

MIECZYŚLAW BOTWIN

Metody określenia optymalnej sieci dróg zrębowych

Методы определения оптимальной сети лесных дорог

Methods of Determining the Theoretical Optimum for Logging Roads Network

Proces pozyskania drewna posiada wiele cech, które odróżniają go od innych procesów produkcyjnych. Pierwszą operacją roboczą pozyskania drewna jest ścinka. Wykonując ją jesteśmy zmuszeni poruszać się wraz z narzędziem pracy — piłą, a obiekt pracy w procesie ścinki — drzewo pozostaje nieruchome. Z punktu widzenia organizacji pracy przy ścinie proces pozyskania przypomina procesy pozyskania w górnictwie lub torfownictwie. Inne operacje technologiczne w procesie pozyskania drewna (okrzesywanie, przerzynka, korowanie) są wykonywane w kraju także na zrębie.

Wszystkie pozostałe operacje procesu pozyskania drewna są operacjami transportowymi. Do operacji tych zalicza się zrywkę, załadunek, wyładunek, myślowanie itd.

Przyjmuje się, że liczba operacji produkcyjnych, a także ich uszeregowanie, tworzą strukturę procesu produkcyjnego lub procesu technologicznego, jeżeli jest to główny proces dla wykonania którego powołany został dany zakład.

Operacje transportowe odgrywają bardzo ważną rolę w procesie pozyskania drewna. Wielkość udziału czasu trwania operacji transportowych w stosunku do całości, ich pracochłonność, a szczególnie konieczność dużych nakładów inwestycyjnych w procesie pozyskania drewna jest bardzo znaczna. Warto podkreślić, że udział prac transportowych jest większy w procesie pozyskania drewna aniżeli w górnictwie lub torfownictwie. Wynika to chociażby z tego, że tak w górnictwie jak i w torfownictwie na każdej jednostce powierzchni eksploatacyjnej mamy do pozyskania warstwę materiału o grubości od kilkudziesięciu centymetrów do kilkudziesięciu metrów, podczas gdy w leśnictwie, jeżeli przeliczyć masę drzewostanu, na warstwę równoważną, pokrywającą równomiernie całą powierzchnię, to wynosi ona od 8 do 50 milimetrów. Dlatego też, aby skoncentrować w jednym miejscu drewno znajdujące się na zrębie o powierzchni 1 ha, trzeba wykonać pracę w granicach od 6 000 do 150 000 tonometrów. Jest to olbrzymia praca, którą wykonujemy przy zrywce drewna. Praca wykonywana przy wywozie 1 m³ drewna, licząc że średnia odległość wywozu waha się w granicach od 8 do 20 km przy ciężarze objętościowym drewna $\gamma = 0,7 \text{ T/m}^3$, wynosi od 6 000 do 14 000 tonometrów. W radzieckiej literaturze fachowej pracochłonność czynności transpor-

towych przy pozyskaniu 1 m³ drewna jest oceniana w granicach 0,2 roboczodniówki. Jest to pracochłonność tylko podstawowych czynności transportowych — zrywki, załadunku, wywozu. Według tych samych źródeł całkowita pracochłonność podstawowych czynności przy pozyskaniu 1 m³ drewna jest oceniana w granicach 0,5 roboczodniówki. Prace transportowe składają się na 40—70% pracochłonności podstawowych prac przy pozyskaniu drewna, z tego 15—30% to pracochłonność wywozu drewna. Konieczność nakładów pieniężnych na transport leśny w procesie pozyskania drewna jest bardzo duża, gdyż obejmują one do 70—80% kosztów własnych pozyskania drewna. Dlatego też organizacja prac transportowych wymaga dokładnej analizy ekonomicznej.

Koszty związane z transportem leśnym można podzielić na następujące grupy:

- a) koszty budowy nowych dróg leśnych,
- b) koszty eksploatacji istniejących dróg i urządzeń drogowych,
- c) koszty eksploatacji pojazdów mechanicznych lub utrzymania koni używanych do zrywki i wywozu drewna,
- d) robocizna pracowników bezpośrednio zatrudnionych przy zrywce, wywozie i pracach załadowniczych.

Koszty budowy dróg są znaczne i zależą od rodzaju drogi, rodzaju nawierzchni i warunków terenowych. Koszty budowy drogi o długości 1 km wahają się od 70 000 zł do 1 000 000 zł.

Wydatki Ministerstwa Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego na utrzymanie w należyтым stanie dróg leśnych, a więc na ich eksploatację, stale wzrastają i sięgają milionowych sum. W przeciągu ostatnich siedmiu lat wydatki na eksploatację dróg leśnych wzrosły prawie dziesięciokrotnie. Średni koszt eksploatacji 1 km drogi, według danych ML i PD, waha się od 4 200 zł do 11 950 zł, a średnio wynosi około 6 000 zł.

W planie piętnastoletnim przewiduje się poważną rozbudowę sieci dróg leśnych. Przewiduje się zwiększenie gęstości dróg leśnych z około 2,2 km/100 ha do 3,2 km/100 ha. Warto zaznaczyć, że według danych prof. E. Kamińskiego Jugosławia posiada obecnie 0,3 km/100 ha lasów eksploatowanych. Jugosłowianie przewidują w swoich planach osiągnięcie 1 km/100 ha lasów eksploatowanych na równinach i odpowiednio na wyżynach 2 km/100 ha i w górach 5 km/100 ha. We Francji odpowiedni wskaźnik wynosi 1 km/100 ha, a w Szwajcarii 5,7 km/100 ha. Do wskaźników tych trzeba jednak odnosić się z wielką rezerwą, gdyż nie wiadomo jaka była metodyka ich określenia. Dotyczy to również wskaźników dla lasów polskich. Czy rzeczywiście w lasach polskich istnieje obecnie 120 000 km dróg? A jeżeli istnieje, to czy są to drogi utrzymane w należyтым stanie? Na pytanie to można będzie odpowiedzieć po przeprowadzonej inwentaryzacji dróg leśnych. Przy tak wielkiej intensywności budownictwa dróg leśnych jaką przewiduje plan perspektywiczny staje się bardzo aktualne określenie optymalnej sieci dróg leśnych, a przede wszystkim dróg zrębowych. Wielce aktualne jest również opracowanie metody wyboru najbardziej odpowiedniej nawierzchni dla dróg leśnych w określonych warunkach terenowych i eksploatacyjnych.

