

HALINA WODECKA, ROBERT S. RUCIŃSKI

Metodyka badania penetracji kropeł w koronach drzew

Wstęp

Zabiegi ochrony lasów wykonywane techniką lotniczą są powszechnie stosowane w kraju i na świecie. W zwartych kompleksach leśnych nie ma bowiem możliwości korzystania z techniki naziemnej. Wraz z lotniczą techniką opryskiwania wystąpiły problemy technologiczne i ekologiczne. Wynika to ze specyficznych właściwości tej techniki. Proces technologiczny na lotniczych statkach powietrznych realizowany jest na otwartej przestrzeni. Naturalne warunki otoczenia takie jak rzeźba terenu, zadrzewienie, zbiorniki i ciekły wodne oraz temperatura, wilgotność i prędkość wiatru są składowymi technologii. Oddziaływanie czynników środowiskowych na opryskiwanie wytwarzane aparaturą lotniczą jest wzajemne, a efekt biologiczny jest wypadkową współdziałania.

Praktyka ochrony lasów techniką lotniczą dysponuje przykładami dobrze i źle wykonanych zabiegów wraz ze skażeniem, a nawet zatruciem środowiska naturalnego. Rozbieżne opinie na temat przydatności techniki lotniczej w ochronie lasów wykazały konieczność przeprowadzenia badań określających wpływ składowych technologii na rozkład opryskiwania w koronach drzew i skuteczność biologiczną zabiegu, a także zagrożenie ekologiczne.

Doświadczenia przeprowadzone w Kanadzie [1, 2] i Wielkiej Brytanii (9), a także w Polsce (3, 4) i Związku Radzieckim (5) sprowadzały się głównie do kontroli skuteczności biologicznej zabiegów ochrony wykonywanych techniką lotniczą. Brak było danych na temat rozkładu ilości i wielkości kropeł w koronach drzew. Dlatego też w latach osiemdziesiątych w Polsce (8, 10, 11) i NRD (6) przeprowadzono badania modelowe obejmujące rozkład opryskiwań na obszarach leśnych.

Na zlecenie i przy współpracy Instytutu Badawczego Leśnictwa w Zakładzie Agrolotnictwa Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie wykonano modelowe doświadczenia opryskiwania lasów za pomocą samolotu i śmigłowca. Do przeprowadzenia doświadczeń niezbędne było opracowanie metodyki badań umożliwiającej pomiar fizycznych parametrów zabiegu opryskiwania przyczynowo związanych ze skutecznością biologiczną.

Metodyka badań

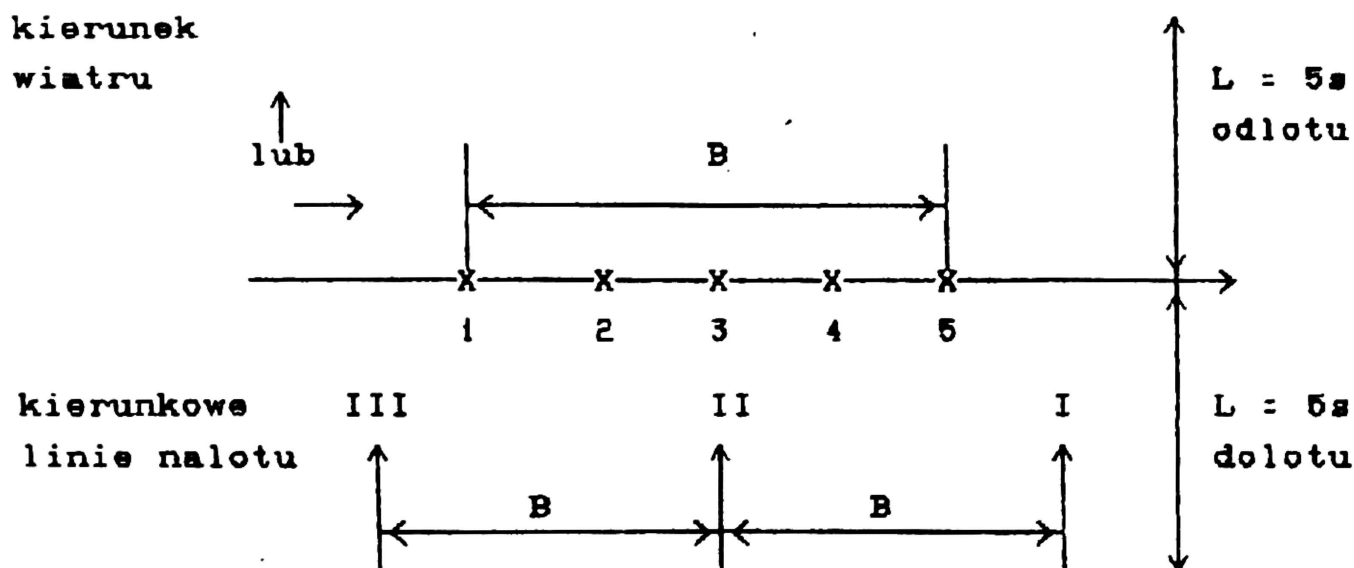
W ramach badań opracowano oryginalną metodykę pomiaru rozkładu kropel w koronach drzew (10). Istotą metodyki jest system pobierania próby zapewniający reprezentatywność rozkładu opryskiwania na drzewach. Pozostałe czynniki, tj. modelowe roztwory robocze i próbki pomiarowe oraz warunki meteorologiczne i technika nalotów były zgodne z uznaną metodyką badań agrolotniczych (7).

