

*Jadwiga ZARÓD*

## ZAGADNIENIE TRANSPORTOWE JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE PRZEBIEG KAMPANII CUKROWNICZEJ

### TRANSPORTATION PROBLEM AS A TOOL FOR SUPPORTING SUGAR CAMPAIGN PROCESS

Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Klemensa Janickiego 31, 71-270 Szczecin, e- mail: jzarod@zut.edu.pl

**Summary.** Based on data from the National Association of Sugar Beet Producers and the Sugar Technicians Association were constructed two transport theory models called the transportation problems. These models involved the transport of sugar beet from growers to sugar factory. In the first model, the whole sugar beet harvest was used. The second model was unbalanced. His solution indicated, in which provinces and in what quantities of sugar beet are surpluses over the limit granted to Poland by the European Union for sugar production. The aim of this study was to indicate the best possible distribution of the harvest of sugar beet to sugar factories.

**Słowa kluczowe:** kwoty cukrowe, problem transportowy, produkcja cukru, zbiory buraków cukrowych.  
**Key words:** sugar beet harvest, sugar factories, sugar production, transportation problem.

#### WSTĘP

W literaturze problem transportowy został opisany po raz pierwszy w 1941 r. przez Hitchcocka (1941). Przedstawił on plan przewozu jednorodnego produktu z kilku źródeł zagospodarowania do różnych miejsc zapotrzebowania. Kryterium optymalizacji tego zagadnienia minimalizowało całkowity koszt operacji transportowej. Nadal problem transportowy jest tematem wielu prac naukowych. Oprócz kosztów (Reeb i Leavengood 2002; Potocki 2004; Reszka 2012) minimalizowane są czas przewozu (Gaspars-Wieloch 2011) i odległość od miejsca nadania do punktu odbioru ładunku (Baj-Rogowska 2013) lub maksymalizowana jest wartość produkcji (Anholcer i in. 2011). Podjęto również próby rozwiązania zadań programowania transportowego ze stochastycznymi parametrami (Dolata 2003; Prońko 2012; Biswal i Samal 2013).

Celem tego opracowania jest wskazanie możliwości wykorzystania problemu transportowego w kampanii cukrowniczej. Kampania cukrownicza to wielkie przedsięwzięcie logistyczne. Rozpoczyna się od zbioru buraków, poprzez (niekiedy) pryzmowanie, po czym następuje załadunek i transport buraków do 18 funkcjonujących w Polsce cukrowni. Tylko zorganizowane działania logistyczne mogą zapewnić prawidłowy przebieg całej akcji. Za pomocą zagadnienia transportowego można sporządzić taki plan przewozu buraków, który zminimalizuje koszt i czas dostawy.

## METODA

Główną metodą badawczą pracy jest zagadnienie transportowe (inaczej: problem transportowy). Matematyczny zapis modelu transportowego (Guzik 1993; Trzaskalik 2003) tworzy funkcja celu:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

oraz warunki ograniczające:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i & \text{dla } i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j & \text{dla } j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

gdzie:

- $x_{ij}$  – ilość buraków cukrowych przesłana z  $i$ -tego województwa do  $j$ -tej cukrowni,
- $c_{ij}$  – jednostkowe parametry funkcji celu z punktu nadania  $i$  (województwa) buraków do punktu odbioru  $j$  (cukrowni),
- $a_i$  – ilość buraków cukrowych przeznaczonych do wysłania z  $i$ -tego województwa,
- $b_j$  – ilość buraków cukrowych potrzebna  $j$ -tej cukrowni,
- $m$  – województwa dysponujące zbiorami buraków cukrowych,
- $n$  – cukrownie zgłaszające zapotrzebowanie na buraki cukrowe.

Schemat zagadnienia transportowego przedstawia tab. 1.

