

ERYK LATOCHA

Próby ustalenia progu toksyczności dwutlenku siarki dla drzewostanów iglastych

Попытка определения порога токсичности двуокиси серы для хвойных насаждений

Trials of determination of the threshold of toxicity of sulphur dioxide for coniferous stands

Ustalenie jednoznacznej granicy stężenia dwutlenku siarki w powietrzu, od której zaczyna się toksyczne oddziaływanie na drzewa iglaste, jest zagadnieniem złożonym. Wielu badaczy próbowało ustalić poziom progu toksyczności. Pierwsze prace na ten temat pochodzą z XIX i początku XX wieku. Greszta (2) podaje, że Stöckhardt (1871) stwierdził przy dłuższym oddziaływaniu oznaki uszkodzenia (usychania igieł) SO_2 o stężeniu 1:1 000 000 (stosunek objętościowy dwutlenku siarki do powietrza) u gatunków iglastych, a zwłaszcza u świerka.

W końcu lat czterdziestych Katz (cyt. za Materną — 11) uważał koncentrację $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ za graniczną, powyżej której dwutlenek siarki zaczyna oddziaływać toksycznie na drzewa leśne. Również Pelz (14) przytacza za Katzem (1939), Kellerem i Müllerem (1958), oraz Van Hautem (1961), że graniczna tolerancja przy długotrwałym chronicznym oddziaływaniu dwutlenku siarki na drzewostany, po przekroczeniu której dochodzi do uszkodzeń większości gatunków drzew, wynosi ok. $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Podobnie Greszta (2) podaje za Rohmederem i Schönbornem (1965), iż próg drażnienia dla szkód chronicznych wynosi u roślin wrażliwych $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, tj. 0,2 ppm. Knabe (5) zestawiał wyniki pomiarów przeprowadzonych w Czechosłowacji, NRD i RFN, podając zbliżone stężenie do wyżej cytowanych. W kolejnych pracach znajdujemy kilkunastokrotnie mniejsze wartości progu toksyczności.

Wentzel (19) podaje, że stężenie rzędu 0,02 ppm, co równa się $0,052 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, jest wielkością graniczną powodującą widoczne szkody nie tylko u świerka i sosny pospolitej, ale również u dębu i buka. Knabe (4) stwierdza, że drzewostany sosnowe w Zagłębiu Ruhry (RFN) na siedliskach borowych istnieją jeszcze przy stężeniach średniorocznych rzędu $0,20 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, a średnich w okresie wegetacyjnym $0,18 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Dwuletnie wyniki pomiarów metodą kontaktową wykonane w latach 1972—1973 wykazały (6), że średnie roczne koncentracje SO_2 w powietrzu rzędu $0,05 \text{ mg/m}^3$, uważane przez Wentzela (19) i początkowo Maternę (9) za próg toksyczności, są przekraczane na obszarze niemal całego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Wyniki późniejszych prac wykazały, że wartości progu toksyczności leżą niżej i już przy znacznie niższych koncentracjach dwutlenku siarki w powietrzu drzewostany iglaste mogą być wyraźnie uszkodzane. Wartość ta zależy od gatunku drzewa i wieku drzewostanów, stosowanych metod pomiaru i długości okresu pomiarowego, warunków klimatycznych i glebowych, ukształtowania terenu i in.

Czyż (1) podaje na podstawie krajowych pomiarów metodą kontaktową, że stężenia dwutlenku siarki w powietrzu do $0,03 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ nie powodują widocznych objawów uszkodzeń w drzewostanach sosnowych. Wspomina on również, że wg danych szwedzkich uszkodzenia drzew iglastych następują przy stężeniach SO_2 od $0,026$ do $0,05 \text{ mg/m}^3$, a silne uszkodzenia występują przy stężeniu $0,13 \text{ mg/m}^3$. W Czechosłowacji stwierdzono (12), że już przy koncentracji ok. $0,01 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, przy której nie obserwuje się jeszcze zmian zewnętrznych organów asymilacyjnych, dochodzi do zakłóceń w asymilacji, bilansie wodnym i odżywianiu roślin, działalności enzymów oraz do uszkodzenia komórek. Na podstawie wieloletnich pomiarów w Rudawach stwierdzono, że gromadne obumieranie świerków zaczyna się przy stężeniach nieco ponad $0,06 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, które utrzymywały się przez dłuższy czas.

