

BRONISŁAW KŁAPEĆ

Zastosowanie wieloetapowego modelu transportowego do ustalenia optymalnej wielkości i lokalizacji składnic drewna

Применение многоэтапной транспортной модели для определения оптимальной величины и локализации складов древесины

The application of multi-stage transportation model for the determination of the optimal size and location of wood depots

W procesie transportu drewna z lasu do odbiorców ważną rolę spełniają składnice. Głównym zadaniem składnic jest czasowe składowanie i konserwacja drewna oraz przygotowanie go do dalszego transportu (1). Spośród kilku rodzajów składnic, szczególną rolę pełnią tzw. składnice manipulacyjno-spedycyjne, które, ogólnie mówiąc, przejmują zadania produkcyjne polegające na manipulacji i wysyłce sortymentów wymagających przewiezienia na znaczne odległości.

W zależności od usytuowania w stosunku do baz surowcowych, kosztów działalności oraz odległości od odbiorców drewna, duże znaczenie może mieć właściwa lokalizacja i wielkość składnic nowo powstających, bądź rozbudowa już istniejących. Na etapie projektowania nowych, bądź rozbudowy już istniejących składnic w aspekcie uzyskania optimum przyjętego kryterium celu, np. minimum łącznych kosztów transportu drewna, można wykorzystać proste metody matematyczne pozwalające podjąć optymalną decyzję. Jedną z metod, która może być efektywnie zastosowana do tego typu zagadnień, jest powszechnie znana metoda programowania liniowego, służąca m. in. do ustalania rozwiązań optymalnych zadań transportowych (2).

Przed przystąpieniem do obliczeń należy skonstruować liniowy model transportowy obejmujący całą masę przewożonego drewna na określonym obszarze działania jednostek administracyjnych Lasów Państwowych i w określonej perspektywie czasu. Do konstrukcji modelu obejmującego transport drewna w przyjętym do analizy okresie (np. 10 lat), są niezbędne m. in. następujące informacje:

a) miejsce i wielkość pozyskiwania drewna w przyjętym okresie z wyodrębnieniem grup sortymentów drewna iglastego i liściastego, drewna przewidzianego jako dostawy bezpośrednie do odbiorców, drewna do sprzedaży loco las i drewna przeznaczonego do składnic;

b) liczba, rodzaj i miejsce zakładów drzewnych (obecnych i w perspektywie), ich zapotrzebowanie na drewno;

