

SŁAWOMIR MAJEWSKI

## Czynniki wpływające na wydajność i koszty zabiegów agrolotniczych wykonywanych na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Piłi w roku 2013

Factors affecting the efficiency and costs of airborne spraying in Regional Directorate of the State Forests in Piła in 2013

### ABSTRACT

Majewski S. 2015. Czynniki wpływające na wydajność i koszty zabiegów agrolotniczych wykonywanych na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Piłi w roku 2013. Sylwan 159 (4): 289-299.

The Sustainable Use Directive (2009/128/EC) establishes a framework for European Community action to achieve the sustainable use of pesticides imposed restrictions in agro-aviation pesticides application. As a result of the creation of buffer zones, part of the endangered area must be excluded from spraying and the area will be fragmented. This article evaluated the impact of the size, shape and distance between the sprayed area and the aerodrome, on the efficiency and cost of agro-aviation spraying in Regional Directorate of the State Forests in Piła (western Poland) in 2013. The efficiency of agro-aviation spraying is highly positively correlated with the shape and size of sprayed area. Weak negative correlation was found with the distance between the sprayed area and the aerodrome. The obtained efficiency ranged from 23.37 to 198.98 ha/h, while the costs covered the span from 61.96 to 423.34 zł/ha. The structure of unit costs varied depending on the spraying parameters. The costs of aircraft charter and purchase of pesticides are dominating part of the whole process. Variability of the spraying costs causes that their averaging distorts the results and makes it difficult to plan the future costs.

### KEY WORDS

airborne spraying, efficiency, unit costs, sprayed area

### ADDRESSES

Sławomir Majewski – e-mail: slawomir.majewski@pila.lasy.gov.pl

Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Piłi; ul. Kalina 10, 64-920 Piła

### Wstęp

Zabiegi agrolotnicze są nieodzownym elementem ochrony lasu przed foliofagami. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 roku ustanawiająca ramy wspólnotowego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów uznała zabiegi agrolotnicze za zagrażające środowisku i wprowadziła zakaz ich wykonywania, upoważniając państwa członkowskie do wdrożenia mechanizmów odstępstwa od tego zakazu. Implementacją Dyrektywy 2009/128/WE do polskiego prawa jest ustawa z dnia 8 marca 2013 roku o środkach ochrony roślin, która wraz z aktami wykonawczymi określa możliwości stosowania pestycydów oraz zasady wykonywania zabiegów agrolotniczych. Wprowadzenie do prawa stanowionego oraz do etykiet-instrukcji środków ochrony roślin zapisów o konieczności stosowania różnej sze-

rokości stref buforowych od wód, dróg publicznych i gruntów rolnych (również niezależnych od kierunku wiatru) skutkuje wyłączeniem z zabiegów agrolotniczych części drzewostanów oraz fragmentacją pól zabiegowych. Łączy się to z obowiązującą w Lasach Państwowych strategią zwalczania foliofagów niebędących w fazie progradacji w drzewostanach zagrożonych tylko w stopniu silnym i średnim. W efekcie zmniejsza się wielkość pól zabiegowych i komplikuje ich kształt, co w niektórych przypadkach uniemożliwia stosowanie systemów GPS Agro do planowania i wykonywania zabiegów agrolotniczych.

Badania wskaźników ekonomicznych zabiegów agrolotniczych w leśnictwie były prowadzone w ograniczonym zakresie. Do początków lat 80. XX wieku analizy takie wykonywano głównie na potrzeby wielkoobszarowego państwowego rolnictwa, przy zastosowaniu różnej metodyki [Borodzicki 1983; Rowiński 1994; Rowiński, Adomas 1995]. Nie były badane wskaźniki operacyjne i ekonomiczne zabiegów agrolotniczych wykonywanych na niewielkich polach zabiegowych, o zróżnicowanym kształcie, których powierzchnia była mniejsza niż możliwa do objęcia zabiegiem przez statek powietrzny w jednym locie. Takie „nieefektywne” wykorzystywanie statku powietrznego skutkuje spadkiem wydajności i wzrostem kosztów jednostkowych zabiegów agrolotniczych.

Celem pracy była ocena wydajności oraz kosztów zabiegów agrolotniczych wykonywanych w 2013 roku na obszarze Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Pile przeciwko barczatce sosnowce (*Dendrolimus pini* L.), piędzikowi przedzimekowi (*Operophtera brumata* L.) i gatunkom towarzyszącym oraz chrabąszczowi kasztanowcowi (*Melolontha hippocastani* F.). Taka ocena może być wykorzystywana do organizacji oraz planowania kosztów zabiegów agrolotniczych w innych jednostkach Lasów Państwowych.

