

WŁADYSŁAW BUGAŁA, BOGDAN KLUCZYŃSKI

## Badanie przydatności wybranych gatunków drzew i krzewów do rekultywacji skarp piaskowni w Szczakowej\*

### WSTĘP

Powstanie piaskowni w Szczakowej, jak i wielu innych tego typu obiektów w Polsce, wiąże się z bardzo dużym zapotrzebowaniem naszego górnictwa na piasek. Używa się go w postaci podsadzki płynnej do wypełnienia wyeksploatowanych już pokładów węgla. Stary sposób eksploatacji węgla „na zawał” powodował ponad 50-procentowe straty zasobów oraz stwarzał duże szkody i zagrożenia na powierzchni ziemi. Pierwsze udane eksperymenty zastosowania płynnej podsadzki piaskowej w 1894 r. spowodowały (T y m i ń s k i, 1965), że kopalnie węgla uruchomiły szereg niewielkich piaskowni na własny użytek. Już w okresie międzywojennym areał nieużytków tego typu wyniósł 1500 ha.

Od 1951 r. 90% wydobycia i dostawy piasku do kopalń przejęło specjalistyczne Przedsiębiorstwo Materiałów Podsadzkowych Przemysłu Węglowego (PMP-PW). Pomimo tendencji do powszechnego stosowania jako podsadzki skały pónnej 40 procent globalnego urobku węgla kamiennego opiera się u nas obecnie na zastosowaniu podsadzki piaskowej (D z i u r a i inni, 1965; T y m i ń s k i, 1965). W latach 1950 - 1964 wydobycie piasku na ten cel wzrosło szczególnie. Ponad połowę wydobycia piasku pokrywa Kopalnia „Szczakowa”.

Ogólna powierzchnia czynnych i nieczynnych wyrobisk wynosi około 5000 ha, a bieżące wydobycie pochłania w przybliżeniu 300 ha nowych gruntów rocznie. Obliczono (T y m i ń s k i, 1965), że dla zaspokojenia potrzeb polskiego górnictwa na piasek podsadzkowy do 2000 r. trzeba będzie przeznaczyć około 25 000 ha powierzchni. Dotyczy to głównie terenów leśnych, co w warunkach Śląska i Zagłębia jest zjawiskiem szczególnie niepożądanym. Powstał problem zagospodarowywania tych jałowych piasków. Podstawowym kierunkiem postępującej rekultywacji (S k a w i n a

\* Autorzy dziękują Panu mgrowi inż. B. Wiejasze z PMP-PW w Katowicach za wiadomości dotyczące kopalnictwa piasku podsadzkowego, zaś Panu mgrowi B. Grali z Pracowni Informatyki i Statystyki AM w Poznaniu za pomoc przy statystycznym opracowaniu wyników.



i inni, 1963) stał się kierunek leśny. Zrekultywowano już około 2800 ha powierzchni wyrobisk, z czego gospodarce leśnej przekazano 1300 ha, a pozostałą część przejęła gospodarka wodna i wodno-rekreacyjna.

Zmienność warunków siedliskowych piaskowni jest duża (Adamowicz, 1965). Przejawia się to w różnorodności budowy podłoża (od żwirów gruboziarnistych i piasków luźnych do glin i ilów), w jego właściwościach fizycznych i chemicznych oraz w stosunkach wodnych. Także odczyn substratu przyjmuje różne wartości (od pH 3,6 do 9,4), głównie w zależności od rodzaju i wielkości opadu przemysłowych zanieczyszczeń powietrza. Powyższe czynniki warunkują dobór roślin do rekultywacji.

Do „regeneracji” środowiska wyrobisk popiaskowych bardzo przydatnymi są rośliny motylkowe. Po głębokim przyoraniu szybko „uaktywniają” podłoże. Natomiast do zalesień przedplonowych, jak stwierdzono w wyniku wielu prób (Adamowicz, 1965; Furdyna i Mac, 1966), najbardziej nadają się: *Alnus incana* Moench, *A. glutinosa* Gaertn., *Robinia pseudacacia* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Hippophaë rhamnoides* L., *Salix caprea* L., *Prunus serotina* Mill. Przy zalesianiu docelowym należy stosować między innymi następujące gatunki: *Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh., *Populus tremula* L., *Ulmus laevis* Pall., *Larix decidua* Mill., *Pinus nigra* Arn., *Acer campestre* L., *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *Quercus rubra* L., *Tilia cordata* Mill., *Rhamnus frangula* L., *Sorbus aucuparia* L., *Prunus padus* L., *Cornus sanguinea* L., *Sambucus nigra* L., *S. racemosa* L., *Spiraea opulifolia* L. Spośród wielu odmian topoli (Olszowski, 1965) najbardziej przydatnymi okazały się: *P.'Regenerata'* i *P.'Hybrida 277'*.

Problem rekultywacji wyrobisk dotyczy zarówno ich dna, jak i wysokich skarp narażonych na erozję wodną i wietrzną. Niniejsza praca omawia wyniki 3-letnich obserwacji doświadczenia założonego w 1970 r. na skarpie wyrobiska popiaskowego w Szczakowej (pole I) z udziałem 18 gatunków drzew i krzewów.

#### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Kopalnia Piasku Podsadzkiego „Szczakowa” eksploatuje piasek w dwóch piaskowniach (wyrobiskach) określanych mianem pola I (o dotychczasowej powierzchni 500 ha) i pola II (800 ha). Pole I, na skarpie którego zlokalizowano niniejsze doświadczenie, leży na terenie miasta Jaworzna, na północny wschód od dzielnicy Szczakowa. Ma ono kształt wieloboku zajmującego tereny pomiędzy rzeką Białą Przemską a linią kolejową, początkowo przy trasie Katowice—Kraków, a następnie Szczakowa—Bukowno. Ten ostatni odcinek linii kolejowej jest jednocześnie „pomostem” odgraniczającym obydwie pola. Wzdłuż południowej granicy przepływa ich główny kanał odwadniający.

Przed rozpoczęciem eksploatacji piasku (Dziura i inni, 1965; Wie-



ja c h a i inni, 1967; F u r d y n a, 1968 i 1974) cały ten równy lub słabo falisty teren, ze średnim wzniesieniem 263 m n.p.m., pokrywały różnowiekowe bory sosnowe V bonitacji należące do Nadleśnictwa Szczakowa. Obecnie lasy te tworzą „otulinę” piaszkowi. Długotrwałe oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza z pobliskich zakładów przemysłowych (głównie z cementowni i z elektrowni) oraz zachwiane stosunki wodne w podłożu na skutek wydobywania piasku, przyczyniły się do karłowacenia drzewostanów sosnowych.

Eksplorację pola I rozpoczęto w 1952 r. (W i e j a c h a i inni, 1967). Obecnie jest ona prowadzona do poziomu grawitacyjnego spływu wód. Do tej pory powierzchnia wydobywania pochłoneła około 500 ha gruntów (docelowo około 900 ha), z czego zrehabilitowano już w całości dla gospodarki leśnej 390 ha. O wiele trudniejszym problemem jest biologiczne zagospodarowanie skarp. Dość duże nachylenie stoku w stosunku do płaszczyzny wyrobiska (średnio około 16°) i jego długość (ponad 50 m) sprzyja erozji wodnej, a rozległe, otwarte przestrzenie ułatwiają wydmuchiwanie piasków. Ponadto na skarpach panuje dotkliwa susza spowodowana dużą przepuszczalnością piasków, brakiem podsiąkania na tę wysokość wody gruntowej.

Pod względem geologicznym (W i e j a c h a i inni, 1967; F u r d y n a, 1968 i 1974) spąg wyrobiska zbudowany jest z głębokich piasków pochodzenia lodowcowego, zalegających głównie na utworach permskich, triasowych i trzeciorzędowych. Uziarnienie piasku bywa różnorodne w zależności od rodzaju skał budujących podłoże. W górnej warstwie występują najczęściej piaski drobnoziarniste. W miarę powiększania się głębokości ziarnistość się zwiększa i stopniowo przechodzi w warstwę żwiru. Tabele 1 i 2 (F u r d y n a, 1974) przedstawiają niektóre fizykochemiczne właściwości średniej próbki piasku pobranej z wierzchniej warstwy spągu (0 do 50 cm) świeżo wyeksploatowanej piaszkowni w Szczakowej.

Tabela 1

Skład mechaniczny piasku z dna wyrobiska (określony metodą areometryczną w modyfikacji Prószyńskiego)

Mechanical composition of the sand from the bottom of the excavation determined by the aerometric method modified by Prószyński

Głębokość pobrania w cm Depth of sampling in cm	Części szkieletowe w% > 1 mm Skeletal part in % > 1 mm	Procentowy udział frakcji o średnicy [mm] Percentage participation of fraction with diameters [mm]								Ogółem Total		
		1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,02	0,02 - 0,006	0,006 - 0,002	< 0,002	1,0 - 0,1	0,1 - 0,02	< 0,02
0 - 50	1,5	22,6	54,4	22,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	99,0	1,0	0,0

Jak wynika z tabeli 1 złoża piasku w Szczakowej składają się z piasku średnio ziarnistego. Otoczone są odpornymi na wietrzenie wapieniami i dolomitami triasowymi, nie sprzyjającymi tworzeniu się osadów ilastych.



Skład chemiczny piasku z dna wyrobiska<sup>1</sup>  
 Chemical composition of sand from the bottom of the excavation<sup>1</sup>

Głębokość pobrania w cm Depth of sampling in cm	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub>	C organiczny Organic C
	H <sub>2</sub> O	KCl	w mg/100 g gleby in mg/100 g of soil		w % in %	
0 - 50	5,2	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0

<sup>1</sup> pH oznaczono metodą potencjometryczną, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O – metodą Egnera w modyfikacji Riechma, C organiczny – metodą Tiurina, CaCO<sub>3</sub> – metodą Scheiblera.