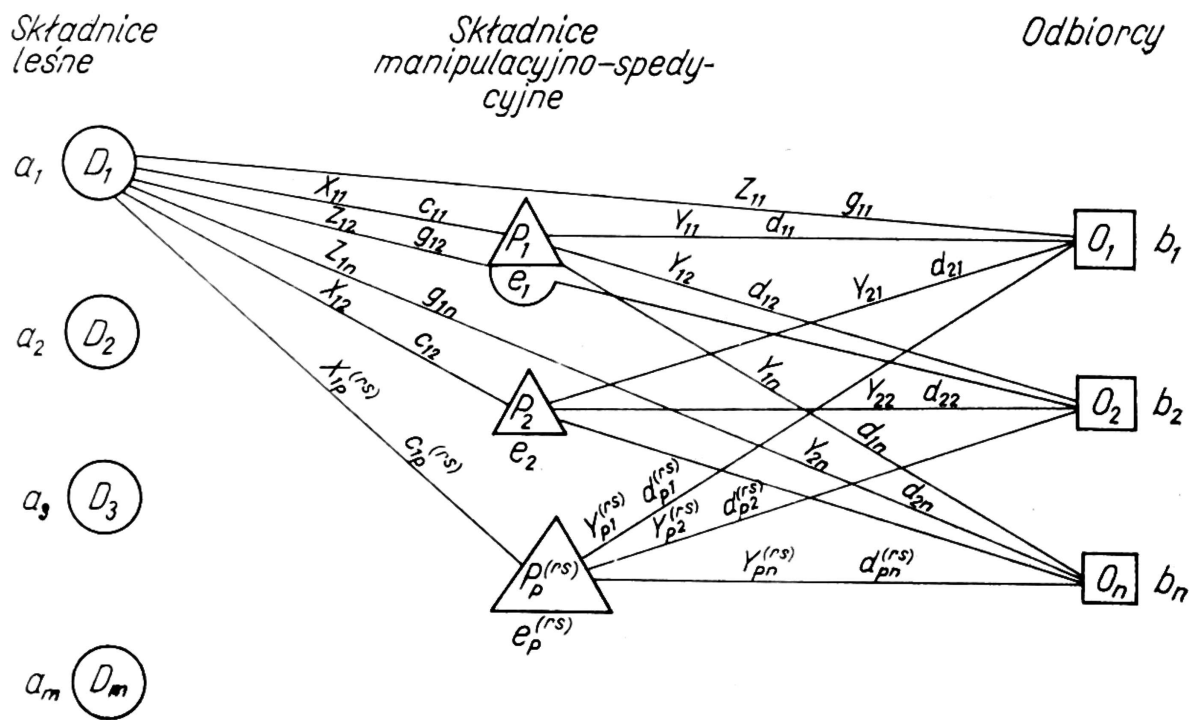
c) liczba, rodzaj i miejsce składnic drewna, ich przepustowość, z uwzględnieniem modernizacji lub likwidacji;

d) miejsca dogodne do założenia składnic, ich możliwa przepustowość i stopień mechanizacji prac;

e) obecna i perspektywiczna sieć dróg własnych i publicznych, linii kolejowych, szlaków wodnych, z uwzględnieniem ich dostępności dla środków transportowych w różnych porach roku;

f) elementy kosztów transportu jednostki (np. 1 m³) drewna na poszczególnych trasach i koszty jednostkowe związane z działalnością składnic, z uwzględnieniem różnic w tych kosztach dla różnych wariantów wielkości nowych składnic.

Przeanalizujemy teraz transportowy model, do którego wprowadzono nową składnicę manipulacyjno-spedycyjną przy różnych wariantach jej lokalizacji i wielkości. Przykładowy schemat graficzny połączeń transportowych modelu wieloetapowego (wielowymiarowego) pomiędzy składnicami leśnymi, składnicami manipulacyjno-spedycyjnymi i odbiorcami finalnymi drewna, przedstawia rycina.



Schemat połączeń transportowych w modelu wieloetapowym

Jak widać na schemacie, składnice manipulacyjno-spedycyjne pełnią w modelach podwójną rolę. Po pierwsze są etapowymi odbiorcami dla drewna dostarczanego do nich, a po drugie są dostawcami drewna wysyłanego z nich. Wobec tego w macierzy modelu transportowego składnice manipulacyjno-spedycyjne są zarówno po stronie odbiorców (w kolumnach), jak i dostawców (w wierszach).

Poszczególne grupy warunków bilansowych modelu transportowego możemy zapisać następująco.

1. Warunki bilansowe dotyczące możliwości wywozu drewna ze składnic leśnych:

$$\sum_{k=1}^m X_{ik} + \sum_{j=1}^n Z_{ij} \leq a_i \quad (1)$$

dla $i = 1, \dots, m$

gdzie:

X_{ik} — zmienne określające wielkość dostaw z i-tej składowicy leśnej do k-tej składowicy manipulacyjno-spedycyjnej; (składowice manipulacyjno-spedycyjne P_1, P_2, \dots, P_{p-1} oznaczają składowice istniejące, natomiast $P_p^{(rs)}$ oznacza składowicę projektowaną przy r-tym wariancie lokalizacji i s-tym wariancie wielkości);

Z_{ij} — zmienne określające wielkość dostaw bezpośrednich z i-tej składowicy leśnej do j-tego odbiorcy;

a_i — możliwość dostaw drewna z i-tej składowicy leśnej.