Zasady pobierania opryskiwania

Wielkość działki leśnej, na której jest prowadzone doświadczalne opryskiwanie powinna zapewnić możliwość wykonania lotu roboczego z jednakową prędkością i wysokością w ciągu 10 sekund. Odpowiada to 5 s dolotu i odlotu względem linii pomiarowej. Długość lotu z włączoną aparaturą opryskującą jest więc iloczynem 10 s czasu i prędkości roboczej statku powietrznego i zwykle mieści się w przedziale 200–500 m.

W środkowej części działki wytycza się trzy linie kierunkowe określające kierunek nalotu statku powietrznego. Standardowe naloty doświadczalne wykonywane są pod wiatr. Naloty robocze w zabiegach ochrony wykonywane są zwykle z wiatrem bocznym. Dlatego też zależnie od celu doświadczenia linie kierunkowe są w łozu wiatru lub prostopadle do kierunku wiatru. Linie kierunkowe znakowane są za pomocą chorągwi na wierzchołkach drzew w takiej odległości aby wyznaczały też włączenie i wyłączenie aparatury opryskującej. Prostopadle do linii kierunkowych w środku drugiej linii kierunkowej wytycza się linię pomiarową. Linię pomiarową stanowią wybrane do pobierania próby drzewa. Długość linii pomiarowej odpowiada szerokości roboczej danego statku powietrznego. Schemat działki doświadczalnej ilustruje rycina.

Na każdym wytypowanym drzewie pobierano próbę kropel według ściśle określonego systemu. Na wierzchołku i odpowiednio niżej, tj. 1/4, 2/3 i 3/4 wysokości korony drzewa zakładano na pniu obejmę do mocowania listewek o długości odpowiadającej szerokości korony. Do listewek mocowano próbki z zachowaniem:



RYC. Schemat działki doświadczalnej: B — szerokość robocza i odległość między kierunkowymi liniami nalotu [m], L — długość lotu roboczego odpowiadająca 10 s lotu statku powietrznego [m]

- stref wysokości korony drzewa,
- sekcji korony określanych względem kierunku wiatru i nalotu statku powietrznego,
- warstw korony.

Próbniki pomiarowe to wycinki plastyfikowanej błony filmowej o wymiarach 3,5 x 4 cm.

Ilość i kolejność próbników rozkładanych na drzewach jest jednakowa zgodnie z przyjętym systemem:

wierzchołek	cztery sekcje	warstwa zewn.	— 4 próbniiki;
1/4 wysokości	jw.	trzy warstwy	— 12 próbników;
2/4 jw.	jw.	jw.	— 12 jw.
3/4 jw.	jw.	jw.	— 12 jw.
dół (podszycie)	jw.	warstwa środkowa	— 4 próbniiki
razem: pięć stref	cztery sekcje	trzy warstwy	— 44 próbniiki.

Po zabiegu opryskiwania wodnym roztworem nigrozyny krople osiadają na powierzchni próbników i zostawiają barwne ślady kropeł.

