

BOGDAN KLUCZYŃSKI

Rozwój siewek wybranych gatunków drzew i krzewów na popiołach energetycznych z Elektrowni Halemba w doświadczeniu wazonowym*

WSTĘP

Popioły powstające podczas spalania węgla w procesie produkcji energii elektrycznej składowane są na zwałowiskach. Sposób formowania tych zwałowisk ściśle zależy od rodzaju materiału popiołowego, ich stanu termicznego i metody transportu. Rozróżnia się starszego typu zwąły żużlowo-popiołowe oraz dominujące dziś, z uwagi na zmianę technologii spalania węgla w elektrowniach, osadniki popiołowe.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce jest już w tej chwili prawie dwukrotnie wyższe od istniejących możliwości produkcji. W związku z tym, że podstawą do jej wytwarzania jest i według założeń długo jeszcze będzie węgiel kamienny i brunatny, ogólna powierzchnia zwałowisk popiołowych rośnie w szybkim tempie. M o r a w s k i (1967) przypuszcza, że już w latach osiemdziesiątych roczny przyrost zwałów tego typu osiągnie 100 ha w skali kraju, z czego tylko 20% będzie się nadało do wtórnego wykorzystania.

Na podstawie zaznaczających się obecnie tendencji można sądzić, że więcej aniżeli 20% popiołów doczeka się wtórnego wykorzystania przez przemysł. Okazuje się bowiem, że są one odpowiednim surowcem do produkcji elementów budowlanych, a popioły po węglu brunatnym nadają się dodatkowo do stabilizacji dróg gruntowych. Jednak mimo tych możliwości podkreśla się, że znaczna masa popiołów nadal zalegać będzie na zwałowiskach; dotyczy to głównie zwałowisk już istniejących. W związku

* W pracy niniejszej oraz następnej podane są wyniki doświadczeń trwających jeden sezon wegetacyjny. Jest to okres bardzo krótki, jednak ze względu na szczególną wagę prac z zakresu rekultywacji terenów zniszczonych lub zniekształconych działalnością przemysłu już te pierwsze wyniki postanowiono opublikować, traktując je oczywiście jako orientacyjne. Badania z tego zakresu są w Zakładzie kontynuowane i będą rozszerzane. W następnych rocznikach Arboretum Kórnickiego zamierzamy publikować wyniki doświadczeń prowadzonych przez kilka lat wprost na hałdach popiołowych i innych poprzemysłowych nieużytkach.

z tym zwały wyłączone z użytkowania przez zakłady energetyczne pilnie wymagają zagospodarowania, przede wszystkim z potrzeby zabezpieczenia ich przed pyleniem. Ponadto ważne jest jak najszybsze zapoczątkowanie procesu restytucji nieużytku do stanu produkcyjności gospodarczej. Zaznaczają się dwa kierunki w sposobach przyrodniczego zagospodarowania zwałowisk popiołowych: rolniczy i zadrzewieniowy. Na obecnym etapie badań obydwie kierunki są praktykowane, a wyniki pokażą, który z nich będzie skuteczniejszym.

Uzupełnieniem prac badawczych wprost na zwałach są doświadczenia wazonowe. Niniejsze doświadczenie przeprowadzono na popiołach z osadnika Elektrowni Halemba. Wysiano nasiona 5 gatunków drzew i 8 gatunków krzewów. Ponieważ nasiona kilku gatunków nie skiełkowały doświadczeniem objęto efektywnie 9 gatunków: 4 gatunki drzew i 5 gatunków krzewów. Zastosowano w trzech powtórzeniach 6 wariantów podłoża popiołowego oraz 1 porównawczy — z glebą.

W ciągu okresu wegetacyjnego kontrolowano kiełkowanie nasion oraz wzrost i przeżywalność siewek. W chwili zakończenia doświadczenia odnotowano cechy wzrostowe siewek, zabarwienie liści i stopień ich uszkodzenia, ogólną zdrowotność siewek oraz świeżą i suchą ich masę.

Celem doświadczenia było sprawdzenie odporności wybranych gatunków drzew i krzewów na niekorzystne (toksyczne) fizykochemiczne właściwości popiołów¹ ze zwałowiska Halemba. Wynik ma umożliwić, po przeprowadzeniu prób w terenie, zastosowanie wyróżniających się gatunków do zadrzewień zwałów. Zaplanowanie w doświadczeniu 6 wariantów podłoża popiołowego miało na celu zbadanie wpływu sposobu przygotowania substratu na rozwój siewek.

MATERIAŁ I METODYKA

Celem założenia doświadczenia sprowadzono do Kórnika popioły z kilkuletniego osadnika popiołowego przy Elektrowni Halemba. Pobrano je z wierzchniej warstwy o miąższości 30 cm. Popioły te transportowane są hydraulicznie systemem rurociągów do czworokątnych basenów, których wały o kilkumetrowej wysokości zbudowane są z tychże popiołów. Po wypełnieniu basenu płynną, popiołową masą woda zostaje odprowadzona systemem rur, a częściowo wsiąka w podłoże i wyparowuje. Tak przygotowane „złoże” popiołów przeznaczone jest do rekultywacji. Jego przestrzenną budowę cechują dość zmienne właściwości fizykochemiczne, w zależności od miejsca zrzutu masy popiołowej.

Załączone tabele 1, 2 i 3 przedstawiają właściwości tych popiołów na podstawie analizy, na którą składa się 10 próbek jednakowej objętości, pobranych w różnych punktach osadnika i dokładnie wymieszanych. Niektóre fizykochemiczne cechy popiołów przedstawiają się następująco:

straty na żarzeniu (średnio ‰) — 5,44,
 suma zasad (me/100 g substratu) — 156,0,
 kwasota hydrolytyczna (me/100 g substratu) — 0,0,
 przewodnictwo (zasolenie) — 1600 μ S.

Jak wynika z tabel 1, 2 i 3 popioły te zawierają 70% części spławialnych, co według klasyfikacji ustalonej przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze jest piaskiem słabo gliniastym. Na uwagę zasługuje wysokie pH (9,7), nadmierna koncentracja Fe (26 400 p.p.m.), Mg (22 400 p.p.m.), Ca (do 29 000 p.p.m.), Pb (100 p.p.m.) oraz łatwo rozpuszczalnych form Al (50 p.p.m.). Ilość P_2O_5 i K_2O (odpowiednio: 18,9 i 24,7 mg/100 g substratu) oraz przyswajalnego boru (2 p.p.m.) odpowiada I klasie zasobności dla gleb. Zawartość przyswajalnego azotu jest znikoma (1,2 p.p.m. azotanów) przy dość wysokiej koncentracji (0,440‰) azotu ogólnego (Nowosielski, 1968).

Drugim substratem zastosowanym w doświadczeniu jest gleba uprawna ze szkółki produkcyjnej Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN, pobrana z wierzchniej warstwy o miąższości 30 cm.

Według Kowalkowskiego i Prusinkiewicza (1959) cechy gleby użytej do doświadczeń przedstawiają się następująco:

Typ gleby — bielnicowa właściwa.

Gatunek gleby — piasek gliniasty lekki.

Gлина zalega w podłożu średnio głęboko (50 - 100 cm).

Profil odkrywki glebowej zawiera następujące poziomy: A_1 (0 - 30 cm), A_2g (30 - 50 cm), B (50 - 75 cm), B/C (75 - 90 cm), C_1 (90 - 135 cm), C_2g (od 135 cm).

Warstwa A_1 , z której pochodzi pobrana gleba oraz leżąca bezpośrednio pod nią warstwa A_2g , scharakteryzowane są następująco:

A_1 : 0 - 30 cm słabo próchniczna, brunatnoszara warstwa orna o składzie me-

Tabela 1

Analiza mechaniczna popiołów z Elektrowni Halemba (metodą Prószyńskiego)
 Mechanical composition of ash from the Halemba power plant (Prószyński's method)

Procentowa zawartość frakcji (ϕ do 1,0 mm) — Percentage content of the fraction (ϕ up to 1,0 mm)				
1,0 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,02	0,02 - 0,002	< 0,002
	0,1 - 0,02			< 0,02
	18	8	6	1
67	26		7	

Tabela 2

Analiza chemiczna popiołów z Elektrowni Halemba
 Chemical analysis of ash from the Halemba power plant

Całkowita zawartość w p.p.m. — Total content in p.p.m.													
Fe	Mg	Cd	Ni	Pb	Mn	Al*	As	Zn	Ba	Cu	Mo	Co	B
26400	22400	150	102	100	94	50	50	28	10	9	6	4	3

* Łatwo rozpuszczalne formy Al (metoda Greweling-Peecha; Nowosielski, 1968).

* Readily soluble forms of Al (method of Greweling-Peech; Nowosielski, 1968).

