

ROBERT S. ROWIŃSKI, CELINA WODECKA

Przenikanie oprysku lotniczego przez korony drzew

Wstęp

Skuteczność biologiczna zabiegu ochrony lasu uzależniona jest głównie od stopnia penetracji oprysku przez koronę drzewa i dotarciu rozprzestrzenionego środka do obszarów żerowania szkodnika.

Aspekt ten jest szczególnie istotny w zabiegach ratowniczych wykonywanych techniką lotniczą. Wysoka wydajność RSP (rolniczych statków powietrznych), stosowane małe dawki, przy jednocześnie wysokich kosztach eksploatacyjnych sprzętu, wymagają zapewnienia skuteczności biologicznej uzasadniającej stosowanie tej techniki.

Dlatego też w wielu krajach prowadzone są systematyczne badania penetracji kropeł przez korony drzew leśnych. Dotyczy to Kanady — prace Armstrong'a (1), Courshee (2), jak również innych państw, np. Polski (3), Niemiec (4), Anglii (7). W Polsce na zlecenie i przy współpracy Instytutu Badawczego Leśnictwa — Ośrodek Agrolotnictwa AR-T w Olsztynie, prowadził od 1984 r. (6) wieloletnie badania rozkładu oprysku w koronach drzew.

W pracy tej przedstawiono rezultaty oprysku drzewostanu wykonanego samolotem An-2R.

Oznaczenia

A	— współczynnik przeliczeniowy	$[m^2/ha]$
B	— szerokość robocza	$[m]$
D_T	— dawka techniczna	$[dm^3/ha]$
F	— całkowita powierzchnia próbników	$[m^2]$
F_p	— powierzchnia próbника	$[m^2]$
N	— liczebność kropeł	
S	— odchylenie standardowe	

T	— temperatura	[K]
V_r	— prędkość statku powietrznego	[m/s]
V_w	— prędkość wiatru	[m/s]
ϑ_p	— objętość (masa) cieczy osiadła na piętrze korony	[dm ³] [μg]
ϑ_k	— objętość (masa) cieczy osiadła w całej koronie	[dm] [μg]
W	— natężenie przepływu	[dm ³ /s]
W_w	— współczynnik zmienności	[%]
C	— wskaźnik chłonności	
d	— średnia średnica kropli:	[μm]
d_v	— objętościowa	[μm]
d_{VM}	— mediana objętościowa	[μm]
d_s	— śladu	[μm]
d_{max}	— maksymalna	[μm]
h	— wysokość lotu	[m]
g	— gęstość oprysku	[sztuk/cm ²]
n	— liczebność próbników	
Δ_p	— nadciśnienie	[MPa]
w	— wierzchołek korony drzewa	
Π	— przenikania	[%]
q	— wilgotność względna	[%]
ω	— prędkość kątowna	[1/s]

Materiał i metoda

Stosowane zestawy opryskujące

Wykonano opryskiwanie samolotem An-2R z zabudowaną aparaturą agrolotniczą: rozpylaczami obrotowymi (atomizerami) AU-3000 w ilości 6 sztuk, firmy Micronair dla 4 nastaw dozownika; rozpylaczami ciśnieniowymi W 7-4 w ilości 38 sztuk i 75 sztuk produkcji WSK PZL Warszawa-Okęcie.

Aparatura ta umożliwiła realizację badań w zakresie dawek od 3,4 dm³/ha do 55,4 dm³/ha.

Charakterystyka obszaru leśnego

Badania prowadzono na terenie Nadleśnictwa Olsztynek. Powierzchnia działki 5,6 ha. Opis drzewostanu: sosna około 17 lat z sadzenia, dąb i brzoza występują sporadycznie z siewu.

☐ Sosna

— klasa i podklasa wieku

ls

— zadrzewienie	0,9
— wysokość	6m : 8m
— bonitacja drzewostanu	I
— jakość	II

Charakterystyka drzew doświadczalnych:

— Sosna — Nr drzewa	1	2	3	4	5
— wysokość drzewa [m]	6,0	6,2	6,2	6,0	7,0
— wysokość korony [m]	4,5	4,6	5,0	5,0	5,2
— szerokość korony [m]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
— pierśnica [m]	0,15	0,16	0,12	0,14	0,18
— ukształtowanie	pełne				

Z kierunku nalotu i odejścia RSP wysokość sąsiadujących lasów sosnowych wynosiła 15÷16m, z boków starodrzew sosnowy wysokości 25÷27m.

