocznych w tabeli 4. Przykłady P1 i P2 dotyczą produkcji i dystrybucji w ramach koncernu spożywczego. Koncern posiada trzy (P1) lub pięć (P2) zakładów produkcyjnych, współpracuje z dwoma (P1) lub pięcioma (P2) centrami dystrybucyjnymi (punkty pośrednie) i zaopatruje sześć sklepów firmowych (punktów dostaw). W procesie decyzyjnym należy zminimalizować koszty produkcji oraz dostarczania towarów do sklepów firmowych. Uzyskane wyniki, pokazujące rozkład dostaw, przedstawiono w tabeli 5. Na ich podstawie można dokonać analizy wykorzystania wybranych centrów dystrybucyjnych, celowości ich lokalizacji, możliwości kształtowania zdolności produkcyjnych w celu minimalizacji kosztów dystrybucji itp.

Tabela 4

Dane liczbowe dla wieloetapowego zagadnienia transportowego
 (wartości parametrów A, G, C, W, Z)

P1	(s)	1	2	C _i	W _i	P1 (j)	(s) G	1	2	3	4	5	6
	(i) A												
1	30	20	180	600	1	30	20	40	70	50	60		
2	90	40	200	500	2	90	40	50	30	40	40		
3	80	60	190	500	Z _j	200	150	100	100	150	200		

P2	(s)	1	2	3	4	5	C _i	W _i	P2 (j)	1	2	3	4	5	6
	(i) A														
1	30	20	30	40	30	180	600	1	30	20	40	70	50	60	
2	90	40	40	50	40	200	500	2	90	40	50	30	40	40	
3	80	60	70	70	50	190	500	3	20	50	60	60	90	60	
4	50	20	40	40	30	150	600	4	30	30	50	70	60	60	
5	70	40	60	50	50	210	500	5	90	40	50	30	40	40	
								Z _j	300	250	300	220	150	200	

Tabela 5

Wyniki obliczeń dla wieloetapowego zagadnienia transportowego

i	s	X	s	j	Y
P1					
1	1	350	1	1	200
1	2	250	1	2	150
2	2	300	2	3	100
			2	4	100
			2	5	150
			2	6	200
P2					
1	1	520	1	2	250
1	3	80	1	3	270
2	3	220	2	3	30
4	2	600	2	4	220
			2	5	150
			2	6	200
			3	1	300

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono ogólną koncepcję systemu do wspomagania decyzji logistycznych. Przedstawiona koncepcja, w postaci dodatkowej warstwy informacyjno-funkcjonalnej, jest bardzo elastyczna i może posłużyć do implementacji dowolnych modeli decyzyjnych, opracowanych w postaci programowania w logice z ograniczeniami oraz w postaci zadań programowania całkowitoliczbowego. Zaproponowano bardzo elastyczne i uniwersalne sposoby automatycznej generacji modeli decyzyjnych na podstawie zawartości bazy danych. Jako przykład możliwości zastosowania prezentowanej koncepcji przedstawiono szczegółowy model, jego implementację oraz rozwiązanie dla problemu decyzyjnego wieloetapowego zagadnienia transportowego. Dalsze prace obejmować będą implementacje innych modeli decyzyjnych z zakresu logistyki zarządzania łańcuchem dostaw dla każdego obszaru logistycznego.

BIBLIOGRAFIA

1. Hieber R.: Supply Chain Management. A Collaborative Performance Measurement Approach, VDF, Zurich 2002.
2. Codd E. F.: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. „Comun. ACM”. No. 13/6, s. 377÷387.

3. Moon Y. B.: Enterprise Resource Planning (ERP): A review of the literature. *Int. J. Management and Enterprise Development*, Vol. 4, No. 3, 2007, s. 235÷264.
4. Frühwirth T., Slim A.: *Essentials of constraint programming*. Springer, 2003.
5. Apt K.: *Principles of constraint programming*. Cambridge University, 2003.
6. Vanderbei J.: *Linear Programming: Foundations and Extensions*. 3rd ed., International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 114, Springer Verlag, 2008.
7. Schrijver A.: *Theory of Linear and Integer Programming*. John Wiley & Sons, 2000.

Recenzenci: Dr inż. Adrian Kapczyński
Dr inż. Dariusz Mrozek

Wpłynęło do Redakcji 31 stycznia 2011 r.

Abstract

In this paper the concept of decision support system for logistic problems as an additional layer for information and functionality structures which enable to cooperate with ERP and optimization solvers has been presented. The mathematical model for the transportation problem with distribution centers and implementation of them in declarative environment have been presented. We propose a framework for decision support system (DSS) for logistic problems implemented by CLP/MIP and relational SQL database. As an innovation of this solution, we present automatic the decision-making models generation. We illustrate this concept by the example of implementation of a DSS the transportation problem with distribution centers.

Adresy

Paweł SITEK: Politechnika Świętokrzyska, Katedra Systemów Sterowania i Zarządzania, Al. 1000-PP 7, 25-314 Kielce, Polska, sitek@tu.kielce.pl.

Jarosław WIKAREK: Politechnika Świętokrzyska, Katedra Systemów Sterowania i Zarządzania, Al. 1000-PP 7, 25-314 Kielce, Polska, j.wikarek@tu.kielce.pl.