Niektóre właściwości chemiczne
Some chemical properties of ash

pH		Ogólny General			Egner		Wyciąg	
KCl	H ₂ O	PO ₄	Ca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	chlorki chlorides	Ca
		%			mg/100 g			
9,73	9,68	0,258	3,100	0,44	18,9	24,7	11	180

Skład mechaniczny gleby
Mechanical composition of the soil

Głębokość pobrania próbki Sampling depth	Poziom Level	Woda higroskopijna Hygroscopic water	Zawartość frakcji w % -				
			części spławialne floatable fraction			części pyłowe dust fraction	
			< 0,002	0,002 - 0,005	0,005 - 0,02	0,02 - 0,05	0,05 - 0,1
cm		%					w
10 - 15	A ₁	0,46	2,0	8,5	2,5	9,5	21,0
40 - 45	A _{2g}	0,59	8,0	6,0	4,5	7,0	17,0

chanicznym piasku gliniastego lekkiego, pylastego; niewielka zawartość żwiru i drobnych kamieni; struktura gruzełkowata słabo wyrażona; pH_{KCl} 6,10;

A_{2g}: 30 - 50 cm szarokremowy poziom o składzie mechanicznym piasku gliniastego mocnego z zaciekami próchnicy w górnej części i z wyraźnie zaznaczającym się odpowierzchniowym oglejeniem w strefie przylegającej do następnego poziomu; niewielka zawartość żwiru i drobnych kamieni; struktura rozdzielnoziarnista; pH_{KCl} 5,35.

Właściwości mechaniczne i chemiczne tych warstw na podstawie próbek pobranych z profilu glebowego przedstawiają tabele 4 i 5.

Podane w tabelach fizyczne i chemiczne właściwości popiołów są przeciętne dla wierzchniej warstwy osadnika, podobnie jak prezentowane cechy gleby są przeciętne dla większego areалу szkółek zakładowych (opisanych w 1959 r.). Dlatego też cechy substratów pobranych do doświadczeń z określonego miejsca osadnika i szkółki mogą w pewnym stopniu odbiegać od danych zamieszczonych w pracy.

Doświadczenie zlokalizowano na terenie szkółek zakładowych w specjalnie do tego skonstruowanych 3 skrzyniach inspektowych o wymiarach 350×150 cm i wysokości 25 cm. Każdą ze skrzyń podzielono za pomocą przegród na 7 jednakowych części (dla 7 wariantów podłoża). Wymiary wewnętrzne każdej z tych części wynosiły w zaokrągleniu 147 cm × 46 cm. Skrzynie umieszczono w gruncie na głębokości około 5 cm, wprowadzając izolację z papy między spodnią częścią skrzyni a glebą w celu uniemożliwienia systemom korzeniowym siewek przerastania w gle-

Tabela 3

popiołów z Elektrowni Halemba
from the Halemba power plant

wodny – Water extract		Wyciąg z 10% HCl – Extract in 10% HCl			Przyswajalny Assimilable		CaCO ₃ %	Azotany Nitrates p.p.m.
Na	K	Ca	Na	K	Mn	B		
p.p.m.								
20	100	29000	700	2500	14	2	3,41	1,2

Tabela 4

użytej do doświadczeń
used in the experiment

Content of fraction in %							Grupa mechaniczna Mechanical group
części piaskowe sandy fraction			og. części ziemiste total of earthy fraction			części szkieletowe skeletal frac- tion > 1,0	
0,1 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	< 0,02	0,02 - 0,1	0,1 - 1,0		
m m							
39,5	12,0	5,0	13,0	30,5	56,5	5,92	Piasek gliniasty lekki; pyłasty Light clayey sand; dusty
39,5	12,5	5,5	18,5	24,0	57,5	3,75	Piasek gliniasty mocny Hard clayey sand

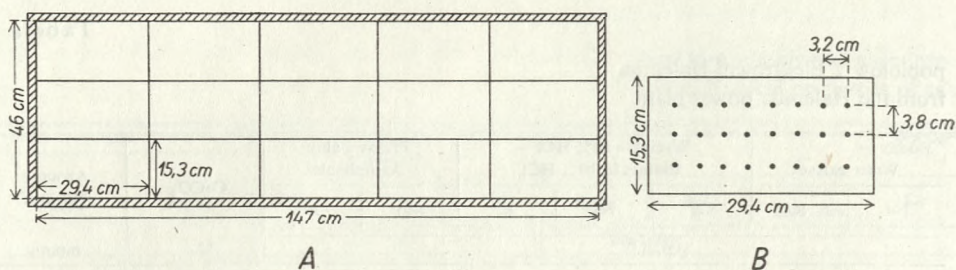
Tabela 5

Niektóre właściwości chemiczne gleby użytej do doświadczeń
Some chemical properties of the soil used in the experiment

Głębokość pobrania próbki Sampling depth cm	Poziom Level	pH		CaCO ₃ %	Substancja organiczna Organic substances %	N %	Zawartość przyswajalnych związków w mg/100 g gleby Content of assimilable compounds in mg/100 g of soil	
		w H ₂ O in H ₂ O	w n KCl in N KCl				P ₂ O ₅	K ₂ O
10 - 15	A ₁	6,35	6,10	0,0	1,25	0,058	11,2	13,1
40 - 45	A _{2g}	6,35	5,35	0,0	–	–	1,1	8,6

bę. Uszczelniono również miejsca przylegania przegród do ściany skrzyni, aby zapobiec wzajemnym wpływom podłoży. Skrzynie usytuowano w warunkach pełnego oświetlenia.

Po wypełnieniu skrzyń 7 wariantami podłoża do wysokości 20 cm (przy zastosowaniu ubicia do stanu zwięzłości), przystąpiono do prowizorycznego podziału każdej działki skrzyni na 15 jednakowych części, dla nasion 15 zaplanowanych gatunków drzew i krzewów. Wykonano to za pomocą drewnianych listewek 2 mm grubości i 3 cm szerokości. Listewki te umieszczono w substracie do połowy ich szerokości (około 1,5 cm) w tym celu, aby systemy korzeniowe siewek wszystkich gatunków mogły swobodnie penetrować podłoże. Powstało w ten sposób na każdym substracie 15 poletek (dla 15 gatunków) o wymiarach: 29,4 × 15,3 cm każde. Ry-



Ryc. 1. Schemat działki skrzyni pod substrat z podziałem na poletka dla nasion zaplanowanych 15 gatunków roślin (A) oraz sposób rozmieszczenia 24 nasion każdego gatunku na poletku (B)

Fig. 1. Lay-out within a wooden frame sector for one substrate with the division into plots for seeds of 15 species of plants (A) and the method of distributing the 24 seeds of each species within a plot (B)

cina 1 przedstawia działkę skrzyni z podziałem na poletka dla zaplanowanych gatunków oraz sposób rozmieszczenia 24 nasion na jednym poletku.

Rozmieszczenia podłoży w skrzyniach oraz gatunków na poszczególnych podłożach dokonano drogą losowania. Uzyskano w ten sposób układ bloków kompletnie zrandomizowanych (O k t a b a, 1966).

Jak już wspomniano w doświadczeniu posłużono się 7 rodzajami podłoża:

G_s = gleba szkółkarska (ze szkółki zakładowej),

I = popiół (bez żadnych domieszek),

II = popiół z 2,5-centymetrową wierzchnią warstwą gleby,

III = popiół z dodatkiem kompostu,

IV = popiół z dodatkiem torfu,

V = popiół z dodatkiem pełnej dawki nawozów mineralnych NPK,

VI = popiół z dodatkiem połowy pełnej dawki nawozów mineralnych NPK.

Blizsza charakterystyka rodzaju nawozów, dawki i sposobu zastosowania przedstawia się następująco:

W przypadku podłoża II na warstwę popiołu o miąższości 17,5 cm usypano 2,5-centymetrową warstwę gleby (1/8 miąższości), tej samej co w wariantcie G_s .

Przygotowanie podłoża III polegało na dokładnym wymieszaniu warstwy popiołu w skrzyni z pełną dawką kompostu ogrodniczego w ilości 2,7 kg, co według G ó r s k i e g o (1956) wynosi 400 q/ha.

IV wariant podłoża posiadał domieszkę torfu ogrodniczego. Zastosowano dawkę taką jak na gleby lekkie (G ó r s k i, 1956), w ilości 400 q/ha, czyli również 2,7 kg na działkę skrzyni (jedno powtórzenie). Zawartość skrzyni dokładnie wymieszano.

Na V i VI wariantcie podłoża zastosowano następujące nawozy mineralne NPK (K o t e r, 1957): siarczan amonu (21% N), superfosfat granulowany (około 18% P_2O_5) i sól potasową (przeciętnie 40% K_2O). Za pełną dawkę nawozową NPK w czystym składniku przyjęto 300 kg/ha w następującej proporcji: 40% dla N, 25% dla P_2O_5 i 35% dla K_2O , czyli 120 kg N/ha, 75 kg P_2O_5 /ha i 105 kg K_2O /ha. W przeliczeniu na wyżej wymienione nawozy mineralne jedno powtórzenie wariantu V otrzymało: 38,571 g siarczanu amonu, 28,125 g superfosfatu granulowanego i 17,719 g soli potasowej, a wariantu VI połowę tych ilości. Na 8 dni przed wysiewem nasion rozsiano na powierzchni substratu V i VI przygotowane dawki superfosfatu i soli potasowej, natomiast porcje siarczanu amonu podano w dwu ratach po połowie; pierwszą połowę dawki na 2 dni przed wysiewem nasion, drugą w połowie sezonu wegetacyjnego (14 lipca). Miało to na celu umożliwienie siewkom pełniejszego i rozłożonego na dłuższy czas korzystania z azotu.