Metodyka badań

Badania kontrolne

Badania nad obszarem leśnym poprzedzone zostały badaniami kontrolnymi technicznymi i agrotechnicznymi stosowanej aparatury agrolotniczej.

Próbowi podlegały charakterystyki przepływowe atomizerów tzn. natężenie przepływu w funkcji nastaw dozownika i ciśnienia oraz obroty atomizerów w funkcji natężenia przepływu. Dla rozpylaczy ciśnieniowych określono charakterystyki natężenia przepływu w funkcji ciśnienia.

Następnie na poligonie badawczym przeprowadzono próby charakterystyk agrotechnicznych określając rozkład dawki technicznej oraz nierównomierność rozkładu objętości (masy) cieczy w funkcji szerokości roboczej.

$$B = f(D_T) \quad (1)$$

$$B = f(W_W) \quad (2)$$

Parametry te określają zależności:

Dawka techniczna

$$D_T = A \cdot \frac{W}{B \cdot V_r} \quad (3)$$

Nierównomierność pokrycia

$$W_W = \frac{S}{D_T} \quad (4)$$

Dla wymaganej przez agrotechnikę równomierności pokrycia przyjęto szerokość roboczą $B=25m$. Do tej szerokości odnoszono analizowane parametry techniczne.

Dokonano również analizy struktury oprysku określając średnice kropeł: arytmetyczną, objętościową oraz pozycyjne: medianę ilościową i objętościową. Wyznaczono skumulowane rozkłady dla różnych nastaw aparatury.

Badania obszaru leśnego

Do badań wybrano 5 drzew rozmieszczonych w linii prostej w odstępach około 5 m usytuowanych normalnie do kierunku wiatru. Każde drzewo uzbrojono w próbki w liczbie 40 umieszczone poziomo w gałęziach drzew. Dodatkowo rozkładano 4 próbki pod drzewem. Schemat układu przedstawiono na rycinie 1.

Próbki stanowiły spreparowany plastyfikowany wycinek taśmy filmowej oprawiony w ramki do slajdów. Powierzchnia czynna próbki wynosi $7,3 \text{ mm}^2$. Próbki plastyfikowane są odmiennym materiałem dla roztworów wodnych i olejowych (5, 8). Tak uzbrojone drzewa stanowiły linię pomiarową. Przelot samolotu dokonywany był w jednokrotnym locie nad każdą linią kierunkową, pod wiatr. Włączanie i wyłączanie aparatury następowało 5s przed i 5s za linią pomiarową. Lot był poziomy, ustalony na wysokości 10 m nad wierzchołkami drzew z prędkością równą prędkości roboczej zabiegu.

W badaniach stosowano ciecz modelową 2% wodny roztwór nigrozyny. Na zewnątrz linii pomiarowej dokonano pomiarów warunków meteorologicznych panujących w trakcie próby nad wierzchołkami drzew i na wysokości 2 m. Pomiary dotyczyły temperatury, wilgotności względnej oraz prędkości i kierunku wiatru. Ponadto prędkość chwilową wiatru mierzono termooanemometrem drucikowym na trzech wysokościach: 0,5 m nad wierzchołkami drzew, w połowie wysokości drzewostanu i 1 m nad podłożem. Schemat linii pomiarowej przedstawiono na rycinie 2.

