

PIOTR KAROLEWSKI

16. ODPORNOŚĆ NA CZYNNIKI ABIOTYCZNE

Reakcja roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych – adaptacja, zaburzenia w przebiegu procesów fizjologicznych i metabolizmie, uzależnione są w znacznym stopniu od ich typu ekologicznego. Działanie określonego czynnika stresowego w danym kierunku, na przykład wzrost temperatury, dla jednego gatunku może być zmniejszaniem, a dla innego przeciwnie – zwiększaniem natężenia stresu (Öztürk i Szaniawski 1981). Dlatego też omówienie wymagań klimatycznych i glebowych jesionu wyniosłego, właśnie w tym miejscu, jest niezbędne.

16.1. WYMAGANIA KLIMATYCZNE I GLEBOWE

Jesion wyniosły występuje w lasach łęgowych, na aluwiach nadrzecznych oraz nad brzegami jezior (patrz rozdz. 10). Wymaga żyznych, wilgotnych lub świeżych, głębokich gleb. Dlatego też, w zestawieniu drzew i krzewów według wymagań siedliskowych i niektórych cech użytkowych, został zaklasyfikowany do grupy roślin nadających się do nasadzeń na glebach wilgotnych i podmokłych – znoszących wysoki poziom wody gruntowej, nawet przez dłuższy czas i która w pewnych warunkach może mieć charakter wody stagnującej (Bugala 1991). Determinuje to dosyć jednoznacznie optymalne warunki siedliskowe dla tego gatunku.

Z drugiej strony wiadomo, że gatunek ten w uprawie rośnie także na glebach suchszych i uboższych (Bugala 1991). Ponadto, biorąc pod uwagę podstawowe cechy makroklimatu, ostro różnicujące obszary Polski, zmienność

naszego klimatu oraz wymagania ekologiczne poszczególnych gatunków drzew, *Fraxinus excelsior* L., a w tym trzy powszechnie stosowane u nas kultywary tego gatunku: 'Diversifolia' (jednolistny), 'Nana' (kulisty) i 'Pendula' (zwisający), Bojarczuk i wsp. (1980) zaklasyfikowali jako polecane do, zaproponowanych przez nich, wszystkich pięciu stref klimatycznych Polski: trzech największych na niżu – zachodniej, przejściowej i wschodniej, a na południu dwóch – podgórskiej i górskiej. Jest gatunkiem dobrze rosnącym w znacznym zakresie kwasowości podłoża – pH 5–8 (Werdle 1957, tab. 1). Przeprowadzona przez tego badacza analiza wielu stanowisk na Wyspach Brytyjskich wykazała, że pierwsze, widoczne objawy uszkodzeń drzew obserwuje się dopiero przy dużej kwasowości (pH < 4,2) i zasadowości gleby (pH > 8,0). Twierdzi on, że zakwaszenie gleby jest czynnikiem w znaczniejszym stopniu limitującym wysokość górnego zasięgu występowania jesionu niż warunki klimatyczne. Z tego wynika, że jesion wyniosły, w ramach omawianych powyżej aspektów, charakteryzuje się małymi wymaganiami albo znaczną plastycznością i/lub elastycznością (patrz także rozdz. 10). Jest on także wytrzymały na zanieczyszczenia powietrza i dobrze rośnie w miastach oraz okręgach przemysłowych (Łukasiewicz 1989; Bugała 1991). Taka charakterystyka omawianego gatunku wydaje się znajdować potwierdzenie w przedstawionych niżej wynikach doświadczeń laboratoryjnych i terenowych, a dotyczących reakcji na wpływ różnego typu abiotycznych czynników stresowych.

16.2. WPŁYW CZYNNIKÓW ABIOTYCZNYCH

Kondycja, a w warunkach skrajnie stresowych – przeżywalność danego gatunku drzew, uzależniona jest od wielu wewnętrznych i zewnętrznych czynników. Innes (1990), badając kondycję kilku gatunków drzew iglastych i liściastych (w tym i *F. excelsior*) rosnących w południowej Anglii, stwierdził, że zabiegi pielęgnacyjne, warunki klimatyczne i siedliskowe determinują w większym stopniu kondycję drzew i generalnie mają większe znaczenie niż zanieczyszczenia powietrza. W dalszej części tego rozdziału starano się jednak wykazać, jak wiele czynników i w jaki sposób, działając oddzielnie i jednocześnie, ma wpływ na tolerancję drzew, będącą tylko jedną ze składowych decydujących o ich stanie. Jest ona wypadkową, uzależ-

nioną od liczby działających czynników stresowych, natężenia i czasu ich działania oraz wzajemnych oddziaływań: antagonistycznych, neutralizujących, potencjujących lub synergistycznych.

16.2.1. NISKA I WYSOKA TEMPERATURA

Fraxinus excelsior należy do drzew stosunkowo tolerancyjnych na niską temperaturę. Spośród 107 gatunków drzew liściastych i iglastych, u których za miarę stopnia tolerancji przyjęto wielkości rocznych przyrostów słoju drewna w latach 1936–1943, po bardzo niskich temperaturach w zimie 1939/40, jesion wyniosły został sklasyfikowany na 4 pozycji, licząc od najbardziej tolerancyjnych (Lovcij 1962, tab. 1).

Gatunek ten jest również względnie tolerancyjny na działanie wysokich temperatur. Wskazują na to wyniki badań, które przeprowadził Stojanov (1964) na odciętych liściach z drzew. Za miarę stopnia wrażliwości na wysoką temperaturę przyjął autor temperaturę, od której następowało zahamowanie natężenia fotosyntezy netto. Pozwoliło mu to na uszeregowanie gatunków od najbardziej wrażliwych (*Quercus robur*, *F. americana*, *Acer pseudoplatanus*, *A. campestre*, *Ulmus laevis* – 42°C), poprzez mniej wrażliwe (*Quercus rubra*, *Sambucus nigra*, *Tilia platyphyllos* – 44°C), średnio tolerancyjne, do których zaliczył także jesion wyniosłego (*F. excelsior*, *Aesculus hippocastanum*, *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *Ficus carica*, *Fagus orientalis* – około 46°C), do najbardziej tolerancyjnych (*Robinia pseudoacacia*, *Gleditsia [triacanthos]*, *Populus × euramericana*, *P. nigra* 'Italica', *Prunus laurocerthos* i *Abies alba* – powyżej 47–48°C).

16.2.2. SUSZA I NADMIAR WODY

Jesion wyniosły jest gatunkiem mało tolerancyjnym na niedobór wody, zarówno w glebie, jak i w powietrzu (tab. 1). Z badań, w których porównywano kilkuletnie siewki tego gatunku i dębu szypułkowego (*Quercus robur*), wynika, że przyczyną jego dużej wrażliwości na stres wodny jest wolna reakcja aparatów szparkowych w tych warunkach (Aussenac i Levy 1983, tab. 2). Redukcja natężenia transpiracji u *Q. robur* następowała bardzo gwałtownie i już przy niewielkim wysuszeniu podłoża, natomiast

Tabela 1

Ocena stopnia tolerancji *Fraxinus excelsior* (T – tolerancyjny, P – pośredni, W – wrażliwy) na wpływ czynników abiotycznych na podstawie badań terenowych (t) oraz przeprowadzonych w kabinach z możliwością regulacji i kontroli warunków doświadczenia (k), według różnych autorów

Czynnik	Typ badań	Określenie charakteru rośliny (organu)	Ocena stopnia tolerancji			Źródło informacji
			T	P	W	
SO ₂	t	drzewa		+		Piskornik 1969
SO ₂	k	sadzonki		+		Ranf i Dasler 1970
SO ₂	k	sadzonki			+	Brenninger i Tranquillini 1983
SO ₂	k	sadzonki			+	Karnosky 1981
SO ₂ , O ₃ , O ₃	k	sadzonki		+		Karnosky 1981
O ₃	t	sadzonki	+			Karnosky 1981
O ₃	k	sadzonki		+		Mooi 1976
SO ₂ +Cu+Pb ¹	t	drzewa		+		Rachwał 1983
SO ₂ +Zn+Pb ²	t	drzewa		+		Białobok 1978; Białobok i Rachwał 1981
SO ₂ +Fe ²⁺ +CO ³	t	drzewa		+		Białobok i Rachwał 1981 Białobok i Rachwał 1981
HF	k	sadzonki		+		Dässler i in. 1972
HF	k	sadzonki	+			Mooi 1974
HF i F ⁻	t	drzewa	+			Holub 1977
HCl i Cl ⁻	t	drzewa	+			Parpan i Jakhimčuk 1984
H ₂ SO ₄ i sw. F	t	drzewa	+			Grimstad 1985
Gazy i pyły ⁴	t	drzewa		+		Holub 1977
Cd+Pb+Zn ⁵	k	sadzonki			+	Braniewski 1983
Pył cementowy	t	drzewa		+		Voron 1986
Węglowodory i Cl ⁶	t	drzewa	+			Antipov 1957
Zakwaszona gleba	t	drzewa	+			Jakucs 1988
Niskie i wysokie pH podłoża	t	drzewa	+			Wardle 1957
NaCl	t	drzewa		+		Brogowski i in. 1977
NaCl ⁷	t	drzewa	+			Burg i Kopinga 1981
Susza	t	drzewa		+		Krasulin i Pankratova 1957
Susza	t	drzewa		+		Raskatov i Ermin 1973
Nadmiar wody	t	drzewa			+	Farsk 1957
Nadmiar wody	t	drzewa		+		Dister 1983
Nadmiar wody	t	drzewa	+			Čermák i in. 1987
Nadmiar wody	t	drzewa	+			Kriebeitzsch 1987
Niska temp.	t	drzewa	+			Lovčij 1962
Wysoka temp.	k	liście drzew		+		Stojanov 1964

¹ Gazy i pyły emitowane przez huty miedzi.

