

OPTIMALIZACJA POŁOŻENIA TYMCZASOWYCH SKŁADNIC DREWNA NA OGRANICZONYM OBSZARZE LEŚNYM

Krzysztof Jabłoński✉, Włodzimierz Stempski, Damian Mordas, Paweł Ziolo

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

ABSTRAKT

Wstęp. Przedstawiono model optymalizacji liczby i położenia przejściowych składnic drewna na niewielkim obszarze leśnym obejmującym trzy leśnictwa na terenie Nadleśnictwa Oborniki.

Metody. Optymalizację przeprowadzono przez analizę położenia drzewostanów, w których zaplanowano pozyskanie surowca drzewnego, wariantowy wybór liczby składnic, ustalenie ich położenia na podstawie współrzędnych geograficznych ciężających ku nim drzewostanom, ważone miąższością drewna przewidywanego do pozyskania w poszczególnych drzewostanach. Kryterium optymalizacji była minimalizacja pracy transportowej podwozu drewna z drzewostanów do składnic dla całego analizowanego obiektu. Analizę przeprowadzono za pomocą algorytmów analizy skupień pakietu Statistica.

Wyniki. Obliczenia przeprowadzono dla pięciu wariantów. Najkorzystniejszym okazał się wariant ze zlokalizowanymi sześcioma składnicami drewna. Średnia praca transportowa konieczna do podwozu drewna z drzewostanów do składnic wynosiła 3063 m³ na średnią odległość 0,83 km.

Podsumowanie. Zaprezentowany model optymalizacji liczby i położenia składnic drewna umożliwił zrealizowanie celu pracy i okazał się przydatny do organizowania prac transportowych na terenie leśnym.

Słowa kluczowe: transport drewna, analiza skupień, składnice drewna

WPROWADZENIE

Lasy w Polsce zajmują powierzchnię 9,435 mln ha (GUS, 2017) i spełniają ważne funkcje ekologiczne oraz społeczne. Równie istotnym celem prowadzenia gospodarki leśnej jest produkcja i dostarczanie surowca do przemysłu drzewnego. W 2016 roku pozyskano 41 mln m³ surowca drzewnego, z czego około połowa pochodziła z trzebieży, a drugie tyle z cięć rębnych. Tak znaczne wielkości świadczą o intensywności prowadzonej gospodarki, a nasilone użytkowanie lasu zmusza do częstszego wykorzystywania techniki w środowisku leśnym, ponieważ surowiec

drzewny musi być wywieziony z lasu odpowiednimi pojazdami.

Wywóz drewna z lasu wiąże się z koniecznością przemieszczania po drogach leśnych znacznych mas drewna z użyciem taboru wysokotonażowego. Wywóz stanowi drugą fazę transportu surowca drzewnego. Oprócz procesów pozyskiwania i zrywki drewna jest istotną ingerencją techniki w środowisko leśne. Wykorzystywane wewnątrz kompleksów leśnych pojazdy wysokotonażowe są bowiem źródłem hałasu oraz emisji spalin, ale przede wszystkim niszczą podłoże przez

Praca została wykonana w ramach potencjału badawczego Katedry Techniki Leśnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

✉jabkrys@up.poznan.pl

ugniatanie gruntu na drogach nieutwardzonych, przyczyniając się do wzmożenia procesów erozyjnych. Udostępnianie drzewostanów wiąże się więc z koniecznością budowy dróg leśnych, umożliwiających poruszanie się po nich sprzętu wysokotonażowego.

Stąd wynika też zapotrzebowanie na punkty składowania drewna, do których można przetransportować drewno środkami zrywkowymi, a następnie wywieźć do odbiorcy. Istnienie takich składnic znacznie zmniejszyłoby nakłady sił i środków na budowę lub przystosowanie istniejących dróg do ruchu ciężkich pojazdów wywozowych. Składnice drewna wciąż są obiektami badań naukowych (Szada-Borzyszkowski i Szada-Borzyszkowska, 2018; Zychowicz i in., 2008). Chociaż samo pojęcie składnicy leśnej nie jest zdefiniowane ściśle, na ogół przyjmuje się za Stokesem i in. (1989), że jest to wydzielony obszar leśny wykorzystywany podczas prac pozyskaniowych do obróbki surowca, jego przechowywania i spedycji. Składnice takie mają więc charakter tymczasowy, więc nie powodują redukcji leśnej powierzchni produkcyjnej. Coraz częściej pojawiają się pomysły zakładania takich składnic, m.in. w Nadleśnictwie Oborniki, ale są one jeszcze niedopracowane. Sugeruje się urządzenie kilku składnic na zwartych obszarach leśnych, np. obejmujących kilka leśnictw. Oddzielnym problemem jest ustalenie takiej ich lokalizacji, by zmniejszyć rozmiar prac związanych z podwożeniem surowca z drzewostanów do składnic oraz ograniczyć odległość podwozu. Dlatego podjęto próbę rozwiązania omawianych problemów na przykładzie sytuacji rzeczywistej.