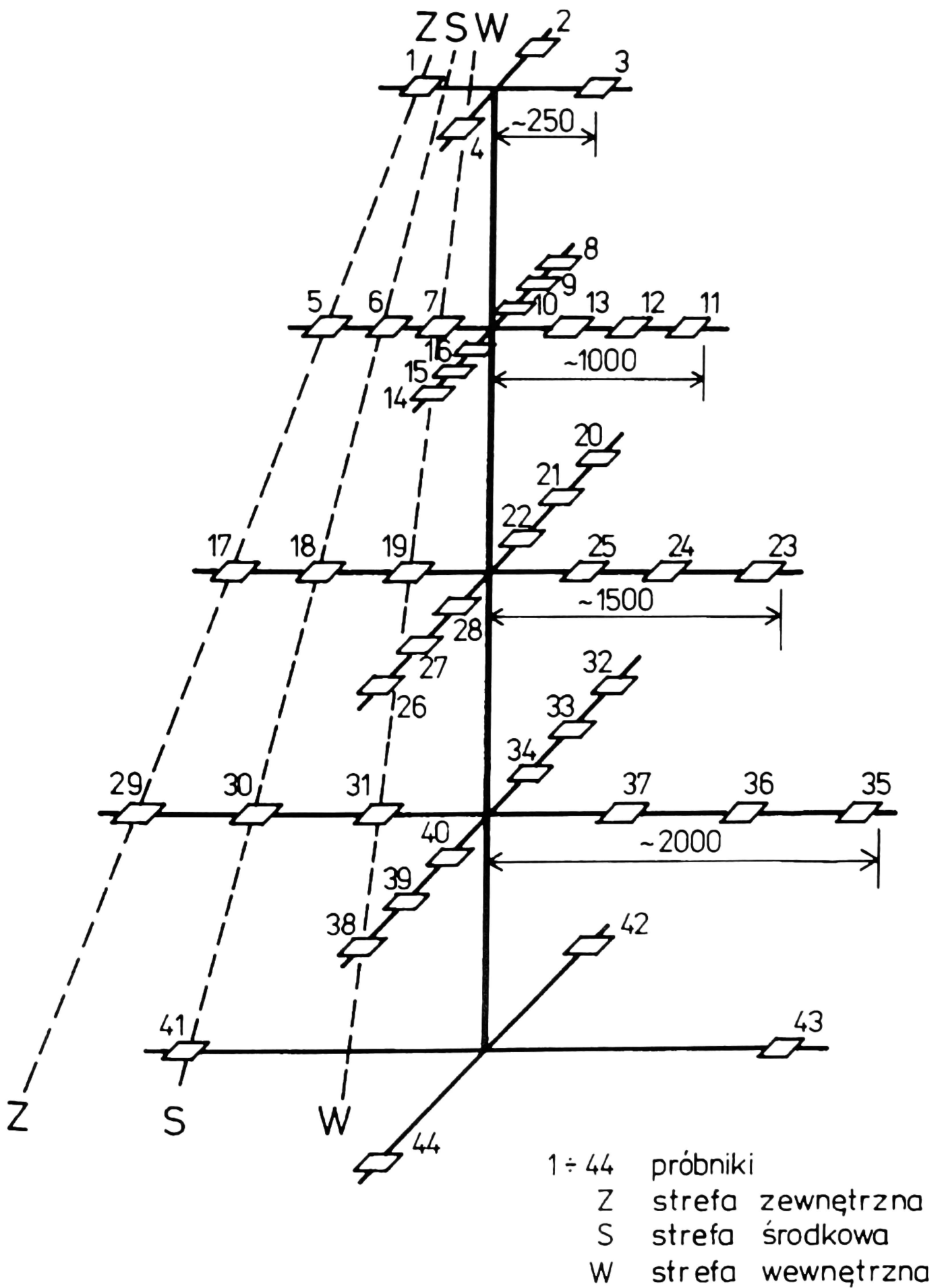
Parametry lotu i nastaw aparatury były rejestrowane przez pilota, a ponadto przez pokładowy oscylograf rejestrujący: ciśnienie cieczy za pompą, ciśnienie cieczy przed każdym z atomizerów lub przed pierwszym i ostatnim rozpylaczem, obroty pompy, obroty atomizerów, czas włączenia i wyłączenia aparatury oraz parametry lotu: prędkość i wysokość. Po przelocie samolotu i opadnięciu chmury oprysku zdejmowano wszystkie próbki i zakładano nowe.

Analizę pobranych z drzew próbników z utrwalonymi śladami kropeł analizowano za pomocą komputerowego analizatora obrazu QMT-Quantimet 920. Zależność między średnicą kropli i jej śladem $d=f(d_s)$ przyjęto w wyniku skalowania w postaci funkcji:

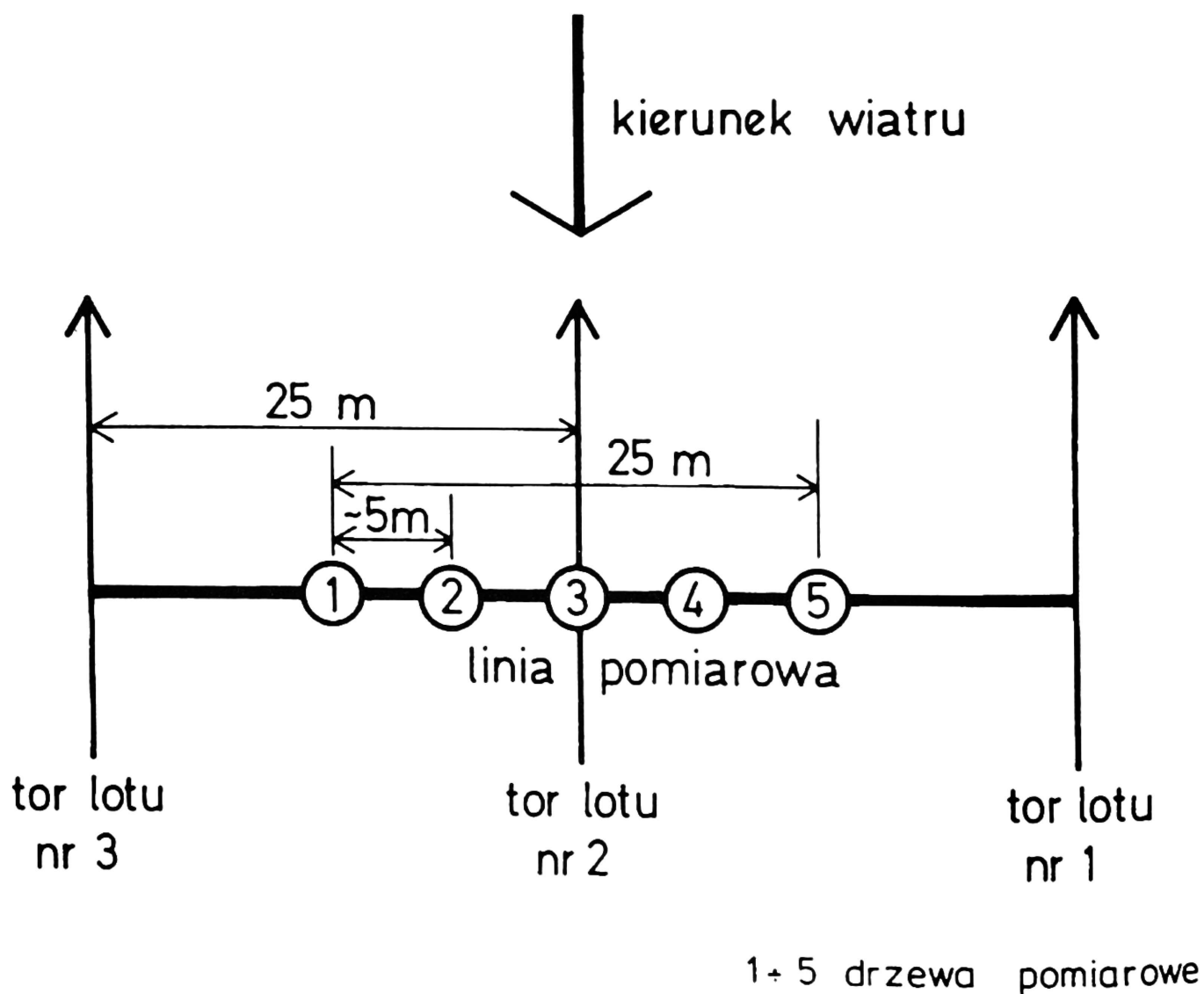
$$d = -0,0087 + 0,54155 d_s - 0,13643 d_s^2 + 0,01459 d_s^3$$
$$0 < d \leq 1,7 \quad (5)$$

Szczegółową metodykę badań opisano w (5).

Każdą próbę — rozumianą jako daną nastawę aparatury (realizowaną dawkę) — powtarzano trzykrotnie.



RYC. 1. Rozmieszczenie próbników na drzewie pomiarowym



Ryc. 2. Schemat linii pomiarowej

Wyniki i ich omówienie

Techniczne i meteorologiczne warunki badań

Przeprowadzono badania dla 4 nastaw dozownika atomizerów 5, 7, 11 i 13 odpowiadających zakresowi natężeń przepływu $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ do $1,49 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz rozpylaczy ciśnieniowych W 7-4 zamocowanych do belki opryskującej w ilości 38 i 75 sztuk. Natężenie przepływu wynosiło odpowiednio $3,27 \text{ dm}^3/\text{s}$ i $6,53 \text{ m}^3/\text{s}$. Loty wykonano z prędkością $45,4 \text{ m/s}$ i $47,2 \text{ m/s}$ na wysokości 10 m nad wierzchołkami drzew.

Próby przeprowadzono w warunkach bardzo słabego wiatru, przy wysokiej wilgotności względnej i temperaturze 286–296 K. Dane dotyczące nastaw, parametrów lotu i warunków meteorologicznych zestawiono w tabeli 1.

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu określić można pewne ogólne zależności dotyczące oprysku drzewostanów.