² Gazy i pyły emitowane przez huty cynku i ołowiu.

³ Gazy i pyły emitowane przez huty żelaza, koksownie i elektrociepłownie.

⁴ Mieszanki różnych gazów (SO₂, CO, NO, węglowodórów), par smoły oraz pyłów węglowych i zawierających metale ciężkie.

⁵ Gleba zmieszana w różnych proporcjach z pyłem zawierającym sole kadmu (Cd), ołowiu (Pb) i cynku (Zn).

⁶ Głównie metan, etylen, aceton, kwas octowy, chloroetylen, benzen i chlor.

⁷ Dotyczy zarówno tolerancji na zasolenie stref korzeniowych drzew rosnących przy drogach i w środowisku miejskim, jak i wzdłuż szlaków komunikacyjnych poza miastami.

Tabela 2

Zestawienie niektórych prac dotyczących badań w warunkach kontrolowanych (k) i terenowych (t), nad wpływem abiotycznych czynników stresowych na wzrost oraz ważniejsze procesy fizjologiczne i metabolizm *Fraxinus excelsior*

Czynnik	Typ badań	Roślina (organ)	Badane procesy (metabolity)	Uwzględnione czynniki (uwagi)	Źródło
SO ₂	k	2-letnie siewki	fotosynteza	czas ekspozycji, stężenie SO ₂	Brenninger, Tranquillini 1983
HF	k	pędy odcięte z drzew	chlorofil, karoten, wiolaksantyna, luteina	stężenie HF, czas po ekspozycji	Prisedskij 1985
Gazy (SO ₂)	t	drzewa	fotosynteza	stopień uszk.	Piskornik 1969
Gazy ¹	t	drzewa	wzrost radialny	stopień uszk.	Fluckinger i in. 1984
Gazy i pyły ²	t	sadzonki	ruchy szparek	czas ekspozycji	Fluckinger i in. 1977
NaCl	k	młode drzewa w doniczkach	potencjał wodny, opór dyfuzyjny szparek, zawartość K, Na, Ca, Mg, Cl w komórkach epidermy	żywienie mineralne	Leonardi i Fluckinger 1985, 1986
Ropa naftowa ³	k	siewki	wzrost korzeni	stężenie, regulatory wzrostu (GA ₃)	Kentze i Szczepkowska 1988
Susza	t	drzewa	transpiracja	wilg. gleby, pochlan. wody przez korzenie	Krasulin i Pankratowa 1957
Susza	k	4-letnie siewki	transpiracja, opór dyfuzyjny szparek, wzrost siewek	potencjał wodny roztworu glebowego	Aussenac i Levy 1983
Susza	t	drzewa	wzrost radialny	wiek drzew	Han i in. 1991
Nadmiar wody	t	drzewa	transpiracja	6 lat po zalaniu powierzchni	Čermak i in. 1987
Wysoka temperatura	k	drzewa	fotosynteza netto, temp. pkt. kompens.	pomiary na odciętych liściach	Stojanov 1964
Niska temp.	k	drzewa	skrobia	zmiany w pędach (cięte skrawki)	Sauter 1967
Niska temp.	k	drzewa	ustępowanie spoczynku	substancje wzrostowe	Villers i Wareing 1965

¹ O₃+SO₂+NO_x, powodujące zakwaszenie gleby i wzrost zawartości jonów Al³⁺.

² Gazy (głównie SO₂ i NO₂) oraz pyły wzdłuż dróg o dużym nasileniu ruchu samochodowego.

³ Wyciągi wodne z surowej ropy naftowej.

u *Fraxinus excelsior* dopiero, gdy zapas wody w glebie był bardzo znikomy. Wzrost oporu dyfuzyjnego aparatów szparkowych następował znacznie szybciej w przypadku siewek dębu, gdy potencjał wodny w pędach wynosił -14 bar, niż jesionu (-30 bar). Jednakże zahamowanie wzrostu siewek następowało u obydwu gatunków przy obniżeniu potencjału wodnego gleby do jednakowego poziomu (-11 bar). W badaniach z siewkami kilku gatunków drzew liściastych, Wiersum i Harmanny (1983) stwierdzili bardzo wolne zmiany w przenikaniu wody do korzeni u jesionu wyniosłego, zarówno podczas odwodnienia gleby, jak i ponownego jej nawodnienia do optymalnego poziomu. Ta niewielka zdolność adaptacji jesionu wyniosłego może być przyczyną zawężonej skali ekologicznej tego gatunku. Z drugiej strony analiza wyników długoterminowych obserwacji różnych autorów, dotycząca oceny wpływu długotrwałych okresów suszy i tzw. suchych lat na przestrzeni dziewiętnastego i dwudziestego stulecia, pozwoliła umiejscowić *F. excelsior* na pozycji najmniej wrażliwego spośród 13 ocenianych gatunków drzew liściastych i iglastych (Asthaler 1984). Również, z badań terenowych Krasulina i Pankratovej (1957) wynika, że spośród jednocześnie występujących dwóch gatunków drzew: *F. excelsior* i *Quercus robur*, jesion jest gatunkiem znacznie łatwiej przystosowującym się do fluktuacji uwodnienia gleby i przy niedostatecznej wilgotności podłoża wygrywa on we współzawodnictwie o wodę z dębem.

Oprócz omawianego powyżej zagadnienia związanego z niedoborem wody istnieje również problem nadmiaru wody. Tak zwane zalewanie powierzchni gruntu (ang. flooding) powoduje znaczne ograniczenie w dostępności tlenu do korzeni roślin i wypłukiwanie z gleby składników pokarmowych. Dlatego też poszukuje się takich gatunków drzew, które znosiłyby tego typu warunki. Zaliczany jest do nich *F. excelsior*. Wykazał to między innymi Kriebeitzsch (1987), badając przydatność różnych gatunków drzew liściastych do zalesiania podmokłych terenów: na glebach bagiennych i powierzchniach często zalewanych, wzdłuż rzek w północnych Niemczech. Dister (1983) podjął próbę uszeregowania różnych gatunków drzew leśnych pod kątem ich wytrzymałości na zalewanie podłoża o strukturze gliniasto-ilastej. Na przykład, według jego informacji, *Salix alba* wytrzymuje do 190 dni zalania gruntów w ciągu roku, *Q. robur* – 97, *F. excelsior* – 40, a *Acer pseudoplatanus* – 4.

O podwyższonej tolerancji jesionu wyniosłego na nadmiar wody świadczą także wyniki obserwacji terenowych Čermáka i wsp. (1987). Istnieją jednak badania, w których autorzy wskazują na mniejszą, w porównaniu z innymi gatunkami (*Salix alba*, *Fraxinus americana*, *Populus alba*, niektóre kultywary *Populus nigra*, *Quercus robur* – Vlad 1944; *Salix* spp., *Platanus occidentalis*, *Ulmus laevis*, *U. campestris*, *Prunus domestica*, *P. insititia*, *P. spinosa* – Farský 1957), wytrzymałość *F. excelsior* na nadmiar wody.

Istotnym czynnikiem determinującym tolerancję drzew na zalewanie gruntu jest jakość wody. Wytrzymałość roślin w tych warunkach jest znacznie większa, gdy jest to woda świeża i płynąca, a nie stagnująca, co prowadzi do zmniejszenia zawartości w niej tlenu oraz uintensywnienia procesów gnilnych i chorobotwórczych (Farský 1957).

16.2.3. ZASOLENIE

Badania, jakie przeprowadzili Burg i Kopinga (1981), na podstawie obserwacji terenowych, pozwoliły im na sporządzenie listy drzew o podwyższonej tolerancji na działanie NaCl (tab. 1). Wymieniono w niej *F. excelsior*, który oceniono jako bardziej pewny w przeciwstawianiu się na tego typu szkodliwy czynnik niż *F. ornus* i *F. pennsylvanica*. Autorzy polecają go do nasadzeń zarówno w aglomeracjach miejskich, jak i poza nimi, wzdłuż dróg i autostrad, gdzie do odladzania i odśnieżania stosuje się często środki chemiczne (NaCl, CaCl₂, MgCl₂).

Na szczególną uwagę zasługuje bardzo wyczerpująca, przeglądowa praca Burga (1981), w której zestawił on wyniki badań wielu autorów, dotyczących określenia stopnia tolerancji drzew na zasolenie (głównie NaCl). Lista obejmuje aż 104 rodzaje, a w ramach nich wiele gatunków i odmian hodowlanych. Rozbudowana jest ponadto o wyszczególnienie drzew nadających się do miejsc z powierzchniowym zasoleniem wzdłuż szos o dużym nasileniu ruchu samochodowego, zasoleniem stref korzeniowych drzew rosnących na trawnikach i w miejscach spacerowych, łącznie dla obydwu wymienionych typów oraz wykazujących niespecyficzne uszkodzenia dla wpływu zasolenia. W przypadku *F. excelsior*, z zamieszczonych tam informacji 19 autorów, większość zaliczyła go do tolerancyjnych, pozostali do

średnio tolerancyjnych, a nikt do wrażliwych. Ponadto, analiza tych danych pozwala stwierdzić, że w ramach rodzaju *Fraxinus*, poza *F. holotricha* – ocenianym jako wrażliwy, pozostałe z badanych: *F. americana*, *F. excelsior*, *F. ornus*, *F. pennsylvanica*, i *F. viridis*, charakteryzują się dużą lub co najmniej średnią tolerancją. Brogowski i wsp. (1977), którzy przeprowadzili terenowe obserwacje 6 gatunków drzew i krzewów ozdobnych rosnących wzdłuż szos, gdzie stosowano NaCl do odmrażania nawierzchni, zaklasyfikowali jesion wyniosły jako średnio tolerancyjny i bardziej wrażliwy od czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.) oraz klonu cukrowego (*Acer saccharum* Marsh.). Widoczne objawy uszkodzeń liści jesionu obserwowali oni dopiero, gdy stężenie NaCl w glebie było większe niż 0,025%. Ponadto autorzy ci sugerują, na podstawie analiz chemicznych, że dobrym wskaźnikiem stopnia tolerancji roślin na zasolenie jest równowaga jonowa (szczególnie grup anionowych).