## Material i metody

Analizie poddano dane ze 113 lotów trzema samolotami M-18 Dromader z aparaturą atomizerową Micronair AU-5000 i urządzeniami GPS Agro typu AgNav na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Pile wykonanych w okresie od 29 kwietnia do 21 maja 2013 roku (łącznie 222,21 h lotów). W czasie tych lotów wykonano zabiegi na powierzchni 27 022 ha na 58 polach zabiegowych. W przypadku nadleśnictw Durowo (14 pól zabiegowych o łącznej powierzchni 1242 ha), Lipka (5 pól, 268 ha), Wałcz (2 pola, 344 ha) i Złotów (7 pól, 286 ha) wykonywane były zabiegi „wielopolowe”, czyli z przelotem między kolejnymi polami zabiegowymi, co uniemożliwia porównanie parametrów takich lotów z zabiegami „jednopolowymi”. W takich przypadkach do analiz przyjęto średnią powierzchnię pól zabiegowych i długość linii, a wydajność oraz efektywność zabiegu wyliczono dla sumarycznej powierzchni i czasu lotu. Pola zabiegowe przedzielone obszarem wyłączonym z oprysku, nad którym nie były wykonywane nawroty, traktowano jak „jednopolowe”. Zestawienie pól zabiegowych w przypadku poszczególnych foliofagów przedstawia tabela 1.

Zabiegi wykonywano przeciwko barczatce sosnowce, piędzikowi przedzimekowi i gatunkom towarzyszącym (głównie zimówek ogołotniak i zwójka zieloneczka) oraz chrabąszczowi kasztanowcowi. Cechy ekologiczne poszczególnych foliofagów warunkują ich występowanie w różnych drzewostanach, co skutkuje różną wielkością powierzchni zagrożonych i różną powierzchnią i kształtem pól zabiegowych. W warunkach RDLP w Pile foliofagi gatunków liściastych wymagają zwalczania w niewielkich wydzieleniach o nieregularnym kształcie, podczas gdy foliofagi sosny występują wielkoobszarowo.

Dla każdego pola zabiegowego rejestrowano powierzchnię wyliczoną przez program NavVieww [ha], liczbę lotów na danym polu zabiegowym [szt.], czas lotu samolotu [h], wydaj-

ność [ha/h], czas lotu z włączoną aparaturą atomizerową (czas wykonywania oprysku) odczytany z wydruku aparatury atomizerowej AU-5000 [h], efektywność lotu obliczoną jako iloraz czasu lotu z włączoną aparaturą atomizerową i czasu lotu [%], odległość od lądowiska do środka pola zabiegowego [km], średnią długość linii przejsów obliczoną z programu NavVieww jako iloraz całkowitej długości linii przejsów na danym polu zabiegowym i liczby linii, co pozwala na ocenę kształtu pola zabiegowego [km] oraz zastosowaną dawkę insektycydu i adiuwantu [l/ha, kg/ha].

Efektywność zabiegu jest ściśle związana z jego wydajnością i można ją wyliczyć ze wzoru:

$$W_h = 10 \cdot (T_r : T_c) \cdot B \cdot V_p \quad [1]$$

gdzie:

$T_r$  – czas roboczy (czas lotu z włączoną aparaturą agrolotniczą),

$T_c$  – czas lotu,

$B$  – szerokość smugi [m],

$V_p$  – prędkość przelotowa [km/h].

W praktyce uzyskiwana wydajność jest mniejsza, ze względu na konieczność wykonywania przez pilota poprawek, które wydłużają czas lotu z włączoną aparaturą agrolotniczą, nie powodując przyrostu powierzchni wykonanego zabiegu.

Na koszt jednostkowy zabiegu agrolotniczego składają się: jednostkowy koszt czarteru samolotu ( $K_{sj}$ ), jednostkowy koszt zakupu insektycydu i adiuwantu ( $K_{pj}$ ) oraz jednostkowy koszt prac naziemnych ( $K_{nj}$ ), co można zapisać wzorem:

$$K_{cj} = (C_s \cdot T_l / P_p) + (\sum d_p C_p) + (K_{nc} / P_p) \quad [2]$$

gdzie:

$C_s$  – cena godziny lotu samolotu M-18 Dromader uzyskana w postępowaniu przetargowym (dla RDLP w Pile w 2013 roku wynosiła 6515 zł/h),

$T_l$  – czas lotów dla danego pola zabiegowego [h],

$P_p$  – powierzchnia pola zabiegowego [ha],

$d_p$  – dawka insektycydu i adiuwantu [l/ha, kg/ha],

$C_p$  – cena zakupu insektycydu i adiuwantu [zł/kg, zł/l],

$K_{nc}$  – całkowity koszt przygotowania i załadunku cieczy roboczej [zł].

