

## Charakterystyka reakcji tytoniu szlachetnego na ozon troposferyczny na terenie miasta Poznania i okolic

### Characteristics of the response of tobacco plants to tropospheric ozone in the Poznań city area and its surroundings

**Klaudia Borowiak, Janina Zbierska, Agnieszka E. Ławniczak,  
Monika Tomaszewska**

Uniwersytet Przyrodniczy, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, ul. Piątkowska 94C,  
60-649 Poznań, e-mail: [ekologia@up.poznan.pl](mailto:ekologia@up.poznan.pl)

---

**Abstract:** Air pollution monitoring carried out all over Poland revealed that tropospheric ozone and particulate matter concentrations exceed their limited values in many regions of the country. The occurrence of tropospheric ozone is connected mainly with the emission of its precursors (such as nitrogen oxides, carbon oxides, hydrocarbons) from car traffic which has increased considerably in recent years. Ground level ozone is a very reactive air pollutant affecting negatively both plants and animals. That is why it is necessary to measure its impact on living organisms and whole ecosystems. In the presented study tobacco plants were employed as bioindicators for tropospheric ozone levels. Sensitive and resistant cultivars were exposed to tropospheric ozone in three sites situated in the city of Poznań and its surroundings in 2006. Visible leaf injuries as well as other external and internal response parameters of both cultivars were measured after their exposition to ambient air conditions. The performed investigations revealed visible symptoms of ozone influence only in the case of leaves of the sensitive cultivar and differences in the internal response (cell membrane stability, chlorophyll content, dry mass) of both examined cultivars to different concentrations of the stress factor. The obtained research results can be used as reference information for species which can be utilized to manage urban and countryside environments.

**Key words:** tropospheric ozone, bioindicator, chlorophyll *a*, cell membrane stability

**Słowa kluczowe:** ozon troposferyczny, bioindykator, chlorofil *a*, stabilność błon cytoplazmatycznych

### **Wstęp**

Ozon stratosferyczny chroni życie na Ziemi przed szkodliwym promieniowaniem UV. Jego przeciwieństwem jest ozon troposferyczny występujący w warstwie przyziemnej. Podwyższone stężenie przyziemnego ozonu stanowić może zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia organizmów. Powstawanie ozonu troposferycznego związane jest z ruchem komunikacyjnym i emisją spalin. Obecnie obserwuje się szybki wzrost liczby samochodów, co z kolei jest przyczyną większej emisji prekursorów ozonu. Dlatego

w ostatnim czasie zauważyć można większe zainteresowanie tym zanieczyszczeniem powietrza z punktu widzenia ochrony środowiska przyrodniczego.

Negatywny wpływ ozonu na rośliny zidentyfikowano po raz pierwszy w 1950 r. Od tego czasu jest on uznawany za najważniejsze zanieczyszczenie powietrza wywołujące uszkodzenia roślin. Powoduje duże straty roślin uprawnych, obniżając plony, wpływa również na gospodarkę leśną oraz skład gatunkowy ekosystemów ziemskich (Ashmore 2005).

Transport ozonu z atmosfery do wnętrza roślin odbywa się głównie poprzez aparaty szparkowe. Jednak gaz ten oddziaływać też może z zewnętrznymi powierzchniami roślin, niszcząc kutikulę (Krupa et al. 1998). Atakując komórki wewnętrzne, uszkadza błony komórkowe, chloroplasty i mitochondria, hamuje procesy fotosyntezy oraz obniża produkcję biomasy. Objawy uszkodzeń mogą być różne w zależności od gatunku roślin (Godzik et al. 1995, Fiscus et al. 2005). Jedną z charakterystycznych zmian, występujących u roślin wrażliwych na ozon, jest pojawienie się drobnych plamek lub nekrotycznych kropek na wierzchniej stronie liścia, które mogą przybrać białą, czarną lub brązową barwę. W przypadku roślin drzewiastych długa ekspozycja na ozon powodować może redukcję pierścieni przyrostów rocznych lub nawet brak przyrostów w niektórych latach. W wielu przypadkach drzewa wykazywały ostre uszkodzenia liści i zmniejszoną żywotność igieł. Pośrednim skutkiem osłabienia wegetacji roślin narażonych na działanie ozonu jest ich zwiększona wrażliwość na choroby i szkodniki, a nawet na wpływy zmian atmosferycznych (Grochowicz, Korytkowski 1996, Bell, Treshow 2004).

Prowadzone od lat badania dowiodły, iż rośliny bioindykacyjne mogą być bardzo przydatne w ocenie jakości powietrza, zwłaszcza na tych obszarach, gdzie nie stosuje się innych metod wykrywania zanieczyszczeń. W niektórych krajach zastosowanie bioindykatorów stało się na tyle powszechne, iż wykorzystuje się je w rutynowym monitoringu.

Użycie roślin, które charakteryzują się odmienną wrażliwością, stwarza możliwość identyfikacji różnych poziomów stężenia ozonu troposferycznego na danym terenie (Bell, Treshow 2004). Najlepiej opisanymi i zdefiniowanymi roślinami służącymi do tego typu badań są: odmiana Bel W3 oraz Bel B tytoniu szlachetnego (Heggstad 1991). Widoczne uszkodzenia na odmianie Bel W3 pojawiają się przy stosunkowo niskim stężeniu ozonu, inaczej niż w przypadku odmiany tolerancyjnej Bel B nie wykazującej uszkodzeń. Ekspozycja obydwu odmian na tym samym obszarze może dostarczyć lepszych informacji dotyczących stopnia zanieczyszczenia powietrza (Krupa et al. 1998). Uszkodzenia wywołwane przez ozon na liściach tytoniu odmiany wrażliwej objawiają się w postaci nekrotycznych plam po obu stronach blaszki liściowej.