Tabela 1. Zagadnienie transportowe przewozu buraków cukrowych

Odbiorca \ Nadawca	1	2	...	18	Wielkość nadanego ładunku
1	$c_{11}$ $x_{11}$	$c_{12}$ $x_{12}$	...	$c_{1\ 18}$ $x_{1\ 18}$	$a_1$
2	$c_{21}$ $x_{21}$	$c_{22}$ $x_{22}$	...	$c_{2\ 18}$ $x_{2\ 18}$	$a_2$
...	...	...	...	...	...
16	$c_{16\ 1}$ $x_{16\ 1}$	$c_{16\ 2}$ $x_{16\ 2}$	...	$c_{16\ 18}$ $x_{16\ 18}$	$a_{16}$
Wielkość zapotrzebowania na ładunek	$b_1$	$b_2$	...	$b_{18}$	

Całkowite rozdysponowanie zbiorów buraków do cukrowni oznacza, że utworzony model jest zbilansowany, czyli:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Jeżeli podaż buraków przewyższa zapotrzebowanie cukrowni, to znaczy:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$$

lub zbiory są za niskie w stosunku do popytu cukrowni na buraki, czyli:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$$

to model transportowy jest niezbilansowany (otwarty) – Glinka (2009). Model otwarty określający „nadmiar” zbiorów buraków cukrowych, w stosunku do zapotrzebowania cukrowni w Polsce, można sprowadzić do modelu zbilansowanego poprzez uwzględnienie dodatkowej fikcyjnej 19 cukrowni. Zapotrzebowanie tej cukrowni na buraki byłoby równe limitowi przyznanemu Polsce przez UE na produkcję cukru, czyli:

$$b_{19} = \sum_{i=1}^{16} a_i - \sum_{j=1}^{18} b_j$$

## DANE SUROWCOWO-PRODUKCYJNE

Do badań wykorzystano dane GUS dotyczące zbiorów buraków cukrowych we wszystkich województwach (GUS 2014) w roku 2013 oraz informacje Stowarzyszenia Techników Cukrowników (STC 2014) i Krajowego Związku Plantatorów Buraka Cukrowego (KZPBC 2014), dotyczące kampanii cukrowniczej 2013/2014. W Polsce funkcjonuje 18 cukrowni należących do 4 koncernów: Krajowej Spółki Cukrowej S.A (KSC), Sudzucker Polska S.A., Pfeiffer und Langen Polska S.A., Nordzucker Polska S.A. Tabela 2 zawiera dane surowcowo-produkcyjne z podziałem na poszczególne cukrownie i koncerny.

Tabela 2. Dane surowcowo-produkcyjne dotyczące kampanii cukrowniczej 2013/2014 w Polsce

Cukrownie	Areał kontraktacji [tys. ha]	Liczba plantatorów	Plon buraków [t · ha <sup>-1</sup> ]	Przerób buraków [tys. t]	Limit cukru [tys. t]
Dobrzelin	7,6	2541	55,2	421	64,813
Kluczewo	10,9	670	63,0	689	77,409
Krasnystaw	16,3	4249	51,8	843	115,168
Kruszwica	13	3138	65,6	856	90,063
Malbork	8,4	855	66,9	563	60,204
Nakło	6,8	1421	66,4	452	49,281
Werbkowice	13	3287	55,4	720	92,694
<b>KSC</b>	<b>76</b>	<b>16 161</b>	<b>59,7</b>	<b>4544</b>	<b>549,632</b>
Cerkiew	8,6	1204	70,9	611	76,770
Ropczyce	8,0	2162	59,4	476	77,570
Strzelin	10,6	1490	65,4	691	84,770
Strzyżów	4,6	1067	62,2	286	49,580
Świdnica	6,9	840	64,5	448	63,180
<b>Sudzucker<sup>a</sup></b>	<b>38,7</b>	<b>6763</b>	<b>64,5</b>	<b>2512</b>	<b>351,870</b>
Gliniojeck	21,7	3876	56,4	1168	161,158
Gostyń	9,4	1835	57,3	586	67,800
Miejska Górka	9,2	1822	51,8	457	64,891
Środa	11,1	2100	63,0	731	77,772
<b>Pfeifer &amp; Langen</b>	<b>51,4</b>	<b>9633</b>	<b>59,1</b>	<b>2942</b>	<b>371,621</b>
Chełmża	9,2	1624	66,9	619	66,040
Opalenica	9,3	1521	66,6	616	66,445
<b>Nordzucker</b>	<b>18,5</b>	<b>3145</b>	<b>66,8</b>	<b>1235</b>	<b>132,50</b>
Ogółem	184,8	35 702	60,8	11 233	1405,60

