

KAZIMIERZ BIAŁY

Charakterystyka dokładności dawkowania i równomierności rozrzutu nawozów mineralnych z samolotu AN-2 na powierzchni leśnej¹

Характеристика точности дозирования
и равномерности рассеивания минеральных удобрений
с самолета АН2 на лесной площади

Characteristics of dosage accuracy and uniformity of mineral fertilizer spreading
from the AN2 aircraft on a forest area

I. WSTĘP I CEL PRACY

Nawożenie mineralne niektórych obszarów leśnych ma na celu poprawę warunków odżywczych niskoprodukcyjnych drzewostanów. O efektach tego zabiegu decyduje m. in. jakość wykonania nawożenia, na którą składa się równomierność rozrzutu i dokładność dawkowania. W leśnictwie szczególne znaczenie ma nawożenie lotnicze, które umożliwia wysiew nawozów na dużych obszarach, często trudno dostępnych dla sprzętu naziemnego. O jakości nawożenia lotniczego w lesie dotychczas niewiele wiadomo, mimo że co roku zabiegiem tym obejmuje się kilkadziesiąt tysięcy hektarów drzewostanów. Istnieją co prawda opracowania charakteryzujące nawożenie lotnicze w warunkach upraw polowych (2, 4, 5), lecz przenoszenie tych doświadczeń na grunt leśny nie zawsze jest możliwe i słuszne. Nie wiadomo bowiem w jakim stopniu o jakości rozrzutu i wielkości dawek decydują nieco inne warunki wysiewu nawozów na powierzchni leśnych. Chodzi tu przede wszystkim o brak kierowania naziemnego oraz znacznie większą wysokość lotu limitowaną wysokością drzewostanu.

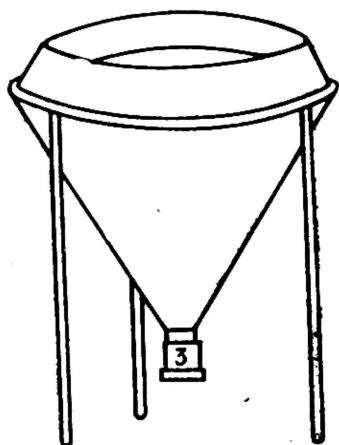
Podjęte badania miały na celu charakterystykę równomierności rozrzutu nawozów pylistych i granulowanych wysianych z samolotu AN 2 oraz określenie dokładności dawkowania w warunkach gospodarczego nawożenia drzewostanów sosnowych.

II. TEREN I METODA BADAŃ

Oceny lotniczego nawożenia lasu dokonano w obr. Dąbrowa, nadl. Dąbrowa, OZLP Toruń. W badaniach wykorzystano metodę opracowaną

¹ Badania wykonano w ramach zadania pt. „Kompleksowe badania nad optymalizacją nawożenia lasu na przykładzie Borów Tucholskich z uwzględnieniem ochrony środowiska”, koordynowanego przez Instytut Badawczy Leśnictwa.

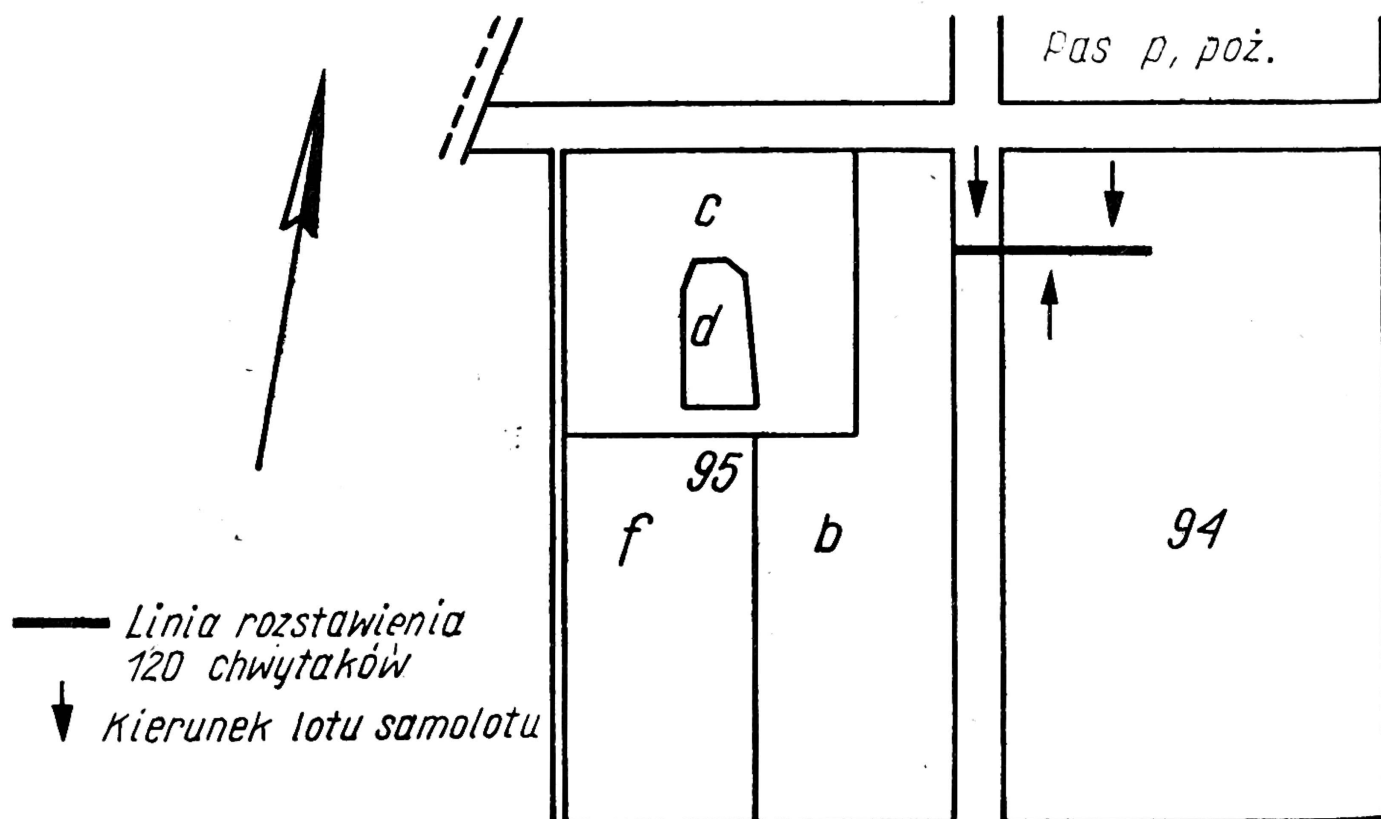
przez Zakład Badawczy Technologii Agrolotniczych Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie do oceny rozrzutu nawozów mineralnych na polach uprawnych (2). Polega ona na określeniu masy nawozów spadających do pojemników zw. „chwytakami” (ryc. 1) rozstawionych na powierzchni nawożonego gruntu i przeliczeniu na jednostkę areału. O dokładności pomiaru wykonanego tą metodą decyduje odległość między chwytakami oraz ich powierzchnia chwytana.



