

KRZYSZTOF JABŁOŃSKI, WŁODZIMIERZ STEMPSKI

Optymalizacja zrywki drewna według kryterium minimalizacji pracy transportowej

Optimization of wood extraction from a clear-cut area according to the minimum transportation labour criterion

ABSTRACT

Jabłoński K., Stempski W. 2015. Optymalizacja zrywki drewna według kryterium minimalizacji pracy transportowej. Sylwan 159 (7): 540-548.

The objective of the study was to optimize wood extraction from a clear-cut area to several upper landings located at roads suited for wood haulage in a situation where the room for storing the wood was limited. The optimization process was to divide the clear-cut area into zones, from which the wood assortments should be transported to the different landings, so that the total transportation labour would be minimized. The research was conducted in Oborniki Forest District (western Poland) on a clear-cut area where the harvest of 2027 m³ of wood in four assortments was planned. The optimization method used presented a linear programming problem, which was formulated and solved with the Solver tool, available with a common spreadsheet. The clear-cut area was divided into a number of elementary plots, for which the quantities of the wood to be extracted and distances to the specified landings were determined. Altogether 189 such plots were defined, mostly square in shape and with 20 m long side. Three upper landings for each wood assortment, located at roads accessible to long-distance vehicles were also determined (fig. 1). The minimization of the transport labour needed for the extraction of different wood assortments was set as the criterion for the objective function. The results of the calculations, after putting them on the forest clear-cut area map (fig. 2), provided information about parts of the clear-cut area to which the wood should be extracted to. As it was expected, in the majority of cases, the model directed the wood to the landings, which were the closest, but in case of one assortment, the wood was directed to the landing located a bit further away than to the closest one. The model enabled to minimize the transportation labour spent on wood extraction from the clear-cut area. The calculations did not require any specific applications, enabling users of commonly available spreadsheets, equipped with a Solver tool to perform such calculations.

KEY WORDS

wood extraction, linear programming, transportation labour

ADDRESSES

Krzysztof Jabłoński – e-mail: jabkrys@up.poznan.pl

Włodzimierz Stempski – e-mail: stempski@up.poznan.pl

Katedra Techniki Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71c, 60-625 Poznań

Wstęp

Wykonanie prac transportowych z zakresu zrywki drewna ma zawsze ścisły związek z warunkami terenowymi. Pozyskany surowiec przed jego wywozem do odbiorcy musi być przemieszczony

z powierzchni, na której prowadzono cięcia, do miejsca lub miejsc, z których może być wywieziony. Wywóz drewna, realizowany często przy użyciu pojazdów wysokotonazowych, wymaga zapewnienia odpowiedniego dostępu do miejsc składowania surowca przeznaczonego do zabrania. Jak powszechnie wiadomo, nie każde miejsce, do którego można zerwać surowiec, jest dostępne dla taboru wywozowego. Często bywa tak, że trzeba przygotować kilka składnic w pobliżu drzewostanu poddanego cięciom, które będą dostępne dla pojazdów wywozowych.

Organizacja prac z zakresu zrywki sortymentów drzewnych w przypadku kilku miejsc składowania surowca wymaga przyporządkowania określonych miejsc na powierzchni objętej cięciami odpowiednim składnicom. Jednym z algorytmów pozwalających rozwiązać ten problem jest metoda programowania liniowego, a dokładniej zagadnienie transportowe. Bogata literatura z tego zakresu [Kłapeć, Marszałkiewicz 1979; Harrison i in. 2002; Trzaskalik 2008] pozwala na zastosowanie opracowanych algorytmów wykorzystujących rachunek macierzowy do rozwiązywania problemów liniowej optymalizacji. Co więcej, obliczenia mogą być wykonywane przy użyciu standardowych, ogólnie dostępnych aplikacji komputerowych [Guzik 1999], co szczególnie ułatwia rozwiązywanie tego typu zadań, nie zwalnia jednak użytkownika z konieczności rozumienia zagadnień programowania liniowego i umiejętności interpretowania uzyskanych wyników. Wśród opracowań prezentujących zastosowanie metod programowania liniowego w leśnictwie dominują prace dotyczące optymalizacji ładu czasowego i przestrzennego użytkowania drzewostanów oraz wspomagające proces decyzyjny w zagadnieniach wielokryterialnych [Clark i in. 2000; Kangas i in. 2008]. Ponieważ poza niewieloma opracowaniami z zakresu wykorzystania metod programowania liniowego do rozwiązywania zagadnień dotyczących transportu drewna [Reeb, Leavengood 2002; Janeček i in. 2006] lub pozyskiwania i zrywki drewna [Jabłoński 2006] istnieje na tym polu luka, postanowiono zaprezentować sposób rozwiązania jednego z częściej występujących problemów tego typu.