<sup>a</sup> W przypadku koncernu Sudzucker dane dotyczące przerobu buraków są szacunkowe.  
Źródło: opracowano na podstawie danych STC (2014).

W roku 2013 zbiory buraków cukrowych w Polsce wynosiły 11 234,3 tys. t. Cukrownie wykazały przerób niższy o 1,3 tys. t. Różnica ta wynika zapewne ze strat powstałych podczas transportu czy składowania buraków. Obciążono nią wszystkie cukrownie, proporcjonalnie do wielkości przerobu. Ogółem w kampanii cukrowniczej 2013/2014 wyprodukowano 1778,4 tys. t cukru, co oznacza, że o 372,8 tys. t przekroczono limit (kwotę cukrową) przyznany Polsce przez Unię Europejską. Średnia wydajność cukru wynosiła 15,83%. Zgodnie z założeniami wspólnej polityki rolnej ilość cukru przekraczająca kwotę cukrową może być wyeksportowana poza granicę UE (w ograniczonych ilościach), zużyta na cele niespożywcze lub wliczona w kolejną kampanię cukrowniczą.

Brak informacji na temat kosztów, czasu transportu czy odległości pomiędzy plantatorami buraków cukrowych a cukrowniami zastąpiono wagami. Uprawom znajdującym się w tym samym województwie co cukrownie przypisano wartość 1 (jednostkowy parametr funkcji celu), a w województwie sąsiadującym – 2. W miarę oddalania się plantacji od cukrowni wagi przyjmowały wartości równe kolejnym liczbom naturalnym. W ten sposób zapewniono rozdysponowanie zbiorów do punktów odbioru położonych najbliżej miejsca ich uprawy.

## ROZWIĄZANIA OPTYMALNE MODELI TRANSPORTOWYCH

Na podstawie zebranych danych zbudowano dwa modele transportowe. Pierwszy model zakładał pełne rozdysponowanie buraków cukrowych od plantatorów reprezentowanych przez województwa do 18 działających w Polsce cukrowni. Drugi model był niezbilansowany, gdyż uwzględniał tylko przerób buraków wynikający z limitu przyznanego Polsce przez UE na produkcję cukru. W obu rozwiązaniach otrzymano sieć dystrybucji buraków oraz wartości funkcji celu gwarantujące najkorzystniejsze rozdysponowanie zbiorów. Ze względu na przyjęte wagi osiągnięte wartości funkcji celu (13613,42 i 9681,32) nie mają praktycznego znaczenia, posłużyły jedynie do uzyskania rozwiązania optymalnego. Wyniki rozwiązania pierwszego modelu przedstawia tab. 3.

Z informacji zawartych w tab. 3 wynika, iż zbiory buraków uzyskane w poszczególnych województwach zostały rozdysponowane do cukrowni położonych jak najbliżej miejsca plantacji. Warunki ograniczające zapewniły odbiór ładunków równy przerobowi buraków zarówno przez cukrownie, jak i koncerny.

W modelu niezbilansowanym zbiory buraków nie uległy zmianie, natomiast możliwości ich odbioru zmniejszyły się do wielkości wynikających z kwoty cukrowej. Podaż buraków przewyższająca popyt w rozwiązaniu optymalnym (tab. 4) została określona jako nadmiar.

Rozwiązanie optymalne modelu niezbilansowanego zachowuje limity, dotyczące produkcji cukru, przyznane poszczególnym koncernom (KZPBC 2014). Limity te przedstawia ryc.1.

