

JERZY KOWALSKI

Optymalizacja pozyskiwania drewna w nadleśnictwie metodą programowania liniowego

Оптимализация заготовки древесины в надлесничестве методом линейного программирования

Optimization of the wood harvesting in forest district after the method of linear programming

Większość gospodarczych problemów decyzyjnych w leśnictwie może być, znacznie skuteczniej niż to ma miejsce obecnie, rozwiązana za pomocą metod operacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza pozyskiwania drewna — dziedziny stosunkowo nieźle zbadanej i szczególnie wdzięcznej jako pole działalności optymalizacyjnej. Korzystne jest przy tym posługiwanie się metodą programowania liniowego z uwagi na charakter występujących tam cech i powiązań (patrz: K. Kosicki — Optymalizacja procesu pozyskiwania drewna w nadleśnictwie).

To, że w obecnej chwili programowanie liniowe nie znalazło praktycznego zastosowania w organizowaniu pozyskiwania drewna, wynika głównie z niskiego poziomu mechanizacji w Lasach Państwowych, a co za tym idzie i ograniczonych możliwości stosowania różnorodnych technologii, a także braku dobrych podstaw do prowadzenia rachunku kosztów, słabego rozeznania w dziedzinie pracochłonności i wydajności pracy itp., a także przekonania o znacznych trudnościach w konstruowaniu modeli matematycznych.

Temu ostatniemu problemowi poświęcone jest niniejsze opracowanie, w którym na konkretnym przykładzie przedstawiono kolejność i sposób wykonywania czynności technicznych, które doprowadzą do skonstruowania matematycznego modelu pozyskiwania drewna, a którego rozwiązanie według zadanego kryterium optymalizacyjnego ma ułatwić podjęcie decyzji.

Przy konstruowaniu modelu posłużono się przy tym zasadami podanymi we wspomnianym opracowaniu K. Kosickiego. Aby lepiej wykazać możliwości działania optymalizacyjnego, rozszerzono nieco — w porównaniu ze stanem faktycznym — możliwości nadleśnictwa w zakresie korzystania ze sprzętu mechanicznego o maszyny nie będące w powszechnym użyciu, aczkolwiek już w Polsce stosowane lub badane (procesor, rębarka na ciągniku kłonicowym). Przy określaniu wydajności pracy i kosztów wykorzystano materiały Katedry Użytkowania Lasu i In-

zynierii Leśnej SGGW-AR, które mogą się różnić od aktualnych danych, a w przypadku cen na drewno i kosztów pozyskania tylko szacunkowo uwzględniają właściwe relacje (bardziej zbliżone są do wartości z 1980 roku). Model matematyczny rozwiązano na maszynie Riad-35 przy użyciu pakietu standardowego MPSX/360, zatem pod kątem jej użycia przygotowano układ graficzny modelu wyjściowego do obliczeń¹⁾.

Omawiany przykład jest z konieczności podany w dość skondensowanej postaci i jedynie tam, gdzie — zdaniem autora konieczne są dodatkowe wyjaśnienia wykonywanych działań, zamieszczono obszerniejsze informacje.

Przedmiotem modelowania był proces pozyskiwania drewna w nadleśnictwie o rocznym pozyskaniu drewna 30 364 m³. Celem modelowania było ustalenie technologii, które powinny być stosowane na powierzchniach zrębowych oraz stwierdzenie, czy rozmiar zadań pozwala na ich realizację środkami własnymi.

Analiza sytuacyjna pozwoliła na sformułowanie następujących stwierdzeń i ustaleń.

1. Nadleśnictwo jest zainteresowane optymalizacją tylko części procesu pozyskiwania drewna obejmującej operacje technologiczne i zrywkę drewna.

2. Wywóz jest prowadzony wyłącznie przez środki transportowe OTL-u; na etapie planowania nadleśnictwo ma obowiązek uzgodnić z OTL-em rozmiar zadań wywozowych w poszczególnych kwartałach, a zatem za jednostkę czasową pozyskiwania drewna przyjęto kwartał.

3. Miąższość i procentowy udział sortymentów w poszczególnych rodzajach użytkowania są wielkościami ustalonymi.

4. Składnice mają wyłącznie charakter składnic przeładunkowych; wyrób sortymentów odbywa się wyłącznie na powierzchniach zrębowych.