Niewiele wiadomo o fizjologiczno-biochemicznych mechanizmach reakcji *F. excelsior* na działanie chlorku sodowego. U jesionu wyniosłego stwierdzono objawy stresu osmotycznego pod wpływem NaCl typowe dla wszystkich roślin, charakteryzujące się wzrostem potencjału wodnego liści i oporu dyfuzyjnego aparatów szparkowych oraz nadmiernej akumulacji jonów Ca lub Mg w komórkach epidermy (Leonardi i Fluckinger 1985 i 1986, tab. 2). Ogólne wiadomości dotyczące wpływu zasolenia (głównie NaCl) na reakcję roślin nie będących halofitami, w aspekcie fizjologiczno-biochemicznym mechanizmów tolerancji, przedstawili w przeglądowym artykule Greenway i Munns (1980). Brak jednakże dokładniejszych danych dotyczących szkodliwego wpływu poszczególnych kationów i anionów. Wskazuje się na przykład, że szereg zaburzeń procesów fizjologicznych i przemian metabolicznych, pod wpływem substancji uważanych za typowe osmotyki, nie jest tylko skutkiem wywołania przez nie stresu osmotycznego, ale wynikiem toksycznego działania tych związków lub jonów powstałych w wyniku ewentualnej dysocjacji (Cress i Johnson 1987). Na przykład, Redmann i wsp. (1986), badając wpływ różnych soli na wpływ elektrolitu z komórek u kilku gatunków drzew, a w tym i *F. pennsylvanica*, stwierdzili, że to negatywne zjawisko spowodowane jest przez jony Cl⁻. Autorzy uszeregowali, na podstawie tego doświadczenia, szkodliwy wpływ poszczególnych soli na intensywność wpływu elektrolitu w następującej kolejności: NaCl > KCl > Na₂SO₄ > K₂SO₄.

Z badań o znaczeniu praktycznym, mówiących o możliwościach wykorzystywania drewna jesionu wyniosłego, należy przytoczyć te, jakie przeprowadzili Krauss i Raczkowski (1985). Spośród 14 gatunków drzew liściastych i iglastych, których drewno testowano w kontekście wytrzymałości na długotrwały wpływ wody morskiej (3,5% roztwór soli przez 110 tygodni), drewno jesionu okazało się bardzo wytrzymałe.

16.2.4. ZANIECZYSZCZENIA PRZEMYSŁOWE

Wrażliwość drzew na zanieczyszczenia emitowane z takich źródeł, jak zakłady chemiczne, huty, koksownie, elektrociepłownie i podobne zależy przede wszystkim od gatunku roślin, typu substancji skażających środowisko i ich stężenia. Kontic i wsp. (1990) stwierdzili brak zmian lub nawet niewielki wzrost średnich rocznych przyrostów drewna z co najmniej 120 ostatnich lat (do 1986 roku) u drzew *Fraxinus excelsior* i *Fagus sylvatica*, a obniżenie u *Abies alba* i *Picea abies*. Autorzy przypisują tę różnicę niejednakowym wymaganiom poszczególnych gatunków, a przez to różnemu wpływowi zanieczyszczeń przemysłowych. Pełnią one funkcję nawożenia w przypadku pierwszych z wymienionych gatunków, uważanych powszechnie za stosunkowo tolerancyjne na zanieczyszczenia przemysłowe, w przeciwieństwie do drugich uznawanych za bardzo wrażliwe, dla których te same dawki są już prawdopodobnie szkodliwe. Na ogół jednak większość emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń przemysłowych jest toksyczna nawet w niewielkich stężeniach. Jak zauważają cytowani autorzy, obserwowana przez nich tendencja może z czasem i dla tych mniej wrażliwych gatunków ulec zmianie.

Sporządzane przez różnych autorów zestawienia ocen wrażliwości roślin opierają się w większości na 3-stopniowej skali: tolerancyjne, pośrednie i wrażliwe. Analizując tego typu publikacje, można zauważyć, że zarówno rodzaj *Fraxinus* w porównaniu innymi rodzajami roślin drzewiastych, jak i *F. excelsior* w porównaniu z innymi gatunkami w ramach tego samego rodzaju, charakteryzują się dużą zbieżnością ocen różnych badaczy. Klasyfikowane są najczęściej jako średnio tolerancyjne i tolerancyjne na działanie: związków fluoru (fluorowodoru i fluorków), amoniaku, azotanu, nadtlenku acetylu (PAN) oraz mieszaniny różnych gazów, a średnio toleran-

cyjne i wrażliwe na działanie dwutlenku siarki i ozonu (Wentzel 1968; Wood 1970; Mooi 1974, 1982; Davis i Wilhour 1976; Kluczyński 1976; Białobok 1979; Suchara 1980; Białobok i in. 1984). Przykłady ocen stopnia tolerancji *Fraxinus excelsior* na działanie różnego typu zanieczyszczeń powietrza – toksycznych gazów oraz pyłów węglowych i zawierających sole toksycznych metali zamieszczono w tabeli 1.

Wzrost i kondycja roślin uzależniona jest od prawidłowej koordynacji w uzyskiwaniu i rozdzieleniu węgla, wody i substancji pokarmowych przez główne ich organy (korzeń, pień, łodyga, liście, kwiat i/lub owoc) oraz pomiędzy głównymi rodzajami metabolicznych funkcji (wegetatywnego wzrostu, zachowawczych, obronnych i reprodukcyjnych). Zanieczyszczenie środowiska prowadzi do zaburzeń normalnych dróg pozyskiwania i rozdziału metabolitów. W efekcie powoduje to między innymi zaburzenia w alokacji biomasy (Lechowicz 1987). Wpływ takich gazów jak SO_2 , O_3 , ich mieszaniny lub NO_2 , hamuje znacznie bardziej przyrost biomasy korzeni niż części nadziemnych, co ma istotne, negatywne odbicie w ograniczeniu pobierania wody i składników pokarmowych. Czyni to roślinę bardziej wrażliwą na cały szereg innych abiotycznych czynników stresowych, a głównie tych, które powodują stres wodny (niska wilgotność gleby i powietrza, silne wiatry, wysoka i niska temperatura, zasolenie itp.). Prowadzi to również do zwiększenia wrażliwości roślin na wpływ czynników biotycznych – owadów i patogenów (grzybowych, bakteryjnych i wirusowych) (patrz rozdz. 16.2.7). Niestety badania związane z alokacją biomasy wykonywano głównie na drzewach innych rodzajów niż *Fraxinus*, a w ramach tego rodzaju na innych gatunkach niż *F. excelsior*. Między innymi Kress i Skelly (1982) stwierdzili, że działanie NO_2 w istotnym stopniu redukowało wzrost korzeni u *F. americana*, a nie wpływało na zmianę wzrostu pędów. Jednocześnie ci sami autorzy obserwowali brak wpływu O_3 na zmianę stosunku przyrostu korzeni do pędów u siewek *F. americana* i *F. pennsylvanica*. Podobne zależności występują przy porównaniu pędów i liści. W tym jednak przypadku stwierdza się nie tylko wpływ gazu na bardziej drastyczne zahamowanie przyrostu biomasy pędów niż liści, ale niekiedy obniżenie biomasy pędów przy jednoczesnym wzroście biomasy liści. Wykazali to na przykład Shankin i Kozłowski (1984) u siewek *F. pennsylvanica* eksponowanych na działanie SO_2 .

Określona reakcja roślin na działanie toksycznych gazów determinowana jest w istotnym zakresie przez takie czynniki zewnętrzne, jak wilgotność i temperatura powietrza, natężenie oświetlenia czy nawożenie. Tego typu badania przeprowadzane są głównie z wykorzystaniem roślin zielnych, rzadziej drzewiastych, a w ramach tych ostatnich w niewielkim stopniu z udziałem rodzaju *Fraxinus*. Ponieważ jednak wyniki uzyskiwane w przypadku drzew, niezależnie od gatunku, a nawet rodzaju, są stosunkowo zbliżone, można je przytoczyć. Między innymi większą wrażliwość na SO_2 przy wyższej względnej wilgotności powietrza, stwierdzili Norby i Kozłowski (1982) u *Betula papyrifera*, a Rohmeder i Schönborn (1965) u drzew z rodzaju *Acer*, *Fagus* i *Betula* na wpływ HF. Ostatni z wymienionych autorów wykazali również, w tym samym doświadczeniu, wzrost uszkodzenia powierzchni liści przy wyższym natężeniu oświetlenia. Natomiast na zwiększenie stopnia wrażliwości siewek *F. pennsylvanica* i *B. papyrifera* pod wpływem SO_2 wraz ze wzrostem temperatury powietrza podczas fumigacji wskazują Norby i Kozłowski (1981).

