

STANISŁAW ORZEŁ

## **Straty produkcyjne w drzewostanach sosnowych wzrastających w zasięgu emisji przemysłowych Tarnobrzeskiego Kombinatoru Siarkowego\***

Losses in Production of Pine Stands Growing in the Reach  
of Industrial Emissions from the Tarnobrzeg Sulphur Plant

### **Wstęp i cel pracy**

**R**eakcje ekosystemów leśnych na zanieczyszczenia przemysłowe nie zostały do końca poznane i opisane. O ile badania z zakresu szeroko pojmowanej ekologii i ochrony lasu udzieliły odpowiedzi na pytania dotyczące wrażliwości poszczególnych gatunków lasotwórczych na skażenia przemysłowe [1, 2, 6], jak również nasilenie występowania szkodników i chorób drzew, to nadal brak metody określania strat produkcyjnych. Problem ten, trudny i wymagający długotrwałych, systematycznych pomiarów ma duże znaczenie zarówno poznawcze jak i praktyczne. Powierzchnia lasów uszkodzonych przez zanieczyszczenia przemysłowe nadal bowiem powiększa się [8]. W lasach tych występują dwa zjawiska wpływające na ich mniejszą od oczekiwanej produktywność:

- nadmierne wydzielanie się posuszu [9, 11, 13],
- zahamowanie przyrostu [5, 7, 9, 11, 12].

Celem pracy było podanie sposobu określania strat produkcyjnych w lasach rejonów przemysłowych, spowodowanych wymienionymi przyczynami. Wyprowadzone zależności poddano empirycznej weryfikacji w drzewostanach sosnowych Nadleśnictwa Buda Stalowska.

---

\* Praca wykonana w ramach tematu nr 6 6137 9203, pt.: "Dynamika wzrostu drzewostanów sosnowych w wybranych regionach przemysłowych Polski południowej" finansowanego ze środków KBN.

## Teoretyczne podstawy obliczania strat produkcyjnych

Rzeczywistym wskaźnikiem produktywności lasu jest przeliczona na jednostkę powierzchni i na 1 rok sumaryczna produkcja, która jest równa przyrostowi miąższości wytworzonego w ciągu całego cyklu produkcji [3]. W drzewostanach zagospodarowanych sposobem zrębowym cykl produkcji trwa od momentu zalesienia (odnowienia) do wyrybu.

W lasach wznoszących w rejonach przemysłowych obserwuje się spadek dynamiki wzrostu zasobności [9, 10, 11]. Wynikłe stąd straty produkcyjne ( $S_V$ ), zwane potencjalnymi lub całkowitymi [10] stanowią sumę strat pozornych ( $S_U$ ), spowodowanych wzmożonym wydzielaniem się posuszu oraz strat czystych ( $S_{CZ}$ ), związanych z zahamowaniem przyrostu drzewostanów:

$$S_V = S_U + S_{CZ} \quad (1)$$

Dla celów praktycznych straty powyższe określać się będzie nie za cały cykl produkcyjny lecz za kilku lub kilkunastoletni okres czasu ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ).

### Straty potencjalne ( $S_V$ )

Całkowitą wielkość strat w okresie  $\Delta t$  obliczyć można z różnicy pomiędzy rzeczywistym ( $\Delta V$ ) i oczekiwanym ( $\Delta V_o$ ) wzrostem zasobności drzewostanu:

$$S_V = \Delta V - \Delta V_o \quad (2)$$

Rzeczywisty wzrost zasobności drzewostanu ( $\Delta V$ ) w okresie  $\Delta t$  to różnica pomiędzy jego miąższością wyrażoną w  $m^3/1$  ha w czasie  $t_2$  i  $t_1$ :

$$\Delta V = V_{t2} - V_{t1} \quad (3)$$

Oczekiwana zmiana zasobności ( $\Delta V_o$ ) zależy od miąższości drzewostanu w czasie  $t_1$  oraz wzorcowej dynamiki jej wzrostu w okresie  $\Delta t$ :

$$\Delta V_o = V_{t1} \cdot W_{V_o} \quad (4)$$

gdzie:

$W_{V_o}$  — wskaźnik dynamiki wzrostu zasobności drzewostanu wzorcowego ( $DW$ ):

$$W_{V_o} = \frac{\Delta V(DW)}{V_{t1}(DW)} \quad (4.1)$$

$\Delta V(DW)$  — rzeczywisty wzrost zasobności drzewostanu wzorcowego w okresie  $\Delta t$

$V_{t1}(DW)$  — zasobność drzewostanu wzorcowego w czasie  $t_1$

Wzór (2), po wstawieniu w miejsce  $\Delta V$  zależności (3) zaś w miejsce  $\Delta V_o$  zależności (4), przyjmie postać:

$$S_V = V_{t2} - V_{t1} - V_{t1} \cdot W_{V_o} \quad (5)$$

lub po uporządkowaniu:

$$S_V = V_{t2} - V_{t1} (1 + W_{V_o}) \quad (6)$$

### Straty pozorne ( $S_u$ )

Miażdżość posuszu drzewostanów wzrastających w zasięgu skażeń przemysłowych jest sumą miażdżości drzew, które wydzieliłyby się w procesie naturalnej konkurencji oraz obumarłych na skutek zaistniałych niekorzystnych warunków wzrostu. Oddzielne obliczenie tych dwu wielkości jest praktycznie niemożliwe. Dlatego też o wzmożonym wydzieleniu się w nich posuszu można mówić jedynie porównując przebieg tego procesu w drzewostanach wzrastających w zasięgu oddziaływania zanieczyszczeń przemysłowych z przyjętym wzorcem (normą):

$$S_U = U_o - U \quad (7)$$

gdzie:

$U$  — rzeczywista miażdżość posuszu wydzielonego w okresie  $\Delta t$

$U_o$  — oczekiwana miażdżość posuszu wydzielonego w okresie  $\Delta t$

$$U_o = V_{t1} \cdot W_{Uo} \quad (7.1)$$

$W_{Uo}$  — wskaźnik dynamiki miażdżości posuszu wydzielonego w okresie  $\Delta t$ , określony na podstawie drzewostanu wzorcowego ( $DW$ ):

$$W_{Uo} = \frac{U(DW)}{V_{t1}(DW)} \quad (7.2)$$

$U(DW)$  — miażdżość posuszu wydzielonego w okresie  $\Delta t$  z drzewostanu wzorcowego

$V_{t1}(DW)$  — zasobność drzewostanu wzorcowego w czasie  $t_1$

Ze względów metodycznych miażdżość posuszu wydzielonego w okresie  $\Delta t$  zarówno z drzewostanu uszkodzonego ( $U$ ) jak i wzorcowego ( $U(DW)$ ) określić należy na podstawie wymiarów drzew w czasie  $t_1$ .

Po wstawieniu do wzoru (7) w miejsce  $U_o$  zależności (7.1), straty wynikające ze wzmożonego wydzielenia się posuszu obliczyć można z następującej formuły:

$$S_u = V_{t1} \cdot W_{Uo} - U \quad (8)$$

### Straty czyste ( $S_{cz}$ )

Spadek przyrostu miażdżości drzewostanów wzrastających w rejonach przemysłowych wynika zarówno ze zubożenia zasobów leśnych na skutek wzmożonego wydzielenia się posuszu, jak i zahamowania przyrostu drzew pozostających w drzewostanie. Wielkość tak powstałych strat najłatwiej określić z przekształcenia wzoru (1):

$$S_{cz} = S_V - S_U \quad (9)$$

Po wstawieniu w miejsce  $S_V$  zależności wyrażonej wzorem (6) oraz w miejsce  $S_U$  zależności (8), wielkość strat czystych obliczyć można ze wzoru:

$$S_{cz} = V_{t2} - V_{t1} (1 + W_{Vo}) - (V_{t1} \cdot W_{Uo} - U) \quad (10)$$

lub ostatecznie:

$$S_{cz} = V_{t2} + U - V_{t1} (1 + W_{Vo} + W_{Uo}) \quad (11)$$

## Materiał i metodyka badań

Materiał badawczy stanowią pomiary drzew rosnących na 7 zestawach stałych powierzchni, założonych jesienią 1976 roku. Każdy składał się z 3 powierzchni zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie w litych drzewostanach sosnowych, wzrastających w podobnych warunkach siedliskowych, lecz różniących się wiekiem — reprezentujących II, III oraz IV/V klasę wieku. Pięć zestawów wybrano w lasach Nadleśnictwa Buda Stalowska (DU), położonych w zasięgu emisji przemysłowych Tarnobrzeskiego Kombinatoru Siarkowego (TKS). Pozostałe dwa, założone w nadleśnictwie Rozwadów oraz Janów Lubelski stanowią zestawy powierzchni kontrolnych (DK). Charakterystykę drzewostanów podano w pracach [3, 11].

Pomiary dendrometryczne wykonywano w okresie spoczynku wegetacyjnego w 4-letnim odstępie wieku. Pierwszy przeprowadzono jesienią 1976 roku, zaś ostatni jesienią 1992 roku. Początkowo na powierzchniach wykonywano tylko cięcia sanitarne. W okresie 1985–1992 na większości zostały przeprowadzone zabiegi hodowlane. Usunięte wtedy drzewa pominięto przy określaniu miąższości drzewostanów, którą obliczono jako sumę miąższości strzał określonych wzorem empirycznym [4]. Wielkość strat produkcyjnych drzewostanów z rejonu TKS określono zgodnie z opisaną w pracy metodą, przyjmując wskaźniki dynamiki wzrostu zasobności i miąższości posuszu określone na podstawie danych z drzewostanów kontrolnych jako wzorcowe dla poszczególnych kategorii wiekowych.

## Wyniki badań

Rzeczywisty wzrost zasobności ( $\Delta V$ ) osiągnął w drzewostanach poszczególnych grup wiekowych wartości zawarte w dość szerokich przedziałach. Zgodnie z oczekiwaniem największe zmiany stwierdzono w II, mniejsze w III, a najmniejsze w IV/V kl. wieku (tab. 1). Zasobność drzewostanów z rejonu TKS w 16-letnim okresie, obejmującym lata 1977–1992, wzrosła średnio o  $120,6 \text{ m}^3/1 \text{ ha}$  (88,8%) w II kl. wieku,  $66,9 \text{ m}^3/1 \text{ ha}$  (27,0%) w III kl. wieku oraz  $39,0 \text{ m}^3/1 \text{ ha}$  (12,6%) w IV/V kl. wieku. W jednym drzewostanie najstarszej

TABELA I  
Zasobność drzewostanów w końcu 1976 roku, jej wzrost ( $\Delta V$ ) oraz miąższość wydzielonego posuszu (U) w okresie 1977–1991

Drzewostan		$V_{1976}$ [ $\text{m}^3/1 \text{ ha}$ ]	$\Delta V$ [ $\text{m}^3/1 \text{ ha}$ ]	U [ $\text{m}^2/1 \text{ ha}$ ]
II kl. wieku	DU	135,8(92,9–162,1)	120,6(91,4–153,7)	43,2(34,4–60,4)
	DK	131,3(123,9–138,7)	133,8(131,3–136,4)	26,7(26,3–27,1)
III kl. wieku	DU	247,8(185,9–281,9)	66,9(42,8–97,4)	53,4(41,7–76,1)
	DK	212,8(178,3–247,3)	104,6(99,0–110,2)	16,3(9,6–23,1)
IV/V kl. wieku	DU	310,5(227,6–358,0)	39,0(–9,6–64,2)	40,2(21,4–70,0)
	DK	285,3(283,0–287,6)	76,7(68,7–84,7)	8,9(7,6–10,9)

TABELA 2

Zestawienie wzorcowych wskaźników dynamiki ( $W_{Vo}$ ,  $W_{Uo}$ ) oraz oczekiwanych wartości wzrostu zasobności ( $\Delta V_o$ ) i miąższości posuszu ( $U_o$ )