Toksyczność ozonu wynika z faktu, iż po wnikięciu do apoplastu może on reagować bezpośrednio z lipidami i białkami wchodzącymi między innymi w skład błon komórkowych. Takie reakcje, a także dekompozycja  $O_3$  w środowisku wodnym komórki, prowadzić mogą do powstania reaktywnych form tlenu (Evans et al. 2005). Należą do nich krótkotrwałe i reaktywne fragmenty cząsteczek, które zawierają jeden lub więcej niesparowanych elektronów, powstających przy rozerwaniu wiązania chemicznego (Bell, Treshow 2004). Toksyczność ozonu wynika z jego silnych właściwości utleniających oraz dużej reaktywności powstałych w odpowiedzi na stres reaktywnych form tlenu (ROS), takich jak  $\cdot O_2^-$ ,  $\cdot O_2H$ ,  $\cdot OH$ . Prowadzić one mogą do reakcji z białkami, DNA oraz błonami lipidowymi, wpływając na redukcję fotosyntezy, przepuszczalność błon komórkowych i przyspieszenie procesu starzenia się roślin (Sharma, Davis 1997, Evans et al. 2005).

Głównym celem badań było określenie możliwości wykorzystania rośliny testowej (tytoniu szlachetnego) dla oceny obecności ozonu troposferycznego na terenie miasta Poznania i okolic. W trakcie badań oceniano uszkodzenia zewnętrzne i wewnętrzne liści, powstające w wyniku oddziaływania ozonu troposferycznego. Określano również przestrzenne i czasowe zróżnicowanie zanieczyszczenia powietrza ozonem troposferycznym oraz analizowano zależności pomiędzy poziomem stężenia ozonu w powietrzu a stopniem uszkodzenia rośliny testowej.

## Materiał i metody

Rośliną bioindykacyjną wykorzystaną w doświadczeniu był tytoń szlachetny (*Nicotiana tabacum* L.). Zastosowano odmianę wrażliwą na obecność ozonu troposferycznego Bel W3 oraz odporną Bel B, która stanowiła kontrolę na poszczególnych stanowiskach. Rośliny były hodowane i eksponowane zgodnie ze standardową metodyką niemiecką (VDI 2000).

Badania przeprowadzone zostały w sezonie wegetacyjnym 2006 r. w okresie od 3 kwietnia do 3 września. Obejmowały 7 serii badawczych. Na każdą serię składał się okres uprawy w warunkach szklarniowych, trwający 8 tygodni, oraz dwutygodniowa ekspozycja na stanowiskach badawczych (tab. 1).

Rośliny umieszczano w styropianowych pojemnikach, chroniących przed wychłodzeniem i przegrzaniem podłoża. Na każdym ze stanowisk znajdowały się 3 rośliny odmiany wrażliwej oraz 3 rośliny odporne. Dostęp do wody zapewniał sznurek z włókna szklanego, którego końce zanurzone były w kuwecie wypełnionej wodą, znajdującej się pod styropianowymi pojemnikami. Pojemniki z roślinami umieszczono na aluminiowym stelażu, na wysokości 90 cm nad ziemią. Całość osłonięto siatką cieniującą, która chroniła rośliny przed niekorzystnym wpływem warunków meteorologicznych.

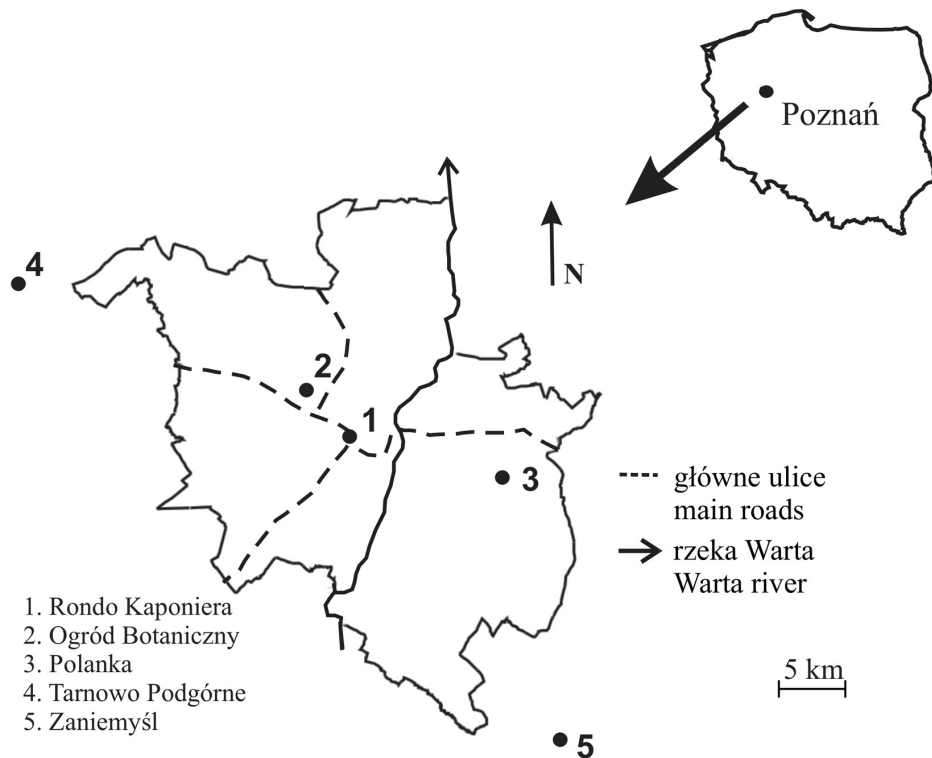
Rośliny eksponowane były na 5 stanowiskach badawczych na terenie miasta Poznania (3 stanowiska) oraz w Tarnowie Podgórnym i Zaniemyślu (ryc. 1).