Celem przeprowadzonych badań była optymalizacja zrywki drewna z powierzchni zrębowej do kilku składnic przyrębowych. Wobec ograniczonego miejsca na składowanie drewna przy drodze wywozowej zaistniała konieczność założenia trzech składnic przyrębowych i pojawiło się pytanie, do których składnic zrywać drewno z poszczególnych części zrębu. Do rozwiązania tego zagadnienia zastosowano opracowany model. Ponadto ważnym celem podjętych badań było wykonanie modelu obliczeniowego opartego o metody programowania liniowego, dostosowanego do użycia przy wykorzystaniu powszechnie dostępnych aplikacji komputerowych.

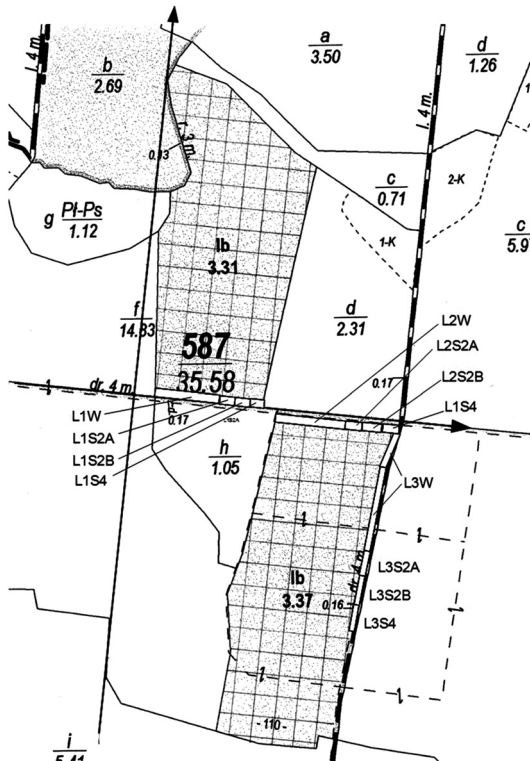
Materiał i metody

Badania przeprowadzono w 2014 roku na terenie Nadleśnictwa Oborniki (RDLP Poznań). Powierzchnia, dla której przeprowadzono optymalizację zrywki drewna (6,68 ha), znajdowała się w oddziale 587f. Rosnący tam na siedlisku BMśw drzewostan sosnowy był w wieku 81 lat, jego średnia wysokość wynosiła 25 m, pierśnica 28 cm, klasa bonitacji I. Zaplanowano w nim cięcia zupełne rębnią Ib, w których przewidziano do pozyskania i zrywki 1265 m³ drewna wielkowieściowego WK o długości 4,0 m, 324 m³ drewna średniowieściowego S2A o długości 2,4 m, 263 m³ drewna średniowieściowego S2B o długości 2,4 m oraz 175 m³ drewna średniowieściowego S4 o długości 2,0 m.