<sup>1</sup> pH determined by the potentiometric method, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O by the method of Egner modified by Riechma, C organic – by the method of Tiurin, CaCO<sub>3</sub> – by the method of Scheibler.

Odnaczają się niewielką zawartością frakcji pyłowych (1,0<sup>0</sup>/0) oraz brakiem cząstek ilowych (spławialnych). Świeży spąg pozabawiony jest substancji organicznej, sorbcji oraz podstawowych pierwiastków potrzebnych roślinom do życia. Odczyn podłoża jest kwaśny (pH mierzone w H<sub>2</sub>O i KCl wynosi odpowiednio: 5,2 i 4,7). Jednakże już w rok po zakończeniu eksploatacji (W i e j a c h a i inni, 1967; F u r d y n a, 1968) pomiar kwasowości wykazuje jej wzrost do około 6,0 pH, a w następnych latach dochodzi nawet do alkalizacji podłoża. Dzieje się tak w następstwie opadania pyłów emitowanych przez miejscową cementownię. Zawartość węglanów osiąga wówczas wielkość 0,02 - 0,20<sup>0</sup>/0.

Charakterystyczną cechą wyrobiska jest właściwość szybkiego wsiąkania wody opadowej w wyniku dużej przepuszczalności piasków. Wpływa to hamująco na proces glebotwórczy na skutek wypłukiwania substancji pokarmowych z wierzchnich warstw w głąb podłoża. Sprawdzona laboratoryjnie zdolność podsiąkania piasków ze Szczakowej (F u r d y n a, 1968 i 1974) wynosi około 25 cm.

W miejscach, gdzie w podłożu występują skały podatne na wietrzenie, zawartość części pyłowych (<0,1 mm) wzrasta do kilkunastu procent składu. Poprawia to warunki dla rozwoju roślinności.

Tabela 3 (D z i u r a i inni, 1965; F u r d y n a, 1969) przedstawia badaną wstępnie aktywność mikrobiologiczną wierzchniej, 10-cm warstwy spągu. Próbkę pobierano każdorazowo z 3 - 4 miejsc w 3 powtórzeniach. Jak wynika z tabeli proces aktywizacji mikrobiologicznej piaskowni nasila się wyraźnie: 1) w miarę upływu czasu, tak w przypadku powierzchni zagospodarowanej, jak i niezagospodarowanej, 2) pod wpływem obsiewu roślinami motylkowymi, 3) gdy maleje głębokość zalegania wody gruntowej. Spośród wymienionych czynników najbardziej zdecydowany wpływ na rozwój życia biologicznego wywiera zagospodarowanie wyrobiska roślinami motylkowymi.

Świeży spąg piaskowni „Szczakowa” (F u r d y n a, 1974) jest nieużytkiem pozabawionym cech gleby i roślinności. Dopiero po upływie 2 - 3 lat pojawia się tam najmniej wymagająca roślinność pionierska. Jej skład



Tabela 3

Ogólna aktywność mikrobiologiczna podłoża piaskowni „Szcakowa” w zależności od sposobu jego użytkowania, poziomu wody gruntowej oraz upływu czasu od zakończenia eksploatacji piasku

The general microbiological activity of the substratum in the „Szcakowa” sand excavations, depending on the nature of its utilization, the level of ground water and duration of time from the termination of sand mining operations

Charakter wyrobiska Nature of the excavation	Termin badania Time of investigation	Poziom wody gruntowej [cm] Level of ground water [cm]	Liczba bakterii w 1 g gleby [mln sztuk] Number of bacteria in 1 g of soil [millions]	
Niezagospodarowane Unmanaged	Po zakończeniu eksploatacji piasku: After termination of sand mining:			
	bezpośrednio directly	30 41 65	0,0 0,0 0,0	
	w 1/2 roku after 1/2 year	28 45 67	0,9 0,7 0,5	
	w 1 rok after 1 year	33 44 60	1,5 1,2 0,9	
	w 2 lata after 2 years	30 48 69	3,1 2,9 2,0	
	Zagospodarowane Managed	Po obsiewie motylkowymi: After sowing of leguminose crop:		
		w 1/2 roku after 1/2 year	27 47 65	8,0 7,2 6,5
		w 1 rok after 1 year	32 50 70	12,0 9,5 10,0
		w 2 lata after 2 years	30 46 67	17,0 14,0 16,5

gatunkowy zależy przede wszystkim od poziomu wody gruntowej. Powstają więc różne zbiorowiska roślinne charakterystyczne dla stanowisk o skrajnych warunkach, jak torfowiska, bory lub wydmy. W miejscach najsuchszych piaskowni rozwijają się stopniowo zbiorowiska roślin należących do zespołów piaszczystych wydym śródłądowych, na przykład początkowo *Corynephorum canescens*, później *Festuceto-Thymetum serpylli*. Charakterystycznymi gatunkami dla tego typu zespołów są: *Corynephorus canescens* (L.) P.B., *Festuca ovina* L., *Plantago indica* L., *Viola tricolor* L., *Jasione montana* L., w dalszej kolejności — *Thymus serpyllum* L. i *Sedum acre* L. Rośliny te mają zdolność wegetacji przy bardzo niskim poziomie wody gruntowej (poniżej 1 m). Charakteryzują one siedlisko boru suchego, gdzie można wprowadzać tylko nieliczne gatunki drzew i krzewów. W warunkach piaskowni odnosi się to w pierwszej kolejności do skarp.



