

## KOMPUTEROWY SYSTEM OPTIMALIZACJI TRANSPORTU OWOCÓW MIĘKKICH W SIECI ROZPROSZONEGO SKUPU

### A COMPUTER SYSTEM FOR OPTIMISATION OF SOFT FRUIT TRANSPORTATION IN DIFFUSED PURCHASING NETWORKS

*W opracowaniu przedstawiono system optymalizacji pracy środków transportu przemieszczających świeże owoce malin z punktów skupu do chłodni. Metoda została wykorzystywana do planowania tras przejazdów środków transportu zgodnie z określonym kryterium celu, którym może być np. minimalizacja kosztów, czasu, czy nakładów energetycznych. W prezentowanym systemie uznano, że minimalizowana będzie długość tras przejazdu środków transportu biorących udział w realizacji zadania przewozowego. Przyjęcie takiej funkcji celu prowadzi w praktyce również do minimalizacji kosztów, czasu, oraz nakładów energetycznych. Mniej przejechanych kilometrów to mniej zużytego paliwa i innych materiałów eksploatacyjnych, zmniejszone zużycie techniczne pojazdów, krótszy czas pracy kierowcy a więc i obniżenie ponoszonych kosztów. Dokonując rozdziału środków transportu, na podstawie analiz symulacyjnych dla każdego dnia okresu skupu, można podjąć decyzję dotyczącą ich zakupu lub wynajmu, czyli określenia samowystarczalności transportowej przedsiębiorstwa. Efekty działania programu wykazały, że zastosowanie proponowanego systemu w analizowanym roku skróciłoby łączną długość drogi przebytej przez samochody ciężarowe uczestniczące w kampanii skupu malin dla chłodni o 9%. Poprawa efektywności pracy pojazdów przekłada się na wymierne kwoty, które obniżają koszty wytworzenia produktu i zwiększają jego konkurencyjność na rynku.*

**Słowa kluczowe:** transport w rolnictwie, optymalizacja przewozów, maliny.

*This elaboration presents a system for work optimisation of transportation means delivering fresh raspberries from collection points to cold stores. The method was applied to plan transportation means delivery routes according to a specified target criterion, which may be e.g. minimisation of costs, time, or energy consumption. It was assumed in the presented system that the length of delivery routes will be minimised for the transportation means participating in accomplishing of the delivery task. Adopting such a target function leads in practice also to minimisation of costs, time, and energy consumption. A lower number of kilometres driven means less consumed fuel and other operating materials, decreased technical wear of vehicles, shorter drivers' work time, and thus also a decrease of the costs spent. Dividing transportation means, on the basis of simulation analysis for each day of purchasing period, a decision can be made to buy or rent them, i.e. to specify transportation self-sufficiency of an enterprise. The effects of the program work have shown that the application of the suggested system in the analysed year would shorten the total length of the distance covered by trucks participating in the raspberry purchasing campaign for the cold stores by 9%. Improvement of vehicle work efficiency renders measurable amounts, which decrease the product manufacturing costs and increase its marketing competitiveness.*

**Keywords:** transportation in agriculture, delivery optimisation, raspberries.

#### 1. Wprowadzenie

Jednostki trudniące się handlem i przetwórstwem płodów rolnych muszą sprostać ostrej konkurencji panującej na tym rynku oraz dostosować się do coraz bardziej rygorystycznych przepisów dotyczących m.in. ochrony środowiska. Wdrażanie w nowych konstrukcjach pojazdów ciężarowych kolejnych edycji norm EURO przynosi efekty w postaci obniżenia emisji substancji szkodliwych [2,4]. Jedną z dróg obniżenia kosztów ponoszonych na transport jest stosowanie pojazdów napędzanych paliwem alternatywnym: gazem LPG, gazem ziemnym CNG czy dwupaliwowo (benzyna + LPG) [3,5]. O ile w pojazdach osobowych, lekkich ciężarówkach czy w autobusach miejskich rozwiązaniem to zdaje egzamin, to w samochodach ciężarowych o dużej ładowności jest rzadko stosowane. Źródłem największych oszczędności są jednak działania związane z poprawą efektywności wykorzystania środków transportu

#### 1. Introduction

Units in charge of agricultural products trade and processing have to face the fierce competition existing in this market and adjust to ever stricter regulations related to i.a. environment protection. Implementation of new editions of EURO standards in truck designs brings effects in the form of decrease of harmful substances emission [2,4]. One of the ways of decreasing costs spent for transportation is the use of vehicles driven by alternative fuels: LPG gas, CNG gas or bi-fuelled (petrol + LPG) [3,5]. Whereas in passenger vehicles, LCV's or city busses this solution is effective, it is rarely used in heavy load trucks. The sources of the biggest savings in a farm and food enterprise, however, are actions related to the increase of transportation means usage efficiency. The objective is to make appropriate decisions related to i.a. specifying the vehicle itineraries. Making optimal or sub-optimal decisions lies at the basis of any

w przedsiębiorstwie rolno-spożywczym. Chodzi o podejmowanie trafnych decyzji dotyczących m.in. określania marszruty pojazdów. Podjęcie optymalnej lub suboptymalnej decyzji leży u podstaw wszelkiej działalności zarówno naukowej jak i przemysłowej. Algorytmy pozwalające na automatyzację podejmowania decyzji opracowane są wyłącznie dla niewielkiej grupy problemów charakteryzujących się względną prostotą. Dla zagadnień bardziej złożonych ogólny algorytm podejmowania decyzji nie istnieje. Z tego powodu automatyzacja procesu podejmowania decyzji napotyka znaczące trudności. Należy jednak zauważyć, że eksperci zajmujący się określoną problematyką są w stanie podjąć decyzję nawet w przypadkach systemów złożonych [7].