5. Pozyskiwane jest głównie drewno sosnowe, przy czym drewno jest wyrabiane według klasyfikacji jakościowo-wymiarowej, a sortymenty są pozyskiwane w postaci dłużyc 6—8 m, wyrzynków o długości 2,4 m (papierówka) i wałków jednometrowych (drewno opałowe); żerdzie pozyskiwane w użytkach przygodnych są sprzedawane w pełnych długościach.

6. Rozmiar pozyskania drewna S I (drewna typu kopalniakowego) w poszczególnych kwartałach powinien być jednakowy.

7. Terminy wykonywania prac: w trzebieżach wczesnych i czyszczeniach — II i III kwartał, w rębni częściowej — I i IV kwartał, w pozostałych rodzajach użytkowania — w okresie całego roku.

8. Siła robocza i sprzęt własny lub znajdujący się w dyspozycji nadleśnictwa: robotnicy (drwale-operatorzy VII kategorii zaszeregowania) — 20 osób, sprzęt z obsługą: 2 pary koni, 2 ciągniki rolnicze z oprzyrządowaniem zrywkowym, 1 maszyna ścinkowa z głowicą ND-600, 1 procesor, 1 rębarka na ciągniku kłonicowym, 1 ciągnik wciągarkowy, 1 ciąg-

¹⁾ W konsultacji z mgr inż. B. Kłapciem z Instytutu Zastosowań Matematyki i Statystyki SGGW-AR

nik kłonicowy; zapotrzebowanie na sprzęt ręczny i ręczno-maszynowy (pilarki) jest pokryte w pełni.

9. Wydajność operacji technologicznych i zrywki w I i IV kwartale jest niższa od wydajności w kwartałach II i III o 10%, a koszty jednostkowe odpowiednio wyższe.

10. Do prac pozyskiwaniowych można zaangażować robotników interwencyjnych spoza nadleśnictwa, których wydajność jest taka sama jak robotników stałych, lecz koszty jednostkowe wykonywanych prac są wówczas wyższe o 50%.

11. Do prac zrywkowych można nająć rolników indywidualnych z końmi i ciągnikami uniwersalnymi bez sprzętu zrywkowego oraz OTL z ciągnikiem kłonicowym. Najemny sprzężaj konny i ciągniki można zatrudniać w okresie całego roku. W porównaniu z wydajnością środków własnych wydajność zrywki najemnym sprzężajem i ciągnikami uniwersalnymi jest mniejsza o 30%, a koszty jednostkowe wyższe o 20%. Wydajność ciągnika kłonicowego z OTL jest równa wydajności takiego ciągnika własnego, lecz koszty jego pracy są wyższe o 20%.

12. Z uwagi na urlopy, przeglądy okresowe i naprawy maszyn ustalono, że w sierpniu pozyskiwanie drewna będzie wstrzymane. W kwartale I, II i IV liczba dni roboczych wynosi 63, a w kwartale III — 42.

Analiza warunków pozyskiwania wykazała, że przy konstruowaniu modelu matematycznego najbardziej korzystne jest stworzenie jednorodnych grup powierzchni pozyskiwanych według rodzajów użytkowania (tab. 1). Podział ten przyjęto w formie najprostszej, aby model uczynić

Tabela 1

Zestawienie sortymentów do pozyskania

Rodzaj użytkowania	Sortymenty										Suma
	W I	W II	W III	W IV	S I	S II	S III*)	S IV	M I*)	M II	
m ³											
Zręby zupełne	—	234	—	1947	218	218	267	167	161	—	3 212
Rębnie częściowe	—	1228	—	9923	873	505	—	396	—	723	13 648
Rębnie gniazdowe	—	198	—	1082	—	62	—	83	—	52	1 477
Trzebież późna	—	—	—	1568	2133	644	1449	560	644	—	6 998
Trzebież wczesna	—	—	—	—	972	278	1867	278	415	—	3 810
Czyszczenia	—	—	—	—	—	44	—	72	66	—	182
Użytki przygodne	—	—	171	555	35	19	10**)	152	—	95	1 037
Ogółem	—	1660	171	15075	4321	1770	3593	1708	1286	870	30 364

*) — na zrębki

***) — do sprzedaży wolnorynkowej w całych długościach

Objaśnienie symboli sortymentów:

W — wielkowymiarowe,

S — średniowymiarowe

M — małowymiarowe

Charakterystyka przeciętnych powierzchni w poszczególnych rodzajach użytkowania

Rodzaj użytkowania	Liczba pow. zrębowych	Średn. pow. zrębu ha	Sto- pień trud- ności	Prze- ciętna pierś- nica cm	Średnia odle- głość zrywki I etap II etap m	Przeciętny układ sortymentów										Ra- zem
						W II	W III	W IV	S I	S II	S III	S IV	M I	M II		
						$\frac{m^3}{\%}$										
Zręby zupełne	6	2,93	I	35	100	44	—	362	41	41	50	31	30	—	599	
Rębnia częściowa	24	2,67	III	40	25	7,3	60,6	6,8	6,8	8,3	5,2	5,0	—	—	100,0	
Rębnia gniazdowa	10	3,73	III	42	250	56	455	40	23	—	18	—	—	33	625	
Trzebież późna	57	6,96	III	18	300	19	104	—	6	—	8	—	16	5	142	
Trzebież wczesna	101	4,11	IV	11	20	13,4	73,3	53	16	36	14	9,2	6	—	100,0	
Czyszczenia	11	3,66	V	8	100	—	—	14	4	27	4	10,9	9	—	25	
Użytki przygodne	—	—	V	28	300	—	—	25,5	7,3	49,0	7,3	36,0	—	—	100,0	
						171	555	35	19	10	152	95	—	1037		
						16,5	53,5	3,4	1,8	1,0	14,6	9,2	—	100,0		

A	<pre> graph LR A((ścinka 2)) --> B(okrzesywanie 1,2) B --> C(zrębkowanie 3) B --> D(przerzynka 2) C --> E(zrywka zrębków 3) E --> F(zrywka 4,5,7) </pre>	<p>Sprzęt: (1) - siekiera (2) - pilarka (3) - rębarka na ciągniku kłonicowym z pojemnikiem</p>	<p>Uwaga: na zrębie zupełnym i w rębni gniazdowej zrywka ciągnikiem kłonicowym, w rębni częściowej i trzebieżach późnych - koń i ciągnik kłonicowy, w trzebieżach wczesnych - koń i ciągnik rolniczy, w użytkach przygodnych - ciągnik rolniczy</p>
B	<pre> graph LR A((ścinka 8)) --> B(okrzesywanie, przerzynka 9) B --> C(zrębkowanie 3) B --> D(zrywka 5) C --> E(zrywka zrębków 3) </pre>	<p>(4) - ciągnik rolniczy (5) - ciągnik kłonicowy (6) - ciągnik wciągarkowy (7) - koń (8) - maszyna ścinkowa (9) - procesor</p>	
C	<pre> graph LR A((ścinka 2)) --> B(zrywka 6) B --> C(okrzesywanie przerzynka 1,2) C --> D(zrębkowanie 3) C --> E(przerzynka 2) </pre>		
D	<pre> graph LR A((ścinka 2)) --> B(okrzesywanie 1,2) B --> C(zrywka 6,7) C --> D(przerzynka 2) </pre>		<p>Uwaga: w rębni gniazdowej zrywka ciągnikiem wciągarkowym, w trzebieżach późnych - koń i ciągnik wciągarkowy</p>
E	<pre> graph LR A((ścinka okrzesywanie 1)) --> B(przerzynka 2) B --> C(wynoszenie zrywka zrębkowanie 4,7) C --> D(zrywka zrębkowanie 3) </pre>		