Optymalizacja polegała na podziale całej powierzchni zrębowej na strefy ciążenia poszczególnych sortymentów ku przeznaczonym dla nich składnicom. Przyjęto założenie, że rozkład ilości poszczególnych sortymentów był na całej powierzchni jednolity, stąd można było w prosty sposób obliczyć, jaka miąższość każdego z sortymentów przypadła na jednostkę powierzchni. Ukształtowanie powierzchni zrębowej, dostępność terenu i układ lokalnych dróg

pozwalają na założenie 3 składczy przyrębowych (L1, L2, L3), do których planowano prowadzić zrywkę pozyskanych sortymentów drzewnych. Każdą z 3 wyróżnionych składczy przyrębowych podzielono na 4 części (WK, S2A, S2B oraz S4), przeznaczając na każdy sortyment powierzchnię stanowiącą odsetek sortymentu z całości planowanego do pozyskania surowca drzewnego (przyjęto bowiem, że do każdej składczy zrywane będą wszystkie sortymenty drzewne, odpowiednio do ich części: WK, S2A, S2B i S4). Układ składczy przyrębowych oraz działek, na które podzielono powierzchnię zrębową, zaprezentowany został na rycinie 1. Przyjęto, że do każdej ze składczy można zrywać surowiec z dowolnej części powierzchni zrębowej. Wyróżnione 3 składczy znajdowały się przy drogach wywozowych. Składnica pierwsza (L1) położona była przy drodze graniczącej z północną częścią wydzielenia. Składnica druga (L2) znajdowała się przy tej samej drodze wywozowej, ale nieco dalej, wzdłuż granicy z południową częścią powierzchni zrębowej. Z kolei składnica trzecia (L3) położona była wzdłuż drogi wywozowej od strony wschodniej, w południowej części wydzielenia. Łączna pojemność składczy była równa ilości planowanego do pozyskania drewna. Przyjęto, że drewno będzie układane w stopy w wysokościach określonych odpowiednimi przepisami [Instrukcja... 2012].

Do przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych, wskazujących, jaka ilość określonych sortymentów drzewnych będzie zrywana z kolejnych części (działek) powierzchni zrębowej do poszczególnych wyznaczonych składczy, zbudowano model transportowy (model liniowy), w którym wyróżniono 3 punkty odbioru sortymentów (składczy) oraz 189 działek (z których surowiec może być transportowany do każdej ze składczy), na które podzielono całą powierzchnię zrębową. Do podziału powierzchni zrębowej wykorzystano mapę wydzielenia, na której umieszczono układ współrzędnych i podzielono powierzchnię na działki (ryc. 1), w zdecydowanej większości



Ryc. 1.

Powierzchnia zrębową z wyróżnionymi działkami i składciami przyrębowymi
Clear-cut area with plots and wood landings

kwadratowe, o powierzchni 400 m² (20×20 m). Działki wyróżnione w pobliżu brzegu powierzchni zrębowej miały często kształt nieregularnego wieloboku i mniejszą powierzchnię. Określono powierzchnię każdej z działek i współrzędne (x, y) jej środka. W przypadku składnic z wyróżnionymi ich częściami (WK, S2A, S2B i S4), do których zrywane będą poszczególne sortymenty drzewne, określono współrzędne ich środków. Dla każdej z wyróżnionych działek oznaczono znajdującą się na niej ilość każdego z sortymentów, przyjmując równomierny rozkład każdego z nich na jej powierzchni oraz proporcjonalną zależność pomiędzy powierzchnią działki a ilością surowca. Określono odległości pomiędzy środkami działek a środkami części składnic przeznaczonych na poszczególne sortymenty. Przyjęto, że surowiec będzie transportowany po liniach prostych po powierzchni zrębowej od działki bezpośrednio do składnicy (o ile składnica znajdowała się przy powierzchni zrębowej, na której występowała działka, z której zrywano surowiec) lub po liniach prostych po powierzchni zrębowej od działki do końca powierzchni zrębowej w kierunku składnicy i dalej po drodze wywozowej aż do składnicy. Korzystając z ustalonych współrzędnych środków działek i składnic, dokonano obliczeń odległości między nimi przy użyciu następującej formuły:

$$L = \sqrt{(x_{sd} - x_{ss})^2 + (y_{sd} - y_{ss})^2} \quad [1]$$

gdzie:

L – odległość pomiędzy środkiem działki a środkiem składnicy lub końcem powierzchni zrębowej w kierunku składnicy,

x_{sd}, y_{sd} – współrzędne środka działki,

x_{ss}, y_{ss} – współrzędne środka składnicy.