Drzewostany świerkowe w rejonie Lasu Sławkowskiego w CSRS nie ulegają widocznym zmianom pod wpływem dwutlenku siarki przy koncentracji ok. $0,005 \text{ mg/m}^3$ w okresie wegetacyjnym, a poniżej $0,030 \text{ mg/m}^3$ w okresie zimowym. Wymaga jednak sprawdzenia, czy przy tym poziomie zanieczyszczenia powietrza nie dochodzi już do strat na przyroście (11). Vinš (20) zważa, że tylko w wyniku zakłócenia procesów fizjologicznych drzew straty na produkcji drewna wynoszą już ok. 10%.

Dziesięcioletnie pomiary stężenia SO_2 w Górach Izerskich (po stronie czechosłowackiej) wykazały, że średniodobowe stężenia rzędu $0,04 \text{ mg/m}^3$ powodują szybkie zamieranie drzewostanów świerkowych w wyższych położeniach górskich (17). W ostatnim okresie ukazało się kilka prac, których autorzy starają się określić w warunkach lokalnych nie tylko wartości progu toksyczności, ale i wielkości stężeń powodujących różny stopień uszkodzenia drzewostanów.

Czyż (1) przedstawił dane austriackie określające wysokości stężeń dla odpowiednich kategorii uszkodzeń roślin (tab. 1). Dopuszczalne stężenie dla roślin:

- średnie wartości w czasie 1/2 godziny $0,05 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (w okresie kwiecień—październik $0,07$, listopad—marzec $0,15$);
- średnie wartości dobowe $0,03 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (w okresie kwiecień—październik $0,05$, listopad—marzec $0,10$).

Greszta (2) na podstawie jednorocznych pomiarów imisji metodą kontaktową w Śląsko-Krakowskim Okręgu Przemysłowym określił strefy zagrożenia drzewostanów, przyjmując za przewodnie wskaźnik stężenia SO_2 , a jako kryterium uzupełniające opad pyłów (tab. 2).

Zależność wielkości uszkodzeń od stężenia SO₂

Wielkości uszkodzeń	Przeciętna koncentracja SO ₂ w mg/m ³	
	miesiące zimowe	miesiące letnie
silne	0,11	0,06
średnie	0,06	0,05
słabe	0,04	0,035

Tabela 2

Wskaźnik stężenia SO₂ oraz opad pyłów
w poszczególnych strefach zagrożenia

Strefa	Wskaźnik stężenia w mg SO ₂ /100 cm ² PbO ₂ /doba	Opad pyłu w t/km ² na rok
I	0,350—0,550	50—125
II	0,550—0,750	125—200
III	0,750—1,000	200—250
(uszkodzenia ostre)	>1,000	>250

Na podstawie pomiarów prowadzonych metodą sumacyjną w latach 1972—1974 w lasach Górnośląskiego i Krakowskiego Okręgu Przemysłowego przez Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Katowicach na zlecenie Instytutu Badawczego Leśnictwa Latocha i Cimańder (7) określili średnie stężenia SO₂ w poszczególnych strefach zagrożenia drzewostanów sosnowych następująco: w strefie 0 — ok. 0,02 mg/m³, w strefie II — ok. 0,07, w strefie III — ok. 0,13 mg SO₂/m³, a na tzw. pustyni industriogennej — ok. 0,40 mg SO₂/m³.

Dokładna analiza wyników pomiarów uzyskanych w latach 1972—1975 na obszarze GOP (8) wykazała, że średnioroczne stężenia dwutlenku siarki wynosiły: w strefie 0 — ok. 0,03 mg/m³, w strefie II — ok. 0,07 mg/m³ oraz w strefie III — ok. 0,095 mg/m³.