Po przygotowaniu substratów i zastosowaniu nawożenia całość kilkakrotnie podlewano (w terminie od 6 do 13 maja), do momentu wysiewu nasion.

Jak wynika z dotychczasowego opisu w doświadczeniu zaplanowano udział nasion 15 gatunków drzew i krzewów. Z uwagi na nieurodzaj nasion 2 gatunków (*Populus alba* L. i *P. tremula* L.) do skrzyń wysiano nasiona 13 gatunków, z pośród tych nasiona 4 gatunków (*Cotoneaster dielsiana* Pritz., *Rhus typhina* L., *Sambucus nigra* L. i *Sambucus racemosa* L.) okazały się całkowicie niezdolne do kiełkowania. W rezultacie efektywny udział w doświadczeniu wzięło 9 kolejno ponumerowanych gatunków (4 gatunki drzew i 5 gatunków krzewów): 1) *Salix caprea* L., 2) *Physocarpus intermedius* Schneid., 3) *Sorbaria sorbifolia* A. Br., 4) *Robinia pseudacacia* L., 5) *Ailanthus glandulosa* Desf., 6) *Acer negundo* L., 7) *Hippophaë rhamnoides* L., 8) *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., 9) *Lonicera xylosteum* L.

Wybór gatunków do doświadczeń oparto, generalnie rzecz biorąc, na dwóch cechach: skromnych wymaganiach siedliskowych i dużej odporności na suszę w podłożu. Przy wyborze niektórych gatunków odstąpiono od tej zasady kierując się spostrzeżeniami własnymi roślinności na zwalach popiołowych.

Nasiona wymagające stratyfikacji przed wysiewem odpowiednio przygotowano, po czym poddano je ocenie wartości (Tyszkiewicz, 1952). Zarówno do doświadczeń, jak i do oceny wartości pobierano nasiona losowo z tej samej próbki.

Na poletko przeznaczone dla jednego gatunku (29,4 × 15,3 cm) wysiewano 24 nasiona w regularnej więźbie 3,8 × 3,2 cm zaznaczonej za pomocą specjalnego znacznika (ryc. 1).

Oznaczenia żywotności nasion dokonano na podstawie próby kiełkowania w kiełkowaniu typu Jacobsen'a. Na podstawie dokonanych prób wyznaczono: pozorną zdolność kiełkowania w procentach, procent nasion nieskiełkowanych ogółem i udział w tym nasion pustych, procent nasion pełnych oraz absolutną zdolność kiełkowania w procentach.

Nasiona poszczególnych gatunków wykazały dużą rozpiętość pod względem żywotności. Procent nasion pełnych w przypadku wszystkich gatunków przekraczał 50, jednak absolutna zdolność kiełkowania wahała się w szerokich granicach, od 25,4% dla *Fraxinus pennsylvanica* do 100% dla *Salix caprea* i *Sorbaria sorbifolia*. Powyższe cechy mają istotny wpływ na efekt doświadczeń, toteż brano je pod uwagę przy ocenie wyników.

Doświadczenie założono w pierwszej połowie maja 1971 r. Wysiew nasion trwał 3 dni (13 - 15 maja). Nasiona iwy, z uwagi na późniejszy zbiór uwarunkowany dojrzewaniem, wysiano 24 maja.

Przez cały czas trwania obserwacji starano się zapewnić siewkom warunki odpowiedniego nawilgotnienia przez równomierne podlewanie za pomocą rozpylacza (wodą jeziorną). Stopień przesuszenia popiołów

Tabela 6

Dane meteorologiczne okresu wegetacyjnego 1971 r. w Kórniku
 Meteorological data from the 1971 vegetative period in Kórnik

Czynnik meteorologiczny Meteorological factor	Miesiąc Month						Średnie $\bar{\sigma}$ lub sumy S dla całego okresu Mean $\bar{\sigma}$ or sums of S for the whole period
	Kwiecień April	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	Wrzesień September	
Średnia temperatura powietrza 5 cm nad powierzchnią gruntu ($^{\circ}\text{C}$) Mean air temperature 5 cm above ground level (in $^{\circ}\text{C}$)	1,1	6,2	9,9	10,3	12,0	5,3	$\bar{\sigma}$ 7,5
Średnia dziennego usłonecznienia (h) Mean daily insolation (h)	4,5	8,2	4,4	9,9	7,3	4,5	$\bar{\sigma}$ 6,5
Dni bez słońca Days without sun	6	1	9	1	3	5	S 25
Dni upalnych: temperatura maksymalna powietrza $\geq 25^{\circ}\text{C}$ Very hot days: max. temperature of air $\geq 25^{\circ}\text{C}$		9	5	16	18		S 48
Średnia wilgotności względnej powietrza (%) Mean relative air humidity (in %)	73	69	79	67	66	80	$\bar{\sigma}$ 72,3
Opad (mm) Precipitation (mm)	36,5	32,2	136,0	36,8	34,2	45,0	S 320,7
Średnia prędkości wiatru (m/sek) Mean wind velocity (m/sec)	2,8	2,5	1,9	1,8	1,9	2,0	$\bar{\sigma}$ 2,1

i warunki pogodowe dyktowały intensywność i częstotliwość podlewania do stanu odpowiedniego nasycenia (3 razy w ciągu upalnego dnia).

Równocześnie z pojawieniem się pierwszych wschodów rozpoczęto notowanie liczby pojawiających się i utrzymujących przy życiu siewek. Kontrolę przeprowadzano regularnie w 1-tygodniowych odstępach czasu. Przy okazji kontrolowania usuwano chwasty pojawiające się w skrzyniach. Obserwacje trwały do końca września, po czym doświadczenie zlikwidowano.

Tabela 6 (Kaczmarek, 1972) podaje jak przedstawiały się warunki meteorologiczne dla Kórnika w okresie trwania doświadczenia.

Po zakończeniu doświadczenia zmierzono wielkość pH na poszczególnych wariantach podłoża (tab. 7), aby uzyskać pogląd na zmianę tego wskaźnika (w stosunku do stanu wyjściowego) pod wpływem podlewania i zastosowanego nawożenia.

W odniesieniu do siewek odnotowano następujące cechy:

- 1) Liczba siewek żywych w każdym powtórzeniu.
- 2) Liczba siewek z zakończonym wzrostem (wykształcenie pączka szczytowego).
- 3) Wysokość siewki (w cm).

Tabela 7

Wielkość pH na poszczególnych podłożach po zakończeniu doświadczenia
Value of pH on individual substrata on termination of the experiment

pH	Wyjściowe Initial		Końcowe na podłożach – Final in the substrata						
	gleba soil	popiół ash	G _s	I	II	III	IV	V	VI
			w powtórzeniach i przeciętna z powtórzeń in replicates and mean from the replicates						
H ₂ O	6,35	9,68	6,75	9,05	9,24	9,10	8,90	8,95	8,40
			6,55	9,00	9,12	8,95	8,95	9,00	
			6,40	8,97	9,05	8,90	8,90	8,95	9,14
			6,57	9,01	9,14	8,98	8,92	8,95	8,85
KCl	6,10	9,73	5,35	8,85	8,80	8,85	8,75	8,85	8,35
			5,55	8,95	8,86	8,65	8,65	8,86	8,85
			5,50	8,90	8,90	8,85	8,85	8,85	8,76
			5,47	8,90	8,85	8,78	8,75	8,85	8,65

- 4) Długość systemu korzeniowego siewki (w cm).
 - 5) Zabarwienie liści siewki według tęczy barw (Horticultural Colour Chart, 1938).
 - 6) Stopień uszkodzeń liści siewki według 5-stopniowej skali własnej:
 - 1 = brak na siewce uszkodzeń liści,
 - 2 = wszystkie lub większość uszkodzonych liści na siewce można zaliczyć do klasy słabo uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje do 10% powierzchni liścia),
 - 3 = wszystkie lub większość uszkodzonych liści na siewce można zaliczyć do klasy średnio uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje 11-50% powierzchni liścia),
 - 4 = wszystkie lub większość uszkodzonych liści na siewce można zaliczyć do klasy silnie uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje powyżej 50% powierzchni liścia)
 - 5 = liście opadły z powodu toksycznych wpływów środowiska.
 - 7) Obraz żywotności (zdrowotności) siewki według 3-stopniowej wzrokowej skali:
 - 1 = żywotność dobra; dynamiczny wzrost, siewka obficie ulistniona, liście jędrne;
 - 2 = żywotność średnia; wzrost mniej dynamiczny, ulistnienie niezbyt obfite, jędrność (turgor) liści słaba;
 - 3 = żywotność nieodpowiednia; skarłały wzrost, skąpe i wędzące ulistnienie.
 - 8) Świeża masa części nadziemnej siewki (w g).
 - 9) Świeża masa systemu korzeniowego siewki (w g).
 - 10) Sucha masa części nadziemnej siewki (w g).
 - 11) Sucha masa systemu korzeniowego siewki (w g).
- Uzyskane wielkości liczbowe usystematyzowano, a średnie wartości 13 niżej podanych cech poddano analizie wariancji:
- a) przeciętny stopień przeżywalności siewek; uzyskano go każdorazowo w wyniku przekształcenia kątownego $y = \arcsin \sqrt{\frac{x}{n}}$ (Elandt, 1964) procentowej wielkości z liczby siewek żywych przy likwidowaniu doświadczenia w stosunku do maksymalnej ich liczby w okresie obserwacji,
 - b) przeciętna wysokość siewek.