Szczakowa leży w Krainie Wyżów Środkowopolskich, w dzielnicy Jury Krakowsko-Wieluńskiej. Mroczkiewicz (1952) podaje, że „klimat tej niedużej dzielnicy jest wyrównany, wyraźnie kontynentalny z dużą amplitudą absolutnych temperatur. Opady są względnie wysokie. Istnieją jednak w tym ogólnym makroklimacie duże odchylenia lokalne, zależne od położenia. Stosunki cieplne i wodne nieraz na małej przestrzeni są bardzo różne”. Już ta krótka charakterystyka zapoznaje nas ogólnie z warunkami klimatycznymi badanego obiektu. Informację tę uściślają przedstawione w tabelach 4 i 5 dane szczegółowe. Są to średnie wartości dziesięcioletnich (1954 - 1963) obserwacji prowadzonych przez stację meteorologiczną w Ząbkowicach Śląskich położoną w odległości 15 km na północ od Szczakowej. W tabeli 5 zamieszczono jednocześnie dane dotyczące lat: 1971, 1972 i 1973, czyli za okres obserwacji roślin w doświadczeniu („Dyskusja i podsumowanie wyników”).

Tabela 4

Procentowy udział wiatrów w Ząbkowicach Śląskich w latach 1954 - 1963  
Percentage participation of wind from different directions in Ząbkowice Śląskie, in the years 1954 - 1963

Kierunek Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Cisza Quiescence	Razem Total
Z udziałem ciszy With quiescence	9	7	14	5	5	11	16	13	20	100
Z wyłączeniem ciszy Without quiescence	11	9	18	6	6	14	20	16	-	100

Procentowo wyrażone częstotliwości występowania wiatrów na poszczególnych kierunkach (tab. 4) mieszczą się w interwale 6 - 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> w skali roku i w kolejności malejącej częstotliwości można je uszeregować następująco: W (20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — E (18<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — NW (16<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — SW (14<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — N (11<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — NE (9<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — SE i S (po 6<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Średnie kierunkowe prędkości są dość wyrównane i wynoszą: maksymalnie 2,8 m/s (SW), minimalnie — 1,9 m/s (S), zaś średnioroczna ogólna prędkość wiatru ma wartość 2,2 m/s. Cisza występuje w Szczakowej dość często (20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ogólnej liczby obserwacji).

Roczne opady (tab. 5) są wysokie i w wymienionym dziesięcioleciu wyniosły średnio 677,7 mm rocznie, z czego na sezon wegetacyjny padało około 67<sup>0</sup>/<sub>0</sub> tej ilości (452,0 mm). Wielkość oraz roczny rozkład opadów w Szczakowej można uważać za korzystne dla wegetacji. Ma to dla piaszownicy ogromne znaczenie, bowiem na jałowym piasku z małą podsiąkliwością duży opad i jego korzystny rozkład w roku jest czynnikiem umożliwiającym jakąkolwiek uprawę roślin, w tym również drzew i krzewów. Dotyczy to głównie skarp oraz miejsc z niskim poziomem wody gruntowej. W wyodrębnionym przez Romera klimacie Wyżyn Śląskich (Schmuck, 1959), pod którego wpływem jest omawiany obiekt, deszcze ulewne są dość częste i wykazują duże natężenie. Pokrywa śnieżna



Tabela 5

Dane meteorologiczne dla miejscowości Ząbkowice Śląskie za dziesięciolecie (1954 - 1963) oraz za rok 1971, 1972 i 1973

Meteorological data for Ząbkowice Śląskie for the decade (1954 - 1963) and for the years 1971, 1972, 1973