Mechanizm związany z modyfikacjami stopnia wrażliwości roślin na działanie toksycznych gazów wiązany jest z reakcją aparatów szparkowych – ich otwieraniem w warunkach podwyższonej wilgotności powietrza i intensywności oświetlenia (Davies i Kozłowski 1974) oraz temperaturze (Norby i Kozłowski 1981). Potwierdzają to wyniki uzyskane przez Kimmerera i Kozłowskiego (1981), którzy wykazali ścisłą zależność pomiędzy stopniem wrażliwości na SO_2 i przewodnictwem dyfuzyjnym szparek u 5 klonów *Populus tremuloides*. Dodatkowym potwierdzeniem tego typu zależności są doświadczenia, na podstawie których stwierdzono, że wzrost stopnia uszkodzenia roślin przez O_3 można wywołać na przykład przez zwiększenie dawki potasu, co powoduje otwieranie aparatów szparkowych (Noland i Kozłowski 1979). Na dużą rolę szparek w reakcji roślin na działanie toksycznych gazów wskazują też rezultaty badań Jensena i Kozłowskiego (1975), którzy stwierdzili, że siewki *F. americana*, charakteryzujące się większymi aparatami szparkowymi niż siewki *Acer saccharinum*, absorbują więcej dwutlenku siarki, a przez to wykazują większą wrażliwość.

W przypadku rodzaju *Fraxinus*, a gatunku *F. excelsior* w szczególności, bardzo niewiele publikacji zawiera opisy widocznych objawów uszkodzeń (nekroz) oraz dane dotyczące tak zwanych stężeń progowych dla różnych toksycznych zanieczyszczeń lub interakcji z innymi szkodliwymi czynni-

kami. Jednakże w tym kontekście na uwagę zasługują niektóre prace, ujmujące wpływ: HF i F (Dochinger 1971; Treshow 1971; Kluczyński 1976; Weinstein 1977), SO₂ (Hindawi 1970; Dochinger 1971; Serebrjakova i Men'sikov 1979; Halbwachs 1984), O₃ i PAN (Hindawi 1970; Dochinger 1971; Wood i Coppelino 1972) oraz Cl₂, NO₂ i NH₃ (Serebrjakova i Men'sikov 1979). Porównanie zewnętrznych objawów uszkodzeń, spowodowanych działaniem toksycznych zanieczyszczeń, z powstałymi na skutek wpływu innego typu czynników, jak patogenów grzybowych czy owadów, umożliwia sporządzony przez Hartmana i wsp. (1988) atlas z barwnymi fotografiami, w którym ujęto także *F. excelsior*.

Ze wszystkich aspektów dotyczących wpływu toksycznych zanieczyszczeń na drzewa z rodzaju *Fraxinus* stosunkowo najmniej wiadomo o zmianach natężenia procesów fizjologicznych i aktywności enzymów lub zawartości metabolitów. Informacje z tego zakresu tylko sporadycznie dotyczą *F. excelsior* (tab. 2), a w niedużym stopniu *F. americana* i *F. pennsylvanica* lub innych gatunków z tego rodzaju. Zawarte są one na ogół w większych opracowaniach, dla roślin różnych rodzajów i wpływu wielu zanieczyszczeń, głównie gazów o charakterze kwasowym, utleniającym, ich mieszanin oraz kationów toksycznych metali (Ziegler 1973; Ting i Heath 1975; Miszański 1981a, b; Wellburn 1982; Malhotra i Khan 1984; Reinert 1984; Pushnik i Miller 1990).

Na szczególną uwagę zasługuje wydany w ramach monografii „Nasze drzewa leśne” t. 21 pod redakcją Białoboka (1989), w którym zawarto wiele informacji dotyczących między innymi: opisu objawów uszkodzeń, wielkości dawek progowych, zaburzeń w procesach fizjologicznych i metabolizmie, interakcji pomiędzy różnymi szkodliwymi czynnikami abiotycznymi oraz biotycznymi u drzew egzystujących w warunkach skażonego środowiska, w tym i z rodzaju *Fraxinus*.

Aktualnym zagadnieniem jest poszukiwanie wczesnych metod oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na rośliny, jeszcze przed pojawieniem się widocznych objawów uszkodzeń (nekroz liści, usychania gałęzi i zamierania całych drzew). Wykorzystuje się do tego celu pomiary zmian zawartości makro- i mikroelementów w roślinach, natężenia niektórych procesów fizjologicznych lub stopień zaburzeń metabolizmu (zmian aktywności enzymów, poziomu metabolitów). Z badań, w których ujęto jesion wyniosły, warto przytoczyć kilka prac dotyczących pomiarów zmian dla

niektórych cech kory drzew, w następstwie wpływu zanieczyszczeń przemysłowych. Wnioski z tych badań, jak i sugestie autorów co do możliwości wykorzystywania tego typu pomiarów w bioindykacji skażenia środowiska, są wyjątkowo zgodne i jednoznaczne. Lotschert i Kohm (1977), po przebadaniu około 2000 próbek kory, pobranej z 500 drzew *Fraxinus excelsior* rosnących w terenie o różnym stopniu skażenia atmosfery przez zanieczyszczenia przemysłowe, stwierdzili, że pomiary pH i zawartości siarki w korze mogą być wykorzystywane jako wskaźniki stopnia skażenia powietrza przez SO_2 , a poziom Ca^{2+} – emisji pyłów. Podobnie Johnsen i Soechting (1974), badając pH i zawartość S w korze drzew tego samego gatunku, rosnących w różnych odległościach (do 25 km) od źródła emisji SO_2 stwierdzili, że ze wzrostem stężenia tego gazu w powietrzu pH zmniejszało się z 5,0 do 3,0, a zawartość siarki wzrastała z 0,25 do 0,45% w stosunku do suchej masy. Do takich samych wniosków doszli: Grodzińska (1971) oraz Lotschert i Kohm (1973), stwierdzając ponadto, że równie dobrym wskaźnikiem jest pojemność buforowa kory, której wartość zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia SO_2 w powietrzu.

Istnieją metody pozwalające ograniczyć wpływ lub złagodzić skutki szkodliwego działania zanieczyszczeń przemysłowych (Karolewski 1991). Większość z nich dotyczy prób na niewielką skalę, w warunkach kontrolowanych lub wręcz laboratoryjnych. Większe przedsięwzięcia są bardzo kosztowne, a stosowanie ich w praktyce wzbudza kontrowersje, szczególnie, gdy proponuje się stosowanie środków chemicznych. W niektórych z tych badań ujęto *F. excelsior*. Obniżenie uszkodzeń liści u drzew tego gatunku, rosnących w terenie skażonym przez kwaśne opady (głównie H_2SO_4 i związki fluoru), uzyskał Grimstad (1985), usuwając 5 cm warstwę powierzchniową i mieszając pozostałą glebę do głębokości 15–20 cm z wapnem, z dodatkowym nawożeniem (NPK). Z wyników badań terenowych o znaczeniu praktycznym należy przytoczyć uzyskane przez Gilberta (1976). Autor sugeruje, że w uprawach leśnych *F. excelsior*, *Acer campestre* i *A. pseudoplatanus*, w terenie będącym pod wpływem emisji SO_2 , powinny być wkomponowane pasy, z bardzo odporną na tego typu warunki siedliskowe, wierzbą białą (*Salix alba*). W przypadku *F. excelsior* poprawiło to o 50% roczny jego przyrost, w porównaniu z tym samym składem, ale bez wprowadzenia wierzb.

16.2.5. URBANIZACJA

Specyficznym warunkom egzystencji poddane są drzewa rosnące w środowisku miejskim, a szczególnie o wysokim stopniu uprzemysłowienia. W tym kontekście na wyjątkową uwagę zasługuje artykuł Łukasiewicza (1989). Lokalizacja wokół tych ośrodków wielu uciążliwych dla środowiska zakładów przemysłowych i elektrociepłowni oraz stosowanie w zimie chemicznych środków do odmrażania ciągów komunikacyjnych powoduje, omawiane już wyżej skażenie atmosfery, gleby i wody oraz nadmierne zakwaszenie i zasolenie podłoża. Znaczną pozycję w stopniu skażenia środowisk miejskich zajmują zanieczyszczenia pochodzące z intensywnego wykorzystywania środków transportu z silnikami spalinowymi. Z badań, jakie przeprowadzili Kentzer i Szczepkowska (1988) wynika, że rozpuszczalne w wodzie składniki ropy naftowej w znacznym stopniu hamują wzrost, a nawet powodują zanik korzeni u siewek *F. excelsior*. Gatunek ten został określony jako wrażliwy na działanie podobnego typu substancji – par smoły i paku (Wieler 1919, wg Wyżgolik 1992).