Budując drogę leśną musimy rozpatrzyć ekonomiczne i techniczne zagadnienia związane z budownictwem. W artykule tym rozpatrzymy niektóre zagadnienia ekonomiczne związane z budownictwem dróg leśnych.

Przy rozpatrywaniu opłacalności inwestycji zazwyczaj porównujemy kilka projektów rozwiązania tego samego zagadnienia. Każdy projekt wymaga pewnych kosztów na budownictwo, jak również przewiduje pewne koszty eksploatacyjne podczas użytkowania projektowanego urządzenia.

Opłacalność dodatkowych nakładów na realizację pewnego projektu tylko wtedy będzie miała miejsce, jeżeli okres eksploatacji będzie większy aniżeli pewne minimum, a oszczędność na kosztach eksploatacyjnych przewyższy koszty dodatkowych nakładów. Takie porównanie można wyrazić wzorem

$$T_{min} = \frac{I_1 - I_2}{E_2 - E_1} \quad (1)$$

w którym I_1 i I_2 — koszty inwestycyjne badanych projektów, E_1 i E_2 — odpowiadające im roczne koszty eksploatacyjne, T_{min} — minimalny okres eksploatacji w czasie którego oszczędność na kosztach eksploatacyjnych przewyższy dodatkowe nakłady.

Wykorzystując wzór (1) można porównywać projekty rozwiązania transportu drewna dla całych kompleksów leśnych, pewnych odcinków dróg itd. Trzeba zaznaczyć, że w warunkach górskich, kiedy sama konfiguracja terenu podpowiada technologiczne rozwiązanie i porównywalnych wariantów może być stosunkowo niewiele, jest to często jedyny sposób racjonalnej oceny zagadnień transportowych. Analogicznie przy budowie dróg leśnych przechodzących przez tereny leżące poza lasem jest to jedyny sposób wyboru racjonalnego rozwiązania. Już od dawna poszukuje się metod pozwalających określić optymalną sieć dróg leśnych w warunkach nizinnych, w których praktycznie rzecz biorąc, może być ogromna ilość rozwiązań zagadnień transportowych.

Pod optymalną siecią dróg leśnych rozumiemy taką sieć dróg, przy której koszt pozyskania 1 m³ drewna będzie minimalny, przy czym koszty prac transportowych zależnych od gęstości dróg występują jako wielkości zmienne.

Jako autorów, których prace są poświęcone rozwiązaniu zagadnienia określenia optymalnej sieci dróg leśnych można wymienić: W. B u w e r t a, D. M. M a t h e w s a, N. N i e w i e s s k i e g o, E. G. S t r e h l k e g o, E. V o l k e r t a, S. S y r o m i a t n i k o w a i wielu innych. Odnaleźć ekonomiczne optimum można w zasadzie dwoma sposobami. Pierwszy z tych sposobów polega na analitycznym odnalezieniu minimalnej wartości funkcji kosztów własnych pozyskania 1 m³ drewna, której zmienną jest odległość między drogami zrębowymi. Wielkość odległości, przy której koszty będą minimalne jest optymalną wielkością, a pierwsza pochodna czyli styczna do funkcji w danym punkcie będzie równa zeru. Aby upewnić się, że jest to minimalne, a nie maksymalne znaczenie funkcji trzeba sprawdzić go sposobami stosowanymi w analizie matematycznej. Metoda ta jest ściślej i teoretycznie bardziej uzasadniona od następnej metody.

Druga metoda polega na przyrównywaniu do siebie kosztów oddziałujących na koszty całości w przeciwnych kierunkach. Minimalne znaczenie funkcji będzie miało miejsce wtedy, gdy wielkości kosztów działających w przeciwnych kierunkach będą sobie równe. A więc rozwiązując zagadnienie według drugiej metody trzeba:

a) przeprowadzić podział całkowitego kosztu na koszty stałe, niezależnie od badanego wskaźnika, i koszty zmienne, które są zależne od badanego wskaźnika,

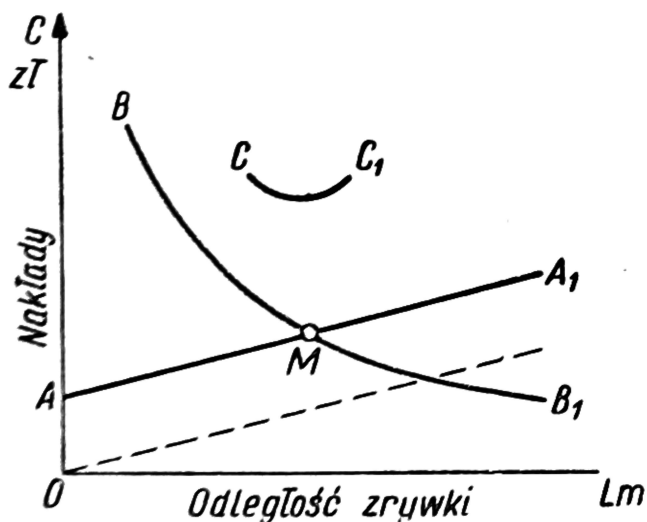
b) przyrównać do siebie wielkości kosztów zmiennych działających w przeciwnych kierunkach na koszty całości,

c) rozwiązać równanie, to znaczy znaleźć takie znaczenie badanego wskaźnika, przy którym równanie to ma miejsce.

Badana funkcja kosztów całości będzie miała minimalne znaczenie, jeżeli badany wskaźnik będzie miał znaczenie zgodne z punktem „c”, a więc takie znaczenie przy którym koszty działające na koszt całości będą sobie równe.

Obie metody mogą dać jednakowe rezultaty, jeżeli była należycie przeprowadzona segregacja wielkości stałych od wielkości zmiennych. Metoda ta jest, według naszego zdania, bardziej skomplikowana, a równocześnie teoretycznie mniej uzasadniona i jest w zasadzie zrozumiała tylko na podstawie graficznych wykresów. Doświadczenie jednak wykazuje, że autorzy którzy stosując drugą metodę bez należytej segregacji wielkości stałych od zmiennych popełniają dość istotne błędy. Odnosi się to, między innymi do prac takich autorów, jak E. Volkert („Die Bringungstechnik als gemeinsames Problem von Forst und Holzwirtschaft“) i F. Papanek (Ekonomika socialistického lesného hospodarstva“).