Koszty jednostkowe zabiegu agrolotniczego obliczone zostały dla każdego pola zabiegowego (a w przypadku lotów wielopolowych – dla nadleśnictwa). W wyliczeniach pominięto koszt oznakowania pól zabiegowych, gdyż wszystkie loty były wykonywane przy wykorzystaniu systemu AgNav; dozór samolotów na lądowiskach, gdyż wszystkie loty wykonywane były z lądowisk bazowych Leśnych Baz Lotniczych, których koszty funkcjonowania obciążają ochronę przeciwpożarową; koszty oceny skuteczności zabiegów, gdyż zgodnie z obowiązującymi w Lasach Państwowych zasadami rozliczania zabiegów agrolotniczych nie są one zaliczane do kosztów zabiegów agrolotniczych; koszt lotów, gdy na skutek zmiany warunków atmosferycznych przerwany został lot do pola zabiegowego (powrót samolotu na lądowisko, bez rozpoczęcia zabiegu), a także koszt wykonanych testów aparatury agrolotniczej oraz jej płukania. Ponieważ dawki cieczy roboczej przy opryskach na barczatkę sosnowkę i piędzika przedzimka są zbliżone (od 2,2 do 3,0 l/ha), a zabieg przeciwko chrabąszczowi kasztanowcowi w dawce 5 l/ha wykonano w trakcie jednego lotu, pominięto wpływ dawki cieczy roboczej na wydajność i koszt zabiegów agrolotniczych. Koszty stosowanych pestycydów przedstawiono w tabeli 2. W przypadku stosowania preparatu Foray 76 B SC jego koszt wyniósłby 171,50 zł/ha, czyli znacznie więcej niż w przypadku środków zastosowanych w RDLP Piła. Koszty prac naziemnych wyliczone zostały przez nadleśnictwa zapewniające

Tabela 1.

Liczba (N) i powierzchnia (A) pól zabiegowych w zależności zwalczanego owada  
Number (N) and area (A) of sprayed areas regarding the target species

Gatunek Species	N	A [ha]		Liczba pól zabiegowych w klasach powierzchni Number of sprayed areas in area classes									
		min	max	średnia	0-10	10,1-50	50,1-100	100,1-500	500,1-1000	1000,1-2000	2000,1-3000	3000,1-4000	
<i>D. pini</i>	19	45	3293	1239	1	1	1	3	5	5	2	2	
<i>Operophtera</i> sp.	37	10	623	93	16	10	10	1					
<i>M. hippocastani</i>	2	4	30	17	1	1							
Razem Total	58	4	3293		1	18	11	13	6	5	2	2	

Tabela 2.

Dawka (D) oraz koszt (K) stosowanych środków ochrony roślin  
Dose (D) and costs (K) of the applied plant protection products

Gatunek Species	D kg/ha	Mospilan 20 SP		Dimilin 480 SC		Sherpa 100 EC		Ikar 95 EC		Razem Total zł/ha	Dawka cieczy roboczej Active liquide dose l/ha	Uwagi Remarks
		D	K	D	K	D	K	D	K			
<i>D. pini</i> *	0,30	115,30						1,00	9,20	124,50	3,0	1
<i>D. pini</i>			0,10	27,40			0,70	6,44		33,84	2,8	2
<i>M. hippocastani</i>	0,40	156,60					1,00	9,20		165,80	5,0	
<i>Operophtera</i> sp.						0,20	8,43	0,70	6,44	14,87	2,2	2

\* w otulinie Drawieńskiego Parku Narodowego, in the buffer zone of Drawieński National Park

1 – zgoda MIRRW; approved by Ministry of Agriculture and Rural Development

2 – niezalecany przez FSC; not recommended by FSC

obsługę na lądowiskach: w wysokości 2,39 zł/ha dla Nadleśnictwa Krzyż oraz 2,65 zł/ha dla Nadleśnictwa Zdrojowa Góra. Do kosztów prac naziemnych zostały doliczone średnie koszty transportu środków ochrony roślin i utylizacji opakowań w wysokości 0,26 zł/ha, poniesione przez Nadleśnictwo Zdrojowa Góra, które prowadziło magazyn środków ochrony roślin. Kosztami tymi zostały obciążone nadleśnictwa wykonujące zabiegi agrolotnicze, proporcjonalnie do powierzchni zabiegów.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, mającej na celu określenie wpływu parametrów pól zabiegowych (wielkości, kształtu, odległości od lądowiska) na wydajność zabiegu agrolotniczego oraz wpływu parametrów pól zabiegowych i stosowanych środków ochrony roślin na koszt jednostkowy. Obliczenia wykonano w programie Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

## Wyniki

Pola zabiegowe cechowały się dużą zmiennością wielkości (od 4 do 3293 ha), kształtu mierzonego średnią długością linii (od 0,400 do 7,395 km) i odległości dolotu z lądowiska (od 6,3 do 62,1 km). W efekcie średnia wydajność zabiegu agrolotniczego wyniosła 121,61 ha/h i zawierała się w przedziale od 23,37 do 198,98 ha/h. Efektywność lotu wahała się od 3,673 do 28,715% (tab. 3, 4). Wydajność zabiegu agrolotniczego jest silnie dodatnio skorelowana z kształtem oraz wielkością pola zabiegowego, natomiast jest słabo ujemnie skorelowana z odległością między lądowiskiem a polem zabiegowym (ryc. 1-3, tab. 5).