2. Warunki bilansowe dotyczące możliwości przyjęcia drewna przez składowice manipulacyjno-spedycyjne:

$$\sum_{i=1}^m X_{ik} + S_k = e_k \quad (2)$$

dla $k = 1, \dots, p$

Tabela 1

Macierz zmiennych wieloetapowego modelu transportowego

Odbiorcy Dostawcy		Składowice manipulacyjno-spedycyjne				Odbiorcy				Możliwości dostaw drewna
		P_1	P_2	...	$P_p^{(rs)}$	O_1	O_2	...	O_n	
Składowice leśne	D_1	X_{11}	X_{12}	...	$X_{1p}^{(rs)}$	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1n}	a_1
	D_2	X_{21}	X_{22}	...	$X_{2p}^{(rs)}$	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2n}	a_2
	D_3	X_{31}	X_{32}	...	$X_{3p}^{(rs)}$	Z_{31}	Z_{32}	...	Z_{3n}	a_3
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	D_m	X_{m1}	X_{m2}	...	$X_{mp}^{(rs)}$	Z_{m1}	Z_{m2}	...	Z_{mn}	a_m
Składowice manipulacyjno-spedycyjne	P_1	S_1	S_{12}	...	S_{1p}	Y_{11}	Y_{12}	·	Y_{1n}	e_1
	P_2	S_{21}	S_2	...	S_{2p}	Y_{21}	Y_{22}	·	Y_{2n}	e_2
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	$P_p^{(rs)}$	S_{p1}	S_{p2}	...	$S_p^{(rs)}$	$Y_{p1}^{(rs)}$	$Y_{p2}^{(rs)}$...	$Y_{pn}^{(rs)}$	$e_p^{(rs)}$
Możliwości przyjęcia drewna		e_1	e_2	...	$e_p^{(rs)}$	b_1	b_2	...	b_n	X

gdzie:

S_k — zmienne swobodne, których niezerowe wartości oznaczają wielkość niewykorzystanej przepustowości k -tej składnicy manipulacyjno-spedycyjnej;

e_k — przepustowość k -tej składnicy manipulacyjno-spedycyjnej.

3. Warunki bilansowe dotyczące możliwości dostaw drewna ze składnic manipulacyjno-spedycyjnych do odbiorców:

$$\sum_{j=1}^n Y_{kj} + S_k = e_k \quad (3)$$

dla $k = 1, \dots, p$

gdzie:

Y_{kj} — zmienne określające wielkość dostaw drewna z k -tej składnicy manipulacyjno-spedycyjnej do j -tego odbiorcy.

4. Warunki bilansowe możliwości przyjęcia drewna przez odbiorców:

$$\sum_{i=1}^m Z_{ij} + \sum_{k=1}^p Y_{kj} = b_j \quad (4)$$

dla $j = 1, \dots, n$

gdzie:

b_j — możliwość przyjęcia drewna przez odbiorcę j -tego lub planowane dostawy drewna z danego terenu do odbiorcy j -tego.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na znaki w grupach warunków bilansowych (1) i (4). W przypadku modelu transportowego zbilansowanego (zamkniętego), gdzie „popyt” równa się „podaży”, a więc $\sum_{i=1}^m a_i =$

$\sum_{j=1}^n b_j$, w obu grupach warunków bilansowych powinny występować znaki równości. W przypadku modelu niezbilansowanego (otwartego), gdy „popyt” nie jest równy „podaży”, a więc $\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j$, mogą wystąpić dwie możliwości. Przy pierwszej, gdy:

$\sum_{j=1}^m a_j > \sum_{i=1}^n b_i$, znaki równości należy umieścić w grupie warunków bilansowych (4); przy drugiej zaś, gdy:

$\sum_{j=1}^m a_j < \sum_{i=1}^n b_i$, znaki równości powinny stać w grupie warunków bilansowych (1).