Znaczny udział kosztów w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa produkcyjnego stanowią wydatki ponoszone na dostawę surowca i transport produktu. W przypadku niewielkiej ilości punktów odbioru surowca i dostawy produktu oraz niewielkiej liczby środków transportu, pracę ich może zorganizować dyspozytor. W bardziej rozbudowanej sieci transportowej decyzje człowieka okazują się być obciążone dużym błędem. W takim przypadku przy organizowaniu pracy posiadanych środków transportu należy wspomagać się komputerem. Przedsiębiorstwa transportowe i spedycyjne korzystają z dostępnych na rynku komputerowych programów, optymalizacji wykorzystania eksploatowanego taboru. Próby wykorzystania tych programów w transporcie płodów rolnych nie przyniosły oczekiwanych efektów. Wynika to ze znacznej zmienności parametrów w przewozach w produkcji i przetwórstwie rolno-spożywczym. Taki stan rzeczy spowodował podjęcie w Katedrze Maszyn i Urządzeń Rolniczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie prac nad systemem optymalizacji pracy środków transportu przemieszczających płody rolne. Prace te zaowocowały opracowaniem kilku programów przeznaczonych do zarządzania środkami transportu realizującymi proces przemieszczania różnych płodów rolnych. Poszczególne opracowania różnią się nie tylko bazami danych czy funkcją celu zgodnie, z którą prowadzona była optymalizacja, ale często należało korzystać z różnych metod optymalizacyjnych.

Celem opracowania jest przedstawienie efektów działania systemu optymalizacji pracy środków transportu przemieszczających owoce malin między punktami skupu i zakładem przetwórczym na przykładzie konkretnej chłodni prowadzącej skup i przetwórstwo owoców miękkich.

## 2. Model zagadnienia transportowego z blokadą wybranych tras

Realizując proces pozyskiwania płodów rolnych dla zakładu przetwórczego często mamy do czynienia z sytuacją, że określone połączenia drogowe w obszarze realizacji przewozów nie mogą być wykorzystane. Może wynikać to z ograniczenia nośności odcinka drogi czy mostu, z istnienia na określonym odcinku drogi zbyt niskiego wiaduktu, prowadzonego remontu lub z innych przyczyn. W takiej sytuacji musimy zablokować pewne połączenia drogowe od dostawcy  $D_i$  do odbiorcy  $O_j$ , co oznacza, że w rozwiązaniu końcowym tym niedozwolonym połączeniom odpowiadają  $x_{ij} = 0$ .

Ogólny model matematyczny zagadnienia transportowego z blokadą pewnych tras można sformułować następująco[1]:

Niech  $N$  oznacza zbiór węzłów odpowiadających połączeniom niedopuszczalnym:

operations, either scientific or industrial. Algorithms allowing for automation of decision making process are being prepared exclusively for a small group of problems characterised by relative simplicity. For more complex issues there is no general decision making algorithm. For this reason, automation of this decision making process meets significant difficulties. It should be however pointed out that experts in charge of the specified issues are able to make decisions even in the case of complex systems [7].

A significant amount of the operation costs in a production enterprise are expenses spent for raw materials supply and product transportation. In the case of smaller amounts of raw material collection, product delivery points and number of transportation means, such work can be accurately organised by a dispatcher. However, human error in decision making proves greater with more complex transportation networks. In such cases a computer should be used to assist organisation of work for the available transportation means. Transport and freight forwarding enterprises use the computer software available in the market to optimise the usage of operating transportation. Attempts to use such software for transportation of agricultural products have not brought the expected effects. This results from a remarkable variability of parameters for transportation in farm and food production and processing. This condition caused the Cathedral of Agricultural Machines and Devices, at Life Sciences University in Lublin, to start work over a system allowing for optimisation of work for transportation means carrying agricultural products. The work resulted in the development of a number of software programs intended for management of transportation means used to carry various agricultural products. The particular elaborations differ not only in data bases or the target function used for optimisation, but often various optimisation methods as well.

The aim of this elaboration is to present effects of an optimisation system for transportation means carrying raspberries between collection points and a processing plant based on the specific example of a cold store purchasing and processing soft fruits.

## 2. The model of a transportation issue with blockage of selected routes

While running the campaign of agricultural product acquisition for a processing plant it is often found that specified road connections within the operating area cannot be used. This may result from limited load of a road section or a bridge, existence of a too low flyover, road repairs or other causes. In such a situation it is necessary to block certain road connections from supplier  $D_i$  to recipient  $O_j$ , which means that such connections  $x_{ij} = 0$  will be reflected in the final solution as unacceptable.

A general mathematical model of the transportation issue with blockage of selected routes may be formulated in the following way [1]:

Let  $N$  mean a set of nodes representing unacceptable connections:

$$N = \{(i,j) : x_{ij} = 0\} \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, m_w; j = 1, \dots, n_w;$$

gdzie:  $m_w$  – liczba połączeń niedopuszczalnych z punktu widzenia dostawców,  $n_w$  – liczba połączeń niedopuszczalnych z punktu widzenia odbiorców.

Oznaczmy przez:

$L(q) = \{i : (i, q) \notin N\}$  – zbiór numerów dostawców, którzy mogą zaopatrzyć odbiorcę  $q$ .

$L'(p) = \{j : (p, j) \notin N\}$  – zbiór numerów odbiorców, którzy mogą być zaopatrywani przez dostawcę  $q$ .