CEL I ZAKRES

Celem podjętych badań była optymalizacja liczby oraz położenia śródleśnych składnic drewna dla trzech sąsiadujących ze sobą leśnictw, w których przewidziano pozyskanie i zrywkę drewna w określonym czasie. Kryterium optymalizacji była praca transportowa wyrażona jako iloczyn miąższości drewna i odległości między drzewostanem a przewidzianym punktem składowania surowca drzewnego. Celem było opracowanie modelu ustalania koniecznej liczby oraz położenia takich składnic z uwzględnieniem analizy położenia drzewostanów i pozyskanych miąższości drewna w badanych leśnictwach w 2018 roku.

METODYKA

Badania przeprowadzono na terenie Nadleśnictwa Oborniki RDLP w Poznaniu. Wybrano trzy leśnictwa: Nowołoskoniec, Rożnowo i Mycin. Znajdowały się obok siebie i tworzyły naturalny kompleks leśny, dla którego można planować zabiegi pozyskania oraz zrywki drewna z cięć rębnych i przedrębnych. Dla wymienionych leśnictw zaplanowano następujące pozyskanie drewna w 2018 roku: Nowołoskoniec – 8737,93 m³ z 45 pozycji, Mycin – 7491 m³ z 31 pozycji oraz Rożnowo – 11 224 m³ z 43 pozycji.

Na podstawie portalu banku danych o lasach ustalono współrzędne geograficzne (w układzie World Geodetic System '84) środka każdego z wydzieleni, w których dla tego roku zaplanowano pozyskanie surowca drzewnego. W ten sposób uzyskano sieć punktów na płaszczyźnie, dla której zaprojektowano w układzie wariantowym miejsca przejściowego składowania surowca drzewnego. Opis poszczególnych wariantów przedstawiono poniżej.

Wariant 1. Zaplanowano trzy punkty składowania drewna, po jednym na każde leśnictwo. Punkty, reprezentujące pododdziały przewidziane do zabiegów, podzielono na trzy grupy według kryterium przynależności administracyjnej do poszczególnych leśnictw.

Wariant 2. Zaplanowano trzy punkty składowania, bez względu na przynależność administracyjną drzewostanów. Do podziału populacji pododdziałów na trzy grupy wykorzystano analizę skupień dostępną w pakiecie Statistica 12. Wykorzystano grupowanie metodą *k*-średnich, dla trzech skupień, wybierając obserwacje tak, by zmaksymalizować odległości pomiędzy skupieniami (Stanisz, 2007).

Wariant 3. Zaplanowano pięć punktów składowania surowca, ustalając pięć skupień (grup) pododdziałów. Sieć punktów reprezentujących pododdziały podzielono w ten sposób, że trzy skupienia wyróżniono arbitralnie na podstawie obrazu rozkładu punktów w układzie współrzędnych, a dwa skupienia wyróżniono z pozostałej części populacji pododdziałów za pomocą grupowania metodą *k*-średnich. Przed wyborem dwóch skupień metodą *k*-średnich wykonano analizę za pomocą analizy skupień z pakietu Statistica 12. Zastosowano jedną z metod hierarchicznych – pełnego wiązania, a jako funkcję odległości zastosowano odległość miejską (Manhattan, City block), ponieważ sieć dróg leśnych,

po których można się poruszać przypomina układ ulic w mieście.

Wariant 4. Zaplanowano sześć punktów składowania surowca, dzieląc populację pododdziałów na sześć grup. Trzy skupienia wyróżniono arbitralnie (jak w wariantcie 4), a dalsze trzy wyszczególniono z pozostałej części populacji pododdziałów za pomocą grupowania metodą *k*-średnich, żądając podziału na trzy grupy i maksymalizując odległości pomiędzy skupieniami.

Wariant 5. Zaplanowano siedem punktów składowania surowca. Tok postępowania przyjęto podobnie jak w wariantcie 5, ale metodą *k*-średnich wyróżniono cztery grupy (skupienia) pododdziałów.