Koszt jednostkowy zabiegu agrolotniczego na poszczególnych polach zabiegowych wyniósł od 61,96 do 423,34 zł/ha (tab. 3, 4). Średni jednostkowy koszt zabiegu agrolotniczego wyniósł 132,76 zł/ha (tab. 6), co jest wartością większą o 58,41 zł od osiągniętej na terenie RDLP w Pile w 2012 roku, ale mniejszą o 16,43 zł od osiągniętej w 2011 roku. Analiza struktury kosztów jednostkowych dla poszczególnych pól zabiegowych wykazała, że ekstremalne wartości udziału poszczególnych grup kosztów wynosiły:

- czarter samolotów: od 23,76 do 94,00% (32,91-278,78 zł/ha),
- zakup środków ochrony roślin: od 5,01 do 74,65% (14,90-165,80 zł/ha),
- prace naziemne: od 0,63 do 4,28% (2,65-291 zł/ha).

Zakres zmienności kosztów jednostkowych na poszczególnych polach zabiegowych przedstawia rycina 4. Najniższy koszt jednostkowy czarteru samolotu uzyskano dla dużych pól zlokalizowanych w pobliżu lądowisk, a najwyższy – dla pól małych, niezależnie od odległości od lądowisk (ryc. 5).

## Dyskusja

W literaturze istnieje szereg szczegółowych wzorów opisujących teoretyczną wydajność cyklu agrolotniczego, uwzględniających do 20 różnych składowych [Borodzik 1983; Rowiński 1994; Rowiński, Adomas 1995]. Eksperymentalną weryfikację metod oceny wydajności rolniczych statków powietrznych w ochronie lasu przeprowadził Pisarski [2006]. Na podstawie analizy 30 lotów doszedł do wniosku, że dla pojedynczych lotów wyliczenia teoretyczne dają odchylenia do 34,3% i w praktyce nie powinny być stosowane. Rowiński [2009] za parametr wpływający na ekonomikę zabiegu uznał tylko długość dolotu do pola zabiegowego (pomijając jego wielkość i kształt) – dla dawki 2 l/ha wydajność godzinowa w zależności od odległości dolotu zawiera się w przedziale 300-380 ha/h. Uzyskana w praktyce wydajność była niższa i mieściła się w przedziale od 23,37 do 198,98 ha/h.

Rozbieżność pomiędzy teoretyczną a rzeczywistą wydajnością zabiegów agrolotniczych można tłumaczyć faktem, że powierzchnia 50% pól zabiegowych nie przekraczała 100 ha, czyli

Tabela 3.

Powierzchnia ( $A$ ), wydajność ( $W_h$ ), długość linii ( $L$ ), odległość ( $D$ ), efektywność ( $E$ ) oraz koszty jednostkowe czarteru samolotu ( $K_{sj}$ ), zakupu środków ( $K_{pj}$ ) i prac naziemnych ( $K_{gf}$ ) oraz koszt całkowity ( $K_{gf}$ ) dla zabiegów jednopolowych w zależności od zwalczanego foliofaga  
 Area ( $A$ ), efficiency ( $W_h$ ), line length ( $L$ ), distance ( $D$ ), effectiveness ( $E$ ) and unit costs of airplane charter ( $K_{sj}$ ), pesticide purchase ( $K_{pj}$ ) and ground works ( $K_{gf}$ ) as well as total unit cost ( $K_{gf}$ ) for single sites regarding the target species