Obaj wymienieni autorzy starając się określić optymalne odległości między drogami zrębowymi według drugiej metody uważają, że opty-

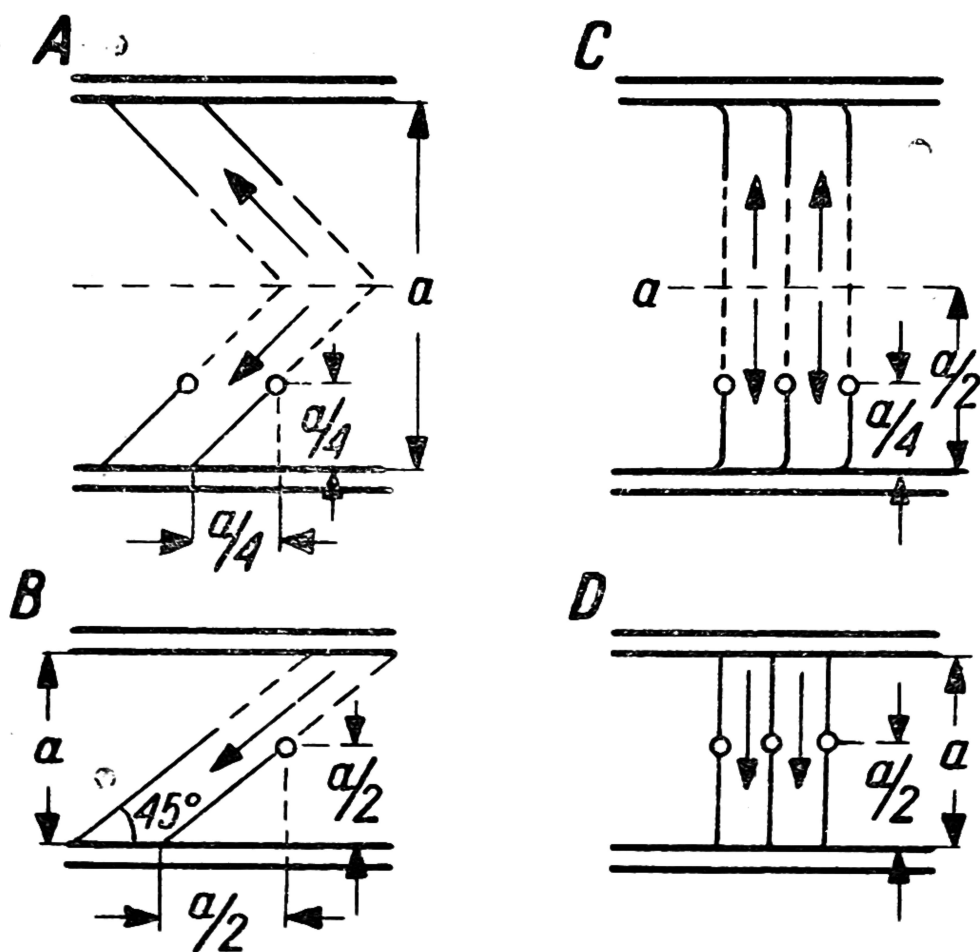


Ryc. 1. Schematyczny wykres kształtowania się kosztów w zależności od gęstości dróg leśnych

części kosztów zrywki obaj autorzy na wykresach ilustrujących swoje rozważania popełniają błędy (Papanek rys. 32, str. 234, Volkert rys. 55 i 56, str. 96). Treść tych rysunków można przedstawić schematycznie jednym rysunkiem (ryc. 1). Na rysunku tym krzywa AA_1 przedstawia koszty zrywki w zależności od odległości zrywania L ,

optymalne odległości pomiędzy tymi drogami otrzymamy wtedy, gdy koszty zrywki będą równe kosztom budownictwa, lub utrzymania dróg zrębowych. W określeniu jednak takim tkwi zasadniczy błąd, a mianowicie przyjmuje się, że koszty zrywki w całości są zależne od odległości zrywania, co nie odpowiada rzeczywistości. Tylko koszt wleczenia jest proporcjonalny do odległości zrywania. Druga część kosztów zrywki, a mianowicie koszt zahaczenia i odczepiania nie jest bezpośrednio zależny od odległości zrywania. Nie uwzględniając składowych

a krzywa BB_1 koszty eksploatacyjne i amortyzacyjne. Całkowity koszt, a więc suma rzędnych krzywej AA_1 i BB_1 , może być przedstawiony krzywą CC_1 , i jak przedstawiają wyżej wymienieni autorzy minimum funkcji kosztów całkowitych znajduje się w punkcie, w którym koszty wyrażane krzywą AA_1 zrównają się z kosztami wyrażanymi krzywą BB_1 (punkt M na ryc. 1). Taka interpretacja odpowiadałaby rzeczywistości, jeżeliby krzywa AA_1 przechodziła przez początek współrzędnych. W każdym innym przypadku minimum całkowitych kosztów znajduje się w innym punkcie. A więc na wykresach tego typu minimum kosztów znajduje się nie w miejscu gdzie koszty zrywki równają się kosztom utrzymania i amortyzacji dróg, a tam gdzie koszty wle-



Ryc. 2. Zależność średniej odległości zrywki od odległości między drogami zrębowymi przy różnych kątach podejścia dróg zrywkowych do drogi zrębowej i różnych sposobach zrywki

czenia równają się odpowiednim kosztom utrzymania i amortyzacji. Wynikające dość istotne różnice postaramy się potwierdzić na podstawie danych Volkerta, gdyż Papanek żadnych cyfr nie podaje.

Volkert przyjmuje koszt budowy i utrzymania 1 mb dróg leśnych w warunkach zachodnio-niemieckich w granicach od 0,5 do 2,0 DM. Opłata jednej godziny pracy robotnika przy zrywce waha się od 1,75 do 2,00 DM. Obliczenia wykonane są dla określenia optymalnej sieci dróg w gospodarstwie przerębowym, gdy roczne pozyskanie w drzewostanach bukowych w zależności od klasy bonitacji waha się od 2,5 m³ rocznie w V klasie do 8,0 m³ rocznie w I klasie. Warto zwrócić uwagę

na bardzo ciekawy szczegół w obliczeniach, który charakteryzuje poziom płacy robotnika leśnego. Na podstawie istniejących warunków Volkert przy obliczeniu kosztów utrzymania sprzężaju dwóch koni i jednego robotnika wskazuje, że koszt konio-dniówki waha się od 0,7 do 1,0 roboczodniówki, przyjmuje jednak w swych dalszych obliczeniach 0,7.