Tabela 3. Rozwiązanie zbilansowanego modelu transportowego buraków cukrowych

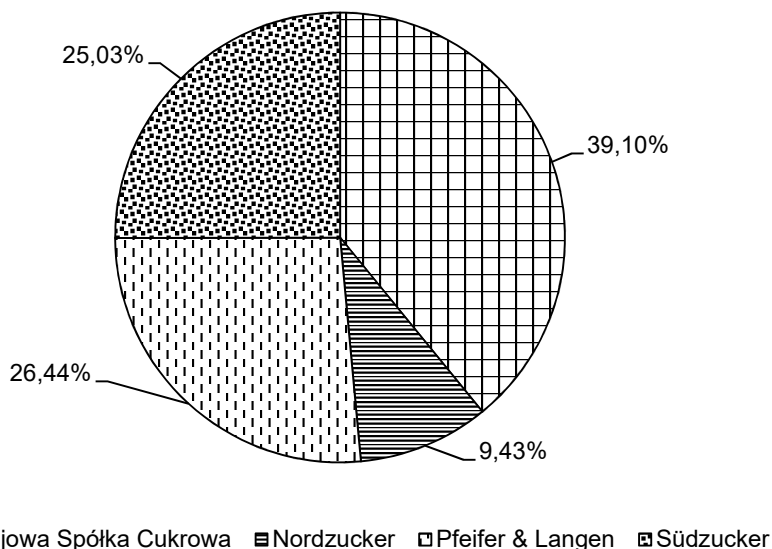
Nadawca – województwo	Ilość przyznana [tys. t]	Odbiorca – cukrownie	Ilość odebrana [tys. t]
Dolnośląskie	948,1	Świdnica	257,02
		Strzyżów	691,08
Kujawsko-pomorskie	2246,4	Kruszwica	856,10
		Nakło	452,05
		Chełmża	619,07
		Głinojeck	319,18
Lubelskie	1851,3	Ropczyce	2,09
		Werbkowice	720,08
		Strzyżów	286,03
		Krasnystaw	843,10
Lubuskie	75,8	Kluczewo	1,42
		Świdnica	74,38
Łódzkie	301,0	Dobrzelin	259,77
		Głinojeck	41,23
Małopolskie	64,9	Ropczyce	64,90
Mazowieckie	601,3	Głinojeck	601,30
Opolskie	790,5	Świdnica	116,62
		Cerkiew	611,07
		Dobrzelin	62,78
Podkarpackie	212,7	Ropczyce	212,70
Pomorskie	596,9	Kluczewo	33,83
		Malbork	563,07
Śląskie	98,5	Dobrzelin	98,50
Świętokrzyskie	232,4	Ropczyce	196,37
		Głinojeck	36,03
Warmińsko-mazurskie	170,4	Głinojeck	170,40
Wielkopolskie	2450,7	Kluczewo	59,93
		Opalenica	616,07
		Gostyń	586,07
		Środa	731,08
		Miejska Górka	457,05
Zachodniopomorskie	593,9	Kluczewo	593,90

Źródło: obliczono za pomocą programu komputerowego QS (Quant Systems).