Przed ekspozycją i po ekspozycji rośliny mierzono oraz szacowano stopień uszkodzenia blaszki liściowej w stosunku do całkowitej powierzchni liścia (w skali % lub 0–1). Pomiarów dokonywano zarówno w przypadku odmiany wrażliwej, jak i odpornej, opierając się na atlasie, zalecającym określanie uszkodzeń w 5% odstępach (Klumpff et al. 1999).

Po ekspozycji wykonywano także analizy zawartości chlorofilu *a* w liściach metodą ekstrakcji sulfotlenkiem dimetylu (Shoaf, Lium 1976, Hiscox, Israelstam 1979). Przeprowadzono również badania zawartości suchej masy w liściach (Ostrowska et al. 1991) oraz stabilności błon cytoplazmatycznych metodą konduktometryczną (Bandurska, Gniazdowska-Skoczek 1995).

Tabela 1. Średnie uszkodzenia liści tytoniu odmiany wrażliwej (w stosunku do całkowitej powierzchni liścia = 1)  
Table 1. Mean values of sensitive cultivar leaf injury degree (in scale 0–1)

Seria ekspozycyjna Exposure series	Stanowiska ekspozycyjne Exposure sites				
	miejskie urban sites			pozamiejskie rural sites	
	1	2	3	4	5
29.05–11.06	0,06	0,25	0,42	0,21	0,43
12.06–25.06	0,01	0,37	0,46	0,55	0,02
26.06–09.07	0,29	0,85	0,92	0,81	0,80
10.07–23.07	0,43	0,69	0,68	0,66	0,66
24.07–06.08	0,14	0,28	0,27	0,52	0,33
07.08–20.08	0,02	0,17	0,26	0,58	0,04
21.08–03.09	0,03	0,09	0,04	0,04	0,16
Średnia Mean	0,14	0,39	0,43	0,48	0,35



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk bioindykacyjnych na terenie miasta Poznania i okolic  
Fig. 1. Location of bioindication sites at Poznań City area and surroundings

## Wyniki i dyskusja

W trakcie całego sezonu badawczego widoczne uszkodzenia liści tytoniu stwierdzono jedynie u odmiany wrażliwej. Średnia wartość uszkodzenia blaszki liściowej u odmiany wrażliwej zawierała się w granicach 0,01–0,92 (tab. 1).

Oszacowanie stopnia uszkodzenia blaszki liściowej tytoniu pozwala na określenie poziomu stężenia ozonu w otaczającym powietrzu. Przedstawienie wyników pomiaru uszkodzeń w pięciostopniowej skali Indeksu Uszkodzenia Liścia (Leaf Injury Index – LII) znacznie ułatwia interpretację uzyskanych wyników. Maksymalny stopień uszkodzeń informujący o bardzo wysokim zanieczyszczeniu powietrza ozonem zaobserwowano na roślinach eksponowanych w okresie od 26 czerwca do 23 lipca na czterech stanowiskach ekspozycyjnych (Ogród Botaniczny, Polanka, Tarnowo Podgórne i Zaniemyśl). Wysokie stężenia zanotowano również w drugiej połowie czerwca oraz w sierpniu, kiedy uszkodzenia przekraczały drugi stopień skali LII. Rośliny eksponowane na przełomie sierpnia i września nie wykazały większego zagrożenia ozonem (tab. 2).

Sumaryczna wartość stężenia ozonu (AOT 40) wynosiła dla całego sezonu badawczego 19463,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ . Przeprowadzona analiza zależności stopnia uszkodzenia liści tytoniu odmiany wrażliwej od stężenia ozonu troposferycznego (wyrażonego za pomocą AOT 40) wykazała dodatnią wartość

współczynnika korelacji istotną statystycznie na poziomie  $p=0,05$  (ryc. 2). W związku z powyższym w dalszej analizie wyników badań stopień uszkodzenia liści odmiany wrażliwej potraktowano jako odpowiednik poziomu ozonu troposferycznego.