W przypadku kiedy surowiec transportowany był po powierzchni zrębowej i drodze wywozowej, do obliczonej powyżej odległości L (od działki do końca powierzchni zrębowej w kierunku do składnicy) dodawano odległość, którą ciągnik będzie musiał pokonać, przemieszczając się po drodze wywozowej do składnicy.

Określono ilość drewna do zerwania z każdej działki, ilość drewna, na zmagazynowanie którego pozwala każda ze składnic, oraz odległości między środkami wszystkich działek i każdej ze składnic.

W opracowanym modelu wyróżniono zmienne decyzyjne, funkcję celu (FC), warunki ograniczające oraz warunki brzegowe. Funkcja celu, wyrażająca pracę transportową, była minimalizowana i została określona następującą formułą:

$$FC = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad [2]$$

gdzie:

C_{ij} – odległość od i -tej działki na powierzchni zrębowej do j -tej składnicy przyzrębowej,

X_{ij} – ilość drewna danego sortymentu przewidziana do zerwania z i -tej działki do j -tej składnicy przyzrębowej,

m – liczba wyróżnionych działek na powierzchni zrębowej (189),

n – liczba wyróżnionych składnic przyzrębowych (3).

Warunki bilansowe modelu podzielono na dwie grupy. Pierwsza z nich dotyczyła ilości drewna dostępnego na poszczególnych działkach:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad [3]$$

gdzie:

a_j – określa ilość drewna do zerwania z i -tej działki do wszystkich składnic.

Dla przykładu: wyrażenie $X_{11}+X_{12}+X_{13}=a_1$ przedstawia równanie bilansowe ilości drewna do zerwania z działki 1 do składnic 1, 2 lub 3.

Druga grupa warunków bilansowych dotyczyła ilości drewna możliwej do zmagazynowania na poszczególnych składnicach przyrzębowych:

$$\sum_i^m X_{ij} = b_{ij}, \quad j = 1, 2, 3 \quad [4]$$

gdzie:

b_{ij} – określa ilość drewna przeznaczonego do zmagazynowania na j -tej składnicy (nr 1, 2 lub 3), pochodzącego z działek od $i=1$ do $m=189$.

Dla przykładu: wyrażenie $X_{11}+X_{21}, \dots, X_{189}=b_1$ przedstawia równanie bilansowe ilości drewna trafiającego do składnicy nr 1 z działek od 1 do 189.

Warunki brzegowe modelu, określające nieujemność zmiennych decyzyjnych, opisano formułą $X_{ij} \geq 0$. Przyjęty model jest modelem zamkniętym, gdyż ilość drewna przeznaczonego do zerwania ze wszystkich działek jest równa całkowitej pojemności wszystkich składnic przyrzębowych:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad [5]$$

Obliczenia optymalizacyjne przeprowadzono, korzystając z algorytmu simplex programowania liniowego, posługując się narzędziem Solver dostępnym w pakiecie aplikacyjnym LibreOffice, który umożliwia prowadzenie obliczeń dla dużej liczby zmiennych decyzyjnych. Obliczenia wykonano oddzielnie dla każdego z sortymentów.