Techniczne i meteorologiczne warunki doświadczeń

Utrzymanie zadanych parametrów pracy aparatury i statku powietrznego podczas zabiegu opryskiwania odbywa się za pomocą aparatury kontrolno-pomiarowej. Oprócz standardowego wyposażenia, w przyrządy pilotażowe i manometr do pomiaru ciśnienia, w instalacji aparatury opryskującej, montowano dwunastokanałowy rejestrator — oscylograf typu K 12–22. Mierzono również prędkość i wysokość lotu, ciśnienie za pompą i w belce opryskującej oraz obroty atomizerów. Pomiaru natężenia przepływu cieczy roboczej wykonywane za pomocą przepływomierza typu MZL-502.

W zabiegach ochrony, zwłaszcza w badaniach modelowych, wymagane jest prawidłowe wykonanie lotu roboczego. Lot roboczy powinien być ustalony, prostoliniowy wzdłuż linii kierunkowej bez wychylenia podłużnego i poprzecznego na dystansie odpowiadającym 5 sekundom lotu przed i za linią pomiarową.

Osposobie i ilości osadzania się kropeł w koronach drzew w jednakowym stopniu jak sprzęt lotniczy i pilotaż decydują warunki meteorologiczne. Dlatego też w zabiegach opryskiwania szczególną uwagę zwraca się na stan atmosfery w miejscu prowadzenia doświadczeń. Wymagania stawiane warunkom meteorologicznym to:

- względna wilgotność powietrza,
- temperatura na wysokości 2 i 10 metrów,
- prędkość i kierunek wiatru na wysokości drzew.

Pomiary stanu atmosfery należy przeprowadzać przy linii pomiarowej.

Pomiary ilości i wielkości kropeł na próbnikach

Podczas zabiegu opryskiwania krople osiadają na powierzchni próbników i zostawiają barwne ślady. W czasie około kilku minut wysychają i już jako utrwalona próba opryski-

wania są analizowane za pomocą powszechnie stosowanych analizatorów obrazu. Bardzo przydatne do tego typu analizy prób — są komputerowe analizatory obrazu.

Wynikiem analizy jest zbiór śladów kropeł pogrupowanych w klasy według ich wielkości. Matematyczna analiza wyników obejmuje przeliczanie śladów kropeł na zbiór kropeł według eksperymentalnie wyznaczonej zależności:

$$D_k = -0,0087 + 0,54155 d_s - 0,13643 d_s^2 + 0,1459 d_s^3$$

gdzie:

D_k — średnica kropli [mm],

d_s — średnica śladu kropli [mm],

dla $0 < d_s \leq 1,7$ mm.

Analiza wyników i doświadczeń

Wyniki badań analizowane są w dwóch aspektach:

- wartości technicznych parametrów pracy aparatury opryskującej i statku powietrznego jako składowych dawki cieczy roboczej,
- struktury kropeł i ich rozkładu w koronach drzew jako miary zabiegu opryskiwania.

Dozowanie cieczy roboczej

W technice lotniczej dawka jest ilorazem natężenia wypływu cieczy roboczej i prędkości lotu w funkcji szerokości pasma opryskiwania i oznacza tę ilość roztworu, który jest rozpylony nad powierzchnią jednego hektara.

$$DT = \frac{W_s}{V_s B} \times 10^4 \quad (1)$$

gdzie:

DT — dawka techniczna [dm^3/ha]

W_s — natężenie wypływu cieczy [dm^3/s]

V_s — prędkość lotu statku powietrznego [m/s]

B — szerokość pasma opryskiwania [m]

Dawka cieczy roboczej rozdrobniona na krople podlega wpływom warunków atmosferycznych i zawirowań powietrza wywołanych przelotem statku powietrznego. Rozpylenie cieczy na krople to kilkutyśne zwiększanie powierzchni, występuje intensywne parowanie a zawirowania powietrza powodują znoszenie części opryskiwania poza cel zabiegu, decydują także o sposobie rozkładu kropeł na docelowej powierzchni.

Zabieg opryskiwania

Zabieg ten określany jest na podstawie próby opryskiwania które osiadło na docelowej powierzchni. Jest to zbiór kropeł o zróżnicowanej wielkości, zawierający dawkę cieczy roboczej zmniejszoną o odparowanie i znoszenie. Dawka cieczy roboczej, która osiadła na docelowej powierzchni oznaczona jest metodą fotometryczną. Pomiar substancji właściwej

w opryskiwaniu pozwala wyznaczyć tę ilość cieczy roboczej, która osiadła na chronionej plantacji bez uwzględnienia odparowania. Różnica między dawką techniczną a dawką na plantacji oznacza zniesioną ilość zabiegu opryskiwania.