Przykład karty technologicznej

Technologia A

Rodzaj użytkowania: zrąb zupełny

Miąższość: 599 m³

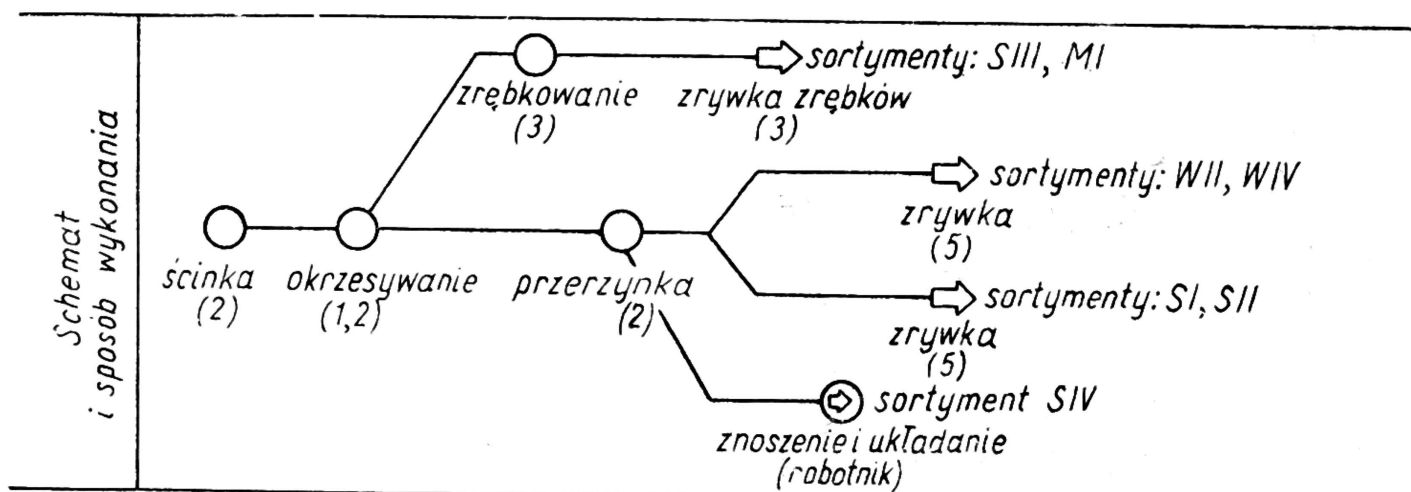
Powierzchnia: 2,93 ha

Gatunek: sosna

Pierśnica: 35 cm

St. trudności: I

Odl. zrywki I etap: 100 m, II etap: —

Wartość 1 m³: 1075 zł

Wskaźniki	Pracochłonność rbd/m ³	Koszt zł/m ³	Energochłonność kWh/m ³
-----------	--------------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

II i III kwartał:

ogółem	0,090	81,0	0,88
robotnicy do prac technol.	0,081	36,7	0,27
ciągnik kłonicowy	0,006	24,8	0,39
rębarka	0,003	19,5	0,22

I i IV kwartał:

ogółem	0,099	87,2	0,95
robotnicy do prac technol.	0,089	40,4	0,30
ciągnik kłonicowy	0,007	27,3	0,43
rębarka	0,003	19,5	0,22

Uwagi:

- praca na działkach w grupach 2-osobowych
- wyrób zrzebków zielonych
- zrywka i wywóz zrzebków w pojemnikach

Tabela 5

**Rozwiązanie modelu w formie tabeli zbiorczej:
stosowane technologie i miąższości pozyskanego drewna dla różnych warunków
i kwartałów**

Kryterium	Zrepy zupełne		Rębnia częściowa				Rębnia gniazdowa				Trzebież późna				Trzebież wczesna	Czyszczenia	Użytki przygodne			
			I	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	Kwartały																			
Stosowane technologie i miąższość pozyskanego drewna w m ³																				
Energochłonność (min)	A	A	A	A	A	A	A	A	D	D	A	A	D	A	A	A	E	A	A	
47385 kWh	3212	6300	7348	1477	1800	1969	117	1800	1484	2326	182	448	589							
Koszty pozyskania (min)	2554	4963	8685	288	1189	1794	214	3862	1128	2593	1217	182	1037							
7080,6 tys. zł																				
Wartość drewna (max)	B	A	A	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E	A					
30511,1 tys. zł	3212	2804	10844	114	1363	4370	1953	675	3585	225	182	1037								
Zysk (max)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E	A							
23430,0 tys. zł	3212	4963	8685	1477	1794	2739	1337	1128	2593	1217	182	1037								

Przykład zestawienia zaangażowania sił i środków dla wybranych rozwiązań

Środek	Jednostka	Zaangażowanie sił i środków w kwartałach				Uwagi
		I	II	III	IV	
Środki własne:						
robotnicy		1172	1260	840	1260	Kryterium: minimalna energo- chłonność
konie		126	126	84	126	
ciągniki rolnicze		—	126	84	—	
ciągnik wciągarkowy		63	63	42	63	
ciągnik kłonicowy		63	19	14	63	
maszyna ścinkowa	rbd	—	—	—	—	
procesor		—	—	—	—	
rębarka		9	36	33	9	
Środki obce:						
robotnicy		—	—	690	48	
konie		540	213	245	609	
ciągniki kłonicowe		—	—	—	10	
Środki własne:						
robotnicy		1260	1260	840	1260	Kryterium: maksymal- ny zysk
konie		126	126	84	126	
ciągniki rolnicze		76	126	64	—	
ciągnik wciągarkowy		—	—	—	—	
ciągnik kłonicowy		63	19	42	63	
maszyna ścinkowa	rbd	—	—	—	—	
procesor		—	—	—	—	
rębarka		9	42	30	6	
Środki obce:						
robotnicy		—	252	418	112	
konie		372	289	116	533	
ciągniki rolnicze		—	61	—	—	
ciągniki kłonicowe		1	—	—	33	

bardziej przejrzystym, w rzeczywistości, w każdym rodzaju użytkowania należałoby wyróżnić warunki bardziej charakterystyczne (np. podzielić zręby zupełne według siedlisk, rębnię częściową według rodzaju cięcia itp.).