Wyniki

Badania terenowe zmierzające do wskazania miejsc składowania pozyskanego surowca i ustalenia możliwej do zmagazynowania ilości wyrabianych sortymentów na przewidzianych do założenia składnicach przyrzębowych pozwoliły na obliczenie pojemności poszczególnych składnic przyrzębowych. W tabeli 1 przedstawiono pojemności trzech składnic przyrzębowych (L1, L2, L3) z podziałem na poszczególne sortymenty drzewne (WK, S2A, S2B i S4). Składnica oznaczona symbolem L3 miała prawie dwukrotnie większą pojemność w stosunku do składnic L1 i L2, ponieważ została założona przy długim boku jednej z części powierzchni zrębowej. Pozostałe dwie składnice, z powodu przebiegu drogi wywozowej przy krótszych bokach powierzchni zrębowych, miały stosunkowo niewielką pojemność. Na każdej ze składnic najwięcej miejsca prze-

Tabela 1.

Pojemność [m³] składnic (L1, L2, L3) z podziałem na sortymenty drzewne
Capacity [m³] of landings (L1, L2, L3) for different wood assortments

Sortyment Wood assortment	L1	L2	L3	Razem Total	
				m ³	%
WK	316	354	595	1265	62
S2A	81	91	152	324	16
S2B	66	74	123	263	13
S4	44	49	82	175	9
Razem Total	507	568	952	2027	100

znaczono pod kłody (WK), ponieważ sortyment ten stanowił aż 62% przewidzianego do pozyskania surowca ogółem.

Tabela 2 zawiera informacje o odległościach zrywki ze wszystkich wyróżnionych działek do poszczególnych składnic przed wykonaniem obliczeń optymalizacyjnych. Odległości te wahały się w dość szerokim zakresie. Średnia wartość odległości zrywki od środków wyróżnionych działek do odpowiednich dla przewidzianych do pozyskania sortymentów części składnic L1, L2 i L3 wahała się od 172 m (do części składnicy L1 oznaczonej symbolem L1S4) do 285 m (część składnicy L3 oznaczona jako L3S4). Najmniejsze średnie wartości odległości zanotowano dla składnicy nr 1 (L1) dla wszystkich sortymentów, zaś największe – dla składnicy nr 3 (L3). Maksymalne odległości sięgały 623 i 612 m dla sortymentów S4 i S2B zrywanych do składnicy L3. Zróżnicowanie potencjalnych odległości zrywki, wyrażone współczynnikiem zmienności, było znaczne i zawierało się w przedziale od 43 do 68%.

Przeprowadzone obliczenia optymalizacyjne zrywki drewna, wskazujące, do których składnic przyrębowych należy zrywać drewno z poszczególnych części powierzchni zrębowej, pozwoliły na obliczenie wielkości zoptymalizowanej pracy transportowej dla zrywki poszczególnych sortymentów (tab. 3).

Tabela 2.

Średnia (m), maksymalna (max), minimalna (min), odchylenie standardowe (sd) oraz współczynnik zmienności (cv) odległości zrywki do składnic przyrębowych (L1, L2, L3) w zależności od sortymentu przed optymalizacją

Mean (m), maximum (max), minimum (min), standard deviation (sd) and coefficient of variability (cv) of wood extraction distances to landings (L1, L2, L3) with regard to the wood assortment before optimization

		m [m]	max [m]	min [m]	sd [m]	cv [%]
WK	L1	176	391	2	105,2	60
	L2	184	371	8	85,6	47
	L3	238	507	9	128,6	54
S2A	L1	181	353	8	87,6	48
	L2	208	415	8	93,4	45
	L3	262	586	9	171,2	65
S2B	L1	175	336	9	83,8	48
	L2	218	431	8	95,6	44
	L3	274	612	8	184,1	67
S4	L1	172	326	11	81,9	48
	L2	228	445	8	97,1	43
	L3	285	632	8	193,2	68

Tabela 3.