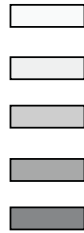
Największy stopień uszkodzenia liści stwierdzono na stanowisku czwartym (Tarnowo Podgórne). Nieco mniejsze uszkodzenia wystąpiły na liściach roślin umieszczonych na stanowisku pozamiejskim w Zaniemyślu (nr 5) oraz na stanowisku drugim (Ogród Botaniczny) i trzecim (Polanka). Najmniejszy stopień uszkodzenia zaobserwowano u roślin eksponowanych na stanowisku pierwszym zlokalizowanym przy rondzie Kaponiera (ryc. 3). Podobna sytuacja spotykana była w wielu miastach Europy, w tym na terenie Krakowa i okolic (Godzik 1998, Bell, Marshall 2000, Nali et al. 2001, Klumpp et al. 2006). Duży stopień uszkodzenia liści występujący w okolicach dużych miast oraz mały w centrum miasta może być związany z obecnością tlenków azotu, powstających na skutek wzmożonego ruchu samochodowego w centrum miasta (Borowiak 2005, Klumpp et al. 2006). Małe uszkodzenia roślin na stanowisku w centrum miasta mogą być również związane z dużym zapyleniem, co powoduje trudniejszy dostęp ozonu do liści.

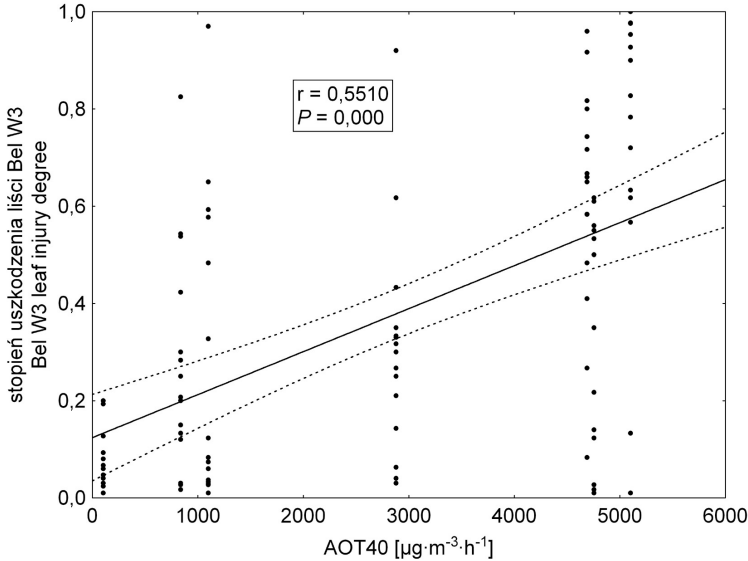
Na podstawie analizy czasowej stopnia uszkodzenia liści tytoniu stwierdzono, że największe wartości wystąpiły na przełomie czerwca i lipca (3 seria). Duże uszkodzenia zaobserwowano także w lipcu (4 seria), natomiast średnie w terminie majowo-czerwcowym (1 i 2 seria) oraz od drugiej połowy lipca do końca sierpnia (5 i 6 seria). Na przełomie sierpnia i września stwierdzono najmniejsze uszkodzenia eksponowanych roślin (ryc. 4). Porównując uzyskane wyniki z rezultatami badań bioindykacyjnych prowadzonych w latach 90. w Krakowie i okolicach, stwierdzono, iż są one zbliżone. Zaobserwowano

Tabela 2. Średnie uszkodzenia liści tytoniu odmiany wrażliwej w skali LII

Table 2. Mean values of leaf injury degree presented at LII scale

Seria eksponacyjna Exposure series	Stanowisko ekspozycyjne Exposure sites				
	Rondo Kaponiera	Ogród Botaniczny	Polanka	Tarnowo Podgórne	Zaniemyśl
29.05–11.06	1	3	4	3	4
12.06–25.06	1	4	4	4	1
26.06–09.07	3	5	5	5	5
10.07–23.07	4	5	5	5	5
24.07–06.08	2	3	3	4	4
07.08–20.08	1	3	3	4	1
21.08–03.09	1	2	1	1	3
Średnia Mean	2	4	4	4	4

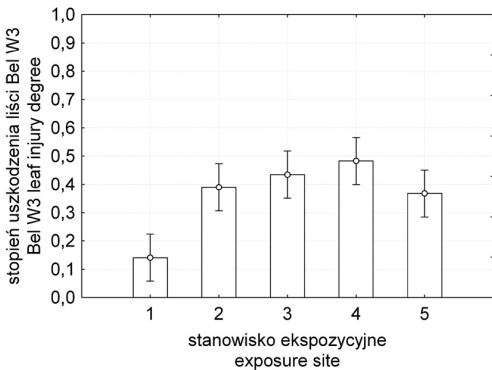
- 
 1 – uszkodzenia liści <6% – zanieczyszczenie powietrza bardzo niskie  
 1 – leaf injury <6% – very low air pollution by ozone.  
 2 – uszkodzenia liści 6–15% – zanieczyszczenie powietrza niskie  
 2 – leaf injury 6–15% – low air pollution  
 3 – uszkodzenia liści 16–30% – zanieczyszczenie powietrza średnie  
 3 – leaf injury 16–30% – medium air pollution  
 4 – uszkodzenia liści 31–60% – zanieczyszczenie powietrza wysokie  
 4 – leaf injury 31–60% – high air pollution  
 5 – uszkodzenia liści >60% – zanieczyszczenie powietrza bardzo wysokie  
 5 – leaf injury >60% – very high air pollution