Pole Site	$A$ [ha]	$W_h$ [ha/h]	$L$ [km]	$D$ [km]	$E$ [%]	$K_{sj}$ [zł/ha]	$K_{sj}$ [%]	$K_{pj}$ [zł/ha]	$K_{pj}$ [%]	$K_{gf}$ [zł/ha]	$K_{gf}$ [%]
<i>Dendrolimus pini</i>											
Człopa 1	1971	164,39	4,561	26,7	23,202	39,63	23,76	124,5	74,65	2,65	1,59
Człopa 2	572	134,59	2,563	26,8	20,000	48,41	57,02	33,84	39,86	2,65	3,12
Człopa 3	2358	197,98	5,426	20,0	24,583	32,91	47,42	33,84	48,76	2,65	3,82
Jastrowie 1	880	157,42	2,750	17,0	22,000	41,39	52,97	33,84	43,31	2,91	3,72
Kalisz 1	207	51,75	1,261	64,4	8,000	125,89	77,40	33,84	20,81	2,91	1,79
Kalisz 2	999	106,39	2,532	62,1	15,974	61,24	62,50	33,84	34,54	2,91	2,97
Kalisz 3	3293	129,95	3,580	54,8	19,416	50,13	57,70	33,84	38,95	2,91	3,35
Kalisz 5	472	103,06	2,412	51,1	15,502	63,22	63,24	33,84	33,85	2,91	2,91
Krzyż 1	1199	141,06	4,909	7,7	21,176	46,19	55,86	33,84	40,93	2,65	3,21
Potrzeb 1	518	138,13	2,185	10,7	18,667	47,17	56,38	33,84	40,45	2,65	3,17
Potrzeb 2	790	155,51	2,948	19,9	23,031	41,89	53,45	33,84	43,17	2,65	3,38
Potrzeb 3	1126	139,18	2,334	11,2	20,766	46,81	56,19	33,84	40,62	2,65	3,18
Potrzeb 4	79	67,52	1,083	6,3	10,256	96,49	72,56	33,84	25,45	2,65	1,99
Sarbia 1	3112	188,15	4,483	34,7	28,053	34,63	48,51	33,84	47,41	2,91	4,08
Trzcianka 1	1610	159,56	3,030	40,0	22,110	40,83	52,63	33,84	43,62	2,91	3,75
Trzcianka 2	339	79,76	1,242	36,0	12,000	81,68	68,97	33,84	28,57	2,91	2,46
Tuczno 1	1937	144,34	7,395	32,7	21,535	45,14	26,20	124,5	72,26	2,65	1,54
Wronki 1	2069	153,37	2,980	19,8	28,715	42,48	53,79	33,84	42,85	2,65	3,36
<i>Melolontha hippocastani</i>											
Krzyż 2+4	34	25,56	0,586	14,9	4,511	254,89	60,21	165,8	39,16	2,65	0,63
<i>Operophtera</i> sp.											
Krucz 1	168	74,67	0,848	23,7	11,556	87,25	83,28	14,87	14,19	2,65	2,53
Krucz 2	116	53,46	0,691	25,9	7,834	121,87	87,43	14,87	10,67	2,65	1,90

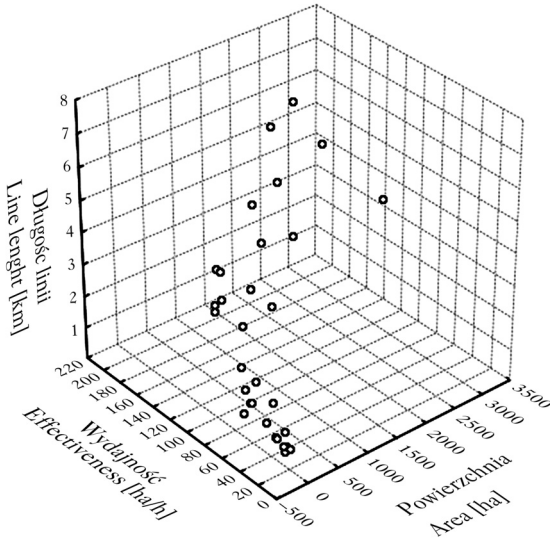
Tabela 3. ciąg dalszy

Pole Site	A [ha]	$W_h$ [ha/h]	L [km]	D [km]	E [%]	$K_{sj}$ [zł/ha]	[%]	$K_{pj}$ [zł/ha]	[%]	$K_{nj}$ [zł/ha]	[%]	$K_g$ [zł]
Krzyż 3	623	146,59	2,131	11,2	22,588	44,44	71,73	14,87	24,00	2,65	4,28	61,96
Lipka 3+4	59	37,34	0,593	26,5	5,696	174,48	90,75	14,87	7,73	2,91	1,51	192,26
Okonek 1	53	30,29	0,484	47,6	4,571	215,09	92,36	14,87	6,39	2,91	1,25	232,87
Podamin 1	223	89,20	1,614	37,4	13,200	73,04	80,42	14,87	16,37	2,91	3,20	90,82
Podamin 3	57	23,37	0,521	37,4	3,673	278,78	94,00	14,87	5,01	2,91	0,98	296,56
Walcz 3	18	26,87	0,400	21,3	4,478	242,46	93,17	14,87	5,71	2,91	1,12	260,24

Tabela 4.