Ryc. 1. Pojemnik pomiarowy do nawozów mineralnych

W przeprowadzonym doświadczeniu zastosowano chwytaki o powierzchni $0,2 \text{ m}^2$ każdy. Rozstawiono je w dwumetrowych odstępach wzdłuż linii prostej przebiegającej prostopadle do osi przelotów samolotu (ryc. 2). Część chwytaków umieszczono w terenie otwartym, wykorzystując do tego celu pas przeciwpożarowy szerokości 32 m, pozostałe natomiast pod okapem 50-letniego drzewostanu sosnowego, którego parametry taksacyjne przedstawia tab. 1.

Badaniami objęto dwa nawozy granulowane (mocznik, fosforan amonu) i jeden pylisty (sól potasowa). Scharakteryzowano rozrzut poprzeczny



Ryc. 2. Fragment szkicu nawożonej powierzchni leśnej

Niektóre elementy taksacyjne nawożonego drzewostanu sosnowego

Skład gatunkowy Wiek	Zwar- cie	Zadrze- wienie	Przeciętna		Bonitacja	Zapas gru- bizny m ³ /ha
			wyso- kość m	pier- śnica cm		
Sosna pospolita 50	przery- wane	0,7	11	13	III/IV	100

w pojedynczej smudze na powierzchni otwartej oraz na całej szerokości powierzchni leśnej wytypowanej do doświadczenia. Dla fosforanu amonu i soli potasowej był to pas szerokości 240 m, dla mocznika 114 m. Nawożenie wykonano w dniach od 25 do 28 lipca 1978 roku przy bezwietrznej pogodzie. Nawozy wysiewane z samolotu AN 2 z 40-metrowej wysokości przy prędkości lotu wynoszącej 170 km/godz. Wyniki uzyskane dla poszczególnych punktów pomiarowych pozwoliły określić równomierność dawkowania i różnice w stosunku do dawki planowanej. Nierównomierność rozrzutu w pojedynczej smudze i na powierzchni drzewostanu oceniono na podstawie współczynników zmienności, obliczonych dla każdego nawozu oddzielnie.

III. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

1. Szerokość pojedynczej smugi

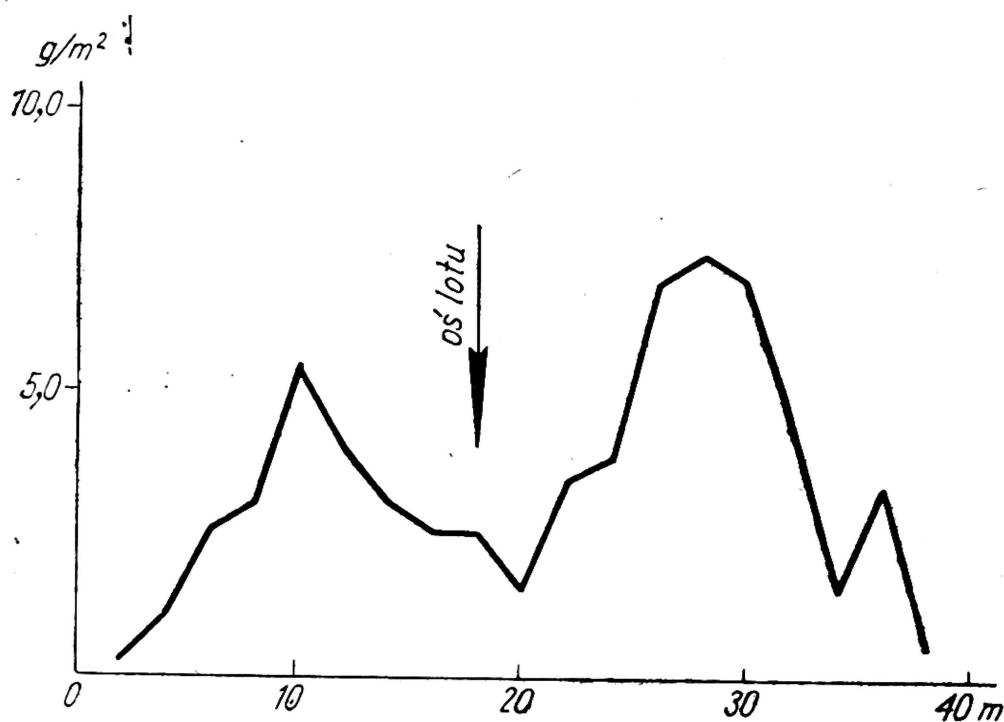
Mimo że wysokość z jakiej dokonywano wysiewu wszystkich badanych nawozów była identyczna (40 m), stwierdzono pewne różnice w szerokości smug. Fosforan amonu i sól potasowa rozrzucone były na szerokość 38 m, natomiast mocznik na szerokość 32 m. Przyczyną tego zróżnicowania jest prawdopodobnie ciężar właściwy nawozów (dla mocznika wynosi on około 1,36 g/cm³, dla fosforanu amonu około 1,68 g/cm³). Znajomość rozmiarów smugi pozwala na określenie szerokości roboczej lotu, tzn. odległości między kolejnymi przelotami samolotu. Jak wynika z przeprowadzonych badań, powinna ona być ustalona dla każdego z wysiewanych nawozów oddzielnie, co umożliwiłoby zaplanowanie odpowiedniej ilości lotów nad przeznaczonym do nawożenia kompleksem lasu.

2. Ocena równomierności-rozrzutu w pojedynczej smudze na powierzchni otwartej

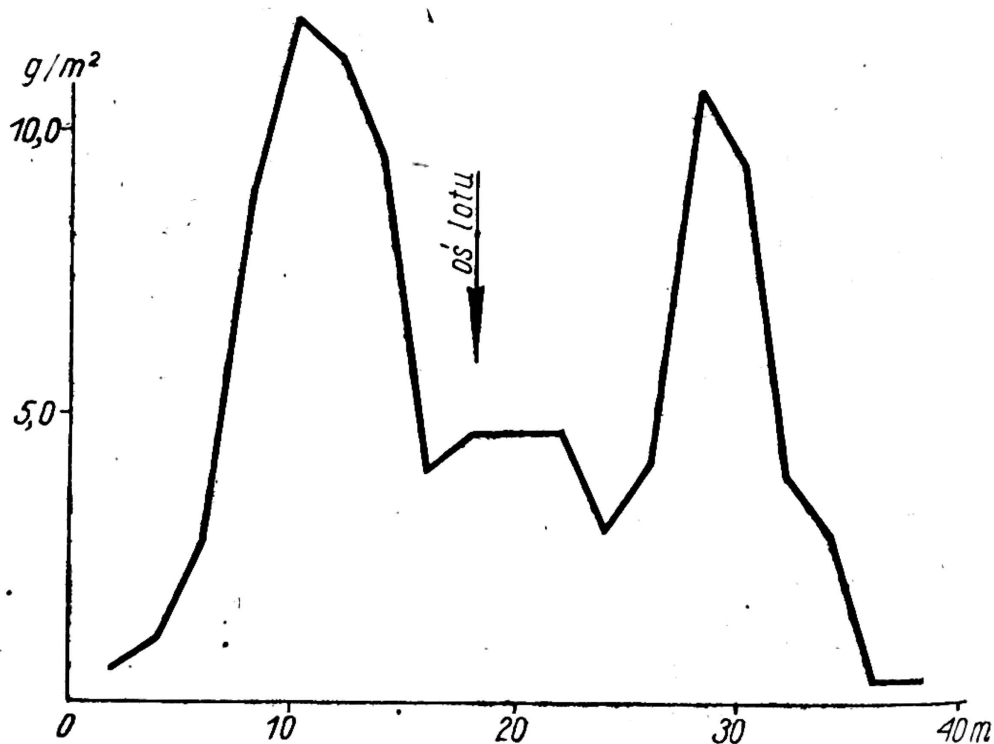
W celu zorientowania się w jakim stopniu na jakość nawożenia wpływa budowa samolotu oraz ponad dwukrotnie większa niż nad polami uprawowymi wysokość lotu określono w początkowej fazie doświadczenia rozkład poprzeczny masy nawozów pojedynczej smudze (po jednorazowym przelocie samolotu). Wyniki uzyskane dla kilkunastu punktów pomiarowych przedstawione graficznie (ryc. 3—5), natomiast wartości obrazujące rozpiętość dawkowania, nierównomierność rozkładu poprzecznego

oraz szerokość smug zestawiono w tab. 2. Jak wynika z ryc. 3—5 krzywe charakteryzujące rozrzut wszystkich trzech nawozów mają podobny kształt. Zależy on od wirów powietrza pozostawianych przez przelatujący samolot. O zagęszczeniu lub rozrzedzeniu masy nawozów w smudze decyduje zaśmigłowy strumień powietrza oraz wiry podkowiaste powstające na końcach skrzydeł, wywołane ich ruchem poprzecznym w czasie lotu (1). Obserwuje się wyraźnie większe nagromadzenie masy nawozów po obu stronach osi przelotu samolotu w odległości 8—12 m. Na wykresach zaznacza się to w postaci dwóch wyraźnie ukształtowanych szczytów.