Należy zminimalizować funkcję:

$$Z_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j \in L(i)} c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

gdzie:  $c_{ij}$  – macierz kosztów,  $x_{ij}$  – dopuszczalna macierz przepływu zagadnienia transportowego,

przy warunkach:

$$\sum_{j \in L(i)} x_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m), \quad (3)$$

$a_i$  – podaż  $i$ -tego dostawcy,

$$\sum_{j \in L(i)} x_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n). \quad (4)$$

$b_j$  – zapotrzebowanie  $j$ -tego odbiorcy:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m, j \in L(i)) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (6)$$

Warunek ten oznacza, że zagadnienie jest zbilansowane, czyli podaż jest równa popytowi.

Praktyczną realizację powyższego modelu można uzyskać, co najmniej na trzy sposoby:

1. Dla wykluczanego odcinka trasy  $l(i,j)$ , odpowiednia wartość macierzy kosztów  $c_{ij} = \infty$ . Zagwarantuje to, że odcinek ten zostanie wykluczony z rozwiązania optymalnego.
2. Ograniczenie górne na wykluczonym odcinku trasy  $l(i,j)$ ,  $H(i,j) = 0$ .
3. Z sieci transportowej usunąć wszystkie odcinki wykluczanych tras.

Dwa pierwsze sposoby są korzystniejsze, gdyż nie powodują zmiany sieci transportowej i w przypadku udrożnienia przejazdów po odcinku  $l(i,j)$ , wystarczy przywrócić poprzednią wartość macierzy kosztów.

W opracowaniu przedstawiono metodę pozwalającą na obliczenie i oprogramowanie dowolnego modelu transportu, w tym również liniowego. Opisany model liniowy został przedstawiony w pracy jako przykład.

### 3. Metoda obliczeniowa

Podczas prac nad systemem optymalizacji pracy środków transportu przemieszczających świeże maliny należało opracować bazę danych, w której musiały znaleźć się wszystkie informacje niezbędne do przeprowadzenia obliczeń. Zgromadzone informacje opisujące charakterystyki techniczne pojazdów

$$N = \{(i,j) : x_{ij} = 0\} \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, m_w; j = 1, \dots, n_w;$$

where:  $m_w$  – number of unacceptable connections from the suppliers' point of view,  $n_w$  – number of unacceptable connections from the recipients' point of view.

Let's mark as:

$L(q) = \{i : (i, q) \notin N\}$  – a set of suppliers number who can supply for recipient  $q$ .

$L'(p) = \{j : (p, j) \notin N\}$  – a set of recipients number who can be supplied by supplier  $q$ .

The function to be minimised:

$$Z_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j \in L(i)} c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

where:  $c_{ij}$  – the cost matrix,  $x_{ij}$  – the acceptable matrix of transportation flow issue,

at conditions:

$$\sum_{j \in L(i)} x_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m), \quad (3)$$

$a_i$  – the supply of an “ $i$ ” supplier,

$$\sum_{j \in L(i)} x_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (4)$$

$b_j$  – the demand of a “ $j$ ” recipient:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m, j \in L(i)) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (6)$$

This condition means that the issue is balanced, that is supply equals demand.

The practical accomplishment of the above model may be achieved at least in three ways:

1. For an excluded section of the route  $l(i,j)$ , the relevant value of cost matrix  $c_{ij} = \infty$ . This will guarantee that this section will be excluded from the optimal solution.
2. Upper limit on the excluded section of the route  $l(i,j)$ ,  $H(i,j) = 0$ .
3. All sections of excluded routes to be removed from the transportation network.

The first two ways are more advantageous, because they do not cause modification of the transportation network and in the event when the section  $l(i,j)$  becomes available for vehicles, it is enough to revert to the previous value of the cost matrix.

In the elaboration, the method allowing for calculation and programming of any transportation model was presented, including a linear model. The described linear model was presented in this work as an example.

### 3. The calculation method

During development of the system for optimisation of the work of transportation means delivering fresh raspberries, a data base had to be prepared, which would include all the necessary computation information. Information describing technical characteristics of the vehicles used in the action of carrying fru-

wykorzystywanych w akcji przemieszczania owoców, opisano punkty skupu, z których należało odebrać owoce wraz ze wszystkimi niezbędnymi danymi na ich temat. Kolejnym bardzo istotnym problemem było opracowanie mapy interesującego nas obszaru. Mapa stanowi płaszczyznę działania systemu optymalizacyjnego i precyzja, z jaką zostanie wykonana decyduje o dokładności, z jaką określane będą odległości między punktami sieci transportowej. Z mapy numerycznej korzysta program optymalizacji transportu. W czasie prac nad kolejnymi wersjami systemów eksploatacji pojazdów biorących udział w przewozach opracowano wiele metod tworzenia mapy. W prezentowanym systemie skorzystano z własnej metody opracowania mapy cyfrowej opartej na skanowaniu fragmentów mapy drogowej. Mapy zapisywano na dysku jako bitmapy (\*.bmp). Dane uzyskiwane z fragmentów mapy wprowadzane są do bazy danych mapy numerycznej. Na mapie numerycznej wszystkie punkty oraz drogi przedstawione są w postaci rekordów. Przedstawienie mapy jako zbiór rekordów daje szybki dostęp do informacji, łatwe dodawanie, edycję, oraz usuwanie pozycji. Każdy rekord zawarty w bazie danych zawiera informacje dotyczące położenia punktów i dróg mapy, ich nazw i rodzajów. Baza danych mapy numerycznej opiera się na tabelach przechowujących informacje, które są wykorzystywane w procesie działania programu do potrzebnych działań.