Odparowanie oblicza się z wartości dawki zmierzonej na plantacji i wartości dawki rzeczywistej. Dawka rzeczywista wyznaczana jest z liczby i wielkości kropeł stanowiących opryskiwanie według zależności:

$$DK = \frac{\Pi VD^3 N}{6 P_p 10^6} \quad (2)$$

gdzie:

- DK — dawka rzeczywista [dm^3/ha],
- VD^3 — średnia średnica objętościowa [μm],
- N — liczba kropeł w próbie [szt.],
- P_p — powierzchnia próbników [cm^2].

Zbiór kropeł pogrupowanych według wielkości w szereg rozdzielczy opisywany jest za pomocą struktury kropeł, średnich średnic i średnic pozycyjnych.

Struktura kropeł oznacza procentowy udział liczby w poszczególnych klasach:

$$n_i [\%] = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad (3)$$

gdzie:

- n_i — liczba kropeł w i -tej klasie wielkości,
- N — liczba kropeł w próbie.

Średnie średnice kropeł są reprezentantami całego zbioru. Zależnie od potrzeby ocenę zbioru kropeł przeprowadza się na podstawie liczby, powierzchni i objętości. W zabiegach opryskiwania interesująca jest objętość cieczy zawarta w kroplach poszczególnej wielkości. W tym celu wyznacza się średnią średnicę objętościową:

$$VD = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^k n_i D_i^3}{N}} \quad (4)$$

gdzie:

- VD — średnia średnica objętościowa [μm],
- D_i — średnia średnica i -tej klasy [μm],
- k — ilość klas w zbiorze kropeł.

Średnice pozycyjne informują o wartości jednej klasy kropeł, a nie całego zbioru. W literaturze zwłaszcza zachodniej przy ocenie zbioru kropeł najczęściej stosowana jest mediana objętościowa:

$$VMD = 0,5 \cdot L - \frac{0,5 \cdot \sum_{i=1}^k n_i \cdot D_i^3 - \left(\sum_{i=1}^{m-1} n_i \cdot D_i^3 + 0,5 \cdot n_m \cdot D_m^3 \right)}{n_m \cdot D_m^3} \times l_m \quad (5)$$

gdzie:

VMD — mediana objętościowa [μm],

L — przedział wielkości kropeł w zbiorze [μm],

l_m — przedział klasy z medianą [μm],

n_m — liczba kropeł z medianą.

Zabieg opryskiwania oceniany jest za pomocą struktury, gęstości, stopnia penetracji i chłonności korony drzewa.

Struktura oznacza rozkład objętości cieczy na krople pogrupowane w klasy według wielkości. Wskaźnik ten wyznacza się z iloczynu liczby i wielkości kropeł zgodnie z przyjętą klasyfikacją opryskiwania:

- zamgławianie 25–125 μm

$$V_{k\ 25-125} = \frac{\sum_{i=1}^l n_i D_i^3 - \sum_{i=1}^n n_i D_i^3}{\sum_{i=1}^k n_i D_i^3} \times 100 \quad (6)$$

i analogicznie:

- opryskiwanie drobnokropliste 50–150 μm ,
- opryskiwanie średniokropliste 100–300 μm

gdzie:

$V_{k\ 25-125}$ — objętość cieczy zawarta w kroplach o średnicach od 25 do 125 μm ,
 l, n — ilość klas do średnicy 125 μm i 25 μm włącznie.

Wymagane wartości wskaźnika struktury opryskiwania określone są Warunkami Technicznymi i Kartami Wymagań Systemu Maszyn Rolniczych i Leśnych.

Gęstość opryskiwania określa liczbę kropeł na 1 cm^2 powierzchni poddawanej zabiegowi;

$$g = \frac{N}{P_p} \quad (7)$$

Stopień penetracji opryskiwania oznacza zróżnicowanie rozkładu objętości cieczy w wysokości w koronach drzew. Wskaźnik ten wyznacza się z zależności:

$$\% \Delta_p = \frac{100 V_k(w)}{\sum V_k} \cdot \frac{100 V_k(1/4)}{\sum V_k} \cdot \frac{100 V_k(2/4)}{\sum V_k} \cdot \frac{100 V_k(3/4)}{\sum V_k} \quad (8)$$

gdzie:

$\% \Delta_p$ — procentowy wskaźnik objętości cieczy,,

V_k — dawka cieczy [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$] lub [$\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$],

w; 1/4: 2/4 i 3/4 wysokości korony drzewa,

ΣV_k — całkowita dawka cieczy osiadła w koronie drzewa.