Wielkość pracy transportowej (PT) i średnia odległość zrywki (L) po optymalizacji w zależności od sortymentu

Transportation labour (PT) values and average extraction distances (L) after optimization with regard to the wood assortment

	PT [m·m ³]	PT [%]	L [m]
WK	163020	60	129
S2A	45628	17	141
S2B	38215	14	145
S4	26398	9	151
Razem Total	273261	100	135

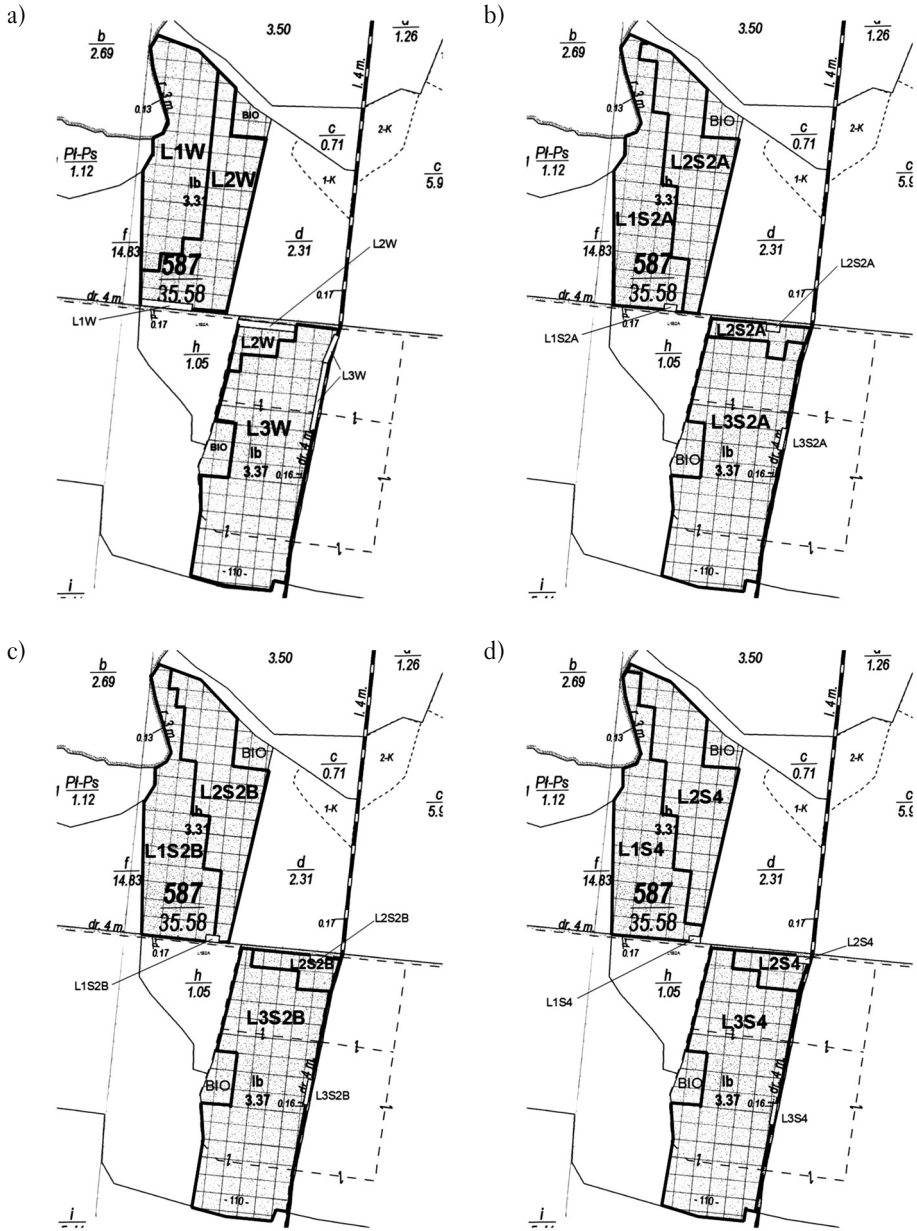
Całkowita ilość pracy transportowej po przeprowadzeniu optymalizacji zrywki drewna wyniosła 273 261 [m×m³], z czego 60% przypadało na główny przewidziany do pozyskania sortyment – WK, zaś 17% na sortyment S2A, 14% na S2B, a jedynie 9% na S4 (tab. 3). Wielkości te były zbliżone do udziałów procentowych miąższości planowanych do pozyskania sortymentów (tab. 1). Natomiast średnie odległości zrywki uległy wskutek optymalizacji zmianie – obliczona dla całej powierzchni zrębowej średnia odległość transportowa wyniosła 135 m, wahając się od 129 m dla sortymentu WK do 151 m dla sortymentu S4. Zmiany te wynikały z podziału powierzchni zrębu na strefy ciążenia poszczególnych jego części do określonych składnic, prowadząc w ogólnym rachunku do zminimalizowania nakładów pracy transportowej.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń optymalizujących zrywkę przewidzianych do pozyskania sortymentów (WK, S2A, S2B i S4) do projektowanych składnic przyzrębowych przedstawiono na rycinie 2. Na poszczególnych częściach tej ryciny (a, b, c i d) zaznaczono obszary, z których poszczególne sortymenty drzewne powinny być zrywane do zaplanowanych składnic przyzrębowych. Rycina 2a przedstawia strefy ciążenia kłód (WK) do przeznaczonych dla nich części składnic L1, L2 i L3. W zasadzie sortymenty pozyskane na powierzchni zrębowej ciężyły ku składnicom położonym w pobliżu. Zdarzały się jednak wyjątki, np. drewno WK (ryc. 2a) z powierzchni bezpośrednio przylegającej do składnicy L1W powinno trafiać nie do niej, a do składnicy nieco bardziej odległej – L2W. Okazuje się, że rozwiązanie to w ogólnym rozrachunku zrywki z całej powierzchni jest korzystniejsze z punktu widzenia minimalizacji pracy transportowej, a takie było zadanie obliczeń optymalizacyjnych. W przypadku pozostałych trzech sortymentów (ryc. 2b-d) obraz jest podobny, z niewielkimi odstępstwami, wynikającymi z różnic położenia poszczególnych części wyróżnionych składnic. W zasadzie zdecydowana większość drewna przewidziana do pozyskania z południowej części powierzchni zrębowej powinna być zrywana do składnicy L3, zaś do składnicy L2 powinno trafić tylko drewno z obszarów bezpośrednio do niej przylegających.