Jeffree (3) określił dla poszczególnych wartości stężeń procent uszkodzeń dla niektórych gatunków roślin. U sosny pospolitej dane te przedstawiają się następująco: przy stężeniu 0,045 mg/m³ — ślady uszkodzeń; 0,070 — 20% uszkodzeń; 0,095 — 40%; 0,130 — 60%; 0,180 — 80%; 0,250 — całkowite zniszczenie.

Materna (10) na podstawie wieloletnich pomiarów w Rudawach wykazał zależność między stężeniem dwutlenku siarki a stopniem uszkodzenia drzewostanów świerkowych. Stwierdził on, że intensywność uszkodzeń zależy nie tylko od stężenia SO₂, ale i od innych czynników, jak: susza, mróz, szybkość wiatru, urodzajność gleby, wilgotność gleby i powietrza. Dlatego też dane o koncentracjach są podane w stosunkowo szerokiej rozpiętości (tab. 3).

**Stopnie uszkodzenia drzewostanów
w zależności od stężenia SO₂**

Stopień uszkodzenia	Przeciętna koncentracja SO ₂ w mg/m ³		
	w ciągu całego roku	w okresie wegetacyjnym	w okresie zimowym
0. Bez widocznego uszkodzenia	0,015	0,005	0,030
1. Słabo uszkodzone drzewostany	0,025—0,035	0,01—0,02	0,05—0,06
2. Średnio uszkodzone drzewostany	0,03—0,04	0,02—0,03	0,05—0,07
3. Silnie uszkodzone drzewostany	0,05—0,07	0,03—0,05	0,07—0,09
4. Drzewostany obumierające	0,07—0,09	0,04—0,07	0,10—0,12

W Czechosłowacji w pobliżu elektrowni koło Trutnova T e s a ř i in. (18) stwierdzili następujące przeciętne długo utrzymujące się zawartości SO₂ w powietrzu powodujące uszkodzenia drzewostanów świerkowych:

	w okresie letnim	w okresie zimowym
słabe uszkodzenia	powyżej 0,01 mg/m ³	powyżej 0,04 mg/m ³
średnie uszkodzenia	powyżej 0,03 mg/m ³	powyżej 0,06 mg/m ³
silne uszkodzenia	powyżej 0,05 mg/m ³	powyżej 0,08 mg/m ³

Na podstawie niektórych z omówionych powyżej doniesień C z y ż (1) przyjął (dla przeprowadzenia szacunku strat w gospodarce leśnej) następujące średnioroczne stężenia SO₂ dla poszczególnych stref zagrożenia przemysłowego:

strefa 0	— bez uszkodzeń	— do 0,020 mg/m ³ ,
strefa I	— małe uszkodzenia	— do 0,040 mg/m ³ ,
strefa II	— średnie uszkodzenia	— do 0,060 mg/m ³ ,
strefa III	— duże uszkodzenia	— powyżej 0,060 mg/m ³ .

Działająca w ramach międzynarodowej Unii Leśnych Instytutów Badawczych (IUFRO) grupa S 2.09 „Zanieczyszczenia powietrza a lasy” zalecała (tab. 4) w 1978 r. w Lublanie (na podstawie aktualnie dostępnych danych) dla warunków Europy środkowej i północnej dopuszczalne stężenia SO₂ w mg/m³ mające zapewnić ochronę lasów świerkowych (*Picea excelsa*) (15).

Grupa ta na sympozjum odbytym w dniach 23—29 VIII 1982 r. w Oulu w Finlandii stwierdziła (16), że zalecane wartości stężeń dla świerka są wysokie z uwagi na współdziałanie z czynnikami stresowymi (jak np. susza, mróz itp.), synergizm z innymi komponentami i na kwaśne opady deszczu. Zaproponowane w Lublanie dopuszczalne stężenia powinny być znacznie obniżone. W dyskusji na sympozjum wielu uczestników wyraziło pogląd, że już stężenia średnioroczne rzędu 0,02—0,03

Zalecane wielkości stężeń progowych dla lasów świerkowych

Dotrzymanie stężeń zapewnia	Średnie stężenie SO ₂ w okresie		
	roku	24-godzin ¹⁾	30-minutowe ²⁾
Normalny wzrost i rozwój na większości siedlisk	0,05	0,10	0,15
Spełnienie funkcji socjalnych i ochronnych na siedliskach ekstremalnych lub krytycznych ³⁾	0,025	0,050	0,075