Czynnik meteorologiczny Meteorological factor	Średnie $\bar{x}$ lub sumy S $\bar{x}$ = mean, S = sum	Okres wegetacyjny (IV - IX) Vegetative period (IV - IX)				Rok Year			
		1954 - 1963	1971	1972	1973	1954 - 1963	1971	1972	1973
		Roczne minimum absolutne temperatury [°C] Annual absolute temperature minimum [°C]					-31,1	-22,9	-21,7
Roczne maksimum absolutne temperatury [°C] Annual absolute temperature maximum [°C]					36,0	33,0	31,0	30,5	
Średnia temperatura najzimniejszego miesiąca [°C] Mean temperature of the coldest month [°C]	$\bar{x}$				-5,4	-3,2	-5,4	-2,0	
Średnia temperatura najcieplejszego miesiąca [°C] Mean temperature of the warmest month [°C]	$\bar{x}$				17,9	19,0	19,0	17,3	
Amplituda średnich temperatur rocznych [°C] Amplitude of mean annual temperatures [°C]	$\bar{x}$				23,3	22,2	24,4	19,3	
Średnia temperatura powietrza 2 m nad powierzchnią gruntu [°C] Mean air temperature 2 m above the ground surface [°C]	$\bar{x}$	13,8	14,3	13,8	13,6	7,3	7,8	7,7	7,6
Dni upalnych: temperatura maksymalna powietrza $\geq 25^{\circ}\text{C}$ Hot days: maximal air temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$	S	32	46	32	33	33	46	32	33
Dni z mgłą Days with fog	S	24	6	8	2	60	30	26	19
Średnia dziennego usłonecznienia [h] Mean daily insolation [h]	$\bar{x}$	5,7 <sup>1</sup>	5,6	4,6	5,7	3,9 <sup>1</sup>	3,6	3,5	3,7
Średnia wilgotność względna powietrza [%] Mean daily relative air humidity [%]	$\bar{x}$	74	74	80	73	78	79	81	78
Średni niedosyt wilgotności [mb] Mean moisture deficit [mb]	$\bar{x}$	5,2	6,7	5,1	6,4	3,4	4,1	3,5	4,0
Opad [mm] Precipitation [mm]	S	452,0	414,7	601,1	447,3	677,7	716,8	718,5	679,6

<sup>1</sup> Cecha wyliczona dla Stacji Meteorologicznej Świerklaniec za lata 1959 - 1963.

<sup>1</sup> Character calculated for the Meteorological Station in Świerklaniec for the years 1959 - 1963.

zalega tutaj średnio przez 60 dni w roku, z tym że ekspozycja i wysokość nad poziom morza powodują pod tym względem duże zróżnicowanie.

Zwraca uwagę (tab. 5) dość wysoka wartość średniej wilgotności względnej powietrza w ciągu roku (78%) i w okresie wegetacyjnym (74%) przy jednocześnie dużym średnim niedosycie wilgotności w okresie wegetacyjnym (5,2 mb).

W Ząbkowicach notuje się przeciętnie w roku 60 dni z mgłą (tab. 5). Lokalne zanieczyszczenia powietrza przyczyniają się do powstawania i utrzymywania się mgieł, te z kolei, podobnie jak opady, oczyszczają atmosferę i wprowadzają zanieczyszczenia do gleby.

Okolice Ząbkowic Śląskich (S c h m u c k, 1959) cechuje 65-procentowe



średnie roczne zachmurzenie. Stopień zachmurzenia wzrasta się w zimie; maksymalne zachmurzenie przypada w Ząbkowicach na grudzień (76%), minimalne — w miesiącach letnich i jesiennych (w czerwcu 61, w lipcu 59, w sierpniu i wrześniu tylko 56%). W ciągu roku notuje się tu przeciętnie 140 dni pochmurnych, zaś słonecznych — 40 do 50, co jest wskaźnikiem stosunkowo wysokim.

Średnie dzienne usłonecznienie w Szczakowej (tab. 5) osiąga w okresie wegetacyjnym wartość 5,7 h, a w ciągu roku 3,9 h i kwalifikuje się do najniższych w kraju. Nieduża jest także roczna liczba dni upalnych (z temperaturą maksymalną powietrza  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) i wynosi 33 dni.

Średnia temperatura najzimniejszego miesiąca w dziesięcioleciu 1954 - 1963 osiągnęła wartość  $-5,4^{\circ}$  (tab. 5), najcieplejszego  $17,9^{\circ}$ , zaś ich amplituda  $23,3^{\circ}\text{C}$ . W danych tych uwidacznia się kontynentalizm termiczny rejonu.

Zima w skali omawianego makroregionu (Schmuck, 1959) rozpoczyna się najczęściej w trzeciej dekadzie listopada i trwa około 100 dni. Przedwiośnie nadchodzi w pierwszej dekadzie marca. Dni z przymrozkiem bywa tutaj nieco powyżej 110 w skali roku, a z mrozem ponad 50.

#### METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH<sup>1</sup>

Na północnej wystawie świeżo uformowanej skarpy pola I należącego do Kopalni Piasku Podsadzkowego „Szczakowa”, założono jesienią 1970 r. doświadczenie z drzewami i krzewami. Zaprojektowano je metodą bloków kompletnie zrandomizowanych (Okta, 1966) z zastosowaniem 18 gatunków roślin. Rozmieszczono je losowo w 3 blokach stanowiących zwarty kompleks doświadczalny. Każdy gatunek reprezentowało łącznie 150 roślin, czyli po 50 sztuk w bloku. Obrano rzędowy system sadzenia roślin poszczególnych gatunków, z równoległym do kierunku spadku przebiegiem rzędów. Przestrzegano 1-metrowych odstępów sadzenia w obydwu kierunkach (więźba =  $1 \times 1$  m). Zatem przy udziale 2700 roślin powstał poligon o wymiarach części doświadczalnej (z wyłączeniem otuliny)  $53 \times 49$  m, co daje powierzchnię równą  $2597 \text{ m}^2$ . Poletko swą górną krawędzią osiąga odległość około 2 m od pierwotnej powierzchni terenu, zaś dolną — około 8 m od dna wyrobiska. Gatunki drzew i krzewów (sadzonych ze szkółek Zakładu Doświadczalnego PAN w Kórniku) uporządkowano pod względem systematycznym i kolejno ponumerowano. Są to: 1) *Populus alba* L., 2) *P. tremula* L., 3) *Salix caprea* L., 4) *S. acutifolia* Willd., 5) *Betula verrucosa* Ehrh., 6) *Alnus incana* Moench, 7) *Physocarpus opulifolius* Maxim., 8) *P. intermedius* Schneid., 9) *Spiraea salicifolia*