W warunkach miejskich następuje również podwyższenie temperatury powietrza, w porównaniu z terenami pozamiejskimi – średniorocznej o około $1,5^{\circ}\text{C}$, a średniomiesięcznych w okresie letnim o $3+7^{\circ}\text{C}$ (Meyer 1978; Miess 1978). Powoduje to znaczne straty energii roślin, na skutek wzmożonego ich oddychania, a w ekstremalnych przypadkach może prowadzić do uszkodzenia protoplazmy (Meyer 1978). Z drugiej strony stosowana często wysoka zabudowa sprzyjać może, przez zacienianie, redukcji natężenia promieniowania cieplnego i światła fotosyntetycznie czynnego. Jest to istotne w przypadku gatunków roślin światłolubnych, jakim jest jesion wyniosły. Jak twierdzi Vezina (1960), w przeciwieństwie do buka – gatunku tolerancyjnego na zacienienie, wpływ intensywności promieniowania na wzrost wysokości, gęstość korony i wigor jest u jesionu bardzo duży. Badania tego autora, przeprowadzone w warunkach szklarniowych z siewkami jesionu wykazały, że przy natężeniu promieniowania słonecznego w wysokości 45% pełnego nasłonecznienia uzyskuje się większe przyrosty wysokości, suchej masy części nadziemnej i liczby liści niż przy 27 i 88%, chociaż całkowita sucha masa jest największa przy 88%. Dodatkowo autor stwierdził, że przy każdym ze stosowanych przez niego stopni względnego natężenia napromieniowania u trzyletnich siewek (12, 22, 50 i 86%), więk-

sza wilgotność (symulowane opady deszczu) powoduje lepszy ich wzrost. W konkluzji stwierdza on, że dla jesionu wyniosłego najbardziej właściwym natężeniem oświetlenia jest poziom 50% pełnego nasłonecznienia, a we wczesnym stadium wiekowym wystarcza nawet 30%. W odróżnieniu od poprzednich badaczy, Lyr i wsp. (1964) zaliczyli *Fraxinus excelsior* do gatunków bardzo tolerancyjnych na zacienienie. Autorzy ci stwierdzili, że w stosunku do innych gatunków (*Betula verrucosa*, *Pinus sylvestris*, *Larix decidua*, *Quercus borealis* i *Picea abies*) – bardziej wymagających pod tym względem, absolutne minimum w procentach do pełnego oświetlenia, dla *F. excelsior* wynosi tylko 2–3%. Stosując zacienianie na różnych poziomach pełnego oświetlenia: 100, 68, 35, 12 i 1%, stosunek biomasy korzeń/pęd był znacznie mniej zmienny niż u innych gatunków i wynosił odpowiednio: 1,03; 1,01; 0,96; 0,87 i 0,64.

W zależności od usytuowania ciągów ulicznych i kierunku oraz natężenia wiatrów, dochodzić może do spotęgowania ich prędkości, co powoduje wzmoczenie transpiracji i parowania, a nawet uszkodzenie nasadzeń (Lansberg 1983). Odrębnym zagadnieniem są uszkodzenia mechaniczne spowodowane przez człowieka i czynniki naturalne. Między innymi stwierdzono, że liczba burz nad miastami jest o 13–63% większa niż poza nimi (Miess 1978).

Bardzo istotnym, negatywnym elementem w środowisku miejskim są zmienne warunki glebowe (Łukasiewicz 1989). Dotyczy to przede wszystkim zmian składu mechanicznego i chemicznego gleby i podglebia, ich właściwości fizycznych, struktury, zawartości próchnicy, zasobności w składniki mineralne, odczynu, stopnia nawilgocenia i napowietrzenia oraz wytworzenia specyficznej mikroflory i mikrofauny. Wszystko to prowadzi do obniżenia zawartości tlenu w glebie, nawet do krytycznego dla drzew poziomu 12%.

Na podstawie badań własnych Łukasiewicz (1975, 1989), wyróżniając trzy grupy odporności drzew na warunki miejskie (dużą, średnią i małą), przypisał w tej klasyfikacji jesionowi wyniosłemu pośrednie miejsce. Na stosunkowo uniwersalne wykorzystanie *F. excelsior* wskazuje Zaręba (1986). Na podstawie analizy wcześniejszych i aktualnych ocen statusu tego gatunku w Polsce, poleca go jako gatunek zamienny ze słabo rosnącymi, grabem i olchą, wskazując tolerancyjność na skażenie środowiska, zarówno na terenach nizinnych, jak i do 1100 m n.p.m. w górach. Ponadto jesion wyniosły zalecany jest do parków i zadrzewień przydomowych, ze względu na walory terapeutyczne.

16.2.6. INNE CZYNNIKI ABIOTYCZNE (POLE ELEKTROMAGNETYCZNE, PROMIENIOWANIE GAMMA)

Liczne badania wskazują, że pole elektromagnetyczne wywiera duży wpływ na organizmy roślinne. Przykłady prac, w których wykazano, że pole elektromagnetyczne o dużym natężeniu, to jest rzędu tysięcy erstedów (Oe), działa destrukcyjnie na przebieg cyklu komórkowego, natomiast o małym natężeniu (0,5–100 Oe) stymuluje podziały komórkowe, kiełkowanie nasion i tempo wzrostu siewek, przytacza Kobrzyński (1993). Przeprowadzano je jednakże na innych niż *Fraxinus excelsior* gatunkach roślin.

Większość badań związanych z wpływem promieniowania gamma (γ) na rośliny polega na napromieniowaniu nasion i następnie określeniu ich przeżywalności, zdolności do kiełkowania, a później tempa wzrostu siewek. Objęto nimi także jesion wyniosły. Chira i Kantor (1970) przedstawili dane dotyczące wpływu promieni γ na suche i stratyfikowane nasiona 10 gatunków drzew iglastych i liściastych, w których ujęto wielkości dawek krytycznych i śmiertelnych. Prawie u wszystkich gatunków działanie promieniowania do 100 kR (kilo rentgenów) inhibowało kiełkowanie nasion, a tylko w przypadku *F. excelsior* var. *pendula* i *Acer negundo* stymulowało je. Dalsze obserwacje wykazały, że napromieniowanie nasion nie wpływało na zróżnicowanie wysokości siewek (w porównaniu z kontrolą), gdy pomiaru dokonano po okresie jednego roku. W podobnego typu badaniach stratyfikowane nasiona *F. excelsior* poddano działaniu, bliżej nie określonej dawki promieniowania γ , którego źródłem był radioaktywny kobalt (Sapankevič 1964). Stosowano różny czas: 1, 2, 3, 24 i 48 godzin. Określona po 5 latach śmiertelność siewek (80–90% dla wszystkich wariantów) nie różniła się istotnie od kontroli (84%). Natomiast stwierdzono istotne zróżnicowanie we wzroście wysokości siewek i średnicy pnia, które były największe u napromieniowanych przez 3 i 24 godziny.

16.2.7. JEDNOCZESNY WPLYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW ABIOTYCZNYCH I BIOTYCZNYCH

Główną przyczyną rozbieżności wyników badań laboratoryjnych i terenowych jest to, iż w tym drugim przypadku mamy do czynienia dodatkowo z wpływem innych, poza interesującymi nas, czynnikami środowiska. Jed-

noczesne działanie różnych czynników może zarówno łagodzić, jak i potęgować stres, jaki doznaje roślina. Zależności te nie muszą być jednak stałe i mogą zmieniać się zależnie od czasu. Ponadto należy pamiętać, że w warunkach naturalnych następują często drastyczne fluktuacje natężenia działających czynników.

W celu zobrazowania powyższego można przytoczyć między innymi wyniki badań, które uzyskał Kriebitzsch (1987). Autor stwierdził, że skutki wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na *Fraxinus excelsior* i niektóre inne gatunki drzew liściastych są mniejsze, jeżeli rosną one na terenach podmokłych niż osuszonych. Przyczyną tego, jak sugerują Norby i Kozłowski (1983), po przeprowadzeniu badań z siewkami brzozy *Betula papyrifera* i *B. nigra*, poddanych działaniu SO_2 przy różnym stopniu uwodnienia podłoża, jest zamykanie aparatów szparkowych na skutek nadmiaru wody w glebie i przez to obniżenie pochłaniania tego gazu. Jednakże, jak dalej wykazali to ci sami autorzy, długotrwałe i intensywne nawodnienie gleby powoduje przyspieszenie powstawania chloroz liści, degradację systemu korzeniowego oraz zahamowanie przyrostu suchej masy. Podobnie długotrwała susza powoduje zwiększenie wrażliwości tego gatunku na nadmierną alkalizację, spowodowaną imisją pyłu cementowego (Voron 1986).

Zarówno zanieczyszczenia powietrza, jak i niska temperatura wywołują u roślin stres osmotyczny. Jest to przyczyną obserwowanych, niekorzystnych (addytywnych lub synergistycznych) efektów działania tych czynników. Opis jednoczesnego wpływu toksycznych gazów (O_3 , SO_2 , NO_2 , ich mieszanin) i niskiej temperatury na ważniejsze procesy fizjologiczne i metabolizm oraz powstawanie widocznych objawów uszkodzeń znaleźć można w przeglądowej pracy Davisona i wsp. (1988).

Jednoczesny wpływ niekorzystnych czynników abiotycznych i biotycznych jest także bardzo złożonym problemem. Z jednej strony istnieją doniesienia, że działanie substancji emitowanych przez zakłady przemysłowe jest szkodliwe również dla wielu owadów i patogenów – eliminując ich występowanie na powierzchniach objętych wpływem emisji, a z drugiej wykazuje się, że osłabione drzewa na skutek działania szkodliwych imisji są znacznie bardziej podatne na atak różnych szkodników i patogenów grzybowych (Treshow 1975; Sierpiński 1985; Kiełczewski i Siwecki 1989).