Z przeprowadzonego doświadczenia widać wyraźnie, że wiry powietrza wpływają na nierówność rozsiewu nawozów. Jak wynika z danych w tab. 2, rozpiętość między wynikami w poszczególnych punktach pomiarowych w smudze jest dość znaczna i wynosi od $0,25 \text{ g/m}^2$ do około



Ryc. 3. Rozkład poprzeczny masy fosforanu amonu w pojedynczej smudze na otwartej powierzchni



Ryc. 4. Rozkład poprzeczny masy soli potasowej w pojedynczej smudze na otwartej przestrzeni

Ryc. 5. Rozkład poprzeczny masy mocznika w pojedynczej smudze na otwartej powierzchni

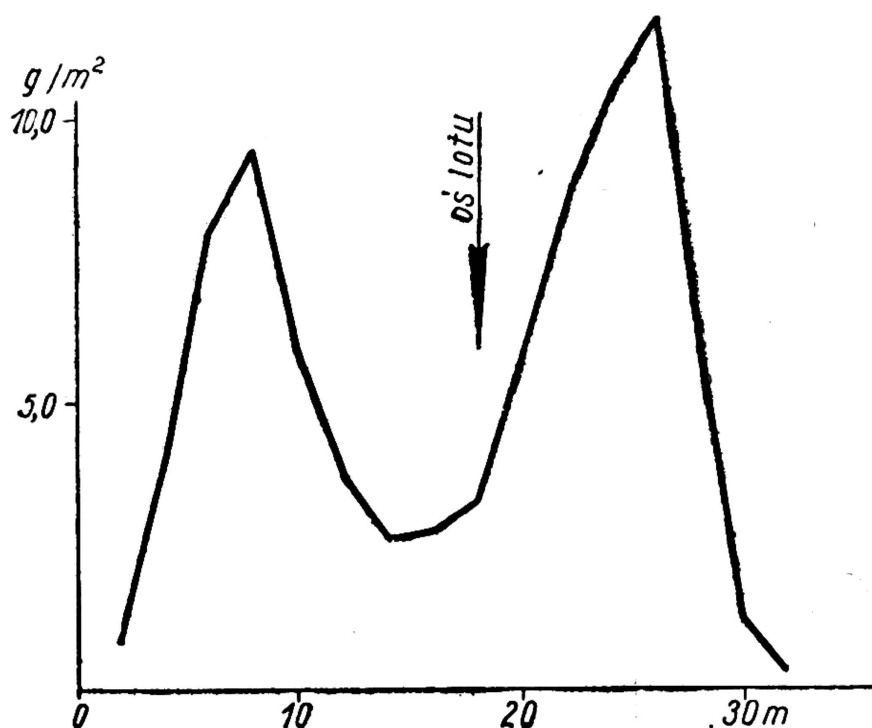


Tabela 2

Wartości charakteryzujące rozrzut nawozów

Nazwa nawozu	Szerokość rozrzutu m	Wysokość lotu m	Dawka			Współczynnik zmienności %
			min.	maks.	średnia	
			g/m ²			

a) w pojedynczej szerokości roboczej (smudze)

Mocznik	32	40	0,25	11,80	5,30	67,2
Fosforan amonu	38	40	0,25	7,50	3,38	91,4
Sól potasowa	38	40	0,35	12,00	5,26	74,5