- c) przeciętna długość systemów korzeniowych siewek,
- d) stosunek przeciętnych: wysokości siewek do długości ich systemów korzeniowych,
- f) dominujący kolor zieleni siewek,
- g) przeciętny stopień uszkodzenia liści,
- h) przeciętny stopień zdrowotności siewek,
- i) przeciętna wartość świeżej masy części nadziemnych siewek,
- j) przeciętna wartość świeżej masy systemów korzeniowych siewek,
- k) przeciętna wartość świeżej masy siewek,
- l) przeciętna wartość suchej masy części nadziemnych siewek,
- m) przeciętna wartość suchej masy systemów korzeniowych siewek,
- n) przeciętna wartość suchej masy siewek.

Analiza wariancji dotyczyła tylko wyników pomiarów siewek na podłożach popiołowych. Substrat glebowy pominięto z uwagi na brak w końcowym efekcie doświadczenia żywych siewek 4 gatunków w dwu różnych powtórzeniach, czyli brakowało 8 obserwacji na 27 możliwych (9 gatunków \times 3 powtórzenia). W koniecznych przypadkach (np. przy obliczaniu testu Duncana) rezultaty osiągnięte przez siewki na tym podłożu przedstawiono za pomocą średniej arytmetycznej z niekompletnych obserwacji.

Prócz tego brak siewek dotyczył gatunku *Physocarpus intermedius* (podłoże I, powtórzenie 3). Tutaj brakującą obserwację zastąpiono każdorazowo wartością przeciętną, obliczaną dla układu bloków losowanych według następującego wzoru (Włoczewski i Kędzierski, 1965):

$$y = \frac{rB + tT - G}{(r-1) \cdot (t-1)},$$

y = brakująca wartość (obserwacja), r = liczba powtórzeń, B = suma wartości pozostałych obserwacji w bloku, w którym brak działki (z 8 pozostałych gatunków), t = liczba badanych wariantów w doświadczeniu (9 gatunków), T = suma obserwacji dla danego wariantu (gatunku) w innych blokach (w dwu powtórzeniach), G = ogólna suma obserwacji w danym układzie doświadczalnym (dla gatunków i powtórzeń).

Na podstawie przeciętnych wartości dla wyżej wymienionych cech przystąpiono do obliczeń testu F (Elandt, 1964; Okta, 1966), testu Duncana (Snedecor, 1956) oraz określono zależność typu $G \times P$ (gatunki \times podłoża) w celu odnalezienia istotnej interakcji w przypadku cech nią objętych.

WYNIKI

Kształtowanie się testu F w zależności od analizowanej cechy, przy poziomie ufności 0,05 i 0,01, przedstawia tabela 8. Okazuje się, że dla $F_{0,01}$ zachodzi istotna różnica pomiędzy zmiennymi doświadczenia we wszystkich rozpatrywanych cechach. To samo dotyczy zastosowanych gatunków roślin. Rezultaty na podłożach popiołowych są względem poszcze-

gólnych cech zróżnicowane w sposób istotny (poziom ufności 0,01) z wyjątkiem stopnia przeżywalności siewek (cecha a), dla którego nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy podłożami, a dominujący kolor zieleni siewek jest istotnie przez nie zróżnicowany przy $F_{0,05}$. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wśród 13 rozpatrywanych cech istotna interakcja ($G \times P$) dotyczy 11: dziewięciu dla $F_{0,01}$ i dwu dla $F_{0,05}$. Interakcja jest nieistotna dla stopnia przeżywalności siewek (a) i dominującego koloru zieleni (f). Pomimo, iż przy zakładaniu doświadczenia starano się stworzyć w powtórzeniach jednakowe warunki rozwoju siewek, to w przypadku 7 cech stwierdzono pomiędzy siewkami istotne różnice (dla $F_{0,01}$ — 3 przypadki i dla $F_{0,05}$ — 4). Nieistotne różnice dotyczyły cechy a (przeciętny stopień przeżywalności siewek), b (przeciętna wysokość siewek), d (stosunek przeciętnych: wysokości siewek do długości ich systemów korzeniowych), h (przeciętny stopień zdrowotności siewek), k (przeciętna wartość świeżej masy siewek), l (przeciętna wartość suchej masy części nadziemnych siewek).

Za pomocą testu Duncana utworzono (dla $D_{0,05}$) grupy jednorodne gatunków (ryc. 2) i podłoży (ryc. 3) względem poszczególnych cech. Pomędzy uszeregowanymi gatunkami zaznacza się, generalnie biorąc, jeden zasadniczy przedział. Pierwszą część tego szeregu tworzy 8 gatunków (oprócz *Acer negundo*). W kolejności od najgorszych do najlepszych rezultatów można zauważyć wśród nich następującą kolejność: 9, 3, 2, 8, 5, 7, 1, 4 (są to: *Lonicera xylosteum*, *Sorbaria sorbifolia*, *Physocarpus intermedius*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Ailanthus glandulosa*, *Hippophaë rhamnoides*, *Salix caprea*, *Robinia pseudacacia*). Wobec 9 cech jedynie siewki *Acer negundo* (6) odróżniają się w sposób istotny od wszystkich zastosowanych w doświadczeniu. Z pozostałych 4 cech stopień ich przeżywalności (a) oraz dominujący kolor zieleni (f) nie różnią się zasadniczo od siewek pozostałych gatunków. Przekiętny stopień uszkodzenia liści (g) siewek *Acer negundo* odbiega w sposób istotny od tegoż stopnia osiągniętego przez siewki *Hippophaë rhamnoides* (7), *Sorbaria sorbifolia* (3), *Physocarpus intermedius* (2), *Lonicera xylosteum* (9) i *Salix caprea* (1); siewki pozostałych 3 gatunków: *Ailanthus glandulosa* (5), *Fraxinus pennsylvanica* (8) i *Robinia pseudacacia* (4) wykazują stopień uszkodzenia liści istotnie różny od siewek *Acer negundo*, jak wynika ze specyfiki ryciny 2 — bardziej niekorzystny. Stosunek przeciętnych: wysokości siewek do długości ich systemów korzeniowych (d), wynoszący u *Acer negundo* 0,56, należy uznać za mniej korzystny od tegoż samego wskaźnika wyliczonego dla roślin pozostałych gatunków. Za najodpowiedniejszy wskaźnik należałoby uznać 0,21 - 0,35, jak dla siewek i sadzonek na siedliskach słabych, borowych (T y s z k i e w i c z, 1963).

Pod względem wpływu na siewki test Duncana podzielił zastosowane podłoża na trzy zasadnicze, różniące się między sobą istotnie grupy. Można powiedzieć, że najwyższe (najkorzystniejsze) średnie dla wyso-

Wartość testu F w zależności od zmiennej
Value of the F test depending on the experimental

Zmienne Variables	Ilość stopni swobody Degrees of freedom	Wielkość i stopień istotności F dla kolejnych Value and degree of significance of F for the				
		a	b	c	d	f
Ogółem Total	161					
Zmienne doświadczenia Experimental variables	53	2,53**	11,91**	8,57**	4,55**	2,84**
Gatunki (G) Species (G)	8	8,88**	58,71**	37,78**	15,11**	9,66**
Podłoża (P) Substrata (P)	5	1,90-	12,42**	17,23**	11,51**	3,46*
$G \times P$ Powtórzenia Replicates	40	1,33-	2,48**	1,66*	1,57*	1,06-
Resztowa Residual	2	0,97-	0,47-	8,61**	0,24-	11,60**
	106-1					

kości siewek oraz przyrostu świeżej i suchej masy a także stopnia uszkodzenia liści i ogólnej zdrowotności osiągnęły siewki na podłożu kontrolnym, glebowym (G_s). Natomiast przeciętny stopień przeżywalności siewek nie różnił się istotnie od stopni osiągniętych przez siewki na podłożach popiołowych. Zróznicowanie tego wskaźnika między siewkami na poszczególnych podłożach jest nieistotne. Przeciętna długość systemów korzeniowych na glebie jest wyraźnie niższa aniżeli na V i VI podłożu popiołowym (z pełną i połową pełnej dawki nawozów mineralnych NPK).

W odniesieniu do cech (b, g, h, i, j, k, l, m, n) przedział pomiędzy podłożami popiołowymi wyłonił grupę podłoży o najmniejszej dla siewek zastosowanych gatunków wartości. Jest to podłoże I (popiół bez domieszek), III (popiół z dodatkiem kompostu) i IV (popiół z dodatkiem torfu). Wartość pozostałych podłoży popiołowych: II, V i VI (z wyjątkiem cechy: a, f) jest istotnie lepsza, chociaż w przypadku kilku cech (j, k, m, n) zaznacza się i między nimi istotne zróznicowanie na korzyść podłoża V (popiół z pełną dawką nawozów mineralnych NPK).