Po podziale populacji pododdziałów (drzewostanów) przewidzianych do cięć na grupy (skupienia) ustalono położenie miejsca składowania surowca każdego skupienia. Współrzędne każdego miejsca składowania (długość geograficzna X_{sk} , szerokość geograficzna Y_{sk}) obliczono jako średnią ze współrzędnych X , Y punktów (drzewostanów) tworzących skupienie, ważoną miąższością drewna zaplanowanego do pozyskania z tych drzewostanów. W tym celu zastosowano następujące formuły:

$$X_{sk} = \frac{X_1 \cdot m_1 + X_2 \cdot m_2 + X_3 \cdot m_3 + \dots + X_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

$$Y_{sk} = \frac{Y_1 \cdot m_1 + Y_2 \cdot m_2 + Y_3 \cdot m_3 + \dots + Y_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

gdzie:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – współrzędne określające długość geograficzną punktów 1, 2, 3, ..., n ,

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ – współrzędne określające szerokość geograficzną punktów 1, 2, 3, ..., n ,

$m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ – miąższości drewna pozyskane w drzewostanach reprezentowanych przez punkty 1, 2, 3, ..., n .

Po ustaleniu położenia poszczególnych punktów składowania surowca obliczono w każdym z wariantów wielkość składowanego drewna. Wyliczenia wykonano, sumując miąższości drewna przewidywane do pozyskania w drzewostanach ciężących do odpowiednich punktów składowania.

Następnie obliczono odległości (L) między punktami składowania a ciężącymi do nich drzewostanami

(Astronomiczne podstawy..., 2018). Do ich wyznaczenia posłużono się następującą formułą:

$$L = \sqrt{(Y_{sk} - Y_n)^2 + \left[\cos \left(X_n \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot (X_{sk} - X_n) \right]^2} \cdot \frac{40075,704}{360}$$

gdzie:

Y_n, X_n – szerokość i długość geograficzna drzewostanu n , należącego do danego skupienia,

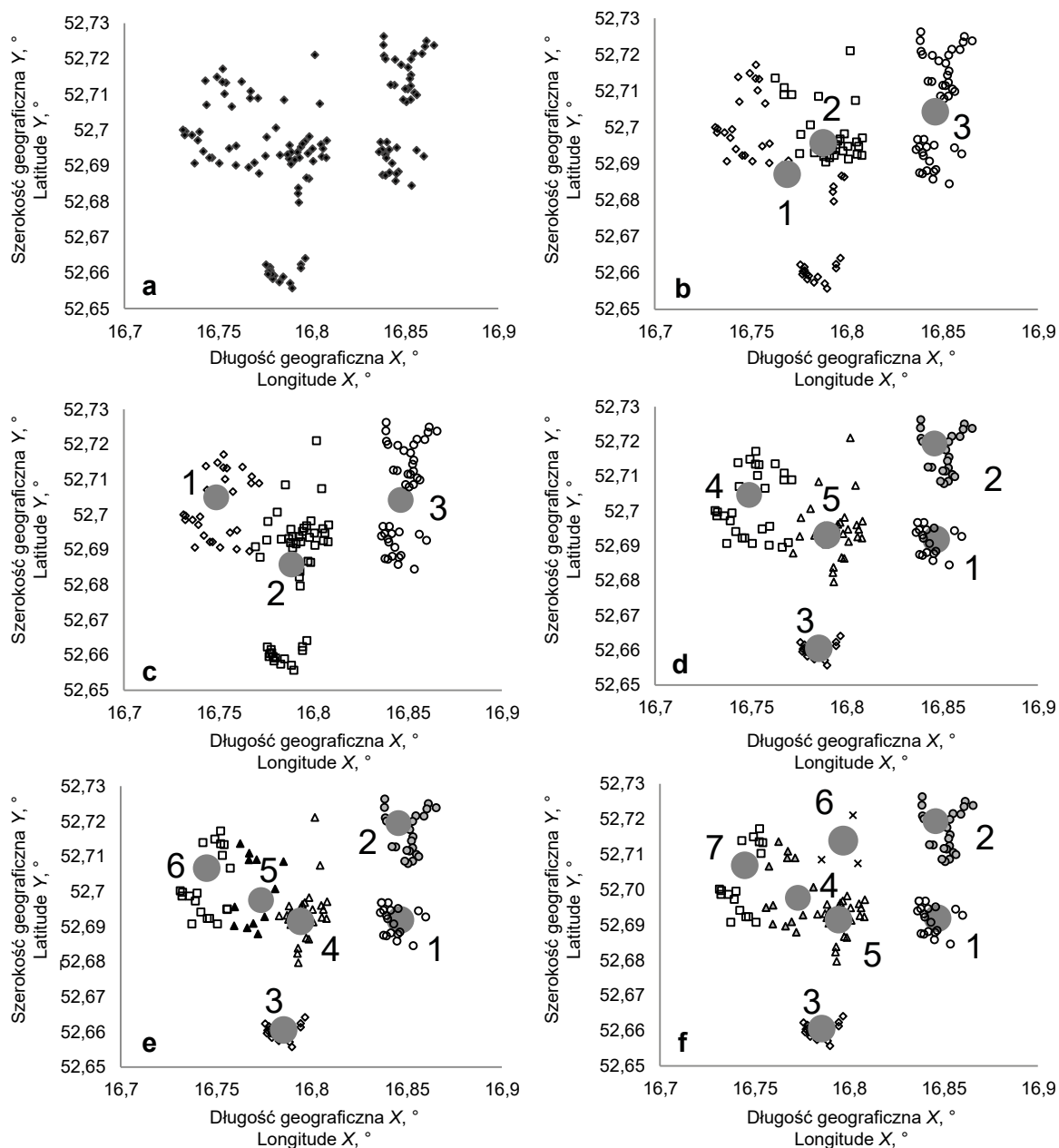
Y_{sk}, X_{sk} – szerokość i długość geograficzna punktu składowania surowca pozyskanego z drzewostanów tworzących skupienie właściwe dla tego punktu składowania.