TABELA 1. Techniczne i meteorologiczne warunki badań

Nastawa lub ilość rozpylaczy	Parametry pracy aparatury		dawka techniczna dla $B=25$ m	nadcisnienie za pompą	obroty atomizerów	Parametry lotu		Warunki meteorologiczne		
	natężenie	przepływu				prędkość lotu	wysokość lotu	prędkość wiatru	temperatura	wilgotność względna
	W dm^3/s	DT dm^3/ha				Dp MPa	l/s	V_r m/s	h m	V_w m/s
5	0,400	3,39	0,35	80-98	47,2	10	290,0	90		
7	0,594	5,03	0,40	75-93	47,2	10	286,5	88		
11	1,133	9,60	0,38	82-89	47,2	10	286,5	88		
13	1,494	12,66	0,30	67-83	47,2	10	296,0	90		
38	3,267	28,78	0,45	-	45,4	10	293,0	90		
75	6,533	55,36	0,33	-	47,2	10	294,2	82		

Nierównomierność rozkładu

Badania wykazały większą nierównomierność rozkładu oprysku na drzewach w linii pomiarowej niż otrzymaną w trakcie badań polowych. Współczynnik zmienności określający nierównomierność rozkładu oprysku dla badanych dawek, w próbach polowych i leśnych kształtował się następująco:

Dawka techniczna D_T [dm ³ /ha]	Współczynnik zmienności W_w [%]	
	polowe	leśne
3,4	–	61,3
5,0	20,0	42,3
9,6	47,6	72,1
12,7	34,5	44,3
28,8	–	60,4
55,4	25,4	69,7

Wynika to z innego osiadania oprysku w drzewostanach. Lokalne warunki meteorologiczne, w tym turbulencja — panujące nad mniej jednorodnym niż pole obszarem leśnym oraz lot wykonywany na większej wysokości — powodują pogorszenie równomierności rozkładu.

Charakterystyki kropeł

Na podstawie zebranych prób można określić strukturę widma kropeł osiadłych w drzewostanie. W tabeli 2 zestawiono charakterystykę kropeł w oprysku drzewostanu.

Ustalono korelację pomiędzy średnią gęstością oprysku drzew w linii pomiarowej a dawką techniczną w formie:

$$g = -0,0129 D_T^2 + 3,1578 D_T - 6,2741 \quad (6)$$

$$\text{dla: } 3,4 \text{ dm}^2/\text{ha} \leq D_T \leq 55,4 \text{ dm}^2/\text{ha}$$

Z współczynnikiem zgodności $\phi=0,0219$ i odchyleniem przeciętnym od krzywej $S_r=7,9642$. Testowana istotność współczynnika przy D_T^2 wykazała, że wielkość ta jest istotna.

Określono również zmianę wielkości średnich średnic kropeł ze stosowaną dawką. Jako wielkość badaną przyjęto medianę objętościową. Funkcja tama postać:

$$d_{VM} = -0,0842 D_T^2 + 6,6842 D_T + 83,3803 \quad (7)$$

$$\text{dla: } 3,4 \text{ dm}^2/\text{ha} \leq D_T \leq 55,4 \text{ dm}^2/\text{ha}$$

Z współczynnikiem zgodności $\phi=0,0069$ i odchyleniem przeciętnym od krzywej $S_r=3,7909$. W wyniku testu stwierdzono, że współczynnik przy D_T^2 jest istotny.

TABELA 2. Charakterystyka oprysku drzewostanów

Aparatura	Nastawa lub ilość rozpylaczy	Dawka techniczna dla $B=25$ m	Liczebność kropel	Gęstość oprysku	Średnie średnice kropel			Wskaźnik struktury oprysku 80% objętości
					d_v μm	d_{VM} μm	d_{max} μm	
	D_T $\frac{\text{dm}^3}{\text{ha}}$	g sztuk/ cm^2						
An-2R								
Atomizery	5	3,4	3109	2,0	73,6	108,0	25-140	
AU-3000	7	5,0	4024	2,6	78,5	113,7	25-160	
	11	9,6	5293	3,4	91,7	141,5	25-200	
	13	12,7	6159	4,0	99,0	148,2	25-180	
Rozpylacze	58	28,8	21163	13,7	134,4	195,2	25-260	
W 7-4	75	55,4	36337	23,5	139,5	206,7	25-280	

Przenikanie kropeł przez koronę drzewa

Sposób umieszczenia próbników w koronie umożliwił określenie ilości kropeł na poszczególnych piętrach, po stronie zawietrznej i nawietrznej oraz w strefach: zewnętrznej, środkowej i wewnętrznej korony. Stosowanie próbników umożliwiło nie tylko ilościowe określenie osiadłych kropeł, jako to z reguły ma miejsce przy badaniach na materiale roślinnym i masy środka aktywnego, ale i wielkości kropeł. W ten sposób możliwa była odpowiedź na pytanie czy występuje zmiana średnic osiadłych kropeł przy przenikaniu ich przez koronę drzewa. Określając przez przenikanie — penetrację — udział procentowy objętości (masy) osiadłych kropeł na próbnikach na poszczególnych piętrach korony drzewa, do objętości (masy) osiadłej w całej koronie.