<sup>1</sup> Niniejsze obliczenia wykonał Ośrodek Obliczeniowy Akademii Rolniczej w Poznaniu przy zastosowaniu programu obliczeniowego MANOVA w języku MOST 1 na elektroniczną maszynę cyfrową ODRA 1204.



L., 10) *S. menziesii* Hook., 11) *Rosa rugosa* Thunb., 12) *Robinia pseudacacia* L., 13) *Caragana arborescens* Lam., 14) *Tamarix tetrandra* Pall., 15) *T. gallica* L., 16) *Hippophaë rhamnoides* L., 17) *Elaeagnus angustifolia* L., 18) *Lonicera tatarica* L. Sadzonki *Populus alba*, *P. tremula* i *Salix caprea* były 1-roczone, pozostałych gatunków — 2-letnie. Dodać należy, że z uwagi na wodną i wietrzną erozję piasków oraz suszę na skarpie sadzono rośliny głębiej o kilka cm niż rosły one w szkółce.

W czasie najbliższego przedwiośnia po posadzeniu przycięto na wysokości kilku centymetrów nad ziemią (ogłowiono) wszystkie pędy następujących krzewów: *Salix acutifolia*, *Physocarpus opulifolius*, *P. intermedius*, *Spiraea menziesii*, *S. salicifolia*, *Rosa rugosa*, *Caragana arborescens*, *Tamarix tetrandra*, *T. gallica* i *Lonicera tatarica*.

W ciągu 3 kolejnych lat prowadzono systematyczne obserwacje każdej rośliny. Notowano rokrocznie: 1) liczbę wypadów, 2) ogólną żywotność (zdrowotność) każdej rośliny, 3) powierzchnię uszkodzeń jej aparatu asymilacyjnego i 4) przyrost wysokości (w cm). Ogólną żywotność (zdrowotność) roślin oraz powierzchnię uszkodzenia ich liści oceniano według wzrokowej skali własnej (K l u c z y ń s k i, 1975) w połowie sierpnia 1971, 1972 i 1973 r. Na przedwiośniu, przed rozpoczęciem wegetacji, mierzono wysokość roślin z dokładnością do 1 cm celem obliczenia przyrostu wysokości za wymienione lata 1971, 1972 i 1973.

Zastosowana skala żywotności (zdrowotności) sadzonek ma 3 następujące stopnie:

- 1 — żywotność dobra: dynamiczny wzrost, roślina 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.

Stopień uszkodzenia liści przez szkodliwe czynniki podłoża (susza, brak substancji odżywczych itp.) lub zanieczyszczenia powietrza określono za pomocą 5-stopniowej skali:

A = brak na roślinie uszkodzeń liści,

B = wszystkie lub większość uszkodzonych liści można zaliczyć do klasy słabo uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje do 10% powierzchni liścia),

C = wszystkie lub większość uszkodzonych liści można zaliczyć do klasy średnio uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje 11 - 50% powierzchni liścia),

D = wszystkie lub większość uszkodzonych liści można zaliczyć do klasy silnie uszkodzonych (uszkodzenie obejmuje powyżej 50% powierzchni liścia),

F = liście opadły przedwcześnie z powodu toksycznych wpływów środowiska.

Ustalono szacunkowo klasę uszkodzeń oraz procent liści uszkodzonych w stosunku do ogólnej liczby liści na roślinie w chwili obserwacji. Na przykład zapis 60B oznacza, że na sadzonce jest 60% liści uszkodzonych, przynajmniej w większości, w klasie B (uszkodzenie do 10% powierzchni liścia). Nie spotkano żywych roślin w klasie F (100% powierzchni uszkodzeń), a w klasie A (brak uszkodzeń) spotykano rośliny stosunkowo rzadko. Zredukowana powierzchnia uszkodzeń liści w procentach wynika z iloczynu ustalonego procentu uszkodzonych na roślinie liści i powierzchni ich uszkodzeń zdeteminowanej klasą B, C lub D. Wyraża ją współczynnik będący średnią interwału uszkodzeń w danej klasie (dla B = 0,05, C = 0,3, D = 0,75). Tego typu przeliczenia dotyczyły każdej żywej rośliny.