Jak wynika z tabeli 8 interakcja ($G \times P$) wystąpiła w przypadku 11 cech (b, c, d, g, h, i, j, k, l, m, n). W celu odszukania miejsca jej wystąpienia sporządzono wykresy dla każdej cechy oddzielnie. Stwierdzono 14 przypadków interakcji, z których 5 (dla cech: i, j, k, m, n) dotyczyło gatunku 2 (*Physocarpus intermedius*) na podłożach: II (popiół z 2,5 cm warstwą gleby) i VI (popiół z dodatkiem nawozów mineralnych NPK równym połowie pełnej dawki), 4 przypadki (dla cech: d, g, h, l) miały miejsce na podłożu II (popiół z 2,5-centymetrową warstwą gleby) pomiędzy gatunkami o następujących numerach: 3 - 1, 8 - 4, 9 - 7, 2 - 3. Pozo-

Tabela 8

doświadczenia i analizowanej cechy
variable and the analysed character

cech (poziom ufności 0,05* i 0,01**)
various characters (level of significance 0.05* and 0.01**)

g	h	i	j	k	l	m	n
10,84**	5,23**	7,18**	5,20**	4,99**	8,25**	7,17**	7,16**
45,26**	6,58**	18,96**	10,49**	12,17**	24,48**	16,58**	20,28**
11,93**	28,53**	22,14**	22,32**	16,10**	20,22**	28,10**	20,28**
3,81**	2,03**	2,95**	2,00**	2,16**	3,49**	2,67**	2,89**
10,74**	0,44-	3,44*	3,42*	2,19-	2,89-	4,17*	3,82*

stałe, zapisane symbolicznie, pojedyncze przypadki interakcji dotyczyły cech: b (9 : II - VI i 7 : IV - II), m (8 : VI - V), c' (V : 1 - 8) oraz cechy g (V : 5 - 8).

Szereg grup jednorodnych uzyskanych na podstawie testu Duncana (ryc. 2 i 3) uległo w wyżej wymienionych przypadkach zachwianiu. Różnica pomiędzy wymienionymi każdorazowo dwiema zmiennymi (gatunkami lub podłożami) wykazana w ogólnym zaszeregowaniu według testu Duncana jako nieistotna względnie istotna na korzyść tej drugiej, okazała się w przypadkach interakcji istotna albo zgoła odwróciła sytuację na korzyść zmiennej wymienionej na pierwszym miejscu (według ogólnego zaszeregowania — słabszej).

Z uwagi na to, że spośród zastosowanych gatunków najlepsze rezultaty wzrostu wykazały siewki *Acer negundo*, prześlędzono na wykresach osiągnięte przez nie wyniki (przedstawione za pomocą krzywej). Wyłonione w ten sposób dla siewek tego gatunku grupy jednorodne podłoża popiołowych względem wszystkich rozpatrywanych cech przedstawia rycina 4. Porównanie jej z ryciną 3 (przebieg grup jednorodnych podłoża dla wszystkich gatunków) pozwala stwierdzić, że w odniesieniu do *Acer negundo* ogólny charakter grup jednorodnych podłoża został zachowany. Zaistniał także podział na dwie grupy podłoża, istotnie różniące się między sobą pod względem wpływu na siewki: podłoża o niższej wartości (I, IV, III) i wyższej (II, VI, V). Można jednak zauważyć, że pod względem przydatności dla *Acer negundo* podłoża V i VI (popiół z pełną i połową pełnej dawki nawozów mineralnych NPK) nie różnią się na ogół między sobą istotnie, natomiast podłoża II (popiół z 2,5 cm

Cecha	Grupy jednorodne gatunków (według ich zanumerowania)								
a	5 51,41	2 56,11	7 63,41	3 65,09	4 66,54	1 67,75	9 76,82	8 77,31	6 83,14
b	3 0,93	2 1,82	5 2,38	9 3,10	1 3,23	8 4,29	4 4,47	7 5,33	6 12,31
c	3 8,95	2 10,44	5 10,56	7 12,41	9 13,44	1 14,60	8 15,66	4 17,29	6 21,30
d	2 0,16	3 0,20	1 0,20	9 0,22	4 0,26	5 0,28	8 0,28	7 0,38	6 0,56
f	5 60,7	6 60,7	8 60,4	2 60,3	9 60,1	4 60,0	1 59,6	3 59,4	7 59,4
g	5 3,23	8 3,12	4 2,63	6 1,95	1 1,44	9 1,29	2 1,25	3 1,05	7 1,05
h	8 2,89	2 2,88	3 2,81	5 2,86	4 2,79	9 2,78	7 2,77	1 2,75	6 2,52
i	9 0,126	8 0,169	5 0,181	3 0,198	2 0,205	7 0,290	1 0,354	4 0,448	6 0,936
j	9 0,164	3 0,192	7 0,209	8 0,244	2 0,271	5 0,286	1 0,380	4 0,384	6 0,718
k	9 0,290	3 0,386	8 0,414	2 0,476	7 0,501	5 0,666	1 0,817	4 0,901	6 1,654
l	5 0,041	9 0,044	2 0,058	3 0,059	8 0,064	7 0,090	1 0,113	4 0,124	6 0,365
m	9 0,038	3 0,055	7 0,060	2 0,061	5 0,076	8 0,085	4 0,097	1 0,108	6 0,233
n	9 0,078	3 0,114	2 0,119	5 0,139	7 0,149	8 0,149	4 0,245	1 0,247	6 0,599

Ryc. 2. Grupy jednorodne gatunków względem rozpatrywanych cech według testu Duncana. (Uszeregowanie przeciętnych w kierunku korzystniejszych dla siewek wartości)

Fig. 2. Groups of species not differing significantly according to the studied characters on the basis of the Duncan test. (The means are arranged from poorest to best as regards growth of the seedlings)

warstwą gleby) jest dla 7 rozpatrywanych cech (a, b, c, f, h, i, m) istotnie gorsze od podłoża V i VI, a przeżywalność siewek (cecha a) jest istotnie gorsza niż na wszystkich pozostałych podłożach popiołowych.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Przeprowadzone w roku 1970 (Kluczyński, 1971) doświadczenia wazonowe nad wpływem popiołów energetycznych z Elektrowni Konin (pochodzące ze spalania węgla brunatnego) i z elektrociepłowni Zakła-

Cecha	Grupy jednorodne podłoży (według ich oznaczenia)						
a	IV 60,06	GS 61,99	I 67,73	III 67,94	V 68,14	VI 69,98	II 71,07
b	I 2,68	III 3,19	IV 3,43	II 4,97	VI 5,46	V 5,50	GS 8,55
c	IV 11,15	I 12,27	GS 12,87	III 13,36	II 13,60	VI 16,32	V 16,43
d	I 0,19	III 0,22	IV 0,24	VI 0,30	V 0,30	II 0,44	GS 0,66
f	I 60,4	VI 60,1	IV 60,1	III 60,0	V 59,9	II 59,9	GS 59,7
g	IV 2,39	I 2,13	III 2,11	V 1,67	VI 1,53	II 1,50	GS 1,46
h	I 3,00	IV 2,94	III 2,89	II 2,75	VI 2,56	V 2,56	GS 2,34
i	I 0,096	IV 0,130	III 0,156	II 0,436	VI 0,510	V 0,609	GS 1,229
j	I 0,121	IV 0,146	III 0,168	II 0,381	VI 0,479	V 0,604	GS 0,661
k	I 0,218	III 0,368	IV 0,424	II 0,817	VI 0,989	V 1,213	GS 2,141
l	I 0,028	III 0,046	IV 0,046	VI 0,158	II 0,159	V 0,202	GS 0,422
m	I 0,029	III 0,041	IV 0,043	II 0,113	VI 0,140	V 0,176	GS 0,229
n	I 0,057	III 0,102	IV 0,118	II 0,273	VI 0,299	V 0,379	GS 0,739

Ryc. 3. Grupy jednorodne podłoży względem rozpatrywanych cech według testu Duncana. (Uszeregowanie przeciętnych w kierunku korzystniejszych dla siewek wartości)

Fig. 3. Group of substrata not differing significantly according to the studied characters on the basis of the Duncan test. (The means are arranged from poorest to best as regards growth of the seedlings)

Cecha	Grupy jednorodne podłoży popiołowych (według ich oznaczenia)						
a	II 67,08	IV 82,59	VI 84,14	I 85,00	III 90,00	V 90,00	
b	I 8,93	IV 8,97	III 9,27	II 11,63	V 17,33	VI 17,73	
c	IV 16,67	III 18,97	I 19,07	II 19,20	V 26,00	VI 27,97	
d	I 0,47	III 0,49	IV 0,54	II 0,58	V 0,63	V 0,66	
f	IV 61,7	I 61,4	III 60,8	II 60,7	VI 60,5	V 60,1	
g	IV 3,20	III 2,00	I 1,97	VI 1,57	II 1,57	V 1,40	
h	I 3,00	IV 2,90	III 2,80	II 2,33	V 2,10	VI 1,96	
i	I 0,244	IV 0,251	III 0,290	II 1,344	V 1,704	VI 1,806	
j	I 0,221	IV 0,300	III 0,328	II 0,919	VI 1,244	V 1,296	
k	I 0,434	IV 0,551	III 0,625	II 2,263	V 3,000	VI 3,051	
l	I 0,097	IV 0,099	III 0,113	II 0,522	VI 0,659	V 0,697	
m	I 0,087	IV 0,090	III 0,106	II 0,307	V 0,393	VI 0,416	
n	I 0,185	IV 0,190	III 0,219	II 0,836	VI 1,075	V 1,090	