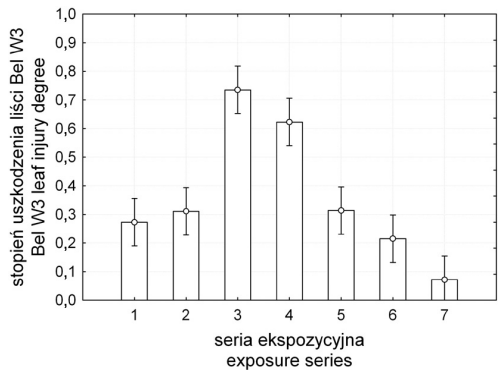
Ryc. 2. Stopień uszkodzenia liści tytoniu w zależności od stężenia ozonu troposferycznego wyrażonego za pomocą AOT 40 w powietrzu  
 Fig. 2. Leaf injury degree in correlation to tropospheric ozone concentration presented as AOT 40 value

wtedy najwyższe wartości uszkodzeń w terminach czerwcowych i utrzymujące wysoki poziom do połowy sierpnia (Godzik 1998, 2000).

Zawartość suchej masy w liściach badana była w siedmiu seriach ekspozycyjnych, w okresie od 29 maja do 3 września 2006 r. Średnia zawartość suchej masy w liściach w całym okresie badań wahała się od 5,3 do 71,9% u odmiany wrażliwej oraz 5,3–8,9% u odmiany odpornej. W warunkach kontrolnych dla odmiany wrażliwej wartość średnia wynosiła 8,7–11,4%, z kolei dla odpornej 6,2–10,2% (tab. 3).



Ryc. 3. Średnie brzegowe uszkodzenia liści Bel W3 na poszczególnych stanowiskach badawczych  
 Fig. 3. Marginal means of Bel W3 leaf injury degree at exposure sites



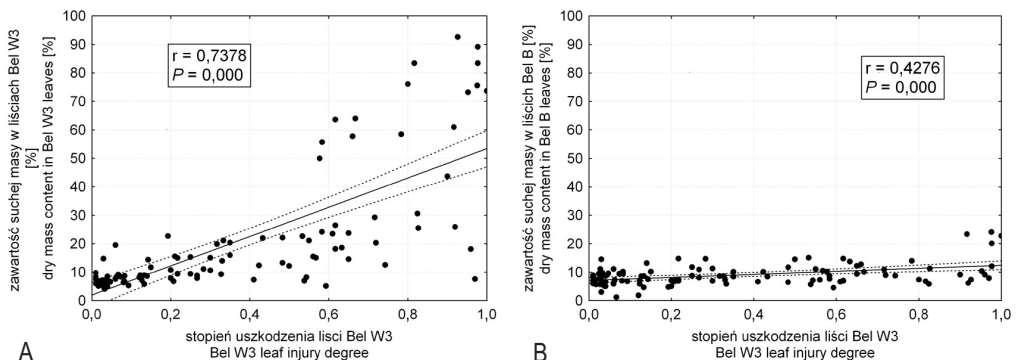
Ryc. 4. Średnie brzegowe uszkodzenia liści Bel W3 w poszczególnych seriach badawczych  
 Fig. 4. Marginal means of Bel W3 leaf injury degree at exposure series

Tabela 3. Średnia zawartość suchej masy w liściach roślin w całym okresie badawczym [%]  
Table 3. Mean values of dry mass content in leaves [%]

Seria Ekspozycyjna Exposure series	Stanowiska ekspozycyjne Exposure sites											
	1		2		3		4		5		Kontrola Control	
	wr* sen	odp res	wr sen	odp res	wr sen	odp res	wr sen	odp res	wr sen	odp res	wr sen	odp res
29.05–11.06	6,3	6,2	11,2	10,1	10,6	10,6	8,9	8,1	15,6	7,1	9,8	9,5
12.06–25.06	6,6	10,9	16,0	10,7	20,9	10,9	17,1	9,5	8,8	8,9	8,9	10,2
26.06–09.07	12,5	8,6	60,3	12,1	71,9	18,9	39,8	16,7	50,5	9,0	9,8	9,7
10.07–23.07	30,0	7,9	55,1	9,5	39,0	11,1	46,2	14,3	12,9	9,6	11,4	8,9
24.07–06.08	12,1	7,1	17,2	9,3	12,8	7,6	20,5	8,6	30,6	6,9	10,1	9,5
07.08–20.08	7,1	7,2	8,5	8,9	22,4	9,0	11,0	6,8	6,1	8,7	8,7	6,2
21.08–03.09	5,3	6,3	6,3	8,3	9,1	5,3	11,1	6,4	13,3	5,6	10,0	10,0
Średnia Mean	11,4	7,7	24,9	9,8	26,7	10,5	22,1	10,1	19,7	8,0	9,8	9,1

\*wr – odmiana wrażliwa, odp – odmiana odporna  
sen – sensitive cultivar, res – resistant cultivar

Przeprowadzona analiza zależności wykazała dodatnią korelację, istotną statystycznie na poziomie  $p=0,05$ , pomiędzy zawartością suchej masy w liściach tytoniu obu odmian i uszkodzeniami liści odmiany wrażliwej. Zaobserwowano wyższy współczynnik korelacji pomiędzy badanymi parametrami dla zależności zawartości suchej masy w liściach odmiany wrażliwej (ryc. 5).