W każdym z analizowanych wariantów dla każdego skupienia drzewostanów obliczono średnią odległość między drzewostanami należącymi do skupienia a miejscem składowania surowca, określono odległość maksymalną, minimalną oraz odchylenie standardowe.

Dla każdego skupienia obliczono pracę transportową konieczną do wykonania podczas dostarczania drewna z drzewostanów tworzących skupienie do określonego dla nich miejsca składowania surowca. Obliczono wreszcie sumaryczną pracę transportową w każdym z wariantów poprzez zsumowanie, w obrębie danego wariantu, prac transportowych obliczonych uprzednio dla każdego ze skupień.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

W toku analizy 119 drzewostanów zaplanowanych do cięć rębnych i przedrębnych ustalono, że całkowita miąższość drewna przewidywana do pozyskania wynosiła 27 452 m³. Naniesiono współrzędne określające długość i szerokość geograficzną 119 drzewostanów planowanych do pozyskiwania drewna w trzech analizowanych leśnictwach. Sporządzono wykres punktowy umożliwiający zobrazowanie wzajemnego położenia drzewostanów (rys. 1a). Na rysunku zwraca uwagę położenie trzech oddzielnych skupień (dwa z prawej strony i jedno u dołu wykresu), pozostających w pewnej odległości od centralnej „chmury” punktów, widocznych w środkowej i lewej części wykresu. W tej grupie drzewostanów trudno określić skupienia jednoznacznie. Analiza skupień pozwoliła na uzyskanie obrazu sugerującego wyodrębnienie w toku dalszej analizy dwóch lub czterech zgrupowań (rys. 2).



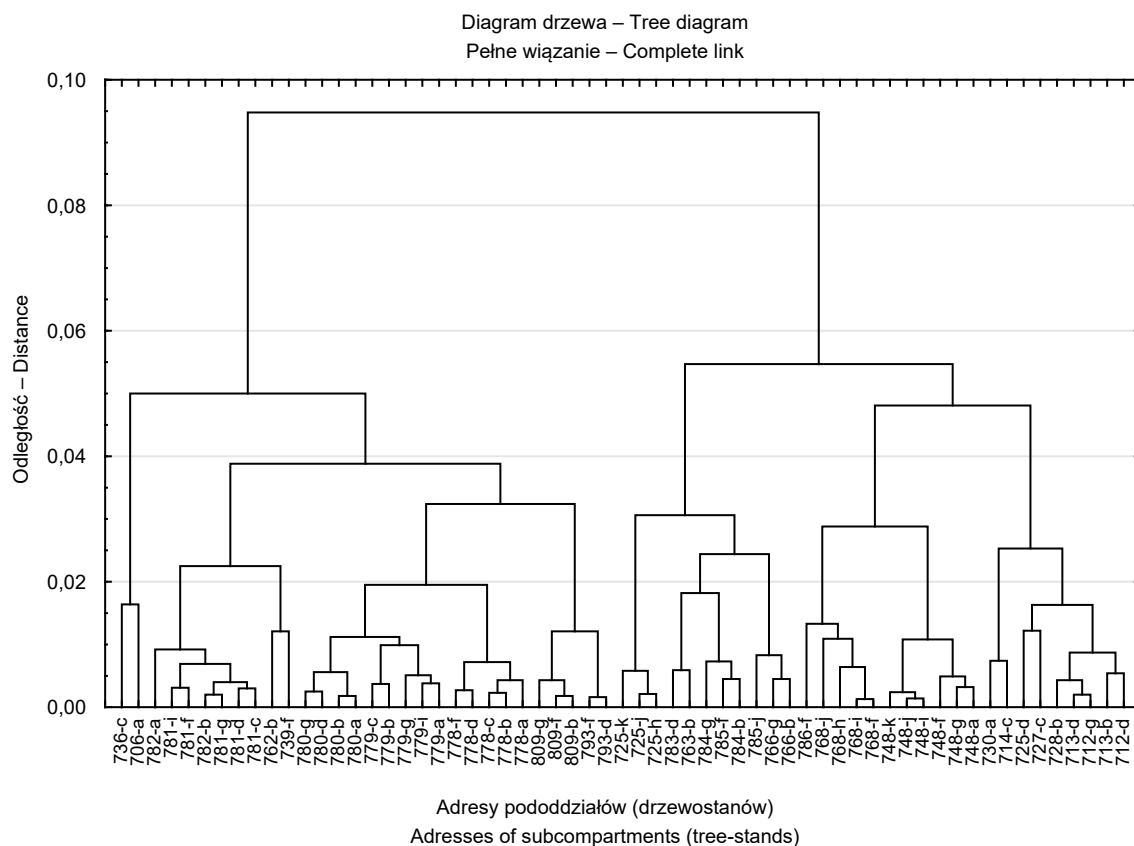
Rys. 1. Wyróżnione w analizowanym obszarze skupienia drzewostanów (oznaczone odmiennymi znacznikami) i położenia składnic przyporządkowanych do poszczególnych grup drzewostanów: a – obraz położenia analizowanych drzewostanów bez wyróżnionych skupień, b–f – warianty podziału drzewostanów na skupienia z przyporządkowanymi do nich składnicami. Numerami oznaczono składnice wewnątrz poszczególnych skupień