Opis pól tabel mapy numerycznej przedstawia się następująco:

- **Mapa.db** - tabela zawierająca fragmenty skanowanych map, wraz z wartościami współrzędnych geograficznych mapy. Oznaczenie danego fragmentu mapy wymaga wprowadzenia czterech wartości opisujących dwa wierzchołki mapy: górny lewy, oraz dolny prawy wierzchołek. Fragmenty mapy powinny mieć rozmiary najmniejszych sektorów siatki geograficznej mapy skanowanej,
- **Punkty.db** - tabela przechowująca dane dotyczące punktów mapy numerycznej. Punkty rysowane są z rozróżnieniem na: miasta, wsie, punkty skupu, oraz punkty charakterystyczne, takie jak: zakrzywienia drogi oraz skrzyżowania dróg. Z tabeli korzysta pośrednio tabela *drogi.db*,
- **Drogi.db** - tabela zawierająca dane zawierające położenie oraz rodzaje dróg. W tabeli każdy odcinek drogi przedstawiany jest jako punkt początkowy i punkt końcowy. Między tymi punktami rysowany jest odcinek o właściwościach pobranych z tabeli. Wszystkie punkty w tabeli *Drogi.db* muszą być najpierw wprowadzone do tabeli *Punkty.db* skąd są wprowadzane do tabeli dróg jako punkty początkowe i końcowe,
- **dl.db** - tabela zawierająca wartości długości geograficznych, wraz z odpowiadającymi im wartościami odległości w pikselach. Dane zawarte w tabeli są wykorzystywane przez program do nadawania odległości od początku układu współrzędnych  $x$  fragmentom mapy,
- **szer.db** - tabela zawierająca wartości szerokości geograficznych, wraz z odpowiadającymi im wartościami odległości w pikselach. Dane zawarte w tabeli są wykorzystywane przez program do nadawania odległości od początku układu współrzędnych  $y$  fragmentom mapy,
- **skala.db** - w tabeli przechowywany jest obraz podziałki mapy skanowanej w takiej samej rozdzielczości jak inne fragmenty mapy. Pole Km odpowiada wartości pikseli

its was collected, collection points were described, including all the necessary data related to them. The next crucial task was to prepare a map of the area being the interest to us. The map constitutes the plane for the operation of the optimisation system and the precision with which it will be prepared will determine the accuracy with which the distances between the points of the transportation network will be specified. The transport optimisation program will use a numeric map. During work over the subsequent versions of the usage systems for the vehicles participating in transport, many methods of map creation were prepared. A proprietary method of a digital map preparation was used in the presented system, based on scanning of road map fragments. The maps were saved on disks as bitmaps (\*.bmp). The data derived from map fragments were inputted to the data base of the numeric map. The numeric map presents all the points and roads in the form of records. Presentation of the map as the set of records allows for a quick access to information, easy adding, edition or removal of items. Each record included in the data base contains information related to the location of points and roads of the map, their names and types. The data base of the numeric map is based on charts storing information, which is used in the process of the program operation for the necessary computations.

The description of chart fields of the numeric map is as follows:

- **Mapa.db** – the chart encompassing fragments of scanned maps, including geographical co-ordinates of the map. Marking of any fragment of the map requires input of four values describing two apexes of a map: top left, and bottom right apex of a map. The map fragments should be of the size of the smallest geographical grid sectors of the scanned map,
- **Punkty.db** – the chart storing data related to the points of the numerical map. The points are drawn with differentiation into: towns, villages, collection points, and landmarks such as: road turns and crossroads. This chart is used directly by the *drogi.db* chart,
- **Drogi.db** – the chart containing data including the location and types of roads. Each road section in the chart is presented as the starting point and the finishing point. The section, of the qualities derived from the chart, is drawn between these two points. All the points in the *Drogi.db* chart must be first inputted to the *Punkty.db* chart from where they are inputted to the road chart as the starting and finishing points,
- **dl.db** – the chart containing values of geographical longitude, including the relevant values of distance in pixels. The data included in the chart are used by the program to set distances  $x$  from the beginning of the co-ordinate system to the map fragments,
- **szer.db** – the chart including values of geographical latitude, including the relevant distance values in pixels. The data included in the chart are used by the program to set distances  $y$  from the beginning of the co-ordinate system to the map fragments,
- **skala.db** – the chart stores image of the map scale scanned in the same resolution as all other map fragments. The Km field corresponds to the pixel value equivalent to the distance of one kilometre of the scanned map.

przypadającej na odległość jednego kilometra mapy skanowanej.

Aby program mógł tworzyć mapę numeryczną z fragmentów map skanowanych a następnie wyświetlać je prawidłowo na ekranie, należało wprowadzić dwa układy współrzędnych: układ współrzędnych geograficznych oraz układ współrzędnych numerycznych.

- Układ współrzędnych geograficznych jest wykorzystywany przy wprowadzaniu nowych fragmentów mapy skanowanej do bazy danych programu. Przy wprowadzaniu nowego fragmentu mapy należy podać cztery wartości współrzędnych geograficznych opisujących dany fragment mapy skanowanej. Wartości współrzędnych geograficznych są wykorzystywane dalej przez program przy ustalaniu współrzędnych mapy numerycznej.
- Układ współrzędnych numerycznych wykorzystywany jest do ustalania współrzędnych punktów mapy numerycznej. Najmniejszą wartością układu współrzędnych jest jeden piksel.

Zaletą opisanego programu tworzenia mapy cyfrowej jest prosty sposób obsługi oraz konieczność posiadania jedynie skanera, który jest dzisiaj sprzętem ogólnie dostępnym.