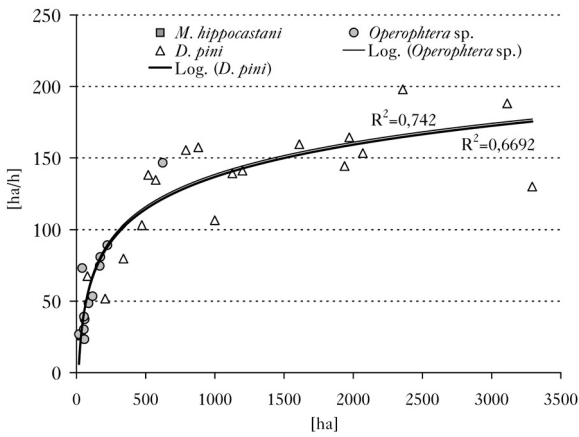
Liczba pól (N), powierzchnia (A), wydajność ( $W_h$ ), długość linii (L), odległość (D), efektywność (E) oraz koszty jednostkowe czarteru samolotu ( $K_{sj}$ ), zakupu środków ( $K_{pj}$ ) i prac naziemnych ( $K_{nj}$ ) oraz koszt całkowity ( $K_g$ ) dla zabiegów wielopolowych  
 Number of sites (N), area (A), efficiency ( $W_h$ ), line length (L), distance (D), effectiveness (E) and unit costs of airplane charter ( $K_{sj}$ ), pesticide purchase ( $K_{pj}$ ) and ground works ( $K_{nj}$ ) as well as total unit cost ( $K_g$ ) for multitesites

Pole Site	N	A [ha] średnia/łączna mean/total	$W_h$ [ha/h]	L [km]	D [km]	E [%]	$K_{sj}$ [zł/ha]	[%]	$K_{pj}$ [zł/ha]	[%]	$K_{nj}$ [zł/ha]	[%]	$K_g$ [zł]
Złotów	7	41/286	73,15	0,672	28,4	10,997	89,06	83,36	14,87	13,92	2,91	2,72	106,84
Lipka	5	54/268	39,18	0,596	38,5	5,848	166,28	90,34	14,87	8,08	2,91	1,58	184,06
Durowo	14	87/1242	48,52	0,900	49,8	7,500	212,98	92,29	14,87	6,44	2,91	1,26	230,76
Walcz	2	172/344	80,94	1,143	22,5	12,471	80,49	81,91	14,87	15,13	2,91	2,96	98,27



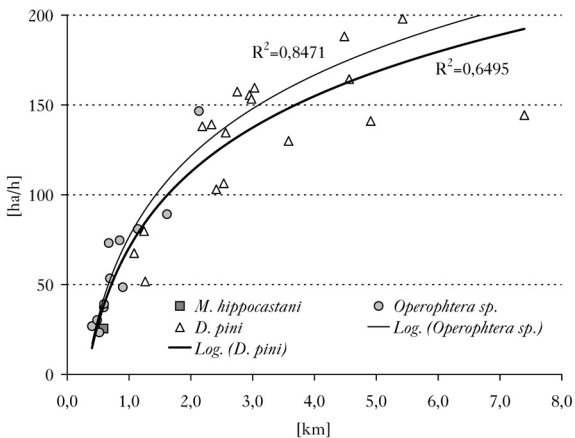
Ryc. 1.

Zależność między parametrami zabiegów agrolotniczych  
Relationships among parameters of airborne spraying



Ryc. 2.

Zależność między wydajnością zabiegu agrolotniczego a wielkością pola zabiegowego z uwzględnieniem gatunku zwalczanego foliofaga  
Relationship between efficiency of airborne spraying and size of the sprayed area regarding the target species



Ryc. 3.

Zależność między wydajnością zabiegu agrolotniczego a długością linii z uwzględnieniem gatunku zwalczanego foliofaga  
Relationship between efficiency of airborne spraying and line length regarding the target species



Tabela 5.

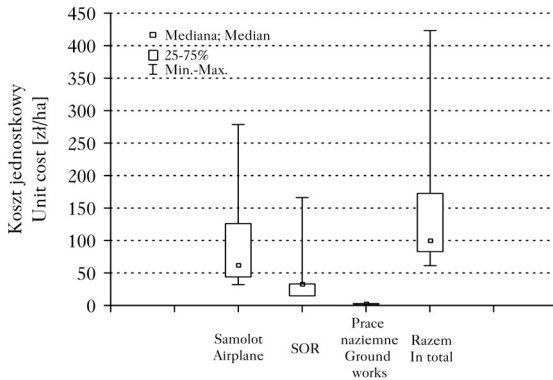
Wartości współczynnika korelacji między parametrami zabiegów agrolotniczych  
Coefficients of correlation between parameters of airborne spraying

	Wydajność Efficiency	Powierzchnia Sprayed area	Długość linii Line length
Powierzchnia pola Sprayed area	0,782		
Długość linii Line length	0,823	0,809	
Odległość Distance	-0,258	0,065	-0,086

Tabela 6.