Fig. 4. Grupy jednorodne podłoży popiołowych dla *Acer negundo* L. względem rozpatrywanych cech. (Uszeregowanie przeciętnych w kierunku korzystniejszych dla siewek wartości)

Fig. 4. Groups of substrata on which *Acer negundo* L. has grown not differing significantly according to the studied characters. (The means are arranged from poorest to best as regards growth of the seedlings)

dów Chemicznych „Oświęcim” w Oświęcimiu (z węgla kamiennego) na wzrost i rozwój siewek niektórych gatunków drzew i krzewów wykazały, że spośród 11 badanych gatunków drzew i krzewów najlepsze na obu typach popiołów okazały się również siewki *Acer negundo*. Z innych gatunków dobrymi cechami wzrostowymi odznaczały się siewki: *Myrica germanica* Desv., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Populus alba* L.,



Fot. K. Jakusz

Ryc. 5. Jedne z najokazalszych siewek *Acer negundo* L. wyrosłych w doświadczeniu Siewki w górnym szeregu pochodzą (od lewej): 1) z gleby (G_s), 2) z popiołu z 2,5-centymetrową wierzchnią warstwą gleby (II), 3) z popiołu (I), 4) z popiołu z dodatkiem torfu (IV);

P. canescens Sm., *P. tremula* L., *P. nigra* L. oraz *Lonicera xylosteum* L. Niniejsze doświadczenie przeprowadzone na popiołach energetycznych z Elektrowni Halemba potwierdza dobry wzrost siewek *Acer negundo*. W odniesieniu do rozpatrywanych cech pozostałe z zastosowanych gatunków nie wykazały istotnego różnicowania, a uzyskane przez nie rezultaty można uznać jako zadawalające. Oczywiście zastosowanie w praktyce któregokolwiek z tych gatunków uzależnione jest od pozytywnych wyników uzyskanych wprost na zwałach. Jak wykazują doświadczenia wazonowe do takich prób należałoby w pierwszym rzędzie zakwalifikować *Acer negundo*, i to na różnych typach zwałów popiołowych w kraju.

Z uwagi na dość zasadnicze różnice pomiędzy warunkami wzrostu siewek w doświadczeniu wazonowym i warunkami panującymi wprost na zwałach, należy podkreślić istotną rolę prób terenowych poprzedzających zabiegi praktyczne. Po pierwsze — w czasie trwania doświadczenia zapewniono siewkom odpowiednie nawilgotnienie przez systematyczne podlewanie substratu, co umożliwiło im przetrwanie okresów suszy. Tymczasem na zwałach mało jest przyswajalnej wody zwłaszcza w wierzchniej warstwie. Pozytywny rezultat zabiegów rekultywacyjnych jest praktycznie uzależniony od wody, którą (zwłaszcza w przypadku rekultywacji nasionami drzew i krzewów) należałoby bezwzględnie doprowadzić na zwały. Bez tego toksyczność i higroskopijność substratu uniemożliwi siewkom należyty rozwój. Systematyczne podlewanie siewek w skrzyniach doświadczalnych, o stosunkowo małej objętości substratu popiołowego, łagodziło toksyczne działanie nadmiernie skoncentrowanych związków chemicznych poprzez ich rozpuszczanie w wodzie. Oprócz tego, na zwałowiskach (osadnikach) popiołowych panują bardzo niekorzystne warunki termiczne (silne nagrzewanie się powierzchni zwału i przygruntowej warstwy powietrza oraz znaczne dobowe wahania temperatur), powodujące zgorzel siewek. Pozbawienie siewek w doświadczeniu konkurencji ze strony chwastów również ułatwiło im rozwój. Innym czynnikiem o praktycznym znaczeniu jest zagadnienie czystości otaczającej atmosfery. Tutaj siewki rosły na terenie szkółek zakładowych w warunkach „czystego” powietrza, podczas gdy roślinność na zwałach cierpi nieraz dotkliwie wskutek nadmiernego zapylenia i przesylenia powietrza toksycznymi gazami, głównie SO_2 .

w dolnym szeregu (od lewej): 1) z popiołu z pełną dawką nawozów mineralnych NPK (V), 2) z popiołu z połową pełnej dawki nawozów mineralnych NPK (VI), 3) z popiołu z dodatkiem kompostu (III)

Fig. 5. Some of the best growing seedlings of *Acer negundo* L. raised in the experiment

The seedlings in the upper row were grown from left to right on: 1° soil (G_s), 2° ash with 2.5 cm surface layer of soil (II), 3° ash alone (I), and 4° ash with peat (IV), and in the lower row from left to right on: 1° ash with a full NPK fertilization (V), 2° ash with a half-full NPK fertilization (VI), and 3° ash with compost added (III)

Doświadczenia z roku 1970 posiadały tylko trzy warianty substratu popiołowego: popiół bez domieszek, popiół z dodatkiem azotu w postaci NH_4NO_3 (cz.d.a.) oraz popiół z wierzchnią warstwą gleby szkółkarskiej o grubości 2 cm. W zależności od rozpatrywanych cech siewek wyniki były bardzo różne. Dla siewek na popiołach konińskich najczęściej optymalne warunki stwarzało podłoże popiołowe z wierzchnią warstwą gleby, natomiast na popiołach oświęcimskich (zwłaszcza dla gatunków lekkonasiennych jak topole) najbardziej wyrównany wpływ miało podłoże popiołowe bez nawożenia. Dla innych gatunków najbardziej odpowiednie były podłoża z dodatkiem NH_4NO_3 oraz z wierzchnią warstwą urodzajnej gleby.

W niniejszym doświadczeniu skrzyniowym spośród podłoży popiołowych najmniej szkodliwe (czyli optymalne) dla siewek warunki stworzyły 3 następujące: popiół z dodatkiem pełnej dawki nawozów mineralnych NPK (V), popiół z dodatkiem nawozów mineralnych NPK równym połowie dawki pełnej (VI) oraz popiół z 2,5 cm warstwą gleby szkółkarskiej (II). Można powiedzieć, że z nich najbardziej optymalne warunki, istotnie lepsze niż podłoże VI, stworzyło podłoże V. Na trzecim miejscu wymienić należy podłoże II.

W odniesieniu do cech wzrostowych siewek, zdrowotności i przyrostu świeżej i suchej masy test Duncana wyodrębnił trzy pozostałe podłoża popiołowe jako grupę podłoży różniących się istotnie na niekorzyść od podłoży wyżej wymienionych (ryc. 3). Chodzi tutaj o podłoża: I, IV i III, czyli kolejno: o podłoże popiołowe bez domieszek, popiołowe z dodatkiem pełnej dawki torfu i z dodatkiem pełnej dawki kompostu. Co do wpływu na siewki te trzy rodzaje podłoża nie wykazały między sobą istotnych różnic. Oznacza to, że dodanie do popiołów pełnej dawki torfu i pełnej dawki kompostu ogrodniczego nie wpłynęło, w porównaniu z podłożem z czystego popiołu, na poprawę warunków życiowych siewek. Czym należałoby tłumaczyć ten fakt? Oprócz wartości nawozowych i zdolności wiązania wody, domieszki te wprowadziły niewątpliwie do popiołów odpowiednią mikroflorę i mikrofaunę, których „świeże” popioły użyte do doświadczeń były prawdopodobnie pozbawione. Uzasadnienie wydaje się tkwić w przypuszczeniu, że w przeciągu kilku miesięcy trwania doświadczenia (niepełny sezon wegetacyjny) nie doszło do „uruchomienia” składników pokarmowych zawartych w tych nawozach. Może zastosowane dawki okazały się niewystarczające? Należałoby się spodziewać, że dopiero w następnych latach nawozy te wywarłyby widoczny wpływ na siewki. Zagadnienie to należy sprawdzić, zwłaszcza w szerszych doświadczeniach na zwałach, przy zastosowaniu sadzonek różnych drzew i krzewów (do czego Zakład Dendrologii i Arboretum Kórnickie PAN przystąpił jesienią 1972 r.). Prawdopodobnie dopiero kilkuletnie obserwacje wyjaśnią to zjawisko. Tymczasem w świetle wyników przeprowadzonego doświadczenia wyraźnie korzystniejszy wpływ

wywarło nawożenie mineralne NPK, na pewno z uwagi na brak azotu w popiołach. Przy próbach rekultywacji zwalów energetycznych fakt ten należy mieć na uwadze.

Niektóre zwaly energetyczne (np. konińskie lub oświęcimskie) cechuje także ubóstwo potasu i fosforu, zatem wprowadzenie ich (a nie tylko azotu jak to miało miejsce w doświadczeniu wazonowym w 1970 r.) jest bardzo ważne.