Dalszy etap działania systemu logistycznego polega na uruchamianiu kolejnych procedur wykonujących poszczególne czynności optymalizacyjne. Procedura transportowa ma za zadanie przyporządkowanie mas zgłoszonych w danych punktach nadania poszczególnym pojazdom. Do uruchomienia procedury potrzebne są informacje zgromadzone w bazie danych dotyczące masy owoców przygotowanych w poszczególnych punktach nadania, ilości punktów nadania, liczby środków transportu dostępnych danego dnia, ładowności każdego z użytych środków i ich jednostkowych kosztów transportu. Schemat blokowy działania procedury transportowej przedstawiony został na rysunku 1.

#### 4. Przykład obliczeniowy

Przemieszczanie produktów pochodzenia rolniczego jest procesem bardzo złożonym i wymagającym szczególnej troski. Ogromna ich różnorodność wymaga zróżnicowanego podejścia do zagadnienia ich przemieszczania, wymusza opracowanie różnych technologii przewozu, zastosowanie różnych środków transportowych i różnych metod zarządzania procesem przewozowym. Ze względu na specyfikę malin stwierdzono potrzebę opracowania systemu optymalizacji pracy pojazdów ciężarowych biorących udział w przemieszczaniu tych owoców.

Przedstawiona metoda może być wykorzystywana do planowania tras przejazdów środków transportu przemieszczających owoce miękkie zgodnie z określonym kryterium celu, którym może być np. minimalizacja kosztów, czasu, czy nakładów energetycznych. W prezentowanym systemie uznano, że minimalizowana będzie długość tras przejazdu środków transportu biorących udział w realizacji zadania przewozowego. Przyjęcie takiej funkcji celu prowadzi w praktyce również do minimalizacji kosztów, czasu, oraz nakładów energetycznych. Mniej przejechanych kilometrów to mniej zużytego paliwa i innych materiałów eksploatacyjnych, zmniejszone zużycie techniczne pojazdów, krótszy czas pracy kierowcy a więc i obniżenie ponoszonych kosztów. Dokonując rozdziału środków transportu, na podstawie analiz symulacyjnych dla każdego dnia okresu skupu, można podjąć decyzję dotyczącą ich zakupu lub wynaj-

For the program to be able to create a numeric map from the scanned map fragments and then display them correctly on the screen, there was a necessity to introduce two co-ordinate systems: a geographic co-ordinate system and a numeric co-ordinate system.

- The geographical co-ordinate system is used when inputting new scanned map fragments to the program data base. There should be inputted four values of geographical coordinates when inputting a map fragment, depicting a given fragment of a scanned map. Geographical co-ordinate values are used further by the program when setting the numeric map co-ordinates.
- The numeric co-ordinate system is used to set point coordinates on the numeric map. The smallest value of the co-ordinate system is a pixel.

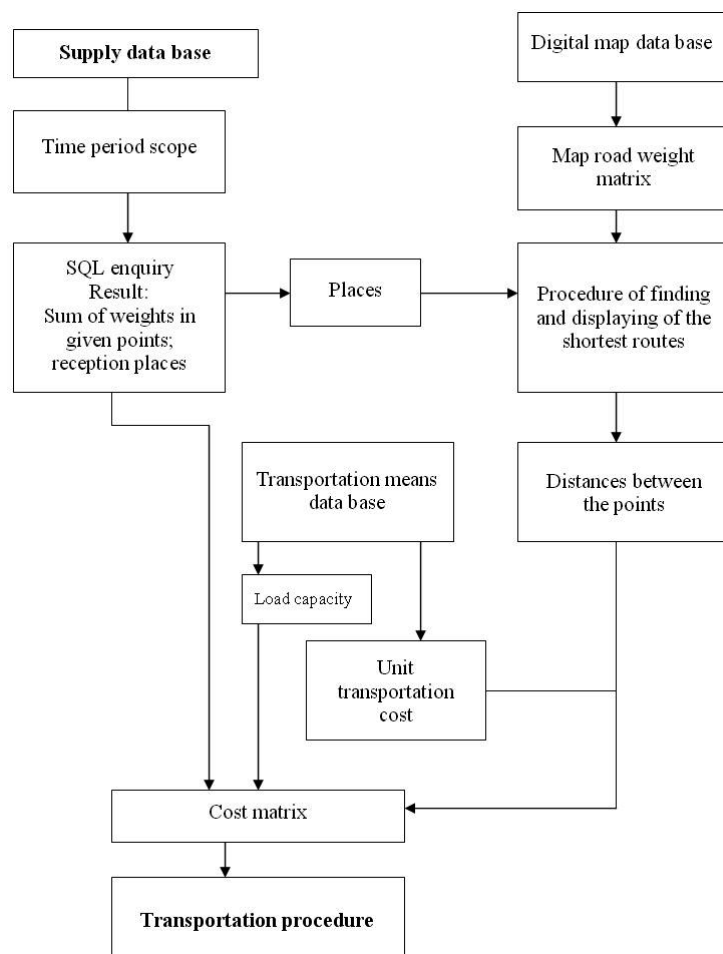
An advantage of the described program for creating digital maps is the simplicity of operating requiring only a scanner, which is a generally available device nowadays.

A further stage of a logistic system operation is based on launching subsequent procedures for executing particular optimising actions. Transport procedure aims at assigning weights indicated in the collection points to particular vehicles. To launch the procedure the necessary data are collected in the data base related to the fruit weight ready in particular starting points, number of starting points, number of transportation means available each day, load capacity of each of the means used and their unit transportation costs. The block diagram of the transportation procedure operation is presented in the figure 1.