b) na całej szerokości nawożonej powierzchni doświadczalnej

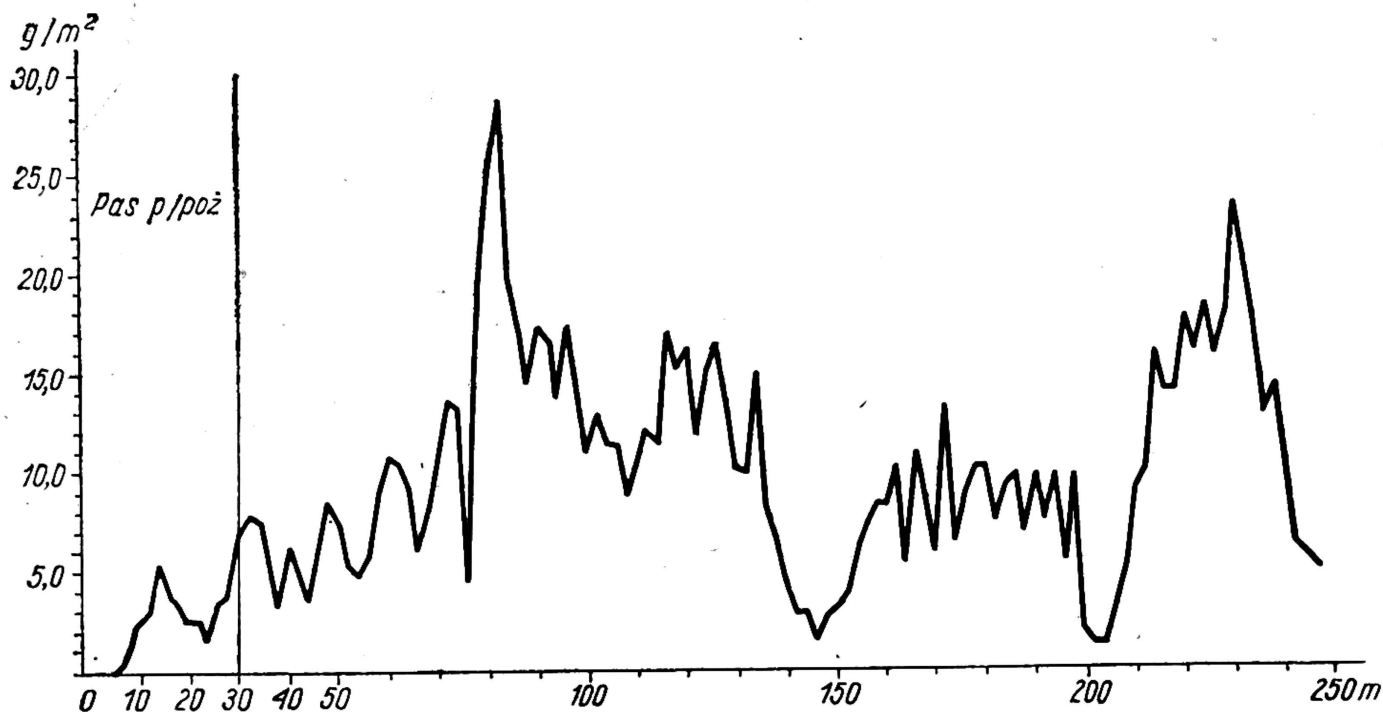
Mocznik	108	40	0,85	21,10	76,83	64,8
Fosforan amonu	242	40	0,25	29,00	96,30	58,0
Sól potasowa	242	40	0,05	22,25	58,76	—

12 g/m² dla mocznika i soli potasowej oraz 7,5 g/m² dla fosforanu amonu. Największą nierówność pokrycia powierzchni stwierdzono przy wysiewie fosforanu amonu. Obliczony dla tego nawozu współczynnik zmienności wyniósł 91,4%. Nieco lepszy rozkład masy w smudze wykazuje sól potasowa i mocznik. Dla nawozów współczynnik V osiągnął wartość 74,5 i 67,2%.

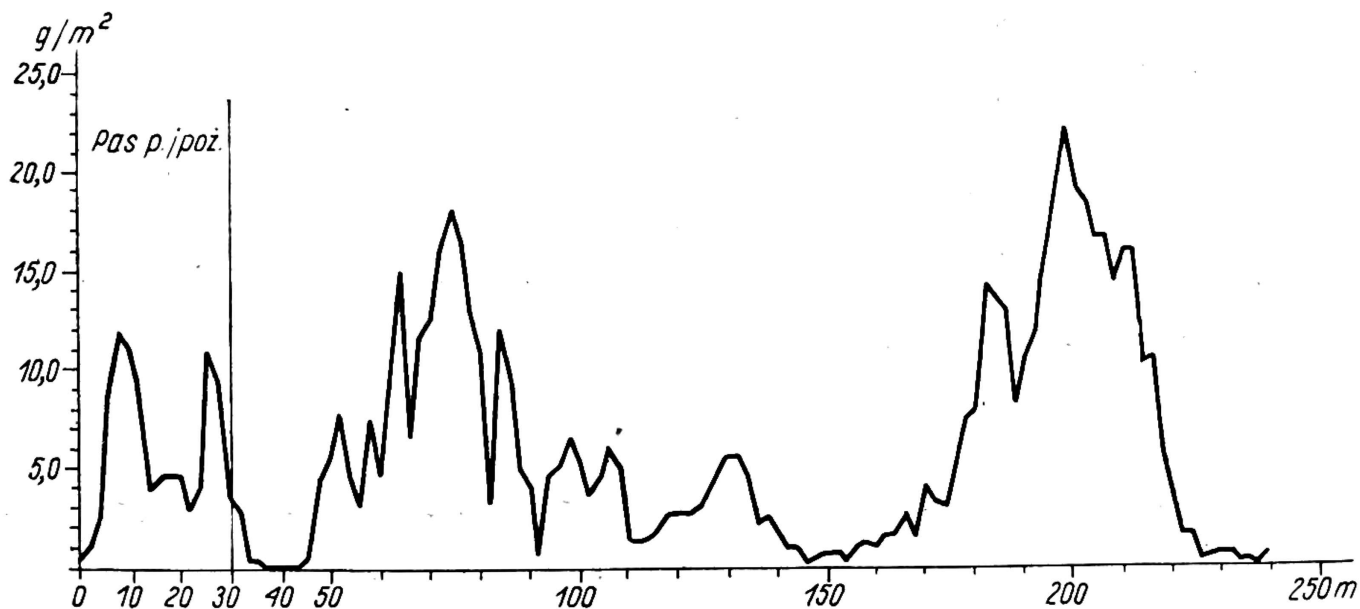
3. Ocena równomierności rozrzutu na całej szerokości nawożonego drzewostanu