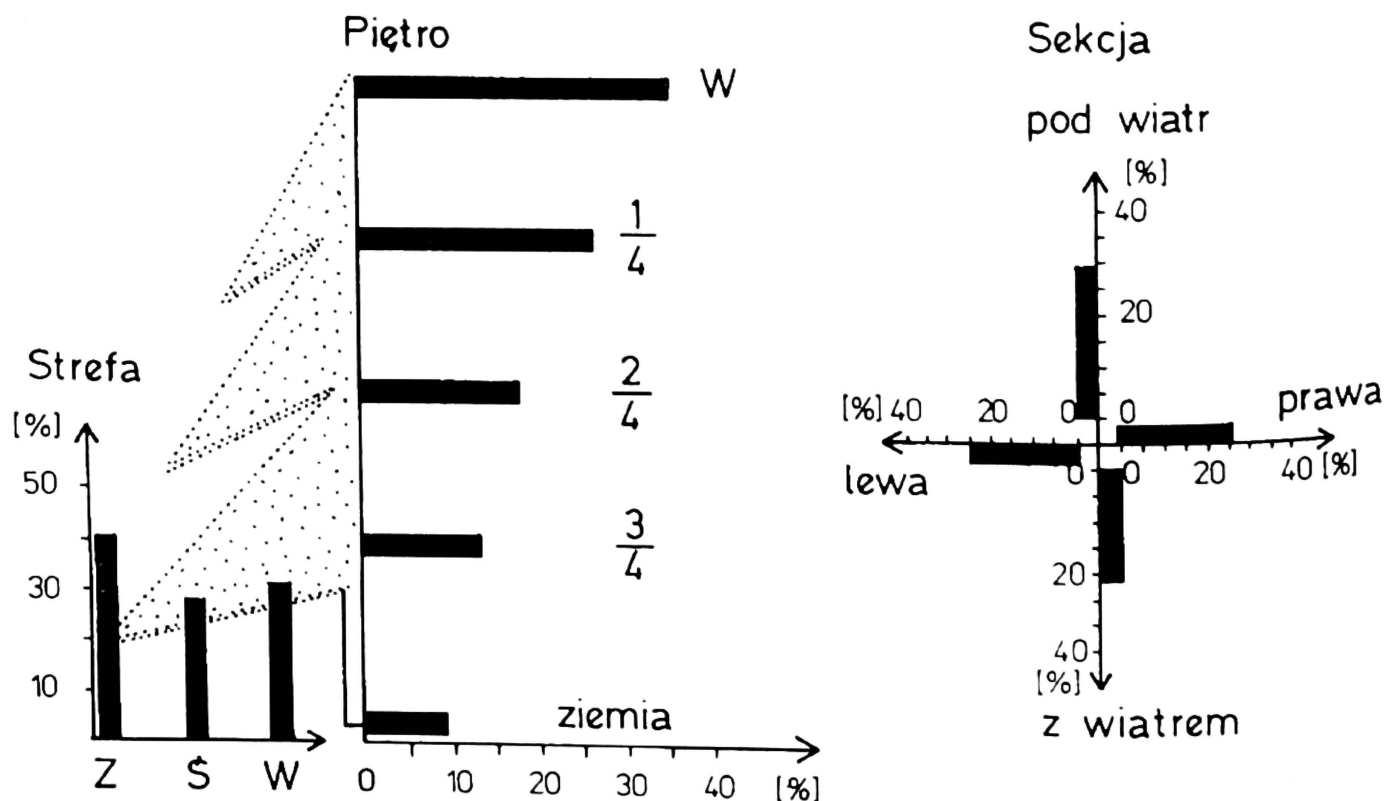
$$\Pi = \frac{\vartheta_p}{\vartheta_k} \cdot 100 \quad (8)$$

gdzie ϑ_p dotyczy kolejnych pięter i wierzchołka, 1/4; 2/4; 3/4 korony drzewa. To znaczy

$$\Pi = \frac{\vartheta_W}{\vartheta_K} + \frac{\vartheta_{1/4}}{\vartheta_k} + \frac{\vartheta_{2/4}}{\vartheta_k} + \frac{\vartheta_{3/4}}{\vartheta_k} = 100 \quad (9)$$

czasami do zobrazowania osadu pod drzewem dochodzi człon $\frac{\vartheta_d}{\vartheta_K}$, gdzie ϑ_d oznacza objętość cieczy osiadłej na próbnikach pod drzewem. Tę formę przedstawiono w tabeli 3.