Fig. 1. Clusters of tree stands in the analysed area, marked with different symbols and locations of landings assigned to individual groups of stands. a – view of locations of analysed stands without specified clusters, b–f variants of tree stand clusters with landings assigned to them. Landings within individual clusters are marked with dark circles and numbered

Tabela 1. Charakterystyka punktów składowania drewna w poszczególnych wariantach podziału analizowanego obszaru leśnego na skupienia

Table 1. Characteristics of wood landings in individual variants dividing the analysed forest area into clusters

Wariant Variant	Numer składowicy Landing number	Odległość od drzewostanu do składowicy Distance from tree stand to landing km				Łączna praca transportowa Total transportation work km·m ³	Ilość drewna Timber volume m ³	Liczba drzewostanów ciążących do składowicy szt. Number of stands assigned to landing pcs.
		średnia average	max	min	SD			
1	1 Nowołoskonic	2,45	3,76	0,21	0,933	22 241,17	8 738	45
	2 Mycin	1,03	2,98	0,03	0,71	5 748,71	7 491	31
	3 Rożnowo	1,51	2,53	0,50	0,55	18 213,65	11 224	43
	razem – total	1,74	3,76	0,03	0,955	46 203,53	27 453	119
2	1	1,51	2,53	0,50	0,55	18 213,65	11 224	43
	2	1,78	4,03	0,37	0,98	17 757,83	11 782	49
	3	1,25	2,08	0,41	0,36	4 580,51	4 447	27
	razem – total	1,56	4,03	0,37	0,76	40 551,99	27 453	119
3	1	0,62	0,93	0,27	0,187	4 288,37	6 171	18
	2	0,85	1,42	0,08	0,355	3 223,35	5 053	25
	3	0,53	0,85	0,18	0,150	1 354,78	2 622	15
	4	1,27	2,06	0,44	0,372	4 798,31	4 533	28
	5	0,89	3,22	0,08	0,625	7 248,21	9 074	33
	razem – total	0,88	3,22	0,08	0,487	20 913,02	27 453	119
4	1	0,62	0,93	0,27	0,187	4 288,37	6 171	18
	2	0,85	1,42	0,08	0,355	3 223,35	5 053	25
	3	0,53	0,85	0,18	0,150	1 354,78	2 622	15
	4	0,78	3,34	0,11	0,610	4 370,87	6 516	28
	5	1,08	1,94	0,18	0,454	2 233,34	3 529	13
	6	1,15	1,84	0,12	0,399	2 904,59	3 562	20
	razem – total	0,83	3,34	0,08	0,462	18 375,30	27 453	119
5	1	0,62	0,93	0,27	0,187	4 288,37	6 171	18
	2	0,85	1,42	0,08	0,355	3 223,35	5 053	25
	3	0,53	0,85	0,18	0,150	1 354,78	2 622	15
	4	1,08	1,91	0,22	0,420	2 473,17	3 673	14
	5	0,64	1,31	0,12	0,281	4 354,92	6 510	26
	6	0,91	0,98	0,87	0,050	8,20	9	3
	7	1,15	1,86	0,07	0,422	2 676,23	3 415	18
	razem – total	0,78	1,91	0,07	0,384	18 379,02	27 453	119