Po scharakteryzowaniu nierównomierności rozrzutu w pojedynczej smudze, w kolejnej fazie doświadczenia oceniono rozkład poprzeczny ma-

sy nawozów mineralnych pod okapem pięćdziesięcioletniego drzewostanu sosnowego, na całej szerokości badanej powierzchni. Wyniki z tych pomiarów przedstawiono graficznie, natomiast wartości ekstremalne, średnie i współczynniki zmienności zestawiono w tab. 2. Wynika z nich, że przy wielkoobszarowym nawożeniu, po kilku czy kilkunastu przelotach samolotu, zwiększa się średnia wartość dawki oraz różnice między wynikami ekstremalnymi. Zróznicowanie to bardzo wyraźnie obrazuje wykresy poprzecznego rozkładu masy nawozów na całej szerokości badanego drzewostanu (ryc. 6—8). Znaczne nagromadzenie granул lub substancji pylistej nawozów w niektórych partiach powierzchni leśnej świadczy o częściowym lub całkowitym nakładaniu się smug. Jest ono wynikiem

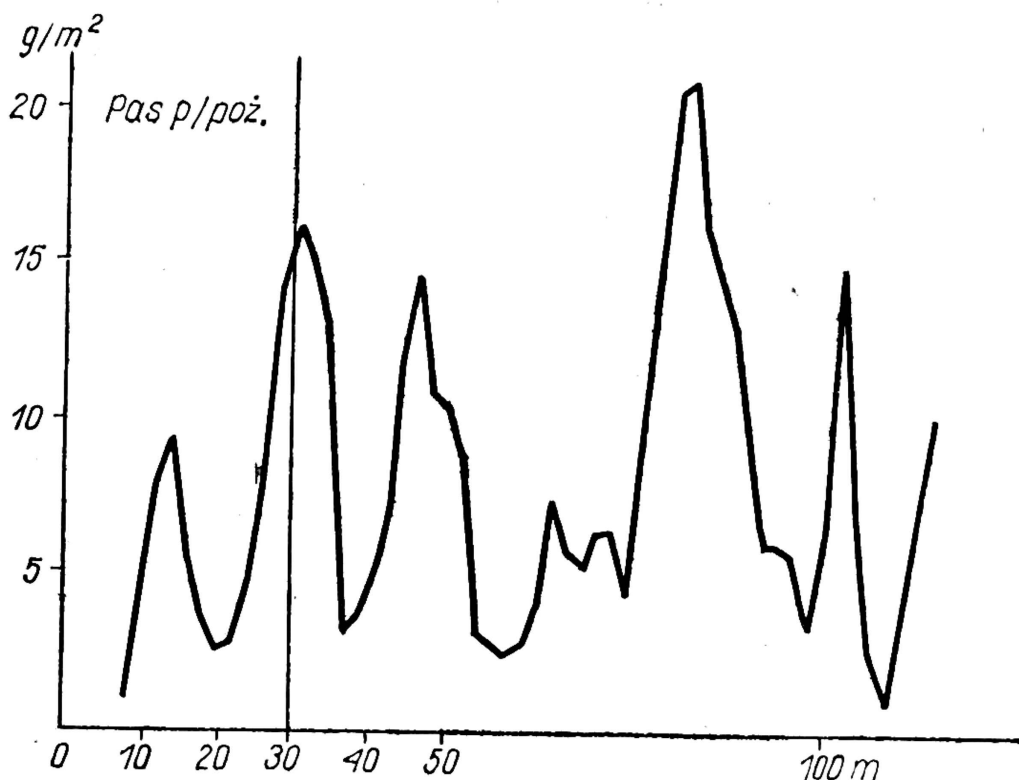


Ryc. 6. Rozkład poprzeczny masy fosforu amonu na całej szerokości badanej powierzchni



Ryc. 7. Rozkład poprzeczny soli potasowej na całej szerokości badanej powierzchni

Ryc. 8. Rozkład poprzeczny masy moczniaka na 110 m szerokości powierzchni badanej



niezachowania przez pilota szerokości roboczej lotów, tzn. równych odstępów między kolejnymi przelotami samolotu. To nakładanie się nawozów po kolejnych przelotach powoduje, że część powierzchni otrzymuje dawkę zawyżoną, przekraczającą miejscami 200 kg/ha, część natomiast dawkę zaniżoną. Spotyka się także, co prawda sporadycznie, pasy kilkumetrowej szerokości w ogóle nie nawiezione.

Mimo tego zróżnicowania w dawkowaniu, nierównomierność rozrzutu nawozów mineralnych mierzona na badanej powierzchni wartością współczynnika zmienności (V) okazała się mniejsza niż w pojedynczych smugach. Szczególnie wyraźnie to widać na przykładzie fosforanu amonu, gdzie współczynnik V uległ zmniejszeniu z 96,3% do 58%. Nieznacznie, bo z 67,2 do 64,8%, obniżył się także współczynnik zmienności dla moczniaka. Pomimo częściowego wyrównania, współczynnik V zarówno w pojedynczej smudze, jak i na całej analizowanej powierzchni drzewostanu przekracza 2—3-krotnie maksymalną, dopuszczalną w rolnictwie, granicę nierównomierności rozrzutu poprzecznego określoną na $V = 25\%$ (2).