Na podstawie odnotowanych wartości cech kolejnych sadzonek wyliczono ich średnie dla poszczególnych gatunków w blokach (po 50 roślin). Ze względu na fakt, że powtarzane na tych samych jednostkach doświadczalnych obserwacje są skorelowane, nie można traktować lat jako czynnika doświadczalnego. Celem porównania gatunków pod względem średnich wartości obserwowanych cech zastosowano wielozmienną analizę wariancji powtarzanych pomiarów, czyli „analizę profilową” (Świetlicka-Grała, 1972; Świetlicka-Grała i Grała, 1972). Pozwala ona zweryfikować następujące hipotezy dla każdej z 4 obserwowanych cech:

- o różnicy między gatunkami w I (1971), w II (1972) i w III (1973) roku trwania doświadczenia (obserwacji) oraz za cały ten 3-letni okres,
- o różnicy między poszczególnymi latami obserwacji (sumarycznie dla wszystkich gatunków),
- o niejednakowym wpływie lat na poszczególne gatunki (interakcji).

W toku obliczeń stwierdzono istotną interakcję lat z gatunkami dla wszystkich analizowanych cech, toteż dla szczegółowego porównania gatunków zastosowano test Duncana (Snedecor, 1956; Elandt, 1964; Oktaba, 1966) opierając się na średnich wartościach cech za poszczególne lata. Dla ilości wypadów wykonano przed obliczeniami zamianę procentów na stopnie kątowe według wzoru Blissa ( $y = \arcsin \sqrt{x}$ ), by spełnione były założenia o normalności rozkładu (Elandt, 1964).

Dane z literatury (Furdyna i Mac, 1966) oraz obserwacje niniejszego doświadczenia wykazują niejednakowy rozwój roślin na różnych wysokościach skarpy piaskowni. Z tego względu wykonano analizę statystyczną w dodatkowym wariancie, uwzględniającym poziomy wysokości jako drugi czynnik doświadczalny. Wyłoniono 5 takich poziomów o szerokości 10 m. W tym układzie jednostką doświadczalną stał się 10-metrowy rząd sadzonek określonego gatunku (poletko z 10 roślinami) leżący na danym poziomie skarpy. W każdym bloku powstało 90 takich poletek (18 gatunków  $\times$  5 poziomów). Dla wyodrębnionych poziomów wykonano dodatkowo analizę profilową. Pominięto w niej cechę wypadów ze względu na częsty ich brak w wyznaczonych poziomach oraz na zbyt małą liczbę roślin na poletku (ogółem 10 sztuk, czyli 1 wypad = 10% składu).

## WYNIKI

Wartości testu  $F$  Fishera dla analizowanych cech przedstawia tabela 6. Okazuje się, że: 1) za wyjątkiem procentu wypadów w 1972 r. (drugi rok trwania doświadczenia) występowały zawsze wysoce istotne różnice ( $F_{0,01} < F_{obl.}$ ) między gatunkami, 2) różnice w wartościach rozpatrywanych cech między latami obserwacji (sumarycznie dla wszystkich gatunków) również były wysoce istotne za wyjątkiem procentu wypadów.



Tabela 6

Wartość testu F w analizie profilowej w zależności od czynnika doświadczalnego, obserwowanej cechy i terminu obserwacji  
Value of the F test in the profile analysis depending on the experimental variable, character studied and date of observation

Gatunki i terminy obserwacji Species and dates of observations	Stopnie swobody Degrees of freedom	Wielkość i stopień istotności F (poziom istotności 0,05* i 0,01**) Value and degree of significance of F (level of significance 0.05* and 0.01**)			
		procent wypadów percentage mortality	stopień żywotności roślin degree of viability of the plants	procent powierzchni uszkodzeń liści percentage area of the foliage damaged	przyrost wysokości height growth increment
Gatunki (G) w latach obserwacji: Species (G) in years of observations:	17; 34				
1971		7,23**	37,92**	15,91**	165,51**
1972		1,70	25,85**	42,37**	24,22**
1973		8,11**	21,15**	33,52**	28,06**
1971 - 1973		7,26**	41,09**	44,49**	42,29**
Lata (L) Years (L)	2; 33	1,89	171,25**	34,44**	239,97**
Interakcja (G×L) Interaction (G×L)	34; 66	4,02**	6,13**	7,29**	38,99**

Z tabeli wynika, że warunki kolejnych 3 lat nie wpłynęły jednakowo na rośliny poszczególnych gatunków. Największe zróżnicowanie wśród gatunków stwierdzono dla średniej powierzchni uszkodzeń aparatu asymilacyjnego, a najmniejsze — dla procentowej ilości wypadów. Największe, przeciętne dla gatunków, zróżnicowanie dla średniego stopnia żywotności zaznacza się w I roku obserwacji (1971), a najmniejsze w III (1973). W odniesieniu do procentu powierzchni uszkodzeń największe przeciętne różnice między gatunkami wystąpiły w II, a najmniejsze w I roku. Pod względem średniego przyrostu wysokości największe różnice między gatunkami wystąpiły w I roku; w latach następnych zróżnicowanie to było mniejsze i utrzymywało się na zbliżonym poziomie ( $F = 24,22^{**}$  i  $F = 28,06^{**}$ ).