Oczywiście, postać modelu, który merytorycznie ma charakter otwarty, możemy zawsze doprowadzić do formalnej postaci modelu zamkniętego — przez przyjęcie istnienia dodatkowego fikcyjnego dostawcy lub odbiorcy.

Warunki brzegowe modelu będą takie jak w każdym modelu liniowym i będą zapewniać nieujemne wartości zmiennych. A więc:

$$X_{ik} \geq 0; Z_{ij} \geq 0; Y_{kj} \geq 0; S_k \geq 0 \quad (5)$$

Po określeniu warunków bilansowych i warunków brzegowych modelu transportu drewna do jego całkowitej postaci brakuje jeszcze funkcji celu. Jeśli jako kryterium celu przy transporcie drewna przyjęto minimum kosztów, to parametrami funkcji celu poszczególnych zmiennych będą wszystkie składniki kosztów jednostkowych (liczone np. dla 1 m³), dotyczące zarówno transportu jak i działalności składnic manipulacyjno-spedycyjnych. Tak więc parametrami funkcji celu c_{ik} zmiennych X_{ik} będą jednostkowe koszty transportu drewna na trasach: i -ta składnica leśna — k -ta składnica manipulacyjno-spedycyjna. Parametrami funkcji celu g_{ij} zmiennych Z_{ij} będą jednostkowe koszty transportu drewna w relacjach bezpośrednich ze składnic leśnych do odbiorców, a więc bez kosztów związanych z działalnością składnic manipulacyjno-spedycyjnych.

Na parametry funkcji celu zmiennych Y_{kj} składają się jednostkowe koszty transportu drewna na trasach ze składnic manipulacyjno-spedycyjnych do odbiorców (parametry d_{kj}), jak również jednostkowe koszty związane z przejściem drewna przez składnice manipulacyjno-spedycyjne (parametry h_k).

Jeśli przewozy pomiędzy składnicami manipulacyjno-spedycyjnymi uznamy za niedopuszczalne, to parametry funkcji celu dla tych tras przyjmiemy jako M , gdzie M oznacza liczbę o bardzo dużej wartości dodatniej, dotyczącą jednostkowego kosztu przewozu, dzięki czemu zapewnimy, że przewozy na tych trasach do rozwiązania nie wejdą.

Macierz parametrów funkcji celu wieloetapowego modelu transportowego możemy teraz przedstawić jak w tab. 2. Ogólną postać funkcji celu wieloetapowego modelu transportowego możemy więc zapisać następująco.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ik} X_{ik} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} Z_{ij} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n (d_{kj} + h_k) Y_{kj} = \min. \quad (6)$$

Po skonstruowaniu modelu można przystąpić do wyznaczania rozwiązań optymalnych ze względu na przyjęte kryterium celu, przy różnych wariantach lokalizacji danej składnicy manipulacyjno-spedycyjnej (r) i przy różnych wariantach jej wielkości (s). Opracowano wiele algorytmów transportowych, które pozwalają określić jednoznacznie rozwiązanie optymalne modelu. Wartości funkcji celu wynikające z rozwiązań optymalnych, przy różnych wariantach lokalizacji i wielkości składnic, zestawia się i porównuje.

Wśród wprowadzonych do analizy wariantów wybiera się ten, który daje najkorzystniejszą wartość funkcji celu. W przypadku, gdy o wyborze wariantu decydują również inne, nie uwzględnione w funkcji celu kryteria, należy wziąć pod uwagę również warianty o wartościach funkcji celu zbliżonych do optymalnego. Przedstawiony sposób analizy wpływu lokalizacji i wielkości składnic na przykładzie składnicy manipulacyjno-spedycyjnej może być naturalnie wykorzystany w stosunku do innych rodzajów miejsc składowania drewna, które występują w wieloetapowym modelu transportowym. Zasada wprowadzenia do modelu kolejnych wariantów i porównywania wartości funkcji celu pozostaje taka sama.