Tabela 4. Rozwiązanie niezbilansowanego modelu transportowego buraków cukrowych

Nadawca – województwo	Ilość przyznana [tys. t]	Odbiorca – cukrownie	Ilość odebrana wynikająca z kwoty cukrowej i nadmiar [tys. t]
Dolnośląskie	948,1	Świdnica	399,11
		Strzyżów	535,50
		nadmiar	13,49
Kujawsko-pomorskie	2246,4	Kruszwica	568,94
		Nakło	311,31
		Chełmża	417,18
		Głinojeck	1,36
		nadmiar	947,61
Lubelskie	1851,3	Ropczyce	212,42
		Werbkowice	583,56
		Strzyżów	313,20
		Krasnystaw	727,53
		Głinojeck	12,59
Lubuskie	75,8	nadmiar	75,8
Łódzkie	301,0	Dobrzelin	301,00
Małopolskie	64,9	Ropczyce	64,90
Mazowieckie	601,3	Głinojeck	601,30
Opolskie	790,5	Cerkiew	484,96
		nadmiar	305,54
Podkarpackie	212,7	Ropczyce	212,70
Pomorskie	596,9	Malbork	380,31
		nadmiar	216,59
Śląskie	98,5	nadmiar	98,50
Świętokrzyskie	232,4	Głinojeck	232,40
Warmińsko-mazurskie	170,4	Głinojeck	170,40
Wielkopolskie	2450,7	Opalenica	419,74
		Gostyń	428,30
		Środa	491,29
		Miejska Górka	409,92
		Dobrzelin	109,43
		nadmiar	592,52
Zachodniopomorskie	593,9	Kluczewo	489,00
		nadmiar	104,90

Źródło: obliczono za pomocą programu komputerowego QS (Quant Systems).



Ryc.1. Udział koncernów w kwocie cukrowej  
 Źródło: opracowano na podstawie danych KZPCB.

Z rozwiązania wynika, że w województwach lubelskim, łódzkim, małopolskim, mazowieckim, świętokrzyskim i warmińsko-mazurskim cały zbiór został przekazany do cukrowni. W pozostałych województwach, aby nie przekroczyć kwoty cukrowej, należałoby ograniczyć uprawę buraków cukrowych, a nawet jej zaniechać w województwach lubuskim i śląskim.

Komisja Europejska zapowiedziała zniesienie limitowania produkcji cukru w roku 2017. Nie rozwiąże to problemów związanych z transportem buraków. W przypadku buraków kontraktowanych cukrownie będą zobowiązane do ich pełnego wykupu. Wśród plantatorów zniesienie kwot cukrowych budzi obawy, ponieważ równocześnie przestaną obowiązywać tzw. płatności cukrowe, które w znacznym stopniu decydują o opłacalności uprawy buraków cukrowych. Ograniczenie uprawy buraków cukrowych może spowodować niepełne wykorzystanie mocy przerobowych cukrowni. W obu przypadkach do skrócenia czasu i obniżenia kosztów transportu będzie można nadal wykorzystywać zagadnienie transportowe.

## PODSUMOWANIE

W kampanii cukrowniczej 2013/2014 skupiono 11 233 tys. t buraków cukrowych od 35 702 plantatorów. Buraki te zostały przetransportowane do 18 funkcjonujących w Polsce cukrowni, należących do 4 koncernów. Cukrownie wyprodukowały 1778,4 tys. t cukru, przekraczając kwotę cukrową przyznaną Polsce przez Unię Europejską (1405 tys. t) o 372,8 tys. t.

Informacje te stały się podstawą zbudowania dwóch modeli transportowych. Pierwszy model zakładał pełne rozdysponowanie zbiorów buraków do cukrowni, gdyż nadwyżki cukru mogą być sprzedane do krajów nienależących do UE (w określonych ilościach), przekazane dla przemysłu niezwiązanego z branżą spożywczą lub zaliczone na poczet przyszłej kampanii. Natomiast drugi model uwzględniał ograniczony przerób buraków ze względu na nałożony limit produkcji cukru. W rozwiązaniach optymalnych obu modeli otrzymano sieć dystrybucji buraków cukrowych, gwarantującą przy danych założeniach najkorzystniejsze rozdysponowanie zbiorów

z poszczególnych województw do cukrowni. Ponadto rozwiązanie modelu niebilansowanego wykazało, w których województwach należy ograniczyć uprawę buraków cukrowych lub nawet z niej zrezygnować, aby zmniejszyć koszt transportu i nie przekroczyć kwoty cukrowej.