Rys. 2. Wyniki analizy skupień (w postaci diagramu drzewa) przeprowadzonej dla części drzewostanów poddanych analizie, nie tworzących wyraźnych oddzielonych od siebie skupień

Fig. 2. Results of cluster analysis in the form of a tree diagram, conducted for several tree stands submitted to the analysis, which did not form distinguishable, separated clusters

Wyznaczenie położenia trzech składnic, po jednej dla każdego z leśnictw, wskazuje na stosunkowo bliskie położenie składnic Nowołoskoniec i Mycin, a jednocześnie znaczne odległości między składnicami a niektórymi przynależnymi do nich drzewostanami. Zawarte w tabeli 1 informacje o odległościach między drzewostanami a składnicami oraz obliczona łączna praca transportowa takiego wariantu (1) położenia składnic wskazują na znaczną wartość łącznej pracy transportowej, przekraczającą 46 tys. $\text{km} \cdot \text{m}^3$, przy średniej odległości drzewostanu od składnicy na poziomie 1,74 km. Maksymalne odległości drzewostanów należących do poszczególnych przypisanych im składnic wahały się od 2,53 km do 3,76 km.

Nieco korzystniejsze rezultaty osiągnięto (wariant 2), gdy przyjęto taką samą liczbę składnic (3)

i zrezygnowano z lokowania po jednej składnicy na terenie każdego z analizowanych leśnictw. W tym wariantcie łączna praca transportowa nieznacznie tylko przekroczyła 40 tys. $\text{km} \cdot \text{m}^3$ (tab. 1), a średnia odległość drzewostan–składnica zmniejszyła się do wartości 1,56 km. Nadal jednak należy się liczyć ze znacznymi odległościami podwozu. Zmalały one niewiele w porównaniu z poprzednim wariantem, a maksymalna odległość dzieląca jedną ze składnic od najdalej położonego od niej drzewostanu przekroczyła 4 km. Chociaż całkowita praca transportowa w omawianym wariantcie była niższa o 12%, nadal średnie odległości podwozu do każdej ze składnic przekraczały 1 km.

Dopiero w kolejnych wariantach, zakładających możliwość założenia większej liczby składnic, zmalały znacząco nie tylko całkowita praca transportowa,

ale również średnie odległości podwozu drewna z poszczególnych drzewostanów do przypisanych im składnic. W wariantcie 3 ulokowano po jednej składnicy w wyraźnie zaznaczających się skupieniach punktów reprezentujących drzewostany przewidywane do cięcia, widocznych w prawym i dolnym fragmencie rysunku 1d. W bardziej rozproszonym skupieniu punktów, widocznym w centralnej części rysunku, przewidziano dwie składnice. Obliczona dla układu pięciu składnic łączna praca transportowa zmniejszyła się niemalże o połowę w stosunku do wariantu z trzema składnicami i osiągnęła wartości blisko 21 tys. km³. Średnia odległość od składnicy do drzewostanu wynosiła wprawdzie 0,88 km, ale maksymalna odległość podwozu sięgnęła 3,22 km, co jest wartością znaczną.

Przyjęcie możliwości założenia większej liczby składnic (warianty 4 i 5, rys. 1e i 1f) pozwoliło na dalsze obniżenie o około 12% łącznej pracy transportowej podwozu drewna z drzewostanów do składnic. Uległa także zmniejszeniu średnia odległość podwozu drewna: do 0,83 km przy sześciu oraz 0,79 km przy siedmiu składnicach. Niestety odległości maksymalne pozostały nadal znaczne. W wariantcie z sześcioma składnicami maksymalna odległość podwozu wynosiła 3,34 km, a w wariantcie z siedmioma sięgała blisko 2 km. Co ciekawe, w wariantcie z siedmioma składnicami całkowita praca transportowa była o 3,72 km³ większa niż w wariantcie z liczbą składnic mniejszą o jeden. W wariantcie z siedmioma składnicami (rys. 1f) do jednej przypisano tylko trzy drzewostany, w których planowano pozyskać łącznie 9 m³. Ta niewielka ilość drewna spowodowała zmianę stref ciążenia ku pozostałym składnicom tej części analizowanego obszaru, odnoszącą się do punktów przedstawionych w centralnej i lewej części wykresu.