Cecha	Wiek drzewostanu		
	II kl. wieku	III kl. wieku	IV/V kl. wieku
$W_{Vo}$	1,019	0,492	0,269
$W_{Uo}$	0,203	0,077	0,031
$\Delta V_o$ [ $m^3/1$ ha]	138,4	121,9	83,5
$U_o$ [ $m^3/1$ ha]	27,6	19,1	9,6

klasy wieku stwierdzono jej pomniejszenie o około  $9,6 m^3/1$  ha (2,7%) w stosunku do wartości początkowej. Było to spowodowane bardzo intensywnym wydzielaniem się posuszu. Miąższość obumarłych w nim drzew, obliczona na podstawie ich wymiarów z końca 1976 roku, wynosiła bowiem  $70,0 m^3/1$  ha, co stanowiło 19,5% zasobności tego drzewostanu. Wydzielony posusz w pozostałych drzewostanach tej kategorii wiekowej stanowił znacznie mniej, bo od 9,4% do 12,3% ich zasobności początkowej. W III kl. wieku miąższość posuszu wynosiła średnio 21,5(17,0–28,0)% zaś w II kl. wieku 31,8(26,9–37,3)% zasobności z końca 1976 roku.

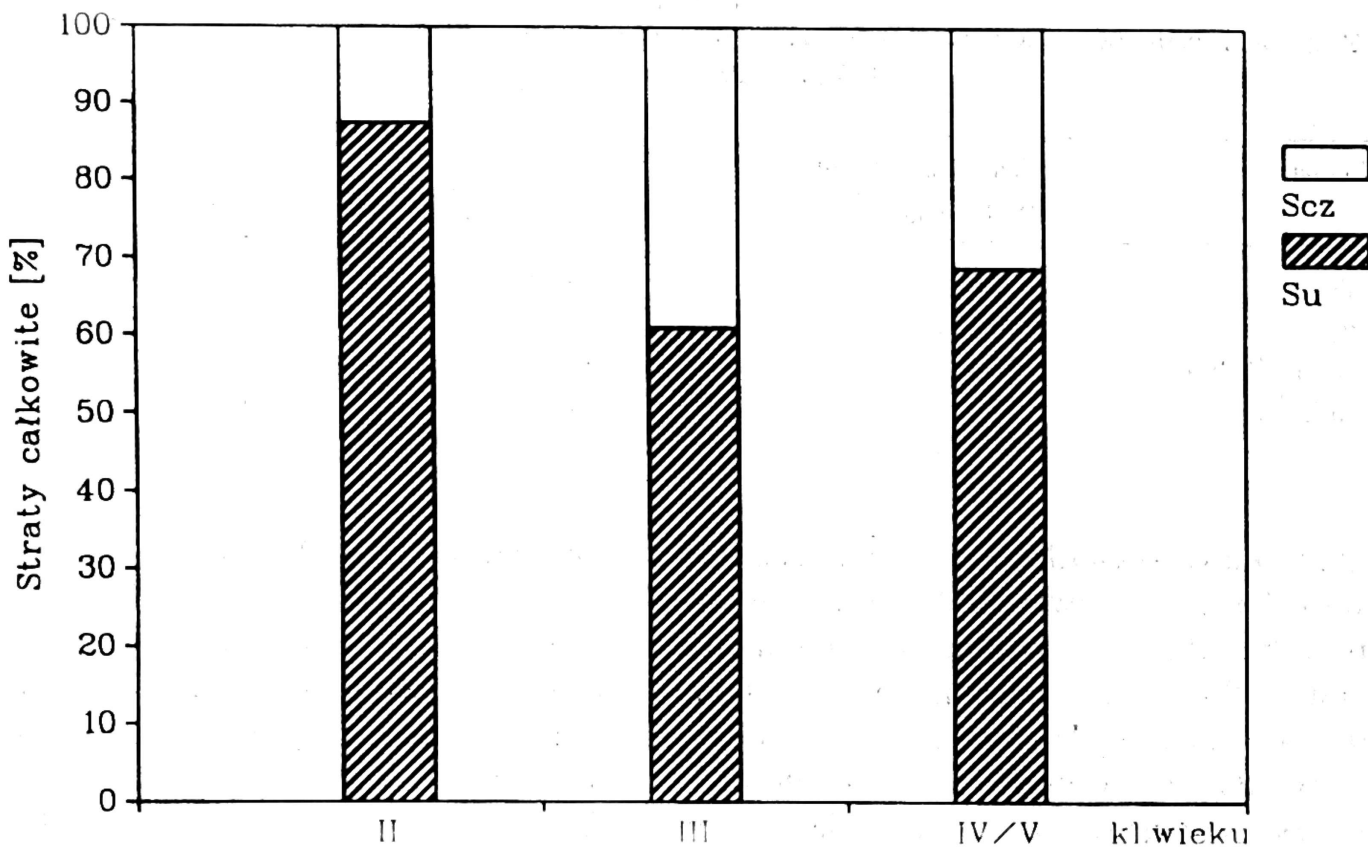
Z danych zestawionych w tabeli 1 widać, że zasobność drzewostanów kontrolnych (*DK*) powiększyła się średnio od 1,11 do 1,97 raza więcej niż wybranych w Nadleśnictwie Buda Stalowska (*DU*). Miąższość wydzielonego z nich posuszu była natomiast średnio od 1,62 do 4,52 razy mniejsza niż wzrastających w zasięgu emisji przemysłowych TKS. Obliczone dla drzewostanów kontrolnych wskaźniki dynamiki wzrostu zasobności, przyjęte jako wzorzec dla poszczególnych kategorii wiekowych były na ogół większe niż w uszkodzonych. Wskaźniki dynamiki miąższości wydzielonego posuszu osiągnęły natomiast każdorazowo wartości mniejsze niż w drzewostanach z okolic TKS. Nic więc dziwnego, że oczekiwany wzrost zasobności obliczony wzorem 4 (tab. 2) był na ogół znacznie większy w porównaniu z rzeczywistym (tab. 1), zaś przewidywana miąższość posuszu osiągnęła wyraźnie mniejsze wielkości od faktycznie stwierdzonej w drzewostanach z rejonu TKS.