Jak to sygnalizowano wyżej, zanieczyszczenie środowiska przez wprowadzanie do atmosfery, gleby i wody szkodliwych substancji chemicznych (gazów, soli toksycznych metali, pyłów) czyni drzewa bardziej podatne na atak szkodników i patogenów. Butin i Kowalski (1986) badali u kilku gatunków drzew liściastych, w tym i jesionu wyniosłego, rosnących w terenie skażonym przez zanieczyszczenia powietrza na obszarze południowej Polski i Dolnej Saksonii, liczebność i lokalizację grzybów patogenicznych, specyficznych dla danego gospodarza. Analizy enzymatyczne wykazały przyczynowo-skutkowe związki pomiędzy grzybami i procesem zamierania (usychania) gałęzi. Infekcję głównych pni obserwowano tylko w przypadku drzew pierwotnie uszkodzonych na skutek emisji zanieczyszczeń powietrza. Przyczyn tego upatruje się w rozmaitych zjawiskach, od ogólnego osłabienia kondycji drzew, do powodowania specyficznych przemian metabolicznych, stwarzających korzystne warunki do ingerencji biotycznych czynników o charakterze patogenicznym (Heagle 1982; Hughes i Laurence 1984; Huttunen 1984). Na przykład, zwiększony poziom azotu (nadmierne nawożenie azotowe, emisja tlenków azotu) powoduje obniżenie zawartości fenoli w tkankach co, jak sugerują niektórzy badacze, jest główną przyczyną zwiększenia roślin podatności na atak patogenów grzybowych (Balsberg-Pålsson 1992).

Z drugiej strony zmniejszenie stopnia porażenia drzew przez patogeny grzybowe może być wskaźnikiem stanu skażenia środowiska. Do takich wniosków doszli Dowding i Carvill (1980), którzy pobierali krążki liściowe z drzew *Fraxinus excelsior* rosnących w 37 punktach wokół Dublinu, o różnym stopniu skażenia powietrza (głównie SO₂). Wyniki oceny liczby kolonii *Sporobolomyces roseus* Kluver, przy dalszej ich hodowli na agarze, jak sugerują to autorzy, mogą być wykorzystywane do oceny stopnia skażenia środowiska w terenach miejsko-przemysłowych.

W przypadku egzystencji drzew w warunkach nadmiaru wody w podłożu i na jego powierzchni (zalania gruntu) istotnym czynnikiem jest temperatura. Im jest ona wyższa (np. upały letnie), tym drzewa są mniej wytrzymałe. Obserwacje takie, dla wielu gatunków drzew liściastych, a w tym i *F. excelsior*, poczynił Farský (1957).

Przytaczane powyżej przykłady dotyczyły analizowania i prób wyjaśniania współzależności jednoczesnego wpływu tylko dwóch różnych czynników. Dlatego należy sobie zdawać sprawę z niejednoznaczności uzyski-

wanych rezultatów i konieczności ostrożnego formułowania wniosków dotyczących wpływu określonego czynnika stresowego, jeżeli badania były przeprowadzane w warunkach terenowych.

16.2.8. WPLYW CZYNNIKÓW WEWNĘTRZNYCH (STADIUM ROZWOJOWE ORGANÓW I WIEK ROŚLIN) W TOLERANCJI NA STRES ABIOTYCZNY

Brak jest danych dotyczących zróżnicowania stopni wrażliwości, na działanie zanieczyszczeń przemysłowych drzew jesionu wyniosłego w zależności od wieku i stadium rozwoju organów asymilacyjnych. Wyniki badań tego typu, prowadzonych u wielu innych gatunków drzew, są bardzo rozbieżne i brak do dzisiaj jednoznacznych wniosków (Karolewski 1989). Ponadto, zmiany w stopniu wrażliwości roślin z ich wiekiem mogą przebiegać przeciwnie co do kierunku, na przykład w zależności od rodzaju toksycznych zanieczyszczeń (SO_2 i O_3 , Berry 1974). W przypadku drzew sugeruje się, że młodsze drzewa są bardziej tolerancyjne na wpływy imisji przemysłowych niż starsze (Garber 1967; Wentzel 1968; Poznański i Banaś 1993).

Wyniki badań wpływu niekorzystnych stosunków wodnych u zróżnicowanych wiekowo drzew są bardziej spójne i wskazują na większą wytrzymałość starszych niż młodszych osobników. Między innymi Han i wsp. (1991), wykorzystując szereg standardowych technik badań dendrochronologicznych, stwierdzili, że wpływ susz występujących w różnych latach oznacza się bardziej niekorzystnie w przypadku młodszych niż starszych drzewostanów jesionu amerykańskiego (*Fraxinus americana*). Podobnie, ale w odmiennych warunkach – nadmiaru wody (zalania gruntów), większą wrażliwością charakteryzują się młodsze niż starsze drzewa różnych gatunków, a w tym i jesionu wyniosłego (Vlad 1944; Farský 1957).

Na większą odporność starszych niż młodszych drzew wskazują również wyniki, które uzyskał Lovicki (1962), oceniając wpływ niskich temperatur. Jednakże autor stwierdził, że regeneracja i powrót do normalnego stanu, po ustaniu wpływu tego czynnika, następuje szybciej u młodszych niż starszych drzew.

LITERATURA

- Antipov V. G. 1957. Vlijanie dyma i gaza, vybrasyvanykh promyšlennymi predprijatjami, na sezonnoe razvitije drev'ev i kustarnikov. Bot. Zhurn. 42(1): 92–95.
- Asthalter K. 1984. Trockenperioden und Waldschäden aus forstgeschichtlicher und standortkundlicher Sicht. Allgemeine Forstzeitschrift 22: 549–551.
- Aussenac G., Levy G. 1983. Influence du dessèchement du sol sur le comportement hydrique et la croissance du chêne pédonculé (*Quercus pendunculata* Ehrh.) et du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) cultivés en cases de végétation. Annales des Sc Forst 40(3): 251–263.
- Balsberg-Påhlsson A. M. 1992. Influence of nitrogen fertilization on mineral, carbohydrates, amino acids and phenolic compounds in beech (*Fagus sylvatica* L.). Tree Physiology 10: 93–100.
- Berry C. R. 1974. Age of pine seedlings with primary needles affects sensitivity to ozone and sulfur dioxide. Phytopath. 64: 207–209.
- Białobok S. 1978. Ochrona roślin w najbliższym otoczeniu człowieka. W: Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego. Zakład Ochrony Przyrody PAN, 2: 255–284.
- Białobok S. 1979. Identification of resistant or tolerant strains and artificial selection or production of such strains in order to protect vegetation from air pollution. Symp. on the effects of air-borne pollution on vegetation. Warsaw, 20–24 August 1979: 16 ss.
- Białobok S. (red.) 1989. Życie drzew w skażonym środowisku. Nasze drzewa leśne. 21. PWN, Poznań, 502 ss.
- Białobok S., Rachwał L. 1981. Studies on tolerance variability of trees and shrubs to air pollution and utilisation of the results in landscape establishment. Archiwum Ochrony Środowiska 2–4: 101–106.
- Białobok S., Oleksyn J., Rachwał L. 1984. Selection of trees and shrubs for forest restructuring in industrial regions. 8.4. W: Grodziński W., Weiner J., Maycock P. F. (red.). Forest ecosystems in industrial regions Springer Verlag. Berlin – Heisenberg – New York – Tokyo. Ecological Studies 49: 239–244.
- Bojarczuk T., Bugała W., Chylarecki H. 1980. Zrejonizowany dobór drzew i krzewów do uprawy w Polsce. Arbor. Kórnickie 21: 329–375.
- Braniewski S. 1983. Wpływ pyłów zawierających metale ciężkie na rozwój sadzonek drzew leśnych. Sylwan 127(11): 27–39.
- Brenninger C., Tranquillini W. 1983. Photosynthese, Transpiration und Spaltöffnungsverhalten verschiedener Holzarten nach Begasung mit SO₂. Eur. J. For. Path. 13(4): 228–238.
- Brogowski Z., Czerwiński Z., Pracz J. 1977. Stan równowagi jonowej a odporność drzew i krzewów parkowych na NaCl. Roczn. Nauk Roln. A. 102(2): 51–64.
- Bugała W. 1991. Drzewa i krzewy dla terenów zieleni. PWRiL, Warszawa: 594 ss.
- Burg J. van den. 1981. Tabellarisch overzicht van de gevoeligheid van bomen en struiken voor strooizout. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw 'de Dorschkamp', Wageningen, Repport 252, 24 ss.
- Burg J. van den, Kopinga J. 1981. De gevoeligheid van bomen voor strooizout. Tuin en Landschap 3(7): 28–31.