Dla ilustracji przeprowadzimy obliczenia optymalnej sieci dróg w drzewostanach pierwszej bonitacji, jeżeli koszt budowy i utrzymania drogi równa się 2 DM na 1 mb rocznie, a koszt roboczogodziny 2 DM. Pracochłonność zrywki wykonywanej sprzężajem dwu koni i jednym robotnikiem, zgodnie z Volkertem przy odległości zrywki 100 m, równa się 25 minutom, a zwiększenie się odległości zrywki o 100 m powoduje zwiększenie się pracochłonności o następne 5 minut. Koszt jednej godziny pracy takiego zespołu przy zrywce wynosi 4,8 DM. Zrywka może być prowadzona z obu stron drogi, lub też tylko z jednej strony drogi. Jeżeli przyjmiemy, że odległość między drogami zrębowymi a (ryc. 2) to średnia odległość zrywki przy kącie dojścia drogi zrywkowej do drogi wywozowej (zrębowej) w granicach od 45° do 90° może być określona według następujących zależności:

a) przy zrywce z obu stron drogi, gdy drogi zrywkowe dochodzą pod kątem 45° (ryc. 2A)

$$l_s = \left[\left(\frac{a}{4} \right)^2 + \left(\frac{a}{4} \right)^2 \right] = \frac{a}{4} \sqrt{2} = 0,35 a$$

b) przy zrywce z jednej strony drogi, kiedy drogi zrywkowe dochodzą pod kątem 45° (ryc. 2B)

$$l_s = \left(\frac{a}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 = \frac{a}{2} \sqrt{2} = 0,7 a$$

Volkert w swoich rozważaniach rozpatruje te właśnie dwa przypadki. Jeżeli drogi zrywkowe dochodzą pod kątem 90° do drogi zrębowej, to przy zrywce z obu stron drogi $l_s = 0,25 a$ (ryc. 2C), a przy zrywce z jednej strony drogi $l_s = 0,50 a$ (ryc. 2D). Obliczenia zgodnie

Tabela 1

Średnia odległość zrywania w m	Roczny koszt zrywki z 1 ha w DM	Odległość między drogami zrębowymi w m	Koszt budowy i utrzymania drogi przypadające na 1 ha w DM	Sumaryczne koszty roczne w DM przypadające na 1 ha lasów
100	15,84	143	140	155,84
200	19,01	286	70	89,01
300	22,18	429	46,6	68,78
400	25,34	572	35,0	60,34
500	28,51	715	28,0	56,51
600	31,68	858	23,4	55,08
700	34,85	1 000	20,0	54,85
800	38,02	1 144	17,4	55,42
900	41,18	1 287	15,6	56,78
1 000	44,35	1 430	14,0	58,35

z założeniami Volkerta dla przypadku zrywki z jednej strony drogi przedstawione są w tab. 1.

Na podstawie tabeli 1 wykonałem wykres (ryc. 3) wykazujący, że minimalne koszty odpowiadają odległościom znacznie większym aniżeli te, przy których koszty zrywki równają się kosztom utrzymania dróg. Zrównanie się kosztów nastąpiło przy odległości zrywki około 500 m, podczas gdy minimalne koszty mają miejsce przy odległości zrywki około 700 m.

Rozwiązując zagadnienie analitycznie, na podstawie powyższych danych Volkerta i stosując pierwszą metodę, otrzymujemy następującą zależność sumarycznych kosztów (C_o) od odległości zrywania lub odległości między drogami zrębowymi (a)

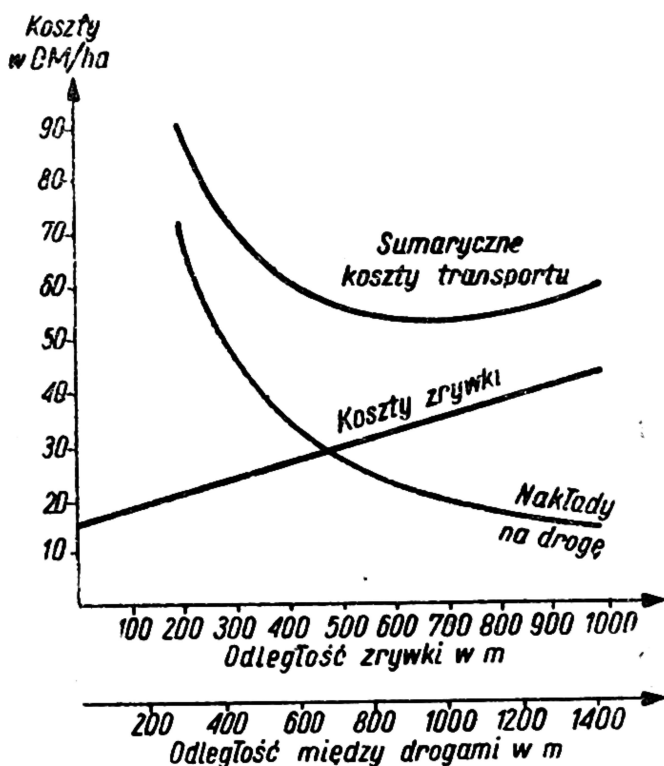
$$C_o = (0,035a + 20) 0,6336 + \frac{20000}{a}$$

Minimum sumarycznych kosztów ma miejsce wtedy, gdy pochodna będzie równa zero, gdyż druga pochodna jest wielkością większą od zera. Rozwiązując równanie względem a otrzymujemy:

$$a = \sqrt{\frac{20\ 000}{0,022176}} = 950\text{ m}$$

A więc rozwiązując równanie analitycznie otrzymaliśmy optymalną odległość między drogami 900 m, co odpowiada średniej odległości zrywania $l_s = 0,7 \cdot 950 = 650$ m. Dla rozpatrzonego wyżej przykładu Volkert określa optymalną odległość między drogami zrębowymi równą 700 m, co odpowiada średniej odległości zrywania $l_s = 0,7 \cdot 700 = 500$ m. A więc różnica w określeniu optymalnej odległości między drogami zrębowymi dla rozpatrzonego przykładu wynosi $950 - 700 = 250$ m. Koszty transportowe w stosunku do 1 ha lasu, dla rozpatrywanego przykładu, przy odległości między drogami zrębowymi 950 m, wynoszą 54,79 DM, a przy odległości między drogami zrębowymi 700 m — 56,76 DM. A więc przez mylne określenie optimum zwiększamy koszty o 1,97 DM na każdy ha rocznie. Błąd może być jeszcze większy, jeżeli koszt zahaczania będzie posiadać większy udział w ogólnych kosztach zrywki, lub też gdy zwiększanie odległości wpływa bardziej intensywnie na koszt zrywki.