4. Dokładność dawkowania

Drugim parametrem ocenianym w tym zabiegu była dokładność dawkowania. W nawożeniu lotniczym jest ona uzależniona od ustawienia mechanizmów rozrzutnika, wysokości i prędkości lotu, a w przypadku szerszych niż pojedyncza smuga powierzchni również i od odległości między kolejnymi przelotami (pasami roboczymi). O ilości nawozów wysianych przez samolot na wybraną powierzchnię leśną decyduje w głównej mierze położenie mieszadła rozrzutnika względem gardzieli zbiornika nawozów oraz wymiary otworów w samym mieszadle. Przy stałej prędkości samolotu rozrzutnik wyrzuca w jednostce czasu określoną masę nawozów zwaną wydatkiem sekundowym. Wysokość lotu rzutuje na szerokość smugi, a tym samym i na wielkość powierzchni pokrywanej nawozem. Przy wyż-

szym pułapie lotu zwiększa się szerokość rozrzutu. I tak np. przy locie na wysokości 40 m i prędkości 170 km/godz. mocznik rozrzucony był na pas szerokości 32 m, natomiast przy tej samej prędkości lecz niższej wysokości lotu, wynoszącej 25 m, już tylko na szerokość 27 m.

W celu sprawdzenia, czy ilość nawozu wysianego na powierzchnię leśną odpowiada ilościom zaplanowanym, oceniono wielkość dawkowania nawozów na powierzchni otwartej w pojedynczych smugach oraz dla całego analizowanego drzewostanu sosnowego. Oceny dokonano za pomocą chwytaków. Przed przystąpieniem do rozrzutu nawozów ustawiono mieszadło rozrzutnika w odległości 1,5 cm od gardzieli zbiornika nawozów oraz otwory w mieszadle na szerokość 3 cm. Zdaniem zespołu obsługującego samolot takie ustawienie miało umożliwić dawkowanie 100 kg/ha. Pomiar wykonany na powierzchni otwartej i w drzewostanie wykazał znaczne zaniżenie dawek. Wartości przeciętne dla pojedynczych smug wynosiły: 54 kg/ha mocznika i soli potasowej oraz 34 kg/ha fosforanu amonu. W stosunku do dawki planowanej były więc 2—3-krotnie mniejsze. Również i dawki określone dla całej badanej powierzchni leśnej odbiegały od zakładanych. Na analizowany drzewostan sosnowy wysiano 58% planowanej ilości soli potasowej oraz 76% planowanego mocznika. Tylko fosforan amonu rozrzucony został w ilości nieznacznie odbiegającej od projektowanej (tab. 2). Na niektórych odcinkach nawożonego pasa stwierdzono całkowite lub częściowe nakładanie smug spowodowane trudnościami w zachowaniu przez pilota właściwej odległości między kolejnymi nalotami. W wyniku tego część powierzchni otrzymała dawkę zawyżoną (w niektórych przypadkach nawet 290 kg/ha), część natomiast dawkę bardzo zaniżoną (od 0,5 do 2,5 kg/ha).

Oceny dawkowania dla pojedynczej smugi dokonać można także na podstawie takich danych jak: ilość zabranego przez samolot nawozu, czasu jego wysiewu, prędkości lotu oraz długości i szerokości smugi. Z prędkości lotu i czasu wysiewu obliczyć można długość smugi, a przy znanej jej szerokości również i powierzchnię, na którą rozrzucono zabrany na samolot nawóz. Ten sposób obliczenia przeciętnej dawki jest mniej dokładny niż omówiony wcześniej.

W wykonanym doświadczeniu nie określono ilości nawozów zatrzymywanych przez korony drzew, ponieważ część aparatu asymilacyjnego sosny na badanej powierzchni uszkodzona była żerem brudnicy mniszki, strzygoni choinówki i borecznika. Przeprowadzono natomiast teoretyczną analizę możliwości zwiększenia równomierności rozrzutu nawozów z samolotu. Wydaje się, że osiągnięcie bardziej wyrównanego rozkładu nawozów jest możliwe pod warunkiem, że zastosuje się inaczej skonstruowany rozrzutnik, wysiewający nawozy równomiernie na całej szerokości smugi. Inne możliwości praktycznie nie istnieją. Mogłoby się wydawać, że przy rozkładzie masy nawozu w pojedynczej smudze pokazanym na rycinach 2—4 większą równomierność rozrzutu można uzyskać przez takie nakładanie smug, dzięki któremu minimum jednej smugi pokrywa się z maksimum smugi kolejnej. Analiza rozrzutu przeprowadzona dla takiej sytuacji wykazała jednak większą niż w pojedynczej smudze nierównomierność rozrzutu. Dla mocznika np. takie nakładanie pasów roboczych zwiększyło wartość współczynnika zmienności (V) z 67,2% do 89,8%.