Koszty jednostkowe zabiegów agrolotniczych  
Unit costs of airborne spraying

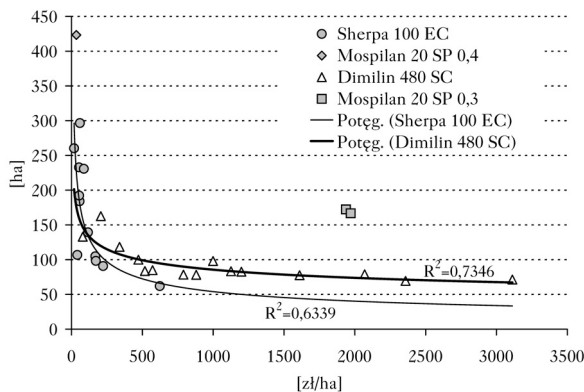
	$K_{sj}$		$K_{pj}$		$K_{nj}$		$K_{cj}$
	zł/ha	%	zł/ha	%	zł/ha	%	
Średnia Mean	97,65	67,35	36,60	30,09	2,79	2,56	132,76
Minimum	32,91	23,76	14,90	5,01	2,65	0,63	61,96
Maksimum	254,89	94,00	165,80	74,65	2,91	4,28	423,34
Odchylenie standardowe Standard deviation	73,84	19,11	35,56	18,71	0,13	1,01	81,59



Ryc. 4.

Zmienność kosztów jednostkowych zabiegów agrolotniczych  
Variability of airborne spraying unit costs

była znacznie mniejsza od możliwości operacyjnych samolotu M-18 Dromader (który w jednym locie może wykonać zabieg na powierzchni 300-350 ha), oraz tym, że ze względu na małą długość linii przejść i dużą liczbę nawrotów efektywność lotu spadała do poziomu poniżej 4%. Ponieważ granice pól zabiegowych określa się na podstawie zagrożenia ze strony foliofagów, ich wielkość i kształt należy uznać za parametr, na który zarządzający wykonywanie zabiegów agrolotniczych mają niewielki wpływ. Na średnią długość linii ma wpływ usytuowanie pola zabiegowego względem stron świata – technologia zabiegów agrolotniczych wymaga, by wykonywane były one w godzinach porannych i wieczornych, a więc przy niskim położeniu słońca nad horyzontem. Ze względów bezpieczeństwa piloci unikają lotów „pod słońce”, preferując kierunek przejść zbliżony do osi północ – południe. W przypadku pól o kształcie prostokąta ma to wpływ na parametry zabiegu, np. dla pola Wronki 1 liczba i średnia długość linii kształtowała się następująco:



Ryc. 5.

Koszt jednostkowy zabiegu agrolotniczego w zależności od powierzchni i stosowanego środka ochrony roślin

Airborne spraying unit costs in relation with sprayed area and applied pesticide

- północ – południe (preferowany przez pilota): 174 linie o średniej długości 2,98 km,
- wschód – zachód („pod słońce”): 101 linii o średniej długości 5,13 km.

Parametrem, na który zarządzający wykonywanie zabiegów agrolotniczych mają wpływ, jest odległość pola zabiegowego od lądowiska, ale jest ona słabo skorelowana z wydajnością.

Analizę ekonomiczną zabiegów agrolotniczych wykonywanych w lasach polskich w latach 1992-1995 przeprowadził Zajac [1996], a w latach 2001-2004 Jabłoński [2006] oraz Kolk i in. [2006]. Zajac wyliczył średnie dla całej Polski składowe koszty jednostkowych zabiegów agrolotniczych, uwzględniając zastosowane środki ochrony roślin. Jabłoński przeanalizował koszty jednostkowe oraz składowe tych kosztów dla wybranych nadleśnictw, w których były prowadzone zabiegi agrolotnicze. Przedstawił również zależność pomiędzy kosztami zabiegu agrolotniczego a powierzchnią zwalczania foliofagów w nadleśnictwie. Zróżnicowanie kosztów jednostkowych przypisane zostało „specyficznej strukturze kosztów lotniczych zabiegów agrolotniczych”. Analizy te wykonywano bez rozróżniania na rodzaje statków powietrznych (samoloty, śmigłowce) oraz stosowane środki ochrony roślin. Analizę składowych kosztów samolotowych zabiegów agrolotniczych w poszczególnych nadleśnictwach Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Pile za lata 2000-2001 przeprowadził Majewski [2001]. Wyniki tych analiz ukazują znaczne zróżnicowanie wartości kosztów jednostkowych zabiegów agrolotniczych oraz udziału poszczególnych składowych tych kosztów. W strukturze kosztów charter samolotów osiągał wartości od 21 do 75%, a zakup środków ochrony roślin przyjmował wartości od 30 do 70% kosztów. Zróżnicowanie to zostało potwierdzone w roku 2013. Obserwowane w kolejnych latach zmiany kosztów zabiegów agrolotniczych uniemożliwiają oszacowanie kosztów zabiegów planowanych do wykonywania w latach następnych. Na podstawie takich danych nie jest możliwe również wnioskowanie o strukturze kosztów oraz wpływie poszczególnych parametrów zabiegów na wydajność i koszty. Potwierdzono wyłącznie nieznaczny, kilkuprocentowy udział kosztów prac naziemnych, obejmujących głównie przygotowanie i załadunek cieczy roboczej. Ze względu na obowiązek stosowania w trakcie zabiegów agrolotniczych systemów GPS Agro, jednostki Lasów Państwowych nie ponoszą już kosztów oznakowania pól zabiegowych, które osiągały wartość od 1,00 do 3,50 zł/ha [Majewski 2001; Jabłoński 2006; Kolk i in. 2006]. Ponieważ wszystkie loty wykonywane były z lądowisk Leśnych Baz Lotniczych, których funkcjonowanie finansowane jest z kosztów ochrony przeciwpożarowej, nie zostały poniesione dodatkowe koszty na przygotowanie oraz obsługę innych miejsc startu i lądowania samolotów.