- Butin H., Kowalski T. 1986. Die natürliche Astreitung und ihre biologischen Voraussetzungen. III. Die Pilzflora von Ahorn, Erle, Birke, Hainbuche und Esche. Eur. J. Forest Path. 16(3): 129–138.
- Čermák J., Kučera J., Štěpánková M. 1987. Spotřeba vody u dominantních druhů lužního lesa v přechodném období po skončení pravidelných záplav. Acta Univ. Agricult. Ser. C (Facult. Silvicult.), Brno, 56(1–4): 5–25.
- Chira E., Kantor J. 1970. Sensitivity of seeds of some forest species to the action of gamma rays. Acta Univ. Agric. (Fac. Silv.), Brno, 39(4): 315–323.
- Cress W. A., Johnson G. V. 1987. The effect of three osmotic agents on free proline and amino acid pools in *Atriplex canescens* and *Hilaria jamesii*. Can. J. Bot. 65: 799–801.
- Dässler H. G., Ranft H., Rehn K. H. 1972. Zur Widerstandsfähigkeit von Gehölzen gegenüber Fluorverbindungen und Schwefeldioxid. Flora 161: 289–302.
- Davies W. J., Kozłowski T. T. 1974. Stomatal responses of five woody angiosperms to light intensity and humidity. Can. J. Bot. 52: 1525–1534.
- Davis D. D., Wilhour R. G. 1976. Susceptibility of woody plants to sulfur dioxide and photochemical oxidants. Ecological Research Series, EPA-600/3-76-102, September 1976: 72pp.
- Davison A. W., Barnes J. D., Renner C. J. 1988. Interaction between air pollutants and cold stress. W: Schulte-Hostede S., Darrall N. M., Blank L. W., Wellburn A. R. (red.). Air pollution and plant metabolism. Elsevier Applied Science, London – New York: 307–328.
- Dister E. 1983. Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen an lehmigen Standorten. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. 10: 325–336.
- Dochinger L. S. 1971. The symptoms of air pollution injuries to broad-leaves forest trees. 5-th IUFRO Congress, Sec.24. Fume Damage. Gainesville: 30 ss.
- Dowding P., Carvill P. H. 1980. A reduction of counts of *Sporobolomyces roseus* Kluyver on ash (*Fraxinus excelsior* L.) leaves in Dublin city. Irish J. Environ. Sci. 1(1): 65–68.
- Farský O. 1957. Škodlivé následky červencové povodně v lužních lesích na Gabčíkovsku v roce 1954. Lesn. Čas. 3(2/3): 100–157.
- Fluckiger W., Braun S., Fluckiger-Keller H. 1984. Untersuchungen über Waldschaden in der Nordwestschweiz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 135(5): 389–444.
- Fluckiger W., Fluckiger-Keller H., Oertil J. J., Guggenheim R. 1977. Versuchsmutung von Blatt- und Nadeloberflächen im Nahbereich einer Autobahn und deren Einfluss auf den stomataren Diffusionswiderstand. Eur. J. Forest Path. 7(6): 358–364.
- Garber K. 1967. Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Borntraeger, Berlin: 279 ss.
- Gilbert O. L. 1976. The establishment and subsequent growth of planted trees in polluted atmospheres. Ed. L. Kärenlampi proceedings of the Kuopio Meeting on Plant Damage Caused by Air Pollution Kuopio 1976: 126–132.
- Greenway H., Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 149–190.
- Grimstad S. O. 1985. Jordarbeiding, kalking og gjødsling til lignoser og gras i sterkt forurenselt industrimiljø. Forskning og Forsok i Landbruket 36(3): 117–125.

- Grodzińska K. 1971. Acidification of tree bark as a measure of air pollution in southern Poland. *Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. Biologiques*. 19: 189–195.
- Halbwachs G. 1984. Organismal responses of higher plants to atmospheric pollutants: Sulphur dioxide and fluoride. W: Treshow M. (red.). *Air pollution and plant life* John Wiley and Sons Ltd. Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore: 175–214.
- Han Y., Castello J. D., Leopold D. J. 1991. Ash yellows, drought, and decline in radial growth of white ash. *Plant disease* 75(1): 18–23.
- Hartmann G., Nienhaus F., Butin H. 1988. *Farbatlas Waldschaden: Diagnose von Baumkrankheiten*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 256 ss.
- Heagle A. S. 1982. Interactions between air pollutants and parasitic plant diseases. W: Unsworth M. H., Ormrod D. P. (red.). *Effects of gaseous air pollutants in agriculture and horticulture* Butterworths, London: 333–348.
- Hindawi L. J. 1970. Air pollution injury to vegetation. U.S. Dept. Health. Education and Welfare. National Air Pollution Control Administration. Raleigh, North Carolina: 44 ss.
- Holub Z. 1977. Fluórové zlúčeniny v pletivách rastlin. *Biologické práce*, Bratislava 23(5): 55–61.
- Hughes P. R., Laurence J. A. 1984. Relationship of biochemical effects of air pollutants on plants to environmental problems: Insect and microbial interactions. W: Kozioł M. J., Whatley F. R. (red.). *Gaseous air pollutants and plant metabolism*. Butterworths – London: 361–377.
- Huttunen S. 1984. Interactions of disease and other stress factors with atmospheric pollution. W: Treshow M. (red.). *Air pollution and plant life*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: 321–356.
- Innes J. L. 1990. Surveys of tree condition 1990. *Arboriculture Research Note*, Department of the environment 83: 2 ss.
- Jakucs P. 1988. Ecological approach to forest decay in Hungary. *Ambio* 17(4): 267–274.
- Jensen K. F., Kozłowski T. T. 1975. Absorption and translocation of sulfur dioxide by seedlings of four forest tree species. *J. Environ Qual.* 4: 379–382.
- Johnsen I., Soechting U. 1974. Influence of air pollution on the epiphytic lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos* 24(3): 344–351.
- Karnosky D. F. 1981. Chamber and field evaluation of air pollution tolerances of urban trees. *J. Arbor.* 7(4): 99–105.
- Karolewski P. 1989. Oddziaływanie zanieczyszczeń przemysłowych na procesy fizjologiczne i metabolizm roślin. W: Białobok S. (red.). *Życie drzew w skażonym środowisku*. *Nasze drzewa leśne* 21: 273–339. PWN, Poznań.
- Karolewski P. 1991. Czy można chronić rośliny przed wpływem gazowych zanieczyszczeń powietrza? W: Marciniak B., Siepak J. (red.). *Edukacja ekologiczna*, UAM, Poznań: 57–64.
- Kentzer T., Szczepkowska E. 1988. Growth responses of ash seedlings to air pollution and gibberellin. *Acta Physiol. Plant.* 10(2): 85–91.
- Kiełczewski B., Siwecki R. 1989. Szkodniki i choroby grzybowe drzewostanów w okręgach przemysłowych. W: Białobok S. (red.). *Życie drzew w skażonym środowisku*. *Nasze drzewa leśne* 21: 397–421. PWN, Poznań.

- Kimmerer T. W., Kozłowski T. T. 1981. Stomatal conductance and sulphur uptake of five clones of *Populus tremuloides* exposed to sulphur dioxide. *Plant Physiol.* 67: 990–995.
- Kluczyński B. 1976. Oddziaływanie fluoru i jego związków na rośliny. *Arbor. Kórnickie* 21: 401–418.
- Kobrzyński M. 1993. Badania nad wpływem pola elektromagnetycznego o wysokim natężeniu na przebieg cyklu komórkowego roślin. V Ogólnopolska konferencja biologii komórki, Wrocław 2–4 lipca 1993: 192.
- Kontic R., Braker O. U., Nizon V., Müller R. 1990. Jähringanalytische Untersuchungen im Sihlwald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 141(1): 55–76.
- Krasulin N. P., Pankratova N. M. 1957. Transpiracija kak pokazatel' pogloščeniya vody kornevoj sistemoj drevnych porod. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 113(4): 927–929.
- Krauss A., Raczkowski J. 1985. Resistance of various woody species to the action of sea water substitute. *Holzforschung und Holzverwertung* 37(4): 71–75.
- Kress L. W., Skelly J. M. 1982. Responses of several eastern forest tree species to chronic doses of ozone and nitrogen dioxide. *Plant Disease* 66: 1149–1152.
- Kriebitzsch B. H. 1987. Aufforstung der ehemaligen Domane Blexersande: Aufbau eines Erholungswaldes auf Marschenboden im Einzugsbereich der Stand Nordenham. *Aus dem Walde* 41: 270–284.
- Lansberg H. E. 1983. Miasto raj czy piekło? *Problemy* 2: 43–45.
- Lechowicz M. J. 1987. Resource allocation by plants under air pollution stress: Implications for plant-pest-pathogen interactions. *The Botanical Review* 53(3): 281–300.
- Leonardi S., Fluckiger W. 1985. Water relation of differentially salinized ash-tree in view of the effect of a protective nutrient solution. *Plant and Soil* 85(2): 299–304.
- Leonardi S., Fluckiger W. 1986. The influence of NaCl on leaf water relations and the proportions of K, Na, Ca, Mg, and Cl in epidermal cells of *Fraxinus excelsior* L. *Tree Physiol.* 2(1/3): 115–121.
- Lotscher W., Kohm H. J. 1973. Measurements of the pH and the sulphur contents of tree bark in areas suffering from atmospheric pollution. *Oecologia Plant.* 8(3): 199–209. [For. Abstr. 35 No 4473 (1974).]
- Lotscher W., Kohm H. J. 1977. Characteristics of tree bark as an indicator in high-emission areas. *Oecologia* 27(1): 47–64.
- Lovčij N. F. 1962. The effect of extremely low temperatures on the increment of trees. *Lesn. Zhurn.* 5(2): 33–36. [For. Abstr. 24 No 970 (1963).]
- Lyr H., Hoffmann G., Engel W. 1964. Über den Einfluss unterschiedlicher Beschattung auf die Stoffproduktion von Jungpflanzen einiger Waldbäume. II. *Mitt. Flora* 155(2): 305–330.
- Łukasiewicz A. 1975. Wpływ warunków miejskich na rytmikę rozwojową roślin. *Wiad. Bot.* 19(1): 85–90.
- Łukasiewicz A. 1989. Drzewa w środowisku miejsko-przemysłowym. W: Białobok S. (red.). *Życie drzew w skażonym środowisku. Nasze drzewa leśne*, 21: 49–85. PWN, Poznań.
- Malhotra S. S., Khan A. A. 1984. Biochemical and physiological impact of major pollutants. W: Treshow M. (red.). *Air pollution and plant life*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: 113–158.
- Meyer F. H. 1978. Bäume in der Stadt. E. Ulmer Stuttgart: 83–115, 182–194.