IV. WNIOSKI

1. Wstępne ocena lotniczego nawożenia lasu, przeprowadzona na przykładzie 50-letniego drzewostanu sosnowego, wykazała duże zróżnicowanie poprzecznego rozkładu masy nawozów mineralnych wysianych z samolotu AN 2. Przy 40-metrowej wysokości lotu i prędkości wynoszącej 170 km/godz. nierównomierność pokrycia powierzchni nawozami granulowanymi i pylistymi, mierzona wartością współczynnika zmienności (V) w pojedynczych smugach, wynosiła na otwartej powierzchni od 67,2 do 91,4%. Współczynnik (V) obliczony dla nawozów granulowanych wysianych na całej szerokości badanego drzewostanu był mniejszy i wynosił 58% i 64,8%.

2. Średnia wysokość dawki określona dla całej szerokości badanej powierzchni leśnej odbiegała na ogół bardzo znacznie od wielkości dawki zaplanowanej. Zamiast 100 kg/ha otrzymano: dla soli potasowej 58,8 kg/ha, mocznika 76,8 kg/ha i fosforanu amonu 96,3 kg/ha.

3. Analiza lotniczego nawożenia lasu wykazała także trudności w zachowaniu przez pilota właściwej odległości między kolejnymi nalotami (pasami roboczymi), w wyniku czego następowało całkowite lub częściowe nakładanie się smug.

4. Powierzchnie leśne nawożone lotniczo z dokładnością stwierdzoną w niniejszych badaniach utrudniają kontrolę skuteczności nawożenia, tj. ocenę dodatkowego przyrostu drzew pod wpływem wprowadzonych dawek nawozów. Dokładna analiza przyrostowa wymagałaby znacznie większej liczby powtórzeń.

5. Z uwagi na to, że ustawienie urządzeń rozsypujących nawozy dostosowane jest do rozrzutu podczas lotu na niskiej wysokości, służby agrolotnicze powinny opracować instrukcję ustawiania rozrzutnika specjalnie dla warunków leśnych. W instrukcji należałoby zwrócić też uwagę na wyższy pułap lotu samolotu i wynikającą stąd szerokość pojedynczej smugi, rodzaj wysiewu nawozu i jego ciężar właściwy.

LITERATURA

1. Borodzik F., Kamiński H., Krężałek J. — Lotnictwo gospodarcze. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1969.
2. Lesiecki B., Wodecka C. — Metoda określania rozkładu masowego preparatów chemicznych rozprzestrzenianych z aparatury agrolotniczej. Agrolotnictwo. Biuletyn nr 10, ART Olsztyn, 1976.
3. Plan urządzenia gospodarstwa leśnego Nadleśnictwa Dąbrowa, obręb Dąbrowa na okres 1.X.1975/76—30.IX.1984/85.
4. Skrodzki M., Wodecka C. — Porównanie równomierności rozkładu nawozów mineralnych wysiewanych za pomocą śmigłowca Mi-2 wyposażonego w rozrzutnik tunelowy i odśrodkowy. Problematyka badań agrolotniczych. Materiały na IV Seminarium. Olsztyn 22—24 września 1977.
5. Wodecki E., Lesiecki B. — Niektóre problemy metodyczne analizy poprzecznego rozkładu masy przy ocenie aparatury agrolotniczej. Agrolotnictwo. Biuletyn nr 10, ART Olsztyn 1976.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 19 kwietnia 1979 roku.

Краткое содержание

В работе представлена предварительная оценка точности дозирования и равномерности расоеивания минеральных удобрений высеянных на поверхность с самолета АН2 в условиях хозяйственного удобрения сосновых насаждений Надлесничества Домброва. Анализом были охвачены два гранулированные удобрения (мочник, фосфат аммония) и один пылевой (калийная соль). Величина дозы и горизонтальное разложение массы удобрений определена в отдельных полосах на открытом пространстве, а также на всей ширине анализируемого пояса соснового насаждения. Констатируется большая неравномерность расоеивания. Измеряемая величиной коэффициента изменчивости (V) равнялась она: для отдельных полос с 67,2 до 91,4%, для всего пояса насаждений 58 и 64,8%. Исследования показали также значительные различия между величиной запланированной дозы и средней измеренной на почве. Вместо предполагаемых 100 кг/га получено: для калийной соли 58,8 кг/га, мочника 76,8 кг/га и фосфата аммония 96,3 кг/га. В результате совпадения полос часть площади получила повышенную дозу (даже до 290 кг/га), в то время как другая часть очень уменьшенную дозу (от 0,5 до 2,5 кг/га).

Summary

The article presents a preliminary appraisal of dosage accuracy and uniformity of spreading of mineral fertilizers sown by the AN2 aircraft under commercial fertilization of pine stands in the Dąbrowa forest district. Analysis included two granulated fertilizers (urea and ammonium phosphate) and a powdery one (potassium salt). The size of dose and lateral distribution of fertilizer bulk was characterized in individual trails on an open and within the entire width of the analyzed strip of a pine stand. An obvious lack of uniformity of spread was found. This was measured by the value of variation coefficient (V) and amounted to: for individual trails from 67.2 to 91.4%, for entire strip of a stand: 58 and 64.8%. Studies indicated also considerable differences between the size of planned and average dose recorded on the ground. Instead of planned 100 kg/ha there were: 58.8 kg/ha for the potassium salt, 76.8 kg/ha for urea, and 96.3 kg/ha for ammonium phosphate. Some areas received an overdose (up to even 290 kg/ha) as a result of overlapping of trails, while some — a strongly reduced dose (from 0.5 to 2.5 kg/ha).