Na podstawie wyników uzyskanych w analizowanych wariantach można stwierdzić, że należałoby przyjąć liczbę sześciu składnic w celu uzyskania minimalnej pracy transportowej dla całego obiektu, w którym zaplanowano cięcia. Taki model lokalizacji składnic cechował się całkowitą wartością pracy transportowej na poziomie 18 375,3 km³, co daje 3063 km³ na jedną składnicę. Na poszczególne składnice przypadało 2622–6516 m³ drewna (tab. 1). Przyjęcie rozwiązania z siedmioma składnicami wprawdzie skutkowałoby zmniejszeniem maksymalnej odległości podwozu drewna, ale wymagałoby doprowadzenia

odpowiedniej drogi do składnicy oznaczonej numerem 6 (rys. 1f). Nie wydaje się więc zasadne jej lokalizowanie, zważywszy, że do składnicy tej ciężą trzy drzewostany i tylko 9 m³ surowca.

Przyjęty model ustalania liczby i lokalizowania przejściowych składnic drewna na terenie objętym analizą wymagał wyróżnienia grup drzewostanów tworzących wyraźne skupienia, w których można by lokalizować składnice drewna. Nie zawsze jednak obserwuje się takie naturalne skupienia. Kiedy drzewostany, w których będzie pozyskiwane drewno nie tworzą zgrupowań naturalnych, można posłużyć się algorytmem analizy skupień, wymagającym zastosowania odpowiedniego programu komputerowego. Wykorzystany w badaniach pakiet Statistica, umożliwiający przeprowadzenie analizy skupień, okazał się przydatny z dwóch powodów. Po pierwsze, pozwolił na zhierarchizowanie zgrupowań drzewostanów w postaci dendrogramu i w ten sposób umożliwił wyodrębnienie grup drzewostanów, co było niewiódzące po naniesieniu współrzędnych geograficznych drzewostanów na układ współrzędnych. Po drugie, zastosowane narzędzie pozwoliło na podział grupowanych obiektów (drzewostanów) na zadaną z góry liczbę zgrupowań. Ustalenie zgrupowań tworzonych przez drzewostany, traktowanych jako źródła surowca, to tylko część procedury rozwiązania problemu optymalizacyjnego. Następnym krokiem – ustalenie lokalizacji składnic w wydzielonych skupieniach wymagał obliczenia współrzędnych położenia składnic jako średnich z położenia poszczególnych drzewostanów, ale ważonych miąższością drewna przewidywanego do pozyskania. Taką metodę sugeruje również Krysztofak (2010), choć stosuje ją w rolnictwie i nie posługuje się układem współrzędnych geograficznych.

Pozyskiwanie drewna jest często przedsięwzięciem złożonym i kosztownym, dlatego opracowuje się modele matematyczne jako pomoc w organizacji operacji leśnych. Silva i in. (2018) zaproponowali model z zakresu całkowitoliczbowego programowania liniowego, którego celem było minimalizowanie odległości między drzewami pozyskiwanymi w rębni przerębowej a planowanymi składnicami drewna. Opisany model został jednak opracowany dla blisko 0,5 mln ha Puszczy Amazońskiej. Dotyczył innych warunków, ale w istocie miał za zadanie minimalizowanie przejazdów skiderów. Celem przedstawianego modelu optymalizacji położenia

składnic było ograniczenie pracy transportowej na odcinkach drzewostan–składnica. W obu przypadkach chodzi więc o minimalizowanie ingerencji środków technicznych w środowisku leśnym, co ma nie tylko znaczenie ekonomiczne, ale przede wszystkim ogranicza szkody w środowisku leśnym.

Optymalizacja położenia i liczby składnic nie wyczerpuje problematyki badawczej związanej z tymczasowym składowaniem pozyskanego drewna w lesie. Składnice leśne mogą różnić się zarówno wielkością, jak i okresem użytkowania. W prezentowanej pracy zakładano milcząco, że zaproponowane składnice będą miały charakter tymczasowy i przestaną istnieć po zakończeniu operacji pozyskiwania drewna przewidzianych w analizowanych leśnictwach w badanym okresie. Analizę czasu użytkowania założonych składnic w Nowej Zelandii prowadził Visser i in. (2010), stwierdzając stosunkowo krótki okres ich wykorzystywania, średnio około cztery tygodnie.