#### 4. A computation example

Transportation of agricultural products is a very complex process, requiring particular care. Enormous variety requires varied approaches to the issue of their relocation, forces preparation of various technologies of delivery, application of various transportation means and various management methods for the transportation process. Due to the specifics of raspberries, a need was found to prepare an optimisation system for trucks participating in relocation of this fruit.

The presented method may be used for planning routes of the transportation means relocating soft fruits according to the specified target criterion, which may be e.g. cost, time, or energy consumption minimising. It was assumed in the presented system that the length of driven routes will be minimised for the transportation means participating in the delivery task. Assuming such a target function leads in practice to minimising costs, time, and energy consumption. A lower number of kilometres driven means less consumed fuel and other operating materials, decreased technical wear of vehicles, shorter drivers' work time, and thus a decrease of the costs spent. Dividing transportation means, on the basis of simulation analysis for each day of purchasing period, a decision can be made to purchase or rent vehicles i.e. to specify transportation self-sufficiency of an enterprise.



Rys. 1. Schemat blokowy działania procedury transportowej

Fig. 1. The block diagram of transportation procedure operation

mu, czyli określenia samowystarczalności transportowej przedsiębiorstwa.

Badania prowadzono w chłodni w Motyczu koło Lublina, która posiadała sieć punktów skupu zlokalizowanych w centralnej części województwa lubelskiego. Maliny są owocami, które wymagają szczególnego traktowania w całym procesie ich pozyskiwania, od zbioru do dostarczenia do zakładu przetwórczego. Są bardzo delikatne, dlatego wymagają stosowania specjalnych opakowań. W zakładzie przetwórstwa w Motyczu do transportu tych owoców dopuszczonych jest 9 typów opakowań. Wykonane są one z drewna, plastiku bądź tektury. Dla każdego z opakowań określona jest maksymalna ilość owoców wyrażona w kg jaka może się w nich znaleźć. Przekroczenie tych wielkości skutkowałoby zgnieceniem, a więc uszkodzeniem transportowanych malin. W punktach skupu pozyskujących owoce dla chłodni w Motyczu, najczęściej wykorzystywano lujianki plastikowe, w których mieściło się 2 kg owoców oraz skrzynki  $\frac{1}{2}$ , o pojemności 6 kg. Ze względu na małą trwałość malin odbiór ich od producentów czy też z punktów skupu powinien być realizowany codziennie. Powoduje to, że czasami odstawiane są bardzo niewielkie ilości owoców z poszczególnych punktów skupu, co w znacznym stopniu podraża koszty ich pozyskania. Do ograniczenia tych kosztów prowadzi korzy-

The tests were performed in a cold store in Motycz nearby Lublin, which had a network of collection points located in the central part of Lublin district. Raspberries are fruit, which requires a specific treatment in the whole process of their acquisition, from its gathering to delivery to a processing plant. They are very delicate, thus they require the use of special containers. In the processing plant in Motycz there are nine types of containers acceptable for the transportation of this fruit. These are made of wood, plastic or cardboard. For each container there is a specified maximum quantity of fruit expressed in kg, which can be contained in them. Exceeding of these values would result in crushing and so damaging of the transported raspberries. In the collection points purchasing fruit for the cold store in Motycz, they most often used plastic punnets, which contained 2 kg of fruit and  $\frac{1}{2}$  boxes of 6 kg capacity. Due to a short stability of raspberries, their collection from the producers as well as the collection points should be done every day. This results in the fact that sometimes very small quantities of fruit are delivered from particular collection points, which increases the costs of their acquisition to a remarkable extent. Using a system of optimising the work of the transportation means leads to the limitation of such costs.

stanie w trakcie eksploatacji pojazdów z systemu optymalizującego pracę środków transportu.

W prezentowanym przykładzie użyto dwóch typów środków transportu. Pierwszy to samochód ciężarowy typu STAR 1142T z przyczepą, którego ładowność wynosiła 6700 kg, przyczepy 6000 kg, a pojemność skrzyni ładunkowej odpowiednio 25,5 m<sup>3</sup> i 20,5 m<sup>3</sup>. Drugi typ to Avia A60, którego ładowność wynosi 3300 kg a pojemność skrzyni ładunkowej 17,2 m<sup>3</sup>. Samochody jeździły ze średnią prędkością 50 km/h. Jako maksymalny czas pracy przyjęto 13 h., w który wliczono także czas załadunku i rozładunku środków transportu.

5. Wyniki badań

Symulacja została przeprowadzona w oparciu o dane pochodzące z dnia 9 lipca 1999 roku. O wyborze danych z tego okresu zdecydował fakt, że w roku 1999 przedsiębiorstwo skupowało najwięcej malin, w kolejnych latach ilość skupowanych owoców była coraz mniejsza. Uznano, że weryfikacja systemu powinna zostać przeprowadzona dla maksymalnie rozbudowanej sieci transportowej.

W analizowanym dniu w przewozach uczestniczyły 4 pojazdy, dwa typu STAR i dwie Avie. Trzy z nich wykonały po jednym kursie a jeden STAR dwa. Na rys. 2 przedstawiono tabelę wyników wygenerowaną przez program optymalizacyjny, w której znalazły się informacje o trasach wykonanych

In the presented example two types of transportation means were used. The first one was a truck STAR 1142T type with a trailer, which had the load capacity of 6700 kg, and the trailer 6000 kg, and the volume of the cargo space respectively 25.5 m<sup>3</sup> and 20.5 m<sup>3</sup>. The second type was Avia A60, which had the load capacity of 3300 kg and the volume of the cargo space 17.2 m<sup>3</sup>. The vehicles drove with an average speed of 50 km/h. 13 hours was assumed to be the maximum working time, which included loading and unloading of the transportation means.