¹⁾ stężenie może być przekroczone 12 razy w okresie półrocza,

²⁾ wartość pomiaru 30 min. przy 2,5⁰/₀ ilości przekroczeń w okresie sezonu wegetacyjnego,

³⁾ np. przeciwoerozyjnych, przeciwlawinowych, klimatycznych, dla lasów strefy borealnej.

mg/m³ mogą doprowadzić do ostrych uszkodzeń drzewostanów świerkowych w wyższych położeniach górskich (powyżej 800 m n.p.m.).

Widzimy, że w ostatnich latach wartości progów toksyczności dla drzewostanów iglastych podawane przez poszczególnych autorów wykazywały wyraźną tendencję spadkową, spowodowaną m.in. dokładniejszą techniką pomiarową oraz dłuższym okresem pomiarów i obserwacji. M a t e r n a (13) uważa, że co najmniej trzyletni okres pomiarów pozwala na przybliżone określenie przeciętnych dobowych koncentracji SO₂ w powietrzu. Wyniki uzyskane w krótszym okresie mogą być obciążone dużym błędem spowodowanym warunkami meteorologicznymi.

Przytoczone wartości stężeń krytycznych mają charakter orientacyjny i mogą dotyczyć tylko określonych warunków lokalnych, niemożliwe jest bowiem ogólne określenie poziomu progowych koncentracji dwutlenku siarki w powietrzu dla dużych obszarów, po przekroczeniu których obserwuje się niekorzystne zmiany w drzewostanach iglastych. Reakcja roślinności drzewiastej na przemysłowe zanieczyszczenie powietrza tlenkami siarki jest wypadkową działania kompleksu czynników ekologicznych.

Przy ustalaniu progowych stężeń dwutlenku siarki w powietrzu należy brać pod uwagę synergiczne oddziaływanie SO₂ z innymi składnikami zanieczyszczenia powietrza, jak np. z fluorem, tlenkami azotu, ozonem, metalami ciężkimi.

Podawana przez wielu autorów wartość progów toksyczności dwutlenku siarki w powietrzu dla drzewostanów iglastych stanowi tło zanieczyszczenia powietrza w niemal całej Europie środkowej, a dotrzymanie stężeń progowych w wielu rejonach przemysłowych jest niemożliwe.

Porównując proponowane przez wielu badaczy stężenia krytyczne z obowiązującą w Polsce sanitarną normą ochrony powietrza dla terenów chronionych, wynoszącą dla stężeń średniodobowych 0,35 mg SO₂/m³ (w krajach ościennych norma ta ustalona jest na poziomie 0,15—0,20

mg/m³, widzimy, że nawet znacznie niższe od norm sanitarnych koncentracje dwutlenku siarki w powietrzu powodują totalne zamieranie drzewostanów iglastych na znacznych obszarach.