Wskazując na błędne, według naszego zdania, określenie optymalnej gęstości dróg w pracach Volkerta i Papanka trzeba podkreślić, że prace te podnoszą wiele nadzwyczaj ważnych i aktualnych zagadnień i w zasadzie dają prawidłowe kierunki ich rozwiązania. Szczególnie cenną jest praca Matthews'a (3), który określając optimum stosuje



Ryc. 3. Kształtowanie się kosztów zrywki, nakładów na drogę i sumarycznych kosztów według danych E. Volkerta (obliczenia i wykonanie wykresu M. Botwin)

metodę drugą, a więc metodę przyrównywania kosztów, należyście przeprowadza segregację kosztów. Otrzymane przez tego autora wyniki nie budzą zastrzeżeń.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na artykuł *Strehlke* (4), który zajmuje się określeniem optymalnej gęstości dróg. Autor przyznaje, że określona gęstość dróg sposobem stosowanym przez *Volkerta* nie jest teoretycznie uzasadnioną gęstością dróg, lecz jest to zdaniem autora, gęstość dróg gospodarczo najbardziej celowa. Autor artykułu stanowisko swoje uzasadnia głównie twierdzeniem, że jeżeli przyjąć teoretycznie uzasadnioną gęstość dróg to szkody wynikające z powodu zwiększonej odległości zrywki zwiększają się dodatkowo o 2 DM na każdy ha lasu. Nie znając metody określenia szkód stosowanej przez autora można tylko stwierdzić, że szkody przy zrywce zależą przede wszystkim od sposobów zrywki, a nie odległości zrywania. Dlatego wydaje nam się, że szkody przy zrywaniu końmi trzeba równomiernie rozdzielić na każdą jednostkę powierzchni niezależnie od odległości zrywania. Przy określeniu gęstości dróg można wziąć pod uwagę, oprócz kosztów zrywki, budowy i utrzymania dróg, wpływ prac gospodarczych takich, jak trzebieże lub prace związane z zapobieganiem pożarom leśnym. Uwzględniając wpływ kosztów wykonania tych prac na gęstość dróg otrzymamy pewne optimum, które także będzie odpowiadało założeniom, zarówno teoretycznym, jaki założeniom gospodarczym. Trzeba jednak stwierdzić, że nie powinno i nie może być różnicy między teoretyczną i gospodarczą optymalną gęstością dróg leśnych. Istnieje tylko jedna, teoretycznie opracowana, a gospodarczo uzasadniona, optymalna gęstość dróg leśnych.

W krajowej literaturze leśnej zwracano dotychczas mało uwagi na opracowanie metody określenia optymalnej sieci dróg zrębowych. Rozwiązanie tego zagadnienia dałoby możliwość do dalszych opracowań optymalnej sieci dróg leśnych w ogóle. Należyta sieć dróg leśnych to podstawa należytej gospodarki leśnej. Są jednak ogromne trudności przy opracowaniu konkretnych zagadnień ekonomicznych. Do trudności tych można zaliczyć brak statystycznych opracowań rezultatów gospodarczej działalności w minionych okresach, małą przejrzystość, a często fikcyjność pewnych wskaźników ekonomicznych i wreszcie brak należyście opracowanych i odpowiadających potrzebom normatywów. Według naszego zdania wzór na określenie optymalnej sieci dróg zrębowych powinien być przejrzysty, łatwo zrozumiały, a równocześnie nie powinien być związany z pewnymi określonymi sposobami zrywki i z pewnymi określonymi wartościami. Jako wyjściowe twierdzenie służy nam wyżej wymienione określenie optimum. Uwzględniając przy obliczeniach tylko koszty zrywki i budowy oraz utrzymania dróg twierdzimy, że przy optymalnej sieci dróg zrębowych koszt zrywki oraz budownictwa i utrzymania tych dróg będzie minimalny. Zagadnienie rozwiązujemy w dwóch rzutach. W pierwszym rzucie układamy funkcjonalną zależność kosztów od gęstości dróg i kosztów zrywki. W drugim rzucie odnajdujemy minimum funkcji.

Przy układaniu równania uwzględniamy następujące założenia.

1. Szlaki zrywkowe przy zrębach zupełnych dochodzą do dróg zrębowych pod kątem prostym, względnie są w niektórych wypadkach

przedłużeniem dróg zrębowych. Przy takim bowiem kącie podejścia sumaryczna długość szlaków zrywkowych przy określonej odległości między nimi będzie najmniejsza. Trzeba dążyć, aby długość szlaków zrywkowych była możliwie najmniejsza, gdyż przy tych właśnie szlakach drzewostan narażony jest na wszelkiego rodzaju szkody. Jako średnie można uważać odległości wahające się w granicach 1—1,7 średniej wysokości drzewostanu. Średnia odległość zrywania wynosi od 0,25 odległości między drogami zrębowymi przy zrywce z dwu stron drogi, do 0,50 odległości między drogami zrębowymi przy zrywce z jednej strony drogi.

2. Przy gospodarce przerębowej, gdy szlaki zrywkowe nie istnieją, można przypuszczać, że kąt podejścia pojazdu z ładunkiem do drogi zrębowej waha się od 45° do 90° . Przy kącie podejścia 45° , zgodnie z ryc. 2, średnia odległość zrywania równa się 0,35 odległości między drogami zrębowymi przy zrywce z dwu stron drogi i 0,7 odległości między drogami zrębowymi przy zrywce z jednej strony drogi. Jeżeli kąt waha się od 45° do 90° to można określić średnią odległość zrywania na podstawie ryc. 2 według następujących zależności:

a) przy zrywce z dwu stron drogi

$$l_s = \frac{1}{2} [0,35a + 0,25a] = 0,3a$$

b) przy zrywce z jednej strony drogi

$$l_s = \frac{1}{2} [0,7a + 0,5a] = 0,6a$$

3. Drogi zrębowe tworzą regularną sieć dróg, której gęstość zależy od wskaźników ekonomicznych. Kąt podejścia dróg zrębowych do drogi bocznej i dróg bocznych do drogi głównej określa się także na podstawie przesłanek ekonomicznych w powiązaniu z konkretnymi warunkami terenowymi.