Ponieważ objętość odnosimy do powierzchni próbników otrzymujemy dawkę:



RYC. 3. Przenikanie oprysku przez koronę drzewa (procentowy rozkład objętości cieczy)

$$D = \frac{\vartheta}{F} = \frac{\pi}{6} \cdot d_v^3 \cdot \frac{N}{n \cdot F_p} \quad (10)$$

Podstawiając do równania (9), zależność ta uprości się do formy:

$$\Pi = \frac{n}{n_p} \left[\frac{3N_w (d_v^3)_w + N_{1/4} (d_v^3)_{1/4} + N_{2/4} (d_v^3)_{2/4} + N_{3/4} (d_v^3)_{3/4} + 3N_d (d_v^3)_d}{N \cdot d_v^3} \right] = 100 \quad (11)$$

Przyjmując, że średnia średnica objętościowa w kolejnych przekrojach poprzecznych korony nie ulega zmianie udział % na danym piętrze wynosi:

$$(\Pi_p)_{d_v = const} = \frac{N_p \cdot n_k}{N \cdot n_p} \cdot 100 \quad (12)$$

W tabeli 3 zestawiono penetrację kropeł przez korony drzew wyrażoną w procentach. W celu zobrazowania tej części oprysku, która osiadła pod drzewem — odniesiono udziały procentowe do wszystkich kropeł, nie tylko tych znajdujących się w koronie.

Uśredniając wszystkie rezultaty można określić penetrację kropeł w formie:

— wierzchołek	35%	$S = 9,8$
— 1/4 korony	26%	$S = 6,4$
— 2/4 korony	17%	$S = 3,4$
— 3/4 korony	13%	$S = 6,8$
— dół	9%	$S = 3,9$

Z analizy wariancji dla wszystkich uzyskanych rezultatów wynika, że różnice te są istotne.

Chłonność korony

Przez chłonność korony rozumie się stosunek objętości cieczy osiadłej na wierzchołku drzewa do objętości w 3/4 środkowej sekcji korony drzewa¹.

$$C = \frac{\vartheta_w}{\vartheta_{3/4s}} \quad (13)$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n N_{i_w} \cdot (d_v^3)_w}{\sum_{i=1}^n N_{i_{3/4s}} \cdot (d_v^3)_{3/4s}} \quad (14)$$

Wskaźnik chłonności korony C oznacza zwielokrotnienie powierzchni koron drzew spowodowanych ich wysokością i ulistnieniem. Stanowi więc miarę niezbędnego zwielokrotnienia oprysku do uzyskania wymaganej skuteczności biologicznej na dolnym piętrze korony drzewa.

¹ Zgodnie z przeprowadzonym doświadczeniem będzie to stosunek średniej dawki osiadłej na próbnikach 1; 2; 3; 4 do dawki osiadłej na próbnikach 30; 33; 36; 39 (ryc. 1).

TABELA 3. Udział procentowy osiadłych kropeł

Zestaw aparatury	Dawka techn.		Penetracja				Sekcja				Strefy		
	w	1/4	2/4	3/4	d	l	nw	p	zw	z	s	w	
													18,8
Atomizery	3,4	26,7	24,8	18,8	14,9	14,8	29,2	26,0	27,2	24,7	36,7	30,0	33,3
AU-3000	5,0	28,0	32,8	19,2	10,4	9,6	26,5	30,4	23,5	19,6	37,7	28,6	33,7
	9,6	37,4	23,5	18,4	11,8	8,9	22,8	26,5	31,6	19,1	41,0	28,0	31,0
	12,7	36,4	30,5	16,5	8,3	8,3	24,0	23,4	24,1	28,5	39,5	27,7	32,8
Rozpylacze	28,8	44,1	20,7	14,7	9,5	11,0	24,0	28,3	27,2	20,5	46,6	25,6	27,8
W 7-4	55,4	35,7	23,8	15,3	12,0	13,2	21,1	35,7	22,8	20,4	44,6	27,8	27,6

w — wierzchołek, d — dół, l — lewa, zw — zawietrzna, p — prawa, nw — nawietrzna, z — zewnętrzna, s — środkowa, w — wewnętrzna

TABELA 4
Wskaźnik chłonności rośliny

Aparatura	D_T [dm ³ /ha]	C
Atomizery	3,4	2,0
AU-3000	5,0	2,3
	9,6	6,8
	12,7	2,3

Rozpylacze	28,8	3,7
W 7-4	55,4	3,0
	C_{sr}	3,5

W tabeli 4 przedstawiono wartości wskaźników chłonności dla poszczególnych dawek oraz wartość średnią.