Chłonność korony oznacza zwielokrotnienie powierzchni przeznaczonej do zabiegu opryskiwania, a wynika z wysokości, ulistnienia i zwartości korony drzew. Przy założeniu niezbędnego minimum gęstości opryskiwania na najniższych gałęziach i maksymalnej gęstości na wierzchołku wskaźnik chłonności oblicza się z zależności:

$$V_{ch} = \frac{V_k(w)}{V_k(3/4)} \quad (9)$$

gdzie:

V_{ch} — wskaźnik chłonności,

$V_k(w)$ — dawka cieczy zawarta w kroplach osiadłych na wierzchołku drzewa [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$] lub [$\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$],

$V_k(3/4)$ — dawka cieczy zawarta w kroplach osiadłych na gałęziach w 3/4 korony drzewa [$\mu\text{g}/\text{cm}^3$] lub [$\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$].

Wyniki badań tak przeprowadzonych doświadczeń zestawiono w tabeli.

TABELA
Wyniki opryskiwania lasów techniką lotniczą,
śmigłowiec Mi-2 i atomizery typu a 18,00

Wyszczególnienie	Nastawienie dozownika			
	2	4	8	10
Dawka techniczna [dm^3/ha]	3,8	6,7	9,5	10,3
Dawka cieczy roboczej na plantacji [dm^3/ha]	1,8	3,7	4,4	5,0
Dawka rzeczywista na plantacji [dm^3/ha]	0,4	1,2	2,1	2,4
Liczba kropel [sztuk]	5846	28184	23553	13200
Średnia średnica objętościowa [μm]	59,5	70,9	76,1	94,4
Mediana objętościowa [μm]	88,1	114,0	112,7	168,9
Gęstość opryskiwania [n/cm^2]	3,5	18,3	16,0	13,2
80% wskaźnika struktury zawiera się w kroplach średnicy [μm]	25–130	25–170	25–170	25–260
Stopień penetracji [%]	40:29:12:13	35:34:22:6	66:28:4:1	88:8:2:1
Wskaźnik chłonności	3	6	6,6	8,8

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 kropel rozpryskiwanych z samolotu na lasy iglaste w Kanadzie. *Seminarium AERO-AGRO, Europejska Komisja Gospodarcza — ONZ, Warszawa, 1978, 177–186.*
3. **Drużyński J.** Zastosowanie śmigłowca do ochrony środowiska naturalnego Świętokrzyskiego Parku Narodowego. *Seminarium AERO-AGRO, Europejska Komisja Gospodarcza — ONZ, Warszawa, 1978, 151–156.*
4. **Fafiński W.** Zastosowanie samolotów i śmigłowców w ochronie i hodowli lasów na terenie OZLP w Olsztynie. *Seminarium Agrolotnicze, ART-Olsztyn, 1983, 20–32.*
5. *Metodyka prowadzenia doświadczeń polowych z zastosowaniem lotnictwa. Instytut Lotnictwa Gospodarczego w Krasnodarze ZSRR, 1988.*
6. **Perlowitz W., Volff G. Haberman,** Methodin zur Tropfenmessung von sprunwollken bei aviochemischen Einsatzen, *Beiter, Forstwirtschaft 22, 1988, 2 67–71.*
7. **Rowiński R., Wodecka C., Jumrych M.** *Metodyka badań agrolotniczych. ART Olsztyn, 1985.*
8. **Rowiński R.** Wstępne badania penetracji cieczy w koronach drzew. *Seminarium Agrolotnicze, ART Olsztyn 1986, 111–126.*
9. **Spillman J.I., Joyce R.J.V.** Low Volume and Ultra Low Volume Spray Trials from Aircraft Thetford Forest, Control of Pine Beauty Math by Fenitrothion in Scotland. 1976.
10. **Wodecka C.** *Metodyka badań penetracji oprysku w koronach drzew w doświadczeniach modelowych. Sprawozdanie 2/86, ART Olsztyn — IBL — Warszawa, 1986.*
11. **Wodecka C.** *Opracowanie danych do kart i instrukcji technologicznych zabiegu opryskiwania lasów. Sprawozdanie 2/88, ART Olsztyn — IBL — Warszawa 1988.*