4. Droga główna powinna tak przechodzić przez teren, aby prace przy przewozie drewna z obu jej stron od punktów pozyskania do drogi były równe sobie. Kierunek drogi głównej, jak również wielkość obszaru, określa się według założeń całokształtu gospodarki leśnej w danym rejonie.

Projektując sieć dróg leśnych trzeba pamiętać, że podział na drogi zrębowe, boczne i główne jest to podział z punktu widzenia gospodarczego, a nie technicznego. Dlatego też istniejący w kraju klasyfikacyjny podział dróg leśnych, który będąc w zasadzie podziałem według zasad gospodarczych, równocześnie określa parametry techniczne drogi, trzeba uważać za niezupełnie udany. Techniczne parametry drogi określa w zasadzie wielkość ładunków przewożonych w określonym czasie, lub liczba pojazdów i ciśnienie na oś pojazdu, a nie zaliczenie drogi do kategorii głównej, bocznej lub zrębowej. Na małych obszarach eksploatacyjnych sieć dróg może ograniczać się do dwóch typów dróg, a więc dróg zrywkowych i zrębowych. Na innych obszarach może racjonalnie tworzyć sieć dróg trzech lub czterech kategorii. Jest prawdopodobnie dyskusyjnym zagadnieniem określenie, na podstawie istniejącej klasy-

fikacji, drogi jaką przewozi się drewno na składnicę docelową, na której kończy się zadanie transportu leśnego, jeżeli jest to droga do której prowadzą zrywki ciągniki. Dlatego też wydaje się rzeczą pilną wprowadzenie nowej klasyfikacji dróg leśnych, która dzieliłaby drogi leśne zarówno z punktu widzenia gospodarczego, jak również z punktu widzenia technicznego.

Przy niewielkich terenach leśnych i bliskich odległościach wywozu może okazać się dostateczną sieć dróg składająca się wyłącznie z dróg zrywkowych i zrębowych. Przy takiej sieci dróg koszty prac transportowych można ograniczyć do kosztów zrywki, kosztów budowy i utrzymania dróg oraz kosztów wywozu i prac załadowniczych.

Koszt zrywki to w zasadzie koszt maszyno-dniówek lub roboczo-dniówek. Koszt budowy dróg zrywkowych na terenach nizinnych przy gospodarce zrębowej jest znikomy. Całe budownictwo sprowadza się do ścinki drzew na wyznaczonej trasie z pozostawieniem najbardziej niskich pni. Przy gospodarce przerębowej drogi zrywkowe jako takie w ogóle nie istnieją. Dlatego też nie wprowadzamy dodatkowych kosztów budowy dróg zrywkowych, gdyż zasadniczo koszty te wchodziły w skład kosztów prac zrębowych.

Do kosztów eksploatacji dróg odnosimy zarówno odpisy amortyzacyjne, jak również i koszt utrzymania drogi. Do obliczeń nie wprowadzamy oddzielnie kosztów wywozu. Koszty te są w zasadzie mało zależne od gęstości dróg. Nie uwzględniamy również kosztów załadunku, gdyż koszty nie mają żadnego wpływu na gęstość dróg leśnych. Nie wzięto pod uwagę wpływu kosztów wykonania prac leśnych, a przede wszystkim trzebieży, na gęstość dróg leśnych. Koszty te jednak można uwzględnić dodatkowo, nie zmieniając w zupełności wzorów matematycznych pozwalających określić optymalną gęstość dróg leśnych. Wiadomo, że na gęstość dróg wpływają nie całkowite koszty wykonania trzebieży, a tylko koszty transportu drewna do dróg transportowych, a więc uwzględnić je można w średnich kosztach zrywki. Ilość pozyskanego przy trzebieży drewna trzeba uwzględnić przy obliczaniu wielkości przeciętnego rocznego pozyskania masy drewna z 1 ha powierzchni lasów.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- C — koszt maszyno-dniówki ciągnika wraz z obsługą, lub też koszt dniówki innego środka lokomocji wraz z obsługą, w zł;
- φ — współczynnik wykorzystania czasu pracy;
- l_s — średnia odległość zrywki, w m;
- V_s — średnia techniczna szybkość poruszania się ciągnika lub konia przy zrywce, w m/min;
- t — czas zahaczania i odhaczania 1 m³ drewna, w min;
- Z — roczne koszty utrzymania 1 mb drogi wraz z amortyzacją kosztów inwestycyjnych, zł/mb;
- p — przeciętne roczne pozyskanie masy drewna, w m³/ha;
- α — współczynnik charakteryzujący stosunek średniej odległości zrywki do odległości między drogami zrębowymi przy określonym sposobie organizacji zrywki;
- Q — objętość ładunku, w m³;
- 480 — ilość minut ośmiogodzinnego dnia pracy;

10 000 — ilość m² w 1 ha;

C_z — koszt zrywania 1 m³ drewna przy określonej odległości zrywania, zł/m³;

C_i — koszty przypadające na każdy m³ pozyskiwanego drewna wynikające z kosztów utrzymania drogi i amortyzacji kosztów inwestycyjnych przy określonej gęstości sieci dróg leśnych;

C_o — całkowity koszt pozyskania 1 m³ drewna przy określonej gęstości sieci dróg leśnych, z wyłączeniem kosztów pozyskania niezależnych od gęstości dróg;

Na podstawie powyższych oznaczeń koszt można wyrazić następującymi zależnościami.

$$C_o = C_z + C_i = \frac{C}{480\varphi Q} \left[\frac{2\alpha a}{V_s} + tQ \right] + \frac{10\,000Z}{pa} \quad (2)$$

Różniczkując funkcję (2) i rozwiązując równanie otrzymujemy minimalną wartość kosztów przy określonej odległości między drogami zрубowymi.

$$\text{skąd} \quad \frac{dC_o}{da} = \frac{2\alpha C}{480\varphi Q V_s} - \frac{10\,000Z}{pa^2} \quad (3)$$
$$a = \sqrt{\frac{10\,000 \cdot 480 \cdot \varphi \cdot ZQV_s}{2\alpha p C}}$$