Wariantowy sposób ustalania optymalnej wielkości i lokalizacji składnic wymaga znacznej ilości pracy rachunkowej. Dlatego też do obliczeń należy wykorzystać komputery, które mają programy transportowe

Macierz parametrów funkcji celu wieloetapowego modelu transportowego

Odbiorcy		Składnice manipulacyjno- -spedycyjne				Odbiorcy			
		P_1	P_2	\dots	$P_p^{(rs)}$	O_1	O_2	\dots	O_n
Dostawcy	D_1	c_{11}	c_{12}	\dots	$c_{1p}^{(rs)}$	g_{11}	g_{12}	\dots	g_{1n}
	D_2	c_{21}	c_{22}	\dots	$c_{2p}^{(rs)}$	g_{21}	g_{22}	\dots	g_{2n}
	D_3	c_{31}	c_{32}	\dots	$c_{3p}^{(rs)}$	g_{31}	g_{32}	\dots	g_{3n}
	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
	D_m	c_{m1}	c_{m2}	\dots	$c_{mp}^{(rs)}$	g_{m1}	g_{m2}	\dots	g_{mn}
Składnice leśne	D_1	c_{11}	c_{12}	\dots	$c_{1p}^{(rs)}$	g_{11}	g_{12}	\dots	g_{1n}
	D_2	c_{21}	c_{22}	\dots	$c_{2p}^{(rs)}$	g_{21}	g_{22}	\dots	g_{2n}
	D_3	c_{31}	c_{32}	\dots	$c_{3p}^{(rs)}$	g_{31}	g_{32}	\dots	g_{3n}
	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
Składnice manipula- cyjno-spedy- cyjne	P_1	O	O	\dots	M	$d_{11} + h_1$	$d_{12} + h_1$	\dots	$d_{1n} + h_1$
	P_2	M	M	\dots	M	$d_{21} + h_2$	$d_{22} + h_2$	\dots	$d_{2n} + h_2$
	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
	$P_p^{(rs)}$	M	M	\dots	O	$d_{p1}^{(rs)} + h_p^{(rs)}$	$d_{p2}^{(rs)} + h_p^{(rs)}$	\dots	$d_{pn}^{(rs)} + h_p^{(rs)}$

i pozwalają w krótkim czasie wyznaczyć rozwiązanie optymalne. Używane obecnie typy komputerów mogą bez większych trudności rozwiązywać modele transportowe obejmujące duże jednostki administracyjne Lasów Państwowych (np. OZLP) bez uciekania się do zbyt daleko idącej agregacji zmiennych. Tak więc poziom techniki obliczeniowej nie powinien stanowić przeszkody w praktycznym stosowaniu omówionych zagadnień rachunku optymalizacyjnego.

Należy zwrócić uwagę, aby modele transportowe obejmujące transport drewna na terenie określonych jednostek były konstruowane w pewnym, dostatecznie długim horyzoncie czasowym. Konieczność ta wynika z faktu, że realizacja wybranego wariantu będzie oddziaływać na efekt działalności tej jednostki przez wiele lat.

Pewną trudność w konstrukcji wieloletnich modeli transportowych może stanowić brak dostatecznie wiarygodnych danych dla lat najbardziej odległych od momentu planowania. Dlatego przewiduje się, że model miał-

by charakter tzw. kroczący, czyli w miarę upływu czasu byłby aktualizowany o zweryfikowane parametry modelu.

Omawiany model transportowy może mieć uniwersalny charakter i może służyć do analizy wszelkich zmian w systemie transportu drewna z lasu do odbiorców. Model taki może służyć do:

a) ustalania optymalnych potoków ładunków dla całej jednostki, z uwzględnieniem kosztów pozyskiwania i transportu drewna;

b) ustalania najlepszych wariantów lokalizacji i wielkości składnic drewna oraz zakładów drzewnych;

c) ustalania i rozdziału zadań transportowych dla przedsiębiorstw transportu leśnego oraz zapotrzebowania na usługi PKP;

d) badania wpływu zagęszczenia sieci dróg leśnych na obniżkę kosztów transportu drewna.