Z danych liczbowych zawartych w tab. 1 i 2 można bezpośrednio obliczyć straty potencjalne (wzór 2) oraz pozorne (wzór 7) a z ich różnicy straty czyste (wzór 9). Uzyskane rezultaty podano w tabeli 3. Okazało się, że największy spadek produktywności stwierdzono w

TABELA 3

Wielkość strat produkcyjnych w wyróżnionych klasach wieku

Klasa wieku	Straty w $m^3/1$ ha/1 rok		
	$S_v$		
II	-1,11	-0,97	-0,14
III	-3,50	-2,14	-1,36
IV/V	-2,78	-1,91	-0,87



RYC. Udział strat czystych ( $S_{cz}$ ) i pozornych ( $S_u$ ) w stratach całkowitych

drzewostanach III kl. wieku ( $-3,50 \text{ m}^3/1 \text{ ha}/1 \text{ rok}$ ), mniejszy w IV/V kl. wieku ( $-2,78 \text{ m}^3/1 \text{ ha}/1 \text{ rok}$ ), a tylko nieznaczny w II kl. wieku ( $-1,11 \text{ m}^3/1 \text{ ha}/1 \text{ rok}$ ). Niezależnie od wieku drzewostanu o wielkości strat potencjalnych decydowało nadmierne wydzielanie się posuszu. Udział strat pozornych stanowił bowiem od 61,1% (III kl. wieku) aż do 87,4% (II kl. wieku) strat całkowitych. Spadek produktywności spowodowany zahamowaniem przyrostu drzewostanów stanowił znacznie mniej, bo od 12,6% do 38,9% oszacowanych strat potencjalnych (ryc.).

Stwierdzone straty w drzewostanach sosnowych, wzrastających w rejonie TKS wpływają na znaczne pomniejszenie ich przyrostu. Straty potencjalne stanowiły bowiem w II kl. wieku 10,8%, w III kl. wieku 47,0% zaś w IV/V kl. wieku aż 56,2% całkowitego przyrostu miąższości tych drzewostanów.