5. The test results

The simulation was done on the basis of the data from 9th July 1999. The selection of this period was dictated by the fact that in 1999 the enterprise purchased the largest quantities of raspberries, in the subsequent years the quantity of purchased fruit was ever smaller. It was assumed that the verification of the system should be done for the maximally extensive transportation network.

In the analysed day, 4 vehicles participated in transportation, two STAR type and two Avia's. Three of them did one run each and a STAR two runs. Figure 2 shows the result chart generated by the optimisation program, which includes information of routes done by the particular vehicles. Depicted

Nr	Data	Nr pojazdu	Czas pracy	Czas jazdy	Rodzaj towaru	Masa netto	Masa	Ilość kilometrów	Miejsca w kolejności odbioru towaru
2612	1999-07-09	2	01:06	00:06	Malina	2805	3300	6	Motycz : baza transportowa, Kozubszczyzna
2613	1999-07-09	4	05:29	02:29	Malina	6970	8200	137	Motycz : baza transportowa, Bogucin, Wier
2614	1999-07-09	5	03:24	02:44	Malina	1030	1212	150	Motycz : baza transportowa, Polichnia, Wie
2615	1999-07-09	7	07:18	04:28	Malina	10200	12000	223	Motycz : baza transportowa, Liszno, Krynica
2616	1999-07-09	7	05:23	02:43	Malina	6977	8208	136	Motycz : baza transportowa, Sieprawki, Jak

Miejsce	Masa netto	Masa	Czas_zaladunku
Liszno	4414	5193	01:10
Krynica	3695	4347	01:00
Polichnia	2091	2460	00:40

Rys. 2. Zestawienie kursów pojazdów zaplanowanych dla przykładowego dnia  
 Fig. 2. List of vehicle runs planned for the day in the example

przez poszczególne pojazdy. Uwzględniono informacje o: numerze kursu, dacie realizacji, numerze pojazdu, czasie pracy (w którym uwzględniono również czasy załadunku i rozładunku), czasie jazdy, rodzaju towaru, masie netto i brutto przewożonego ładunku, ilości przejechanych kilometrów i punktach z których odebrano owoce. Każdy z kursów można zaznaczyć, wówczas uzyskujemy szczegółowe informacje o jego przebiegu przedstawione w tabelce w dolnej części ekranu.

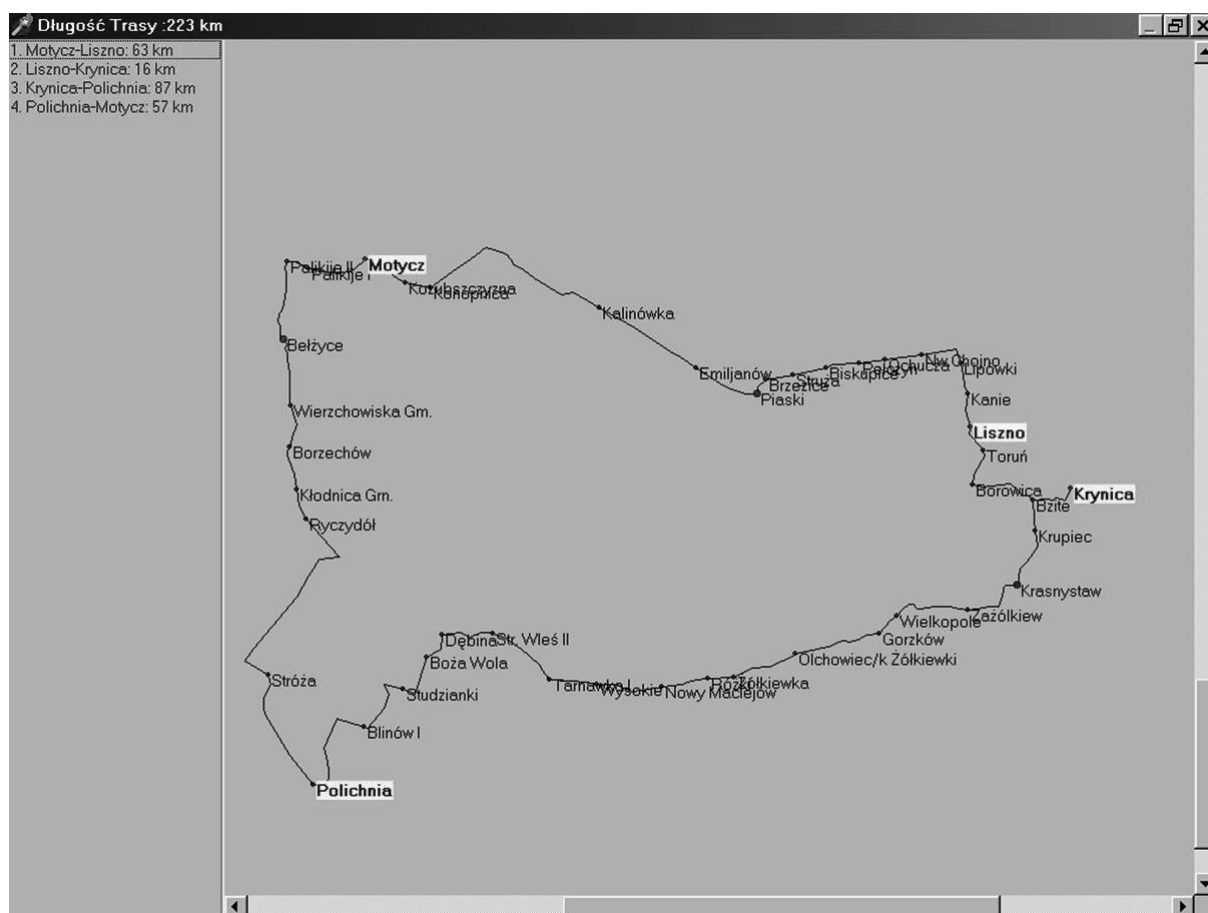
Szczegółowej analizie poddano kurs nr 2615 realizowany przez pojazd o numerze 7, STAR 1142T z przyczepą. Rzut ekranu z mapą obrazującą przebieg tego kursu przedstawiono na rysunku 3.