Dyskusja

Przedstawiony model optymalizujący zrywkę sortymentów z powierzchni zrębowej do zaprojektowanych w terenie składnic dotyczy określonego drzewostanu, położonego w określonym miejscu, z takim, a nie innym dostępem dla pojazdów wywozowych. Można się spodziewać, że optymalizując zrywkę drewna dla innego drzewostanu, inaczej usytuowanego względem dróg wywozowych, uzyskano by inne wyniki. Należy pamiętać, że przedstawione badania miały głównie na celu opracowanie modelu optymalizacyjnego opartego o algorytm simplex. Autorzy prac z zakresu programowania liniowego, należącego do dziedziny wiedzy zwanej badaniami operacyjnymi, przedstawiają przykłady zastosowania tych metod w leśnictwie. Harrison i in. [2002] zaprezentowali model zagadnienia pozwalającego na kierowanie surowca z kilku różnych źródeł do kilku odbiorców. W niniejszej pracy posłużono się modelem opartym o podobną filozofię myślenia, jednak nieco zmienionym i dostosowanym do szczegółowego zagadnienia przedstawionego powyżej. Opracowany model, będący w istocie zagadnieniem transportowym, spełnił postawione przed nim zadanie. Podobne modele, choć dostosowane do innych warunków i przedstawiające sposoby optymalizacji przydziału surowca pochodzącego z różnych źródeł i kierowanego do różnych odbiorców, przedstawiali Farnalskiy [2006] oraz Frisk i in. [2010].