Z Zakładu Gospodarki Leśnej
Rejonów Przemysłowych IBL

LITERATURA

1. Czyż A.: Opracowanie podstaw nowelizacji metody określenia szacunku strat w drzewostanach leśnych objętych oddziaływaniem zanieczyszczeń emitowanych przez przemysł elektroenergetyczny na podstawie badań stanu aktualnego i przyrostu drzewostanów w strefach zagrożenia przemysłowego. Zakład Ochrony Środowiska, Energopomiar (maszynopis) 1980.
2. Greszta J.: Wpływ imisji na siedliska borowe i drzewostany sosnowe w Śląsko-Krakowskim Okręgu Przemysłowym. *Studia Naturae*, Ser. A nr 10 PWN: Warszawa-Kraków 1975.
3. Jeffree C.E.: Plant damage caused by SO₂. Papers presented to the symposium on the effects of air-borne pollution on vegetation. Warsaw 1980.
4. Knabe W.: Kiefernwaldverbreitung und Schwefeldioxid-Immissionem im Ruhrgebiet. *Staub-Reinhalt* 1970 Nr. 1.
5. Knabe W.: Air Quality Criteria and their Importance for Forests. *Mitt. For. Bundes-Versuchsanst.* 1971 H. 92.
6. Latocha E.: O przebudowie drzewostanów i wrażliwości drzew na emisje przemysłowe. *Sylvan* 1975 R. 119 nr 2.
7. Latocha E., Cimander B.: Stan zanieczyszczenia powietrza w lasach Górnośląskiego i Krakowskiego Okręgu Przemysłowego. *Sylvan* 1976 R. 120 nr 11.
8. Latocha E.: Przydatność modrzewia do przebudowy drzewostanów w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Praca doktorska. Warszawa: IBL 1978.
9. Materna J.: Lesní hospodářství a znečištění ovzduší. *Problematika výzkumu. Lesnictví* 1971 R. 17 nr 11.
10. Materna J.: Využití výsledku měření koncentrací škodlivých látek v ovzduší pro potřeby lesního hospodářství. ÚVTI. Souhrn referatu. Praha 1972.
11. Materna J.: Vztah mezi koncentrací kyslíčnicku siřičitého a poškozením lesních dřevin v oblasti Slavkovského lesa. *Pr. VÚLHM* 1973 nr 43.
12. Materna J.: Les a průmysl. *Lesnictví* 1975 R. 21 nr 2—3.
13. Materna J.: Vývoj znečištění ovzduší v zázemí Sokolovské pánve. *Zpr. Les. Výzk.* 1980 Sv. 25 čís. 2.
14. Pelz E.: Poškození lesu kouřem a prachem. *Lesnictví* 1964 nr 1—2.
15. Rezolucja grupy S 2.09: Zanieczyszczenia powietrza a lasy. Zbornik. Mednarodna zveza gozdarskih raziskovalnih organizacij. Ljubljana 1979.
16. Sobocký E.: Informacja prywatna. 1982.
17. Sprawozdanie szczegółowe ze spotkania przygranicznego grupy roboczej polsko-czechosłowackiej w temacie: „Wpływ imisji przemysłowych na lasy” w rejonie Gór Izerskich 13—16 X 1981. Warszawa: IBL 1981.
18. Tesař V. i in.: Demonstrační objekt-pro hospodaření v lesích postižených VČSL. Hradec Králové 1980.

19. Wentzel K.F.: Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigung. Forstarchiv 1968 Jg. 39 H. 9.
20. Vinš S.: Pókles přirustu v lesních porostach poškozených kouřovými exhalacemi. Zpr. Les. Vyzk. 1966 Sv. 11 čis. 4.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 3 grudnia 1982 r.

Краткое содержание

На основании публикаций автором представлены величины порога токсичности двуокиси серы в воздухе для хвойных насаждений. Представлено несколько работ, авторы которых стараются определить не только уровень порога токсичности, но и зависимость степени повреждения насаждений от размера концентрации SO_2 в воздухе. Рассмотрены рекомендуемые группой ИЮФРО S 2.09 „Загрязнения воздуха и леса” величины концентраций обеспечивающих защиту еловых лесов в условиях Центральной и северной Европы.

Подчеркивается, что величины критических концентраций представленные отдельными авторами носят ориентировочный характер и могут касаться только определенных местных условий, поскольку реакция древовидной растительности на промышленные загрязнения воздуха является результирующей действия всего комплекса экологических факторов. Констатируется, что обязывающие в большинстве европейских стран санитарные нормы охраны воздуха не обеспечивают биологического существования хвойным насаждениям.

Summary

Basing on the literature, the author discusses the values of the threshold of toxicity of sulphur dioxide in the air for coniferous stands. The authors of several cited papers try to determine not only the level of the threshold of toxicity but also the relation between the degree of damage and the level of SO_2 concentration in the air. Also the values of threshold concentrations ensuring the protection of spruce stands in conditions of Central and North Europe, recommended by IUFRO group S2.09 „Air pollution and forests”, are discussed.

Also critical values of concentration given by individual authors have a tentative character and can be reliable only for local conditions, because the reaction of tree flora to industrial air pollution is a resultant of a complex of ecological factors. The author states that sanitary standards of air pollution standing in the most part of Europe countries do not secure the biological existence to the coniferous stands.