Ryc. 5. Zależność zawartości suchej masy w liściach odmiany wrażliwej (A) i odpornej (B) od uszkodzenia liści odmiany wrażliwej. Przerywana linia oznacza 95% przedziały ufności  
Fig. 5. Correlation between dry mass content sensitive (A) and resistant (B) leaves and leaf injury degree of sensitive cultivar. Dashed line represent 95% confidence curves

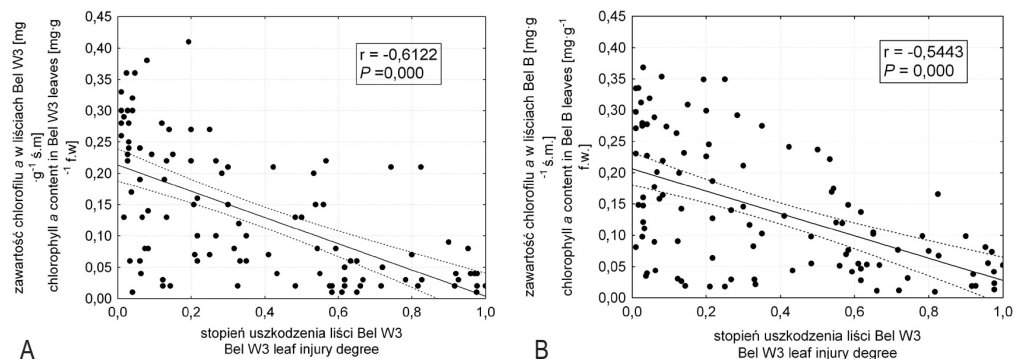
Tabela 4. Średnia zawartość chlorofilu a w świeżej masie liści tytoniu [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ś.m.]  
 Table 4. Mean values of chlorophyll a content in fresh weight of tobacco leaves [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  f.w.]

Seria ekspozycyjna Exposure series	Stanowiska ekspozycyjne Exposure sites											
	1		2		3		4		5		Kontrola Control	
	wr*	odp	wr	odp	wr	odp	wr	odp	wr	odp	wr	odp
29.05–11.06	0,22	0,25	0,22	0,28	0,16	0,24	0,22	0,21	0,21	0,25	0,09	0,09
12.06–25.06	0,25	0,24	0,11	0,13	0,08	0,11	0,10	0,11	0,13	0,13	0,13	0,11
26.06–09.07	0,18	0,04	0,06	0,03	0,02	0,09	0,02	0,08	0,11	0,08	0,12	0,03
10.07–23.07	0,07	0,14	0,02	0,04	0,02	0,07	0,02	0,05	0,16	0,08	0,11	0,04
24.07–06.08	0,12	0,06	0,04	0,01	0,10	0,02	0,12	0,12	0,04	0,07	0,17	0,09
07.08–20.08	0,26	0,18	0,07	0,11	0,04	0,11	0,09	0,08	0,16	0,08	0,06	0,05
21.08–03.09	0,31	0,25	0,26	0,26	0,24	0,22	0,18	0,27	0,35	0,33	0,25	0,20
Średnia Mean	0,20	0,17	0,11	0,12	0,09	0,12	0,11	0,13	0,17	0,15	0,13	0,09

\*wr – odmiana wrażliwa, odp – odmiana odporna  
 sen – sensitive cultivar, res – resistant cultivar

Zawartość chlorofilu a w świeżej masie liści odmiany wrażliwej w całym okresie badań zawierała się w przedziale  $0,02\text{--}0,35 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ś.m., a u odmiany odpornej  $0,01\text{--}0,33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ś.m. W przypadku roślin kontrolnych odmiany wrażliwej wartość badanego parametru mieściła się w przedziale  $0,06\text{--}0,25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ś.m. oraz  $0,04\text{--}0,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ś.m. u odmiany odpornej (tab. 4).

Badanie zależności zawartości chlorofilu a w świeżej masie liści i uszkodzenia liści odmiany wrażliwej wykazało, że dla obu odmian współczynnik korelacji był ujemny i istotny statystycznie na poziomie  $p=0,05$ . Wyższy współczynnik korelacji zaobserwowano dla odmiany wrażliwej (ryc. 6).



Ryc. 6. Zależność zawartości chlorofilu a w świeżej masie liści odmiany wrażliwej (A) i odpornej (B) od uszkodzenia liścia odmiany wrażliwej. Przerywana linia oznacza 95% przedział ufności  
 Fig. 6. Correlation between chlorophyll a content in fresh weight of sensitive (A) and resistant (B) tobacco leaves and leaf injury degree of sensitive cultivar. Dashed line represent 95% confidence curves



Średnie wartości stabilności błon cytoplazmatycznych zawierały się w przedziale 0,4–57,5 dla odmiany wrażliwej oraz 0,5–41,5 dla odmiany odpornej (tab. 5).