Mimo że metody programowania liniowego są ogólnie znane, stanowiąc ważną gałąź matematyki, są one głównie stosowane w naukach ekonomicznych, natomiast w leśnictwie nie cieszą się niestety większą popularnością. Na przeszkodzie stoi zapewne brak odpowiedniego, powszechnie dostępnego oprogramowania. Stąd na uwagę zasługuje fakt, że zaprezentowane



Ryc. 2.

Obszary, z których drewno powinno być zrywane do poszczególnych składowic
 Zones from which the wood should be extracted to different landings

obliczenia wykonano przy użyciu powszechnie dostępnego arkusza kalkulacyjnego. Podobne sposoby wykorzystania ogólnie dostępnych aplikacji prezentowali Guzik [1999] oraz Chandrakantha [2012], przyczyniając się nie tylko do uzupełnienia luki w wiedzy na temat rachunku optymalizacyjnego, ale także do upowszechniania tego typu obliczeń.

Podsumowanie

Przyjęty model obliczeń optymalizacyjnych zrywki drewna z różnych obszarów powierzchni zrębowej do kilku wyróżnionych składnic przyzrębowych spełnił swoje zadanie i okazał się przydatny do przewidywania kierunków zrywki drewna z poszczególnych obszarów zrębu. Model pozwolił na takie zaplanowanie zrywki drewna, które prowadzi do zminimalizowania pracy transportowej. Wydaje się, że tworzenie tego typu modeli jest wręcz niezbędne w sytuacji ograniczonego miejsca, w którym można przejściowo zmagazynować zerwane drewno. Wykorzystany w pracy model, poza obliczeniem wielkości pracy transportowej dla zrywki poszczególnych sortymentów, pozwolił także na określenie średnich odległości zrywki drewna. Może to mieć istotne znaczenie przy ustalaniu wynagrodzenia za wykonaną pracę, stąd wynika także duże znaczenie praktyczne przeprowadzonych obliczeń.

Literatura

- Chandrantha L. 2012.** Using excel solver in optimization problems. W: Proceedings of the Twenty-third Annual International Conference on Technology in Collegiate Mathematics. Pearson Education, Denver.
- Clark M., Meller R. D., McDonald T. 2000.** A three heuristic for harvest scheduling with access road network development. *Forest Science* 46 (2): 204-218.
- Farnalskiy D. 2006.** Applications of linear programming. Case study, minimizing the costs of transportation problem. Degree Thesis. International Business, Arcada. Manuskrypt.
- Frisk M., Göthe-Lundgren M., Jörnsten K., Rönnqvist M. 2010.** Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research* 205 (2): 448-458.
- Guzik B. [red.] 1999.** *Ekonometria i badania operacyjne. Uzupełnienia z badań operacyjnych.* Wyd. Akademii Ekonom. w Poznaniu.
- Harrison S., Herbohn J., Mangaoang E., Vanclay J. 2002.** *Socio-economic Research Methods in Forestry: A Training Manual.* Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC, Cairns.
- Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu podstawowych prac z zakresu gospodarki leśnej 2012.** ORWLP, Bedoń.
- Jabłoński K. 2006.** Optymalizacja sposobów realizacji procesu technologicznego pozyskiwania i zrywki drewna na określonym obszarze leśnym. Wyd. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu. Rozprawy naukowe 378.
- Janeček A., Rutkowski K., Adamovsky R. 2006.** Optymalizacja procesu zrywki drewna w aspekcie skażenia środowiska naturalnego. *Inżynieria Rolnicza* 6: 147-154.
- Kangas A., Kangas J., Kurttila M. 2008.** *Decision Support for Forest Management.* Springer.
- Kłapeć B., Marszałkiewicz T. 1979.** *Metody programowania optymalnego w leśnictwie.* PWN, Warszawa.
- Reeb J., Leavengood S. 2002.** *Transportation problem: a special case for linear programming problems.* Oregon State University Extension Service. <https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/handle/1957/20201>
- Trzaskalik T. 2008.** *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem.* PWE, Warszawa.