## Wnioski

- ✦ Zróżnicowanie pól zabiegowych powoduje, że parametry operacyjne i ekonomiczne zabiegów agrolotniczych powinny być wyliczane dla poszczególnych pól. Uśrednianie wyników dla nadleśnictwa lub Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych zniekształca ich rzeczywiste wartości.
- ✦ Wydajność zabiegów agrolotniczych jest silnie dodatnio skorelowana z kształtem pól zabiegowych (parametryzowanym średnią długością linii) i wielkością pól oraz słabo ujemnie skorelowana z odległością pomiędzy lądowiskiem a polem zabiegowym. Zmniejszenie wielkości pól zabiegowych oraz komplikacja ich kształtu powodować będą spadek wydajności oraz wzrost kosztów zabiegów agrolotniczych.
- ✦ Odległość do lotu do pola zabiegowego nie ma istotnego wpływu na koszty zabiegów agrolotniczych, dlatego w miarę możliwości należy wykorzystywać istniejącą sieć lądowisk bazowych Leśnych Baz Lotniczych, których koszty organizacji pokrywane są z kosztów ochrony przeciwpożarowej.
- ✦ Na poziom kosztów zabiegów agrolotniczych wpływa rodzaj stosowanego środka ochrony roślin. Cena zakupu środków ochrony roślin powinna być brana pod uwagę przy planowaniu zabiegów ograniczania populacji foliofagów.
- ✦ Uzyskane wyniki odnoszą się wyłącznie do zabiegów przeprowadzonych z zastosowaniem samolotów M-18 B Dromader. Ze względu na zbliżone parametry techniczne i operacyjne należy się spodziewać analogicznych wyników dla samolotów An-2R. W przypadku zastosowania śmigłowców wykonujących zabiegi na rzecz Lasów Państwowych otrzymane wyniki będą odmienne, dlatego wskazane jest przeprowadzenie podobnych analiz dla innych rodzajów statków powietrznych.

## Literatura

- Borodzik F. 1983. Wstęp do technologii prac agrolotniczych. PWRiL, Warszawa.
- Jabłoński T. 2006. Ekonomiczna intensywność zabiegów ograniczania liczebności brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.) w drzewostanach sosnowych. Rozprawa doktorska (maszynopis).
- Kolk A., Bystrowski C., Dobrowolski M., Jabłoński T., Sukovata L., Ślusarski S. 2006. Racjonalizacja zabiegów ochronnych przeciwko gradacom szkodników liściożernym sosny w aspekcie skutków gospodarczych i przyrodniczych. Dokumentacja IBL.
- Majewski S. 2001. Analiza ekonomiczna zabiegów agrolotniczych w RDLP w Pile w latach 2000-2001. XXVIII Sympozjum Komisji Ochrony Zasobów Leśnych PTL i Sekcji Entomologii Leśnej PTE „Ekologiczne i ekonomiczne aspekty ochrony lasu przed szkodliwymi owadami i chorobami grzybowymi”.
- Pisarski W. 2006. Weryfikacja eksperymentalna metod oceny wydajności rolniczych statków powietrznych. Inżynieria Rolnicza 6: 155-167.
- Rowiński R. S. 1994. Agrolotnictwo. Tom II: Ekonomia i organizacja pracy. Wydawnictwo ART, Olsztyn.
- Rowiński R. S. 2009. Teoretyczne podstawy zabiegów agrolotniczych. Zabiegi agrolotnicze w ochronie lasu. CILP, Warszawa.
- Rowiński R. S., Adomas J. 1995. Zagadnienie wydajności i kosztów zabiegu lotniczego w ochronie lasów. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 11: 9-12.
- Zajac S. 1996. Wartościowanie zasobów leśnych w Polsce oraz ocena ekonomicznej efektywności zwalczania brudnicy mniszki w lasach. Prace IBL B 29: 63.