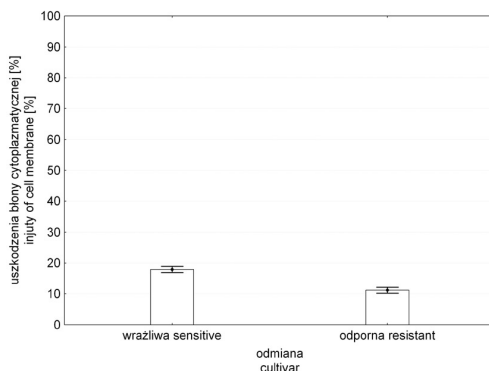
Tabela 5. Średnie uszkodzenie błon cytoplazmatycznych [%]  
Table 5. Mean values of cell membrane stability [%]

Seria ekspozycyjna Exposure series	Stanowisko ekspozycyjne Exposure sites									
	1		2		3		4		5	
	wr*	odp	wr	odp	wr	odp	wr	odp	wr	odp
29.05–11.06	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,9	0,7	0,9	0,5
12.06–25.06	7,8	0,7	5,9	17,5	18,9	8,0	13,4	3,8	5,4	1,2
26.06–09.07	15,8	8,6	26,4	41,5	44,1	25,7	22,1	16,5	13,3	3,5
10.07–23.07	1,5	1,1	2,4	21,2	20,1	1,0	34,1	20,9	1,3	1,1
24.07–06.08	19,9	13,1	45,3	27,4	46,0	17,1	25,1	6,6	28,9	7,7
07.08–20.08	20,7	10,7	26,2	22,9	57,5	19,0	24,1	19,2	22,2	23,1
21.08–03.09	11,3	10,6	7,4	9,1	13,5	9,5	16,4	8,8	25,6	10,8
Średnia Mean	11,0	6,5	16,4	20,1	28,7	11,6	19,4	10,9	14,0	6,9

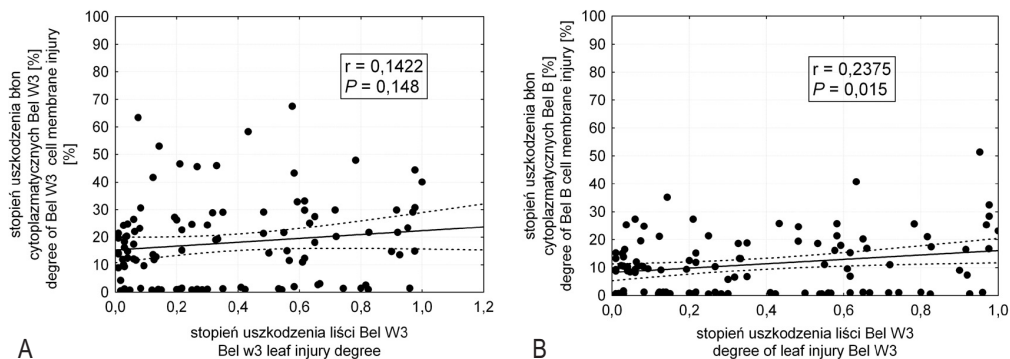
\*wr – odmiana wrażliwa, odp – odmiana odporna  
sen – sensitive cultivar, res – resistant cultivar

Porównując wartości stabilności błon cytoplazmatycznych, zaobserwowano, iż odmiana wrażliwa tytoniu charakteryzowała się większym stopniem uszkodzenia (ryc. 7).

Przeprowadzona analiza zależności widocznych uszkodzeń liści odmiany wrażliwej i stopnia uszkodzenia błon cytoplazmatycznych dla obu odmian wykazała, że współczynnik korelacji dla odmiany odpornej jest wartością dodatnią i istotną statystycznie na poziomie 0,05. W przypadku odmiany wrażliwej stwierdzono, iż zależność między badanymi parametrami była również dodatnia, ale nieistotna statystycznie. Zaobserwowano wyższy współczynnik korelacji pomiędzy badanymi parametrami dla zależności stopnia uszkodzenia błon cytoplazmatycznych w liściach odmiany wrażliwej (ryc. 8). Podobne rezultaty uzyskano w latach wcześniejszych. Stwierdzono wtedy, że ozon jest czynnikiem znacząco wpływającym na przepuszczalność błon cytoplazmatycznych dla jonów (Zbierska, Borowiak 2004). Na tej podstawie można zatem przyjąć, że badanie stopnia uszkodzenia błony cytoplazmatycznej ułatwia rozpoznanie reakcji roślin na stres oksydacyjny wywołany przez ozon.



Ryc. 7. Średnie brzegowe uszkodzenia błon cytoplazmatycznych obu odmian tytoniu [%]  
Fig. 7. Marginal means of cell membrane injuries of sensitive and resistant tobacco cultivar [%]



Ryc. 8. Stopień uszkodzenia błon cytoplazmatycznych odmiany wrażliwej (A) i odpornej (B) w zależności od uszkodzenia liści Bel W3. Przerwana linia oznacza 95% przedział ufności

Fig. 8. Correlation between degree of cell membrane injury of sensitive (A) and resistant (B) tobacco cultivar and leaf injury degree of Bel W3. Dashed line represent 95% confidence curves