Algorytm funkcjonowania programu obliczeniowego został przedstawiony w pracy Marczyka [6]. Oparty jest on na 6 procedurach analiz, które realizują kolejno czynności zmierzające do uzyskania rozwiązania optymalnego prezentowanego w opracowaniu.

information of the: run number, accomplishment date, vehicle number, work time (which also included loading and unloading times), driving time, goods type, net and gross weight of the delivered load, number of kilometres driven and the points from which the fruit was collected. Each of the runs may be marked and then the detailed information about its course is displayed in a chart in the lower part of the screen.

The run No. 2615 done by the vehicle numbered 7, STAR 1142T with a trailer was the subject of a detailed analysis. The screen image with the map representing the course of this run was shown in figure 3.

The algorithm of the computation program functioning was presented in the work of Marczyk [6]. It is based on 6 analysis procedures, which execute sequentially actions intending to achieve the optimal solution presented in this elaboration.



Rys. 3. Wizualizacja kursu 2615 samochodu STAR 1142T przewożącego maliny

Fig. 3. The visualisation of the run No. 2615 of STAR 1142T vehicle carrying raspberries

## 6. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono system optymalizacji pracy środków transportu przemieszczających świeże maliny. Działanie systemu zostało zweryfikowane na przykładzie skupu tych owoców prowadzonego przez chłodnię w Motyczu k/Lublina. Przedstawiono wyniki optymalizacji dla przykładowego dnia. Wszelkie informacje na ten temat zamieszczono na dwóch rzu-

## 6. Summary

This elaboration presented the system of optimisation of work for the transportation means delivering fresh raspberries. The performance of the system was verified on the example of the purchasing of this fruit by the cold store in Motycz nearby Lublin. The optimisation results were presented for the day in the example. All the relevant information was shown in two



tach ekranów (tabela i mapka). Po przeanalizowaniu wyników dla całej akcji skupu malin w badanym roku okazało się, że ilość kilometrów, jaką pojazdy przebyły w rzeczywistości jest o 9% wyższa od optymalnej, wynikającej z symulacji.

Poszerzając analizę o badania prowadzone wcześniej w Katedrze Maszyn i Urządzeń Rolniczych UP w Lublinie można wyciągnąć wnioski, że oszczędności, jakie przynosi zastosowanie komputerowego systemu optymalizacyjnego zależą od stopnia rozbudowania zadania transportowego. Im większa jest przewożona masa, im więcej jest punktów nadania i odbioru masy i im więcej samochodów uczestniczy w procesie przewozowym, tym większym błędem obciążone są decyzje dyspozytora sporządzającego harmonogramy pracy pojazdów i większe efekty przynosi zastosowanie proponowanego systemu. Błąd dyspozytora oceniany jest różnicą między ilością przejechanych kilometrów wynikających z jego decyzji a ilością kilometrów uzyskanych w wyniku symulacji komputerowej.

screen images (a chart and a map). After analysing the results for the whole campaign of raspberry purchasing in the tested year it was found that the number of kilometres that the vehicles drove in reality is 9% higher than the optimal one resulting from the simulation.

Extending the analysis to the tests run before in the Cathedral of Agricultural Machines and Devices, at Life Sciences University in Lublin, conclusions may be drawn that the savings brought by the use of a computer optimisation system depend on the level of complexity of the transportation task. With greater delivery weight, increased collection and reception points and the more vehicles participating in the process, there is an increased probability of a dispatcher error in decision making with regards to preparing schedules of vehicle work and the more effects will be brought by the application of the suggested system. The dispatcher's error is evaluated by the difference between the number of kilometres driven on the basis of his decisions and the number of kilometres achieved in the result of a computer simulation.

## 7. Literatura

1. Całczyński A. Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku. Warszawa: PWE, 1992.
2. Chłopek Z. Ecological aspects of using bioethanol fuel to power combustion engines. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2007; 3(35): 65-68.
3. Dzieniszewski G., Krzaczek P. The economic and ecological aspects of driving city buses with CNG gas on an example of Rzeszów. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2007; 1(33): 6-12.
4. Jaskólski J., Mikoda P., Łasocha J. Ecology from EGR. *Journal of Kones powertrain and transport*. 2008; Vol.15, No. 4: 197-202.
5. Maciąg A., Olszewski W. Dynamics of oil oxidation in bi-fuel engine (petrol+LPG) on the grounds of its spectrum. *Journal of Kones powertrain and transport*. 2008; Vol.15, No. 2: 269-275.
6. Marczyk A. Komputerowy system organizacji transportu rolniczego. *Informatyka Stosowana. III Lubelskie Akademickie Forum Informatyczne*. 1999; Lublin: 109-116.
7. Pająk M. Fuzzy model of decision making process. *Journal of Kones powertrain and transport* 2008; Vol.15. No. 2: 319-328.

---

**Dr hab. Andrzej MARCZUK, prof. nadzw. UP**  
Katedra Maszyn i Urządzeń Rolniczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Ul. Głęboka 28, Lublin  
e-mail: andrzej.marczuk@up.lublin.pl

---