PODSUMOWANIE

Grupowanie drzewostanów w skupienia wydaje się celowe wobec obserwowanego ostatnio zjawiska prowadzenia cięć w układzie blokowym, w którym bloki obejmują wiele drzewostanów w sąsiadujących ze sobą leśnictwach. Wyróżnione grupy drzewostanów umożliwiają optymalne umiejscawianie przejściowych składnic leśnych i uzyskiwanie oszczędności w pracach transportowych. Dzięki takiej organizacji procesów transportu drewna zapobiega się konieczności wykorzystania wysokotonażowego taboru wozowego w dojazdach do każdego drzewostanu na rzecz dojazdów tylko do umiejscowionych w terenie przejściowych składnic leśnych. Zaprezentowany model podziału drzewostanów na skupienia, a następnie zaproponowana metoda obliczenia położenia składnic drewna pozwalają na wybór zgrupowań prowadzący do zredukowania pracy transportowej, obejmującej podwóz drewna między wyróżnionymi składnicami a przyporządkowanymi do nich drzewostanami. Okazuje się, że istnieje pewne optimum liczby wyróżnionych skupień i określonych dla nich składnic.

Grupując drzewostany w skupienia, dla których w następnej kolejności określi się położenia składnic, należy zwrócić uwagę czy przewidywane do cięć drzewostany nie tworzą skupień naturalnych. Jeśli tak,

należy je przyjąć. Metody matematyczne służące do wyodrębniania skupień w populacji drzewostanów należy stosować w sytuacjach, kiedy trudno się zorientować ile należy wydzielić skupień i które drzewostany do nich przyporządkować. Wydaje się, że moduł analiza skupień zawarty w pakiecie obliczeniowym Statistica spełnia wymagania wyboru narzędzia matematycznego umożliwiającego wyróżnienie zgrupowań drzewostanów.

Na podstawie przedstawionego i zastosowanego w praktyce leśnej modelu, w którym określano optymalną liczbę i położenie składnic dla trzech leśnictw, wykazano, że najlepszym rozwiązaniem było wyróżnienie sześciu zgrupowań drzewostanów z sześcioma składnicami, po jednej dla każdego ze zgrupowań. Takie jednak rozwiązanie wymaga rezygnacji z wyodrębniania grup drzewostanów z zachowaniem administracyjnych granic leśnictw.

PIŚMIENNICTWO

- Astronomiczne podstawy geografii. Podręcznik internetowy [Astronomical foundations of geography. Internet handbook] (2016). Pobrano 4 grudnia 2018 r. z: https://pl.wikibooks.org/wiki/Astronomiczne_podstawy_geografii
- GUS (2017). Leśnictwo 2017 [Forestry 2017]. Warszawa: GUS.
- Krysztofiak, A. (2010). Elementy teorii transportu rolniczego. Poznań: Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego.
- Silva, P. H., Gomide, L. R., Figueiredo, E. O., Carvalho, L. M. T., Ferraz Filho, A. C. (2018). Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. *Acta Amazon.*, 48, 18–27.
- Stanisz, A. (2007). Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny [A plain statistics course using STATISTICA PL with examples from medicine]. Kraków: StatSoft Polska.
- Stokes, B., Ashmore, C., Rawlins, C., Sirois, D. L. (1989). Glossary of terms used in timber harvesting and forest engineering. Gen. Tech. Rep. So-73. USDA FS.
- Szada-Borzyszkowski, W., Szada-Borzyszkowska, M. (2018). Usprawnienie przewozu drewna z lasu do magazynu. *Autobusy*, 9, 101–104.
- Visser, R., Spinelli, R., Magagnotti, N. (2010) Landing size and landing layout in whole-tree harvesting operations in New Zealand. *Int. J. For. Eng.*, 22, 2, 23–27.
- Zychowicz, W., Bielawska, D., Lis, K. (2008). Organizacja produkcji na składnicy manipulacyjno-spedycyjnej dodatkowo wytwarzającej proste wyroby drewniane. *Inż. Roln.*, 1(99), 433–439.

OPTIMISATION OF TEMPORARY WOOD LANDINGS ON A LIMITED FOREST AREA

ABSTRACT

Introduction. The paper presents an optimisation model for the number and location of temporary wood landings in a small forest area comprising 3 forest units in the Oborniki Forest District.

Methods. Optimisation was conducted by analysing the location of tree stands, in which timber harvesting was planned, by variant selection of the number of landings and by determining the location of the landings as the central position related to the stands ascribed to the landing, weighted by timber volume to be harvested in individual stands. The optimisation criterion was to minimise the transportation labour resulting from transporting timber from the stands to the landings, for the whole analysed object. The analysis was conducted with the Cluster analysis algorithms available in the Statistica computer application.

Results. In course of the calculations, carried out for 5 variants, the best one showed 6 landings. The average transportation labour necessary to transport timber from the stands to the landings was 3063 m³ at an average distance of 0.83 km.

Conclusion. The presented optimisation model for of the number and location of wood landings proved to be efficient and useful to improve transportation operations in a forest area.

Keywords: timber transport, cluster analysis, wood landings