## Wnioski

1. Tytoń szlachetny jest dobrym bioindykatorem dla ozonu troposferycznego na terenie Wielkopolski.
2. Największe uszkodzenia wystąpiły w okresie od 26 czerwca do 23 lipca, natomiast najmniejsze pod koniec sezonu badawczego, to jest na przełomie sierpnia i września.
3. Duże uszkodzenia liści spowodowane przez ozon wystąpiły na stanowiskach pozamiejskich zlokalizowanych w Tarnowie Podgórnym i Zaniemyślu oraz na osiedlu Polanka i w Ogrodzie Botanicznym. Najmniejszy stopień uszkodzenia zanotowano w centrum miasta, na stanowisku zlokalizowanym przy rondzie Kaponiera.
4. Badania zawartości suchej masy w liściach wykazały, że większa wartość tego parametru występowała u odmiany wrażliwej, a zależność pomiędzy zawartością suchej masy i stopniem uszkodzenia liści dla obu odmian była dodatnia i istotna statystycznie.
5. Przeprowadzone analizy zawartości chlorofilu *a* w świeżej masie liści wykazały większe wartości badanych parametrów u odmian wrażliwych. Zależności zawartości chlorofilu *a* od stopnia uszkodzenia liści odmiany wrażliwej były ujemne i istotne statystycznie. Potwierdziło to znaczenie tego parametru jako fizjologicznego wskaźnika wpływu ozonu na rośliny.
6. Badania stabilności błon cytoplazmatycznych wykazały większy stopień uszkodzenia w liściach odmiany wrażliwej. Stwierdzono, że zależność stopnia uszkodzenia błon cytoplazmatycznych u obu odmian od uszkodzenia liści odmiany wrażliwej była dodatnio skorelowana. Wskaźnik ten może być również biomarkerem stresu wywołanego przez ozon.

## Podziękowania

Podziękowania dla mgr inż. Barbary Andrzejewskiej za pomoc w wykonywaniu analiz laboratoryjnych.

## Literatura

- Ashmore M.R. 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment* 28(8), s. 949–964.
- Bandurska W., Gniazdowska-Skoczek H. 1995. Cell membrane stability in two barley genotype under water stress conditions. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 1, s. 29–32.
- Bell J.N.B., Marshall F.M. 2000. Field studies on impacts of air pollution on agricultural crops. W: S.B. Agrawal, M. Agrawal (red.), *Environmental pollution and plant responses*. Lewis Publishers, 6, s. 99–110.
- Bell J.N.B., Treshow M. 2004. Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa, s. 526.
- Borowiak K. 2005. Stopień uszkodzenia blaszki liściowej tytoniu szlachetnego pod wpływem ozonu troposferycznego na terenie miasta Poznania i okolic w latach 2002–2004. *Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN* 98/99, s. 57–65.
- Evans N.H., McAinsh M.R., Hetherington A.M., Knight M.R. 2005. ROS perception in *Arabidopsis thaliana*: the ozone-induced calcium response. *The Plant Journal* 41(4), s. 615–626.
- Fiscus E.L., Booker F.L., Burkey K.D. 2005. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. *Plant, Cell and Environment* 28, s. 997–1011.
- Godzik S., Hławiczka S., Poborowski P. (red.) 1995. Smog – przyczyny – skutki przeciwdziałania. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, s. 59.
- Godzik B. 1998. Ozone concentrations in Kraków Province, Southern Poland. *Fragmenta Floristica Geobotanica* 43(1), s. 159–168.
- Godzik B. 2000. The measurement of tropospheric ozone concentrations in southern Poland using the passive samplers and plant bioindicators. *Archives of Environmental Protection* 26(2), s. 7–19.
- Grochowicz E., Korytkowski J. (red.) 1996. *Ochrona powietrza*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, s. 143.
- Heggstad H.E. 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B in tobacco varieties and their use as indicators of ozone. *Environmental Pollution* 74, s. 264–291.
- Hiscox J.D., Israelstam G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57, s. 1332–1334.
- Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Pickl C. (red.) 1999. *European Network for the Assessment of Air Quality by the use of Bio-indicator Plants. Instructions for cultivation, exposure, injury assessment and sampling of the bio-indicator species*. Universität Hohenheim, s. 35.
- Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Vergne P., Sifakis N. et al. 2006. Ozone pollution and ozone biomonitoring in European cities. Part II. Ozone-induced plant injury and its relationship with descriptors of ozone pollution. *Atmospheric Environment* 40, s. 7437–7448.
- Krupa S.V., Tonneijck A.E.G., Manning W.J. 1998. Ozone. W: R.B. Flagler (red.), *Recognition of air pollution injury to vegetation: A Pictorial Atlas*. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, 2, s. 1–13.
- Nali C., Ferretti M., Pellegrini M., Lorenzini G. 2001. Monitoring and biomonitoring of surface ozone in Florence, Italy. *Environmental Monitoring and Assessment* 69, s. 159–174.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991. *Metody analizy i właściwości gleb i roślin*. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, s. 334.
- Sharma Y.K., Davis K.R. 1997. The effects of ozone on antioxidant responses in plants. *Free Radical Biology and Medicine* 23, s. 480–488.

- Shoaf W.T., Lium R.W. 1976. Improved extraction of chlorophyll *a* and *b* from algae using dimethyl sulfoxide. *Limnology and Oceanography* 21, s. 926–928.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure 2000. Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Ermittlung und Beurteilung der phytotoxischen Wirkung von Ozon und anderen Photooxidantien. Verfahren der standardisierten Tabak-Exposition. VDI-Guideline 3957 Part 6 (Draft).
- Zbierska J., Borowiak K. 2004. Wybrane reakcje zewnętrzne i wewnętrzne tytoniu szlachetnego na obecność ozonu troposferycznego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie* 25 (412), s. 377–387. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Krakowie.