Tabela 7 przedstawia wartość pH na poszczególnych podłożach w chwili likwidacji doświadczenia. Jak widać, wartość pH na podłożach popiołowych uległa, w stosunku do stanu wyjściowego, obniżeniu w granicach jednego stopnia. Zasadowość zmalała najbardziej na podłożu popiołowym z dodatkiem nawozów mineralnych NPK równym połowie pełnej dawki (VI), bo o wartość 0,83 mierzoną w H₂O i 1,03 w KCl. Ogólnie biorąc, różnice w obniżeniu się zasadowości popiołów na podłożach popiołowych są niewielkie. Najniższy spadek zasadowości popiołów dotyczył podłoża II (z wierzchnią warstwą gleby).

Wysoka zasadowość popiołów energetycznych jest jednym z czynników ograniczających dobór roślin do rekultywacji. Dlatego też do doświadczeń użyto m. in. siarczanu amonu, nawozu o właściwościach zakwaszających. Należałoby wypróbować w tym względzie działanie odpowiednio rozcieńczonego kwasu azotowego (zakwaszenie + azot).

Obserwacje doświadczeń z zastosowaniem 2-letnich sadzonek różnych gatunków drzew i krzewów wykazują, że poprzez sadzenie można uzyskać szybsze i korzystniejsze efekty rekultywacji aniżeli w przypadku wysiewu nasion drzew i krzewów. Chodzi tu zwłaszcza o jesienne sadzenie wyselekcjonowanego, zdrowego materiału szkółkarskiego. Badania tego typu są w toku realizacji.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone w sezonach wegetacyjnych 1970 r. i 1971 r. doświadczenia wazonowe wykazują, że spośród przebadanych siewek kilkunastu gatunków drzew i krzewów najbardziej przydatnymi na trzy typy popiołów energetycznych (z uwagi na dużą odporność na toksyczne substancje w nich nagromadzone) są siewki *Acer negundo*.

2. Siewki innych gatunków (*Salix caprea*, *Physocarpus intermedius*, *Sorbaria sorbifolia*, *Ailanthus glandulosa*, *Hippophaë rhamnoides*, *Fraxinus pennsylvanica* i *Lonicera xylosteum*) odznaczają się dość wyrównanym i dobrym rozwojem na popiołach z Elektrowni Halemba, a na podstawie prób z 1970 r. także na popiołach z elektrociepłowni w Oświęcimiu i z Elektrowni Konin.

3. Spośród zastosowanych w doświadczeniu 6 wariantów podłoży popiołowych (5 form nawożenia) optymalny wpływ na siewki miało pełne

nawożenie mineralne NPK. Słabszy wpływ wywarło zastosowanie domieszki NPK równej połowie pełnej dawki oraz zastosowanie wierzchniej warstwy gleby szkółkarskiej.

4. W odniesieniu do *Acer negundo* nawożenie mineralne NPK jest dla cech wzrostowych siewek i przyrostu świeżej i suchej masy znacznie korzystniejsze od sposobu pokrycia popiołów cienką warstwą gleby.

5. Nieistotny wpływ nawożenia torfem i kompostem na rozwój siewek, w porównaniu z substratem popiołowym bez nawożenia, nasuwa wątpliwości. Nawożenie tego typu powinno być wypróbowane w terenie, a jego wpływ obserwowany przez kilka sezonów wegetacyjnych.

6. Należy szukać bardziej radykalnych metod zmniejszenia zasadowości popiołów energetycznych, w celu stworzenia pod względem pH warunków odpowiadających szerszemu doborowi drzew i krzewów.

7. Poza wymienionymi w doświadczeniu gatunkami potrzebne są próby, zwłaszcza terenowe, także z wieloma innymi gatunkami drzew i krzewów. W przypadku zastosowania siewu nasion drzew i krzewów pozytywny rezultat wydaje się być uzależniony od zapewnienia siewkom intensywnego podlewania, przynajmniej w pierwszych 2-3 latach życia.

8. Przeprowadzone doświadczenia wazonowe pozwalają ocenić wpływ popiołów energetycznych określonego typu na wzrost i rozwój siewek badanych gatunków drzew i krzewów. Należałoby je kontynuować i traktować jako punkt wyjściowy do badań wprost na zwałach.

9. Obserwacje i pierwsze wyniki założonych na zwałach popiołowych doświadczeń z zastosowaniem 2-letnich sadzonek drzew i krzewów prowadzą do wniosku, że pewniejszym od siewu sposobem zagospodarowania zwałów energetycznych jest sadzenie, zwłaszcza jesienne, materiału szkółkarskiego.

Zakład Dendrologii i Arboretum Kórnickie
Kórnik k. Poznania

LITERATURA

1. Elandt R. — 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczego. PWN, Warszawa.
2. Górski M. (red.) — 1956. Nawozy i nawożenie. Tom III, Nawozy organiczne. PWRiL, Warszawa.
3. Horticultural colour chart (I i II) — 1938. The British Colour Council in collaboration with the Royal Horticultural Society.
4. Kaczmarek Cz. — 1972. Wyniki obserwacji meteorologicznych w Kórniku w roku 1971. Arboretum Kórnickie, 17: 209 - 226.
5. Kluczyński B. — 1971. Wazonowe sprawdzenie odporności i przydatności siewek wybranych gatunków drzew i krzewów na dwa typy popiołów energetycznych. Zakład Dendrologii i Arboretum Kórnickie PAN. Kórnik (maszynopis).

6. Koter M. — 1957. Chemia rolna. PWN, Łódź.
7. Kowalkowski A. i Prusinkiewicz Z. — 1959. Gleby Arboretum Kórnickiego. Arboretum Kórnickie, 4: 233 - 276.
8. Krüssmann G. — 1954. Die Baumschule. Paul Perey Verlag. Berlin.
9. Morawski S. — 1967. Zwaly energetyczne, ich rodzaje i próby zadrzewienia. Sylwan, 111 (9): 47 - 56.
10. Nowosielski O. — 1968. Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa.
11. Oktaba W. — 1966. Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN, Warszawa.
12. Snedecor G. W. — 1956. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
13. Tyszkiewicz S. i Obmiński Z. — 1963. Hodowla i uprawa lasu. PWRiL, Warszawa.
14. Tyszkiewicz S. — 1952. Nasiennictwo leśne z zarysem selekcji drzew. PWRiL, Warszawa.
15. Włoczewski T. i Kędzierski Z. — 1965. Metodyka leśnych badań doświadczalnych. PWRiL, Warszawa.

BOGDAN KLUCZYŃSKI

Development of potted seedlings of selected species of trees and shrubs on ash refuse from the Halemba power station

Summary

An experiment on the growth of seedlings of some trees and shrubs on ash from the Halemba power plant has been conducted in the Kórnik Arboretum in 1971. The ash is formed following combustion of pit-coal. Samples were taken from a surface layer 30 cm deep in the settling basin for ash near the Halemba power plant and transported to Kórnik. An analysis of the ash (Table 1, 2 and 3) has shown that it has a high pH (9.7), a toxic concentration of Fe (26 400 p.p.m.), Mg (22 400 p.p.m.), Pb (100 p.p.m.), Ca (up to 29 000 p.p.m.) and easily soluble forms of Al (50 p.p.m.). Notably there is an almost complete absence of available nitrogen (1.2 ppm of nitrates) when the total nitrogen concentration is very high (0.44%). The amount of P_2O_5 and K_2O and of available Boron is sufficient and corresponds to class I in soil grades.

In the experiment the following types of substrata have been used:

G_s = nursery soil (for comparison purposes),

I = ash without any additives,

II = ash with a 2.5 cm layer of soil placed on top of it,

III = ash with compost added (400 q/ha),

IV = ash with peat added (400 q/ha),

V = ash with addition of a full fertilizer containing NPK (the total amount of NPK in pure component was 300 kg/ha, of which 40% was N, 25% P_2O_5 and 35% K_2O).

VI = ash with half the full fertilizer quantity added containing NPK (150 kg of pure component per 1 ha).

These substances have been prepared in wooden frames placed on the ground and having a tar paper isolation from the soil. The boxes were placed in conditions of full sunlight.

Seeds of the following 9 species of trees and shrubs have been used: 1) *Salix caprea* L., 2) *Physocarpus intermedius* Schneid., 3) *Sorbaria sorbifolia* A. Br., 4) *Robinia pseudoacacia* L., 5) *Ailanthus glandulosa* Desf., 6) *Acer negundo* L., 7) *Hippophaë rhamnoides* L., 8) *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., 9) *Lonicera xylosteum* L.

All the variants of the substrata have been prepared in three replicates, and into each pot 24 seeds of a given species were added, the sample being taken at random from a seed lot the germination capacity of which was tested (Fig. 1).

The distribution of the substrata and species in the wooden frames was random. In this way a lay-out of completely randomized blocks was obtained.

The plants were under observation for a period of one vegetative season, in 1971, and then the experiment was terminated.

Data on several characters of the seedlings (growth, overall health, colour of foliage and degree of damage, increment of fresh and dry weight) has been collected and analysed with the help of variance analyses (Table 8, Fig. 2, 3 and 4).