Uwzględniając, że współczynnik jest wielkością mało zmienną i przyjmując $\varphi = 0,7$ otrzymujemy we wzorze (3) stałą wielkość

$$A = \frac{480 \cdot 0,7 \cdot 10\,000}{2} = 1,68 \cdot 10^6$$

A więc wzór (3) możemy napisać w następującej formie:

$$a = \sqrt{\frac{AZQV_s}{\alpha p C}}$$

Wielkość współczynnika α zgodnie z poprzednimi obliczeniami posiada następujące znaczenia:

a) przy zrywce z jednej strony drogi przy podejściu dróg zрубkowych pod kątem 45° $\alpha = 0,7$,

b) przy zrywce z jednej strony drogi przy podejściu dróg zрубkowych pod kątem 90° $\alpha = 0,5$,

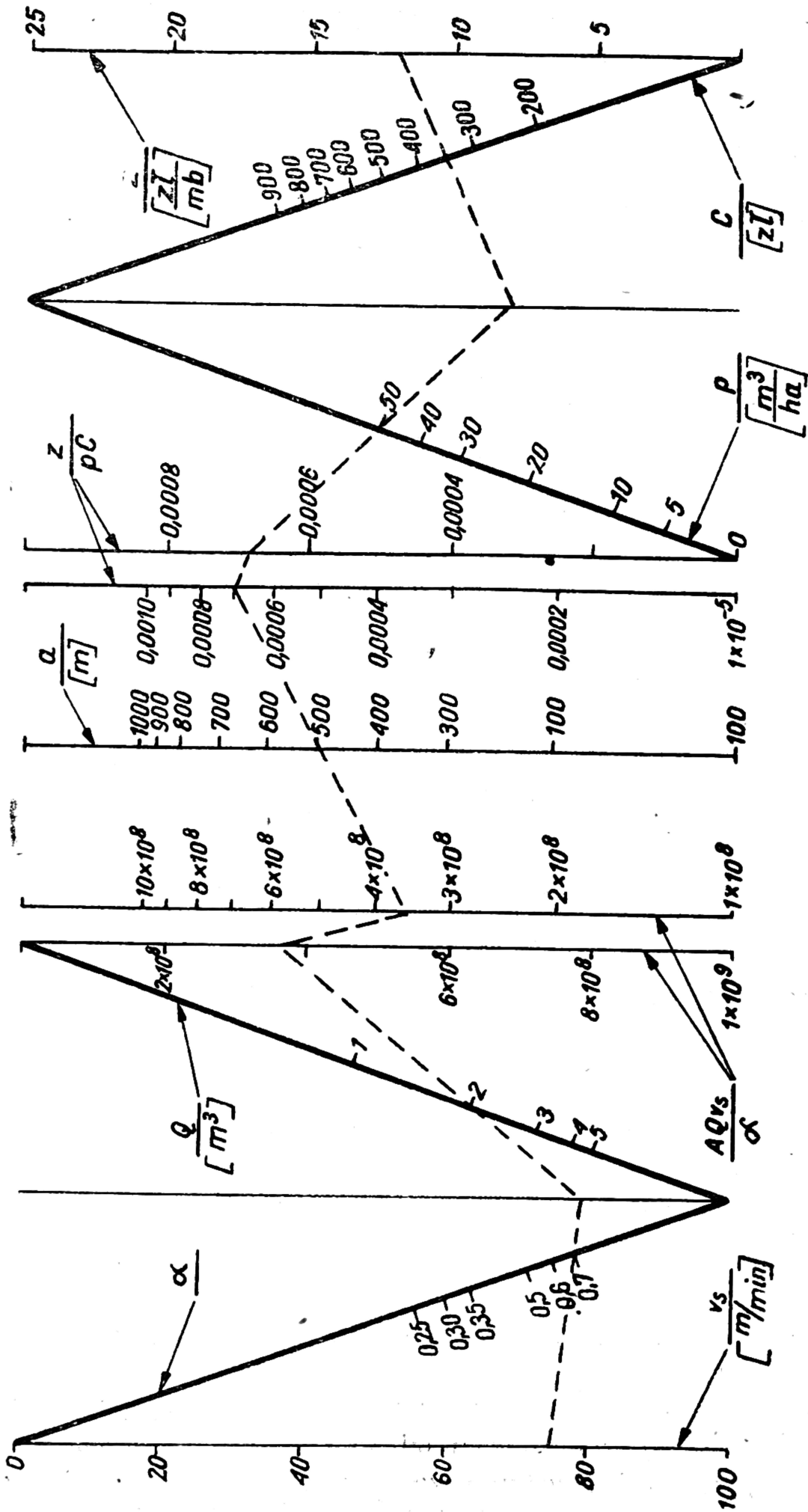
c) przy zrywce z jednej strony drogi, kiedy kąt podejścia jest zmienny i waha się w granicach od 45° do 90° $\alpha = 0,6$,

d) przy zrywce z dwu stron drogi przy podejściu dróg zрубkowych pod kątem 45° $\alpha = 0,35$,

e) przy zrywce z dwu stron drogi przy podejściu dróg zрубkowych pod kątem 90° $\alpha = 0,25$,

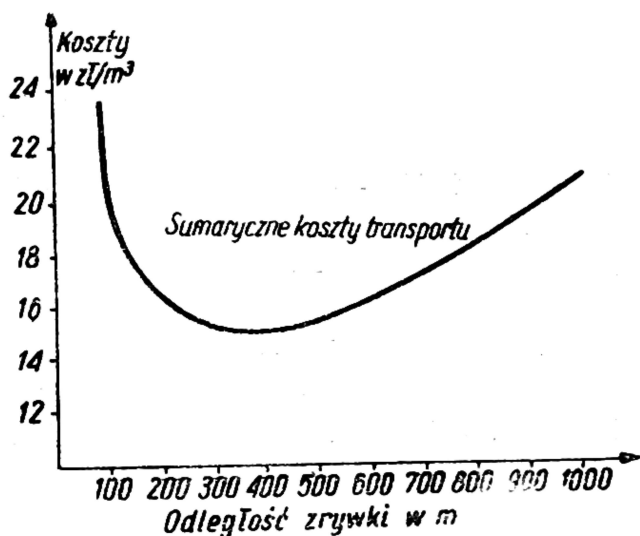
f) przy zrywce z dwu stron drogi, kiedy kąt podejścia jest wielkością zmienną i waha się w granicach od 45° do 90° $\alpha = 0,30$.