Zbieranie i aktualizację danych potrzebnych do matematycznego modelu transportu drewna można znacznie usprawnić, gdy będzie się dysponować systemem informatycznych leśnictwa, którego jednym z podsystemów jest podsystem „transport drewna”. Wówczas znaczną część niezbędnych parametrów można uzyskiwać automatycznie, z bazy danych, a sam model optymalizacyjny może być tylko integralną częścią tego podsystemu. W związku z tym, chcąc w przyszłości bardziej efektywnie wykorzystywać metody rachunku optymalnego, należy zintensyfikować prace nad rozwojem informatyki w leśnictwie.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić:

1. Istnieją proste metody rachunku optymalnego, które można z powodzeniem wykorzystać do planowania transportu drewna. Jedną z nich jest metoda programowania liniowego.

2. Wieloetapowe modele transportu drewna mogą odzwierciedlać system połączeń transportowych na znacznym obszarze i ujmować zarówno koszty transportu jak i pozyskiwanie drewna.

3. Optymalne rozmieszczenie nowych ogniw (składnic) w systemie transportu drewna można ustalić przez wariantowe wprowadzenie tych ogniw do modelu matematycznego.

4. Poziom techniki obliczeniowej pozwala na rozwiązywanie modeli transportowych obejmujących duże jednostki administracyjne Lasów Państwowych.

5. Należy zwiększyć wysiłki na rzecz opracowania i wdrożenia systemu informatycznego leśnictwa, aby zapewnić m. in. łatwe uzyskiwanie niezbędnych parametrów do modeli optymalizacyjnych. W pracach tych można wykorzystać opracowane już systemy dla innych resortów (np. rolnictwa), ponieważ często mają one charakter uniwersalny.

LITERATURA

1. Kamiński E., Czekerda E. — Składnice drewna w gospodarstwie leśnym. Skrypt AR, Poznań 1972.
2. Kryński H., Badach A. — Zastosowanie matematyki do podejmowania decyzji ekonomicznych. PWN, Warszawa 1976.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 3 października 1977 r.

Краткое содержание

В статье представлен пример возможности применения линейного программирования в лесном хозяйстве в транспортных проблемах связанных с определением оптимальной величины и локализации складов древесины. Представлена концепция строительства многоэтапных транспортных моделей и поиски для них оптимальных решений, при разных вариантах величин (с) и мест локализации (р) новых манипуляционно-экспедиционных складов по отношению к сырьевой базе и потребителям древесины.

Такой вариантный способ требует, правда, большой вычислительной работы на компьютере, но приводит к однозначному определению оптимального варианта. Подчеркивает необходимость охвата в одной модели значительной территории, а также достаточно продолжительного периода времени. Кроме того, предлагается включение оптимального моделирования в информационную систему лесного хозяйства. Очень существенной проблемой является обеспечение автоматического генерирования параметров нужных для функционирования оптимизационных моделей.

Summary

The article presents an example of possible applications of linear programming in forestry for transportation problems connected with the determination of an optimal size and location of wood depots. The concept of the construction of multi-stage transportation and searching after optimal solutions for them under different variants of size (s) and location (r) of new logging and forwarding depots in relation to raw — material bases and wood consignees was presented.

Such a variant involving method requires after all considerable amount of calculations on a computer, but leads to an univocal determination of an optimal variant. The necessity of including big territory and a sufficiently long period of time by the model is stressed. Besides, the inclusion of optimization modelling into the information system of forestry is postulated. The provision of automatic generation of parameters required for the functioning of optimization models is a very important question.