Likwidacja limitów produkcji cukru w 2017 r. budzi wiele kontrowersji (Mucha 2015). Zostaną zniesienie ceny minimalne na buraki cukrowe oraz mechanizmy zarządzania rynkiem. Producenci cukru i plantatorzy opowiadają się za utrzymaniem kwot produkcyjnych. Ich zdaniem kwoty te gwarantują stabilizację na rynku oraz bezpieczeństwo żywnościowe w Unii Europejskiej. Zwolennicy zniesienia kwot uważają, że likwidacja limitów spowoduje spadek ceny cukru.

Niezależnie od podjętych decyzji zagadnienie transportowe będzie można wykorzystać jako narzędzie wspomagające organizację kampanii cukrowniczej. Zorganizowane na jego podstawie plany przewozów pozwolą, zwłaszcza po uwzględnieniu rzeczywistych jednostkowych kosztów transportu, obniżyć koszt i skrócić czas transportu buraków cukrowych do cukrowni.

Brak znajomości rzeczywistych parametrów funkcji celu nie pozwolił wycenić całej operacji transportowej.

## PIŚMIENNICTWO

- Anholcer M., Gaspars-Wieloch H., Godlewski M.** 2011. Optymalizacja produkcji i dystrybucji mebli, w: *Decyzje logistyczne z Excelem*. Red. M. Szymczak. Warszawa, Difin, 103–139.
- Baj-Rogowska A.** 2013. Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver, jako zadanie logistyczne w małej firmie. *Pr. Nauk. WSB Gdań.* 28, 169–178.
- Biswal M.P., Samal H.K.** 2013. Stochastic transportation problem with cauchy random variables and multi choice parameters. *J. Phys. Sci.* 17, 117–130.
- Dolata M.** 2003. Wielokryterialna optymalizacja działalności dystrybutora w warunkach niepewności. *Infor. Teoret. Stos.* 3(5), 103–114.
- Gaspars-Wieloch H.** 2011. Zagadnienie transportowe z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów, w: *Decyzje logistyczne z Excelem*. Red. M. Szymczak. Warszawa, Difin, 13–25.
- Glinka M.** 2009. *Elementy badań operacyjnych w transporcie*, wyd. II. Radom, Wydaw. PRadom.
- GUS.** 2014. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2013*, [www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/rs\\_rocznik\\_rolnictwa/](http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/rs_rocznik_rolnictwa/), dostęp: 02.06.2015.
- Guzik B.** 1993. *Ekonometria i badania operacyjne*. Poznań, Wydaw. AE.
- Hitchcock F.L.** 1941. The distribution of a product from several sources to numerous localities. *MIT J. Mathem. Phys.* 20, 224–230.
- KZPBC.** 2013. Rynek cukru w Polsce, <http://kzpsc.com.pl/rynek-cukru-w-polsce,23.pl.html>, dostęp: 11.06.2015.
- Mucha M.** 2015. Branża cukrownicza w Polsce – podsumowanie 10 lat w UE, <http://www.stc.pl/aktualnosci.php?d=89b>, dostęp: 04.02.2016.
- Potocki T.** 2004. Optymalizacja kosztów przebudowy portfela jako zadanie transportowe. *Zesz. Nauk. USzczec.*, Ser. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia 2, 455–466.
- Prońko R.** 2012. Zastosowanie klasycznego algorytmu genetycznego do rozwiązania zbilansowanego zagadnienia transportowego. *Stud. Mater. Miscell. Oecon.* 16(2), 305–314.
- Reeb J., Leavengood S.** 2002. *Transportation problem: A special case for linear programming problems*. Oregon, Operations Research.
- Reszka L.** 2012. Optymalizacja wymiany sprzętu jako zadanie logistyczne. *Ekon. Trans. Log.* 42, 189–196.
- STC.** 2014. Wyniki techniczno-produkcyjne osiągnięte w kompanii cukrowniczej 2013/2014 w Polsce, <http://www.stc.pl/aktualnosci.php?d=85b>, dostęp: 11.06.2015.
- Trzaskalik T.** 2003. *Wprowadzenie do badań operacyjnych w komputerze*. Warszawa, PWN.