Dla praktycznego korzystania ze wzoru sporządziłem nomogram (ryc. 4). Na nomogramie pokazano sposób określenia optymalnej odle-



Ryc. 4. Nomogramy sprzężone do wyznaczania optymalnej odległości między drogami zrębowymi (a)

głości między drogami zrębowymi gdy $Z = 12$ zł/mb, $Q = 2$ m³, $C = 350$ zł, $p = 50$ m³/ha, $\alpha = 0,7$, $V_s = 75$ m/min. Przy takich warunkach optymalna odległość między drogami zrębowymi a , jak widać z nomogramu, równa się około 500 m. Analitycznie obliczona wielkość $a = 497$ m. Na wykresie (ryc. 5) przedstawiono jak kształtowałyby się koszty przy różnych średnich odległościach zrywki, którą można określić jako iloczyn wielkości współczynnika α , przez wielkość odległości między drogami zrębowymi a . Dla rozpatrywanego przykładu koszty wyrażane wzorem (2) przy optymalnej gęstości dróg wynoszą 14,87 zł ($l_s = 350$; $a = 500$), a przy odległości między drogami zrębowymi $a = 1280$ m, to znaczy przy średniej odległości zrywania 900 m — 21,8 zł, a więc koszty zwiększyły się o 32%. Warto zaznaczyć, że zwiększenie gęstości dróg ponad optimum jeszcze bardziej intensywnie, aniżeli zmniejszanie, wpływa na wzrost kosztów. Uwagę tą potwierdza intensywność wzrostu sumarycznych kosztów przedstawiona na ryc. 3 i 5.



Ryc. 5. Kształtowanie się całkowitych kosztów w zależności od odległości zrywania dla określonych w przykładzie warunków

W literaturze przyjęto gęstość dróg leśnych wyrażać liczbą kilometrów dróg leśnych przypadającą na 100 ha powierzchni lasów. A więc wskaźnik gęstości dróg można określić według następującego wzoru

$$G = \frac{1000}{a} = \frac{1000\alpha}{l_s}$$

Dla przykładu, przy średniej odległości zrywki 300 m i przy zrywce z obu stron drogi z kątem podejścia dróg zrywkowych równym 90° , a więc kiedy $\alpha = 0,25$, a odległość między drogami zrębowymi $a = \frac{300}{0,25} = 1200$ m

$$G = \frac{1000}{1200} = 0,25 \frac{1000}{300} = 0,835 \text{ km}/100 \text{ ha}$$

Na zakończenie trzeba stwierdzić, że zagadnienie określenia optymalnej sieci dróg zrębowych, jak i bardziej ogólne zagadnienie określenia optymalnej sieci dróg leśnych, posiada ogromne znaczenie gospodarcze. Dlatego uważamy, że zarówno resort, jak i placówki naukowe powinny zwrócić na to zagadnienie odpowiednią uwagę. Zagadnienie trzeba rozpatrywać w powiązaniu z konkretnymi warunkami ekonomicznymi i terenowymi. Opracowanie wskaźników charakteryzujących optymalną sieć dróg leśnych dla konkretnych rejonów kraju, według mego zdania, jest zagadnieniem nadzwyczaj ważnym, szczególnie przy składaniu planu perspektywicznego. Autor w pełni zdaje sobie sprawę, że artykuł ni-

niejszy, będąc pierwszym artykułem w leśnej literaturze krajowej z tego cyklu, posiada usterki, sądzi jednak, że jeżeli wywoła on na ten temat dyskusję, to może ona być korzystna dla krajowej gospodarki leśnej.

Z Katedry Użytkowania Lasu SGGW

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 15 kwietnia 1958 r.

LITERATURA

1. Volkert E. — Die Bringungstechnik als gemeinsames Problem von Forst und Holzwirtschaft. Frankfurt am Main, 1956 r.
2. Papanek Fr. — Ekonomika socialistického lesného hospodarstva. Praha 1953 r.
3. Matthews D. M. — Cost Control in the Logging Industry. New York 1942 r.
4. Strehlke E. G. — Holzbringung und Wegebau. Forstarchiw, nr 4, 1957 r.
5. Buwert W. W. — Suchoputnyj transport lesa. Moskwa 1951 r.

Краткое содержание

Статья посвящена вопросам определения оптимальной густоты лесных дорог. Этот вопрос имеет большое народнохозяйственное значение.

Под оптимальной густотой лесных дорог понимаем такую сеть дорог, при которой стоимость производства работ зависящих от густоты дорог будет минимальной. Оптимальную стоимость дорог можно определить двумя методами. Первый метод основан на аналитическом определении минимума функции затрат зависящих от густоты дорог. Этот метод теоретически более обоснован от второго. Вторым методом основан на приравнивании затрат действующих в противоположных направлениях на общую стоимость. При оптимальной величине переменной, затраты влияющие на общую стоимость в противоположных направлениях равны между собой.

Применяя этот метод можно получить удовлетворительный результат только в том случае, если было надлежащим образом произведено разделение переменных затрат от затрат постоянных. При неточном разделении затрат ошибка при определении оптимума может получиться значительной.

В статье рассматриваются условия целесообразности дополнительных капиталовложений на строительство дорог. Приводятся, выведенные автором, формулы для определения оптимальной густоты лесосечных дорог, а так же метод графического решения этого вопроса.

Summary

The paper is dedicated to problems of determining a most feasible system of logging roads. This problem has a most important economic bearing. Under the term — optimum system of logging roads network — such density of logging roads network is understood which allows for a minimum transport cost outlay.

The optimum system of logging roads may be determined by two different methods.

The first method consists in determining analytically the minimum value of outlay function dependent upon the density of logging roads network. This method is more satisfactory than the alternative one.

The second method consists in comparison with each other of reversly moving costs affecting the total cost. At the optimum value of the variable, reversly moving costs affecting the total cost are equal to one another. This method gives correct results provided that adequate classification of costs is made. By inaccurate or incorrect cost classification into overhead and variable ones — determination of the theoretical optimum will be irrelevant.

The paper describes a method of determining the feasibility of incurring additional investment expenditure when devising logging roads network. Analytical formulae introduced by the author which allow to determine the optimum distance between logging roads are given, as also correlative nomograms providing for a graphic calculation of results.

The nomograms produced by the author may be used in preliminary calculations.