Uzyskana wartość średnia C zawiera się w przedziale przyjmowanego dla lasów iglastych indeksu liściowego, który wynosi 3-7 (7).

Struktura kropeł

W czasie badań określono również strukturę kropeł cieczy przenikających przez koronę drzewa. Istotne było pytanie: czy następuje segregacja kropeł, tzn. innej średnicy krople osiadają na wierzchołku drzewa i pod nim? W tabeli 5 zestawiono wartości średnich średnic objętościowych w zależności od stosowanej dawki i piętra korony drzewa.

Z analizy wariancji wynika, że należy przyjąć hipotezę o nieistotności różnic w średnicach objętościowych kropeł na poszczególnych piętrach korony drzewa, a więc o braku występowania segregacji kropeł z wysokością korony.

TABELA 5
Średnie średnice objętościowe

Dawka techniczna D_T [dm ³ /ha]	w \bar{d}_v [μm]	1/4	2/4	3/4
3,4	74,0	76,3	74,2	69,8
5,0	71,6	78,3	81,1	76,3
9,6	98,2	97,5	85,8	81,4
12,7	83,3	102,1	103,0	100,1
28,8	132,8	134,0	143,0	148,8
55,4	137,4	135,9	133,2	131,4

Wnioski

- Przy przyjętej szerokości oprysku $B=25$ m rozkład oprysku na pięciu drzewach modelowych jest zróżnicowany. Współczynnik zmienności — w zależności od dawki zawiera się w przedziale 42,5% do 72,1%.
- Wskaźnik struktury oprysku wykazał, że 80% objętości cieczy przypada na krople w zakresie 25 μm – 190 μm dla atomizerów i 25 μm – 280 μm dla rozpylaczy ciśnieniowych.
- Stopień penetracji można w przybliżeniu przyjąć na wierzchołku 40%; 1/4 korony 30%; 2/4 korony 20%; 3/4 korony 10%. W strefach korony podział jest następujący: zewnętrzna 40%, środkowa 28% i wewnętrzna 31%.
- Ze względu na lot w łożu wiatru, przy stosunkowo niskich jego prędkościach, nie zauważa się zmian w gęstości oprysku drzew po stronie zawietrznej i nawietrznej.
- Nie występuje segregacja kropeł w koronie i zasadniczo tej samej wielkości krople osiadają w górnych i dolnych piętrach korony.
- Stwierdza się lepszą — bardziej równomierną w rozkładzie penetrację korony przez małe krople. Niemniej, liczebność tych kropeł jest mała i może nie zapewnić właściwego efektu biologicznego.

Literatura

1. **Armstrong J.A.** ULV/CDA Optimum Droplet Size for Control of the Eastern Spruce Budworm in Canada. Outlook on Agriculture, 7/81, 1981, 327–332.
2. **Courshee R.** Rozkład drobnych kropeł rozpryskiwanych z samolotu na lasy iglaste w Kanadzie. Seminarium Aero-Agro 78, Europejska Komisja Gospodarcza — ONZ, Warszawa, 1978, 171–186.
3. **Drużyński J.** Zastosowanie śmigłowca do ochrony środowiska naturalnego Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Seminarium Aero-Agro 78., Europejska Komisja Gospodarcza — ONZ, Warszawa, 1978, 151–156.
4. **Perlowitz W., Wolff G.** Haberman Methodin zur Tropfenmessung von sprunwellken bei aviochemischen Einsätzen, Beiter, Forstwirtschaft V 22, 1988, 67–71.
5. **Rowiński R.S., Wodecka C., Jumrych M.** Metodyka badań agrolotniczych AR-T Olsztyn, 1985, Olsztyn.
6. **Rowiński R.S.** Wstępne badanie penetracji cieczy w koronach drzew, IX Seminarium Problematyka badań agrolotniczych, 1986, AR-T Olsztyn, 111–126.
7. **Spillman J.J., Joyce R.J.V.** Control of Pine Beauty Moth by Fenitrothion in Scotland. Edited: A.V. Holden and D. Bevan, 1976.
8. **Wodecka C., Rowiński R.S.** Metodyka badań penetracji kropeł w koronach drzew. Sylwan. Rok CXXXVII, nr 7, 1993, 75–82.