Dla tych grup określono cechy przeciętnych powierzchni. Te informacje, jak również dane dotyczące miąższości i układu sortymentów podano w tab. 2.

Na podstawie analizy warunków drzewostanowych i terenowych oraz możliwości sprzętowych ustalono, że pozyskiwanie drewna może się odbywać według pięciu technologii oznaczonych symbolami od A do E

i przedstawionych w tab. 3. Oceniono, że w poszczególnych rodzajach użytkowania mogą być stosowane następujące technologie:

- na zrębach zupełnych technologie A, B i C,
- w rębni częściowej, w trzebieżach wczesnych i w użytkach przygodnych technologia A,
- w rębni gniazdowej i w trzebieżach późnych technologie A i D,
- w czyszczeniach technologia E.

Dla każdej technologii opracowano warianty zależne od warunków, w jakich będzie ona zastosowana. Na przykład, technologię A opracowano w formie wariantu, który może być zastosowany na zrębach zupełnych, wariantu dla rębni częściowej, gniazdowej itp. Podobnie postąpiono w przypadku i innych technologii. Łącznie opracowano 11 wariantów procesów technologicznych. Wyniki tych ustaleń zestawiono na kartach technologicznych, których przykład pokazano w tab. 4.

Za główną funkcję celu przyjęto maksymalizację zysku wyznaczonego jako różnicę wartości pozyskanego drewna i poniesionych kosztów. Za dalsze kryteria przyjęto: minimalizację kosztów pozyskania, minimalne zaangażowanie mocy środków mechanicznych i maksymalną wartość pozyskanych sortymentów. Te ostatnie tylko dla informacji, bo niezależnie od przyjętego kryterium optymalizacyjnego wartość pozyskanego drewna pozostawała zawsze taka sama.

Wszystkie te informacje zestawia się w tablicy będącej modelem wyjściowym do obliczeń. Zasady konstruowania tablicy macierzystej i sposób jej wypełniania podane są w licznych pozycjach literatury dotyczącej programowania liniowego i z tego względu tablica ta nie będzie tutaj przedstawiona. Tablica posłużyła następnie jako materiał w pracach związanych z przetworzeniem informacji według zadanego programu (opis prac technicznych związanych z samym rozwiązywaniem modelu za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej wykracza poza ramy omawianego zagadnienia).

Rozwiązanie modelu otrzymano w postaci wielostronicowego tabulogramu, który w formie uporządkowanych zestawień (przykłady ich przedstawiono w tabelach 5 i 6) może już służyć jako podstawa do podjęcia określonej pozycji.

Z Katedry Użytkowania Lasu
i Inżynierii Leśnej SGGW-AR
w Warszawie

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 31 marca 1983 r.

Краткое содержание

В большинстве случаев проблемы принятия решения в лесном хозяйстве могут с успехом решаться при помощи операционных методов. В области заготовки древесины особенно пригодным оказалось линейное программирование. Введение этого метода в более широком масштабе в область практической хозяйственной деятельности, затруднено между прочим, убеждением, что формирование математических

моделей является слишком сложным процессом. Поэтому в работе была предпринята попытка представления способа проведения очередных технических действий при формировании такой модели и исполняемых согласно теоретическим принципам представленных К. Косицким (К. Косицки — Оптимализация заготовки древесины в надлесничестве). Разработанная модель была решена при помощи пифровой машины Riad-35 при использовании стандартного пакета MPSX/360 и показаны примеры способов приведения в порядок полученных табулограмм.

S u m m a r y

In many cases, the problems of decision-making in forestry can be successfully solved after the operational methods. In the field of wood harvesting the linear programming appeared to be specially useful. The introduction of this method on a larger scale into the forest practice is difficult, among other things, because many people consider the construction of mathematical models to be a too complicated work. Therefore, the author tries, in the paper, to present the way of conducting the succeeding technical operations at construction of such a model, performed according to theoretical principles presented by Kosicki: (Optimization of the wood harvesting process in forest district). The elaborated model was solved with the aid of digital computer Riad-35 at using the standard pack MPSX/360 and examples of ways of arrangement of obtained printouts are solved.