The best results have been obtained in the case of *Acer negundo* L. seedlings (Fig. 2). This observation confirms the results of a similar experiment established on ash from the electric power plant of the Chemical Works in Oświęcim (from pit-coal) and from the power plant at Konin (from brown coal) that have been conducted in 1970. Seedlings of the other species differ from *Acer negundo* in terms of the studied characters in a significant way ($D_{0.05}$). None the less they are also characterized by an even good quality of the seedlings.

Of the 6 ash substrata used (five with forms of fertilizing) the best results were obtained following the full mineral fertilization with NPK (V). Somewhat poorer results were obtained using half the full mineral fertilization with NPK (VI) and the surface cover with a layer of soil (II). The effect of fertilization with compost (III) and with peat (IV) proved not significant compared with ash without any fertilizer (I) (Figs. 3 and 4). This result appears doubtful and therefore it must be confirmed directly on the ash heaps.

If direct sowing of seeds of trees and shrubs were to be employed in practice it appears essential that artificial watering be supplied at least during the first 2-3 years. The substratum should be acidified and appropriately fertilized to help the plants get established.

БОГДАН КЛУЧИНЬСКИЙ

Развитие сеянцев некоторых видов деревьев и кустарников на золе электростанции Халемба в опытах с вегетационными сосудами

Резюме

Изучение развития сеянцев некоторых видов деревьев и кустарников на золе, полученной при сжигании каменного угля на электростанции Халемба, проводилось в Курницком арборетуме в 1971 г. Зола была собрана в поверхностном слое (толщиной в 30 см) зольных осадков электростанции и привезена в Курник. Анализ золы (табл. 1, 2, 3) показал высокое значение рН (9,7), токсические концентрации железа (26 400 р.р.м.*), магния (22 400 р.р.м.), свинца (100 р.р.м.), кальция (до 29 000 р.р.м.) и легко растворимых форм алюминия (50 р.р.м.). Обращает на себя внимание ни-

* 1 р.р.м. (миллионная доля) = 10⁻⁴%.

чтожное содержание усвояемого азота (1,2 р.р.м. нитратов) при довольно высокой общей концентрации азота (0,44%). Содержание P_2O_5 , K_2O , а также усвояемого бора вполне достаточно и соответствует I классу богатства почв.

В опытах были использованы следующие варианты питательных сред:

G_s — почва питомников (в качестве контроля),

I — зола (без добавок),

II — зола с добавкой 2,5 см верхнего слоя почвы,

III — зола с добавлением компоста (из расчёта 400 ц/га),

IV — зола с добавлением торфа (из расчёта 400 ц/га),

V — зола с добавлением полной дозы минеральных удобрений NPK (общее количество NPK в чистых компонентах составляет 300 кг/га; из этого количества для N принято 40%, для P_2O_5 - 25%, для K_2O - 35%),

VI — зола с добавлением половинной дозы минеральных удобрений NPK (150 кг/га).

Эти среды приготавливались в деревянных ящиках, поставленных на грунт; между днищем ящиков и почвой помещалась изолирующая прокладка из толя; ящики помещались в условия полного освещения.

Использованы семена следующих девяти видов: 1) *Salix caprea* L., 2) *Physocarpus intermedius* Schneid., 3) *Sorbaria sorbifolia* A. Br., 4) *Robinia pseudacacia* L., 5) *Ailanthus glandulosa* Desf., 6) *Acer negundo* L., 7) *Hippophae rhamnoides* L., 8) *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., 9) *Lonicera xylosteum* L.

Все варианты питательной среды были приготовлены в трёх повторностях; в каждой из них высевалось по 24 семени изучаемого вида, составляющих случайные выборки из образцов с проверенной способностью прорасти (рис. 1).

Субстраты и виды в ящиках размещались методом жеребьёвки, что обеспечило полную рандомизацию постановки опыта.

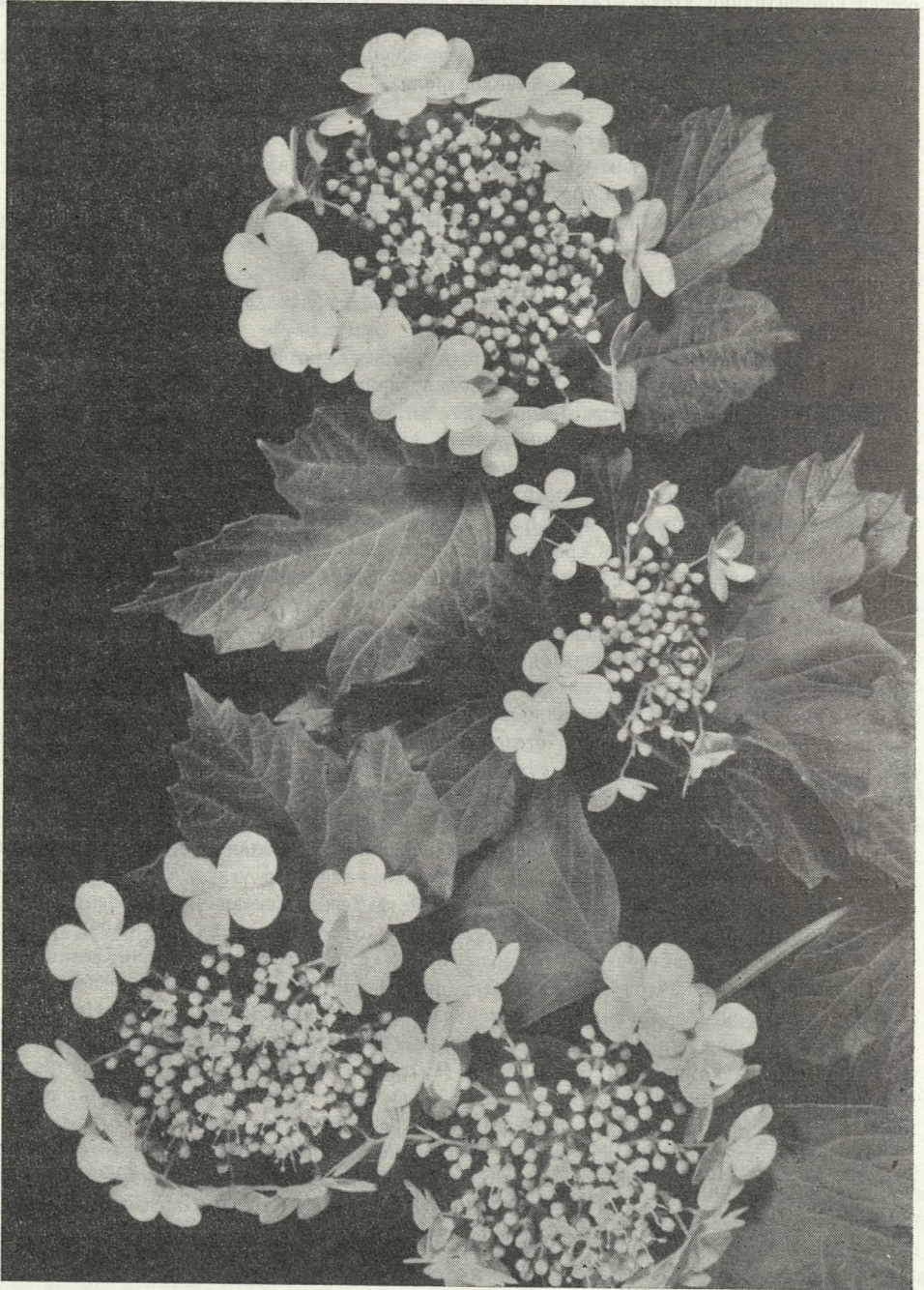
Наблюдения проводились в течение всего вегетационного периода 1971 г., после чего опытный материал был ликвидирован.

Ряд признаков семян (рост, степень жизнестойкости, окраска листьев и степень их повреждения, прирост свежей и сухой массы) подвергнут вероятностному анализу (табл. 8, рис. 1, 2, 3).

Наилучшие результаты получены на сеянцах *Acer negundo* L. (рис. 2). Этот факт подтверждает результаты аналогичного исследования на золах теплоэлектростанции Химических заводов в Освенциме (после сжигания каменного угля) и электростанции в Конине (бурый уголь), проведенного в 1970 г. Сеянцы остальных видов по всем рассмотренным признакам существенно отличаются от *Acer negundo* L. (0,05). Тем не менее они также характеризуются выравненностью и высоким качеством семян.

Среди шести вариантов зольных сред (пять форм удобрения) оптимальное влияние на сеянцы оказала полная доза минерального удобрения NPK (V). Несколько слабее влияет половинная доза этого удобрения (VI), а также верхний почвенный слой (II). Применение компоста (III) и торфа (IV), по сравнению с зольным субстратом без удобрения (I), существенных изменений не вызывает (рис. 3, 4). Этот факт вызывает сомнения: его необходимо проверить непосредственно на выбросах золы.

В случае посева семян деревьев и кустарников непременным условием получения положительных практических результатов является дождевание, по крайней мере в первые два-три года. При этом необходимо облегчить растениям жизненный старт, подкисляя среду и соответственно удобряя.



Fot. K. Jakusz

Kalina koralowa (*Viburnum opulus* L.) — kwitnąca gałązka