## Wnioski

- Zaproponowany sposób określania strat produkcyjnych wymaga długotrwałych badań prowadzonych na stałych powierzchniach badawczych.
- Dokładność określonych strat zależy od porównywalności drzewostanów wzrastających w zasięgu skażeń przemysłowych z kontrolnymi, których dynamika wzrostu stanowi wzorzec dla odpowiedniej klasy wieku.
- Głównym źródłem całkowitych strat produkcyjnych było nadmierne wydzielanie się posuszu.



- Stwierdzone straty potencjalne stanowiące od 10,8% do 56,2% całkowitego przyrostu drzewostanów sosnowych wzrastających w rejonie TKS wskazują na skalę ich degradacji.

*Z Zakładu Dendrometrii Akademii Rolniczej w Krakowie*

## Literatura

1. **Białobok S.:** Zjawisko kwaśnych deszczów. *Kosmos*, nr 23, 43–63, 1986.
2. **Białobok S., Karolewski P.:** Ocena stopnia odporności drzew matecznych sosny zwyczajnej i ich potomstwa na działanie  $SO_2$  i  $O_3$  oraz mieszaniny tych gazów. *Arbor. Kórn.*, nr 23, 229–310, 1978.
3. **Bruchwald A.:** Produkcyjność a produktywność lasu. *Sylvan*, nr 7, 37–43, 1980.
4. **Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T.:** Tablice miąższości strzał w korze dla drzewostanów sosnowych. *Zesz. Nauk. SGGW-AR w Warszawie, Leśnictwo*, z 26, 69–75, 1978.
5. **Grabczyński S.:** Charakterystyka strat przyrostu grubości drzewostanów sosnowych w rejonie Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego. *Acta Agr. et Silv., s. Silv.*, Vol. XXV, 55–70, 1986.
6. **Greszta J.:** Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia powietrza na lasy. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, 1987.
7. **Lemke J.:** Wpływ dymów fabrycznych na przyrost podmiejskich lasów Poznania. *Sylvan* nr 6, 9–23, 1961.
8. *Leśnictwo w 1992 r.* Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1993.
9. **Orzeł S. i inni:** Dynamika wzrostu drzewostanów sosnowych w rejonie Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego na przykładzie nadleśnictwa Buda Stalowska. *Acta Agr. et Silv., s. Silv.*, Vol. XXVII, 31–41, 1988.
10. **Orzeł S., Rieger R.:** Próba oszacowania spadku produkcyjności drzewostanów sosnowych w rejonie Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego na przykładzie nadleśnictwa Buda Stalowska. *Sylvan* nr 9, 55–63, 1988.
11. **Rieger R. i inni:** Badanie wpływu eksploatacji złóż siarki na lasy na przykładzie Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego. Dokumentacja, Zakład Dendrometrii AR w Krakowie, 1985.
12. **Rymer-Dudzińska T.:** Change of the b.h. diameter growth rate in pine stands growing under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw. Agricult. Univ.–SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 40, 27–34, 1990.
13. **Schnaider Z., Ordon S.:** Wydzielanie się posuszu w drzewostanach sosnowych objętych wpływem emisji przemysłowych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Sylvan* nr 3, 23–37, 1978.

## Summary

A method for identifying the production losses in stands growing within the reach of industrial emissions has been presented in the report. The total production decrease ( $S_v$ ) is the sum of virtual losses ( $S_u$ ) resulting from an excessive decline of drying trees, and actual losses ( $S_{cz}$ ) caused by increment hampering. The assumed theoretical relationships underwent to empirical verification in tree stands of II, III, and IV/V age classes growing within the reach of industrial emissions from the Tarnobrzeg Sulphur Plant, where investigations were carried out in the period from the autumn 1976 to the autumn 1992.

It was found out that the size of estimated losses depended on the stand age. The greatest size amounting to  $3.50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$  on average was found in the IIIrd age class, while the least one,  $1.11 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ , in the IInd age class. The percentages of virtual and actual losses were different by individual age classes. The losses caused by the excessive decline of drying trees were from 61.1% (III age class) up to 87.4% (II age class) of total losses.