- Miess M. 1978. Umweltökologische Aspekte städtischer Siedlungsräume. Verlag. E. Ulmer. W: Bäume in der Stadt Stuttgart: 45–77.
- Miszalski Z. 1981a. Niektóre zagadnienia ingerencji SO_2 w proces fotosyntezy. I. Formy występowania i lokalizacja siarki w roślinie oraz wpływ SO_2 na pojemność buforową tkanki, aktywność fotosystemów, barwniki i poziom fotosyntezy. Wiadomości Bot. 25(1): 19–28.
- Miszalski Z. 1981b. Niektóre zagadnienia ingerencji SO_2 w proces fotosyntezy. II. Zmiany aktywności niektórych enzymów uczestniczących w procesie fotosyntezy i metabolizmie azotowym, zróżnicowanie wrażliwości roślin. Wiad. Bot. 25(2): 111–122.
- Mooi J. 1974. Onderzoek naar de gevoeligheid en opnamecapaciteit van houtige gewassen voor waterstoffluoride (HF). Groen 10: 321–328.
- Mooi J. 1976. Verslag van onderzoek naar de invloed van SO_2 , O_3 en C_2H_4 op houtige gewassen met behulp van langdurende, kunstmatige begassing gedurende de jaren 1973–1974–1975. I.P.O., Wageningen, Report R 157: 1–43.
- Mooi J. 1982. Beschadigingen door luchtverontreiniging. 13. W: Bosbescherming. Pudoc, Wageningen: 350–368.
- Noland T. L., Kozłowski T. T. 1979. Influence of potassium of susceptibility of silver maple to ozone. Can. J. For. Res. 9: 501–503.
- Norby R. J., Kozłowski T. T. 1981. Relative sensitivity of three species of woody plants to SO_2 at high or low exposure temperature. Oecologia (Berl.) 51: 33–36.
- Norby R. J., Kozłowski T. T. 1982. The role of stomata in sensitivity of *Betula papyrifera* seedlings to SO_2 at different humidities. Oecologia (Berl.) 53: 34–39.
- Norby R. J., Kozłowski T. T. 1983. Flooding and SO_2 stress interaction in *Betula papyrifera* and *B. nigra* seedlings. Forest Sci. 29(4): 739–750.
- Öztürk M., Szaniawski R. K. 1981. Root temperature stress and proline content in leaves and roots of two ecologically different plant species. Z. Pflanzenphysiol. 102: 375–377.
- Parpan V. I., Jukhimčuk G. V. 1984. Chlorine accumulation by leaves of trees and shrubs in the Carpathian foothills. Lesovodstvo i Agrolesomieloratsija 68: 36–38. [For. Abstr. 47 No 1131 (1986).]
- Piskornik Z. 1969. Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na fotosyntezę drzew liściastych. Biul. Zakł. Badań Nauk, Górnośl. Okr. Przem. PAN 12: 155–178.
- Poznański R., Banaś J. 1993. Wstępne wyniki oceny stopnia żywotności drzew w okręgach przemysłowych. Sylwan 137(6): 61–65.
- Prisedskij Ju. G. 1985. Vlijanie zagrjaznenija vozducha fluoristom vodorodom na soderżanie pigmentov v list'jach drevesnyh rastenij. Lesn. Ž. 1: 35–38.
- Pushnik J. C., Miller G. W. 1990. The influences of elevated environmental fluoride on the physiology and metabolism of higher plants. Fluoride 23(1): 5–19.
- Rachwał L. 1983. Tolerance variability of trees and shrubs to high concentrations of SO_2 and heavy metals. Aquilo, Ser. Bot. 19: 342–353.
- Ranft H., Dässler H. G. 1970. Rauchhärtestest an Gehölzen im SO_2 -Kabinenversuch. Flora 159: 573–588.
- Raskatov P. B., Ermin V. M. 1973. Effect of the 1972 drought on the increment of certain tree species. Lesn. Zhurn. 16(4): 5–8. [For. Abstr. 35 No 5904 (1973).]

- Redmann R. E., Haraldson J., Gusta L. V. 1986. Leakage of UV-absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody plants. *Physiol. Plant.* 67: 87–91.
- Reinert R. A. 1984. Plant response to air pollutant mixtures. *Ann. Rev. Phytopath.* 22: 421–442.
- Rohmeder E., Schönborn A. 1965. Der Einfluss von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigung durch Industrieabgase. Ein Beitrag zur Züchtung einer relativ rauchresistenten Fichtensorte. *Forstw. Centralblatt* 84(1/2): 1–13.
- Sapankevič P. V. 1964. Development of seedlings obtained from *Fraxinus excelsior* samaras treated with gamma rays. *Lesn. Zhurn.* 7(5): 8–11. [For. Abstr. 26 No 5052 (1965).]
- Sauter J. J. 1967. The influence of different temperatures on starch reserves in parenchyma tissue of tree stems. *Z. Pfl. Physiol.* 56(4): 340–352. [For. Abstr. 29 No 113 (1968).]
- Serebrjakova L. K., Men'shikov V. I. 1979. Dopusťimye koncentracii toksičeskich veščestv v atmosfernom vozduche dlja drevsnoj rastitel'nosti. Ékonomičeskaja Komissija dla Evropy, Simpozium po vlijaniju zagraznenija vozducha na rastitel'nost', Varšava (Polša), 20–24 avgysta 1979, (TIM/SEM.9/R.17): 1–7.
- Shankin J., Kozłowski T. T. 1984. Effect of temperature preconditioning on responses of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to SO₂. *Environ. Pollut.* 36: 311–326.
- Sierpiński Z. 1985. Luftverunreinigungen und Forstschädlinge. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 99(1): 1–6.
- Stojanov Z. 1964. [The effect of high temperatures on the photosynthesis of certain tree and shrubs species]. *Gornostop. Nauka, Sofija* 1(5): 43–53. [For. Abstr. 27 No 3353 (1966).]
- Suchara I. 1980. Literární zhodnocení sadovnický použitelných druhu dřevin z hlediska jejich vhodnosti pro území se znečištěným ovzduším. VIII Sympózium o zeleni Flóra Bratislava '80, duben 1980, Bratislava: 3–33.
- Ting I. P., Heath R. L. 1975. Response of plants to air pollutant oxidants. *Adv. Agron.* 27: 89–121.
- Treshow M. 1971. Fluorides as air pollutants affecting plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 9: 21–44.
- Treshow M. 1975. Interaction of air pollutants and plant diseases. W: Mudd J. B., Kozłowski T. T. (red.). Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York: 307–334.
- Vezina P. E. 1960. Recherches sur les conditions de lumiere et de precipitations dans les forets traitees par lacoupe progressive par groupes. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* 36(2): 33–137.
- Villiers T. A., Wareing P. F. 1965. The possible role of low temperature in breaking the dormancy of seeds of *Fraxinus excelsior* L. *J. Exp. Bot.* 16(48): 519–531.
- Vlad I. 1944. Rezistența la inundatii a speciilor forestiere din baziñul inferior al Ialomiței. *Rev. Pădurilor* 56(3/6): 85–93.
- Voron V. P. 1986. Effect of cement dust on woody vegetation. *Lesovodstvo i Agrolesomelioratsija* 72: 41–45. [For. Abstr. 46 No 2752 (1987).]
- Weinstein L. H. 1977. Fluoride and plant life. *J. Occupational Medicine* 19(1): 49–78.

- Wellburn A. R. 1982. Effects of SO₂ and NO₂ on metabolic function. 8. W: Unsworth M. H., Ormrod D. P. (red.). Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture. Butterworth Scientific, London, Boston, Sydney, Wellington, Durban, Toronto: 169–187.
- Wentzel K. F. 1968. Epfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigung. Forstarchiv 39(9): 189–194.
- Wardle P. 1957. Notes on the ecology of Ash (*Fraxinus excelsior*). Rep. For. Res. Comm. 1956/57. London: 107–108.
- Wiersum L. K., Harman K. 1983. Changes in the water-permeability of roots of some trees during drought stress and recovery, as related to problems of growth in urban environment. Plant and Soil 75(3): 443–448.
- Wood F. A. 1970. The relative sensitivity of sixteen deciduous tree species to ozone. Phytopath. 60: 579–580.
- Wood F. A., Coppolino J. B. 1972. The influence of ozone on deciduous forest tree species. Mitt. Forstl. Bundesver. Wien 92: 233–253.
- Wyżgolik B. 1992. Oddziaływanie par smołowych i pakowych na rośliny. Wiad. Bot. 36(1/2): 47–51.
- Zaręba R. 1986. Znaczenie jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior*) w gospodarce leśnej kraju. Sylwan 130(7): 9–16.
- Ziegler I. 1973. The effect of air-polluting gases on plant metabolism. W: Coulston F., Korte F. (red.). Environmental Quality and Safety. Global Aspects of Chemistry, Toxicology and Technology as Applied to the Environment Georg Thieme Publishers. Stuttgart Acad. Press. Inc., New York 2: 182–208.

RESISTANCE TO ABIOTIC FACTORS

Summary

The limited climatic and soil requirements of European ash are the reason for its relatively high tolerance to such stresses as low and high temperatures, drought and excessive humidity. This species also tolerates well both low and high pH levels in the soil, to a lesser extent, excessive salinity, and, to a large extent, the effects of toxic compounds emitted by smelteries, power plants and other industrial bodies arduous to the environment. This was confirmed in numerous studies conducted under control conditions testing the influence of various toxic factors, but primarily this was observed in the field. These features predestine ash for use in urbanised and highly industrialized environments. Since it is exceptionally tolerant to salt, it is suited for planting along roads in towns and along highways where chemical defrosting is practiced.

The high tolerance of European ash to industrial pollution coupled with its dynamic growth make this tree suitable for use in the construction of green belts around industrial complexes.

In terms of tolerance to various abiotic factors, European ash can be classified in the middle of the range of distribution among all species of this genus. However, its exceptionally good adaptation to Polish climatic conditions demands that this species be used here.

The chapter also discusses the more important publications on the influence of various abiotic stress factors on the physiological and metabolic processes in the European ash.