Największe różnice między obserwacjami w poszczególnych latach sumarycznie z 18 gatunków dotyczyły przyrostów wysokości ( $F = 239,97^{**}$ ), w dalszej kolejności — stopnia żywotności sadzonek ( $F = 171,25^{**}$ ) i procentu powierzchni uszkodzeń ich aparatu asymilacyjnego ( $F = 34,44^{**}$ ), zdecydowanie najmniejsze, nieistotne — procentu wypadów ( $F = 1,89$ ).

Interakcja zastosowanych gatunków roślin z latami obserwacji jest wysoce istotna dla wszystkich czterech cech.

Za pomocą testu Duncana utworzono (dla  $D_{0,05}$ ) grupy jednorodne gatunków względem rozpatrywanych cech (ryc. 1). Wyliczone w tym celu najmniejsze istotne różnice (NIR) dla par sąsiednich gatunków przedstawia tabela 7.



Tabela 7

Najmniejsze istotne różnice  $NIR_{0,05}$  dla testu  $D$  w odniesieniu do badanych cech roślin w latach 1971 - 1973

The least significant difference ( $LSD_{0,05}$ ) for the  $D$  test in relation to the studied plants in 1971 - 1973

Rok obserwacji	Procent wypadów	Stopień żywotności	Procent powierzchni uszkodzeń liści	Przyrost wysokości
Year of observation	Percentage mortality	Degree of plant viability	Percentage area of foliage injured	Height growth increment
1971	7,23	0,060	8,71	7,45
1972	8,71	0,223	4,45	11,79
1973	7,98	0,284	5,26	8,34
1971 - 1973	15,54	0,488	12,27	20,51

W odniesieniu do procentu wypadów w kolejnych latach obserwacji (1971, 1972 i 1973) oraz sumarycznie za okres tych 3 lat, test wykazał zbliżony podział gatunków na grupy jednorodne (ryc. 1). Zdecydowanie najgorszymi pod tym względem, istotnie różniącymi się od pozostałych, okazały się rośliny *Robinia pseudacacia* (12), zwłaszcza w I roku po posadzeniu oraz w skali całego okresu obserwacji. Z innych gatunków wyróżniających się złą przeżywalnością wymienić należy: *Hippophaë rhamnoides* (16), *Populus tremula* (2) oraz *Salix caprea* (3). Rośliny pozostałych 14 gatunków nie różnią się pod tym względem istotnie, przy czym jako najlepsze (brak wypadów; pełna udatność w ciągu 3 lat obserwacji) wymienić należy *Physocarpus opulifolius* (7) i *Spiraea salicifolia* (9). Ponadto znikomy procent wypadów (0 - 2) w ciągu 3 lat życia na skarpie piaskowni wykazały następujące krzewy: *Tamarix gallica* (15), *Élaeagnus angustifolia* (17), *Salix acutifolia* (4), *Rosa rugosa* (11), *Spiraea menziesii* (10) i *Lonicera tatarica* (18).

Dla średniego stopnia żywotności roślin stwierdzono wysoce istotne różnice między gatunkami, szczególnie w I (1971), mniejsze w II (1972) i w III (1973) roku obserwacji. Na specjalną uwagę zasługują rośliny *Salix acutifolia* (4), które przez wszystkie 3 lata oraz sumarycznie odznaczały się najlepszą żywotnością istotnie odróżniającą je od pozostałych

Ryc. 1. Grupy jednoroczne gatunków względem rozpatrywanych cech w kolejnych latach obserwacji 1971, 1972 i 1973 oraz sumarycznie za ten okres według testu Duncan'a

Podane w kółkach numery gatunków uszeregowano każdorazowo w kierunku pogarszającej się wartości cechy. Liczbę wypadów podano w procentach i w odpowiadających im stopniach według wzoru Bliss'a

Fig. 1. Groups of species undifferentiated on the basis of the studied characters during the years of observation 1971, 1972, 1973 and jointly for the whole period, recognized with the help of the Duncan test

The numbers of species given in the circles are each time aligned in a decreasing order of usefulness on the basis of the studied character. The mortality is given in percentages and in the corresponding degrees obtained according to the formula of Bliss



PROCENT WYPADÓW

PERCENT MORTALITY

7	8	9	13	14	18	4	10	11	15	16	17	1	5	3	2	6	12
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	2,00	2,00	4,00	3,33	6,00	20,66
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	4,73	6,56	9,45	10,40	13,58	26,75
6	7	9	15	17	1	4	5	8	11	12	13	10	14	18	2	3	16
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	1,33	1,33	2,00	2,66	4,00	8,66
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	3,85	3,85	6,56	7,44	9,45	15,41
4	5	6	7	9	10	11	15	17	18	3	8	13	1	2	14	16	12
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,33	2,00	2,66	3,33	4,66	7,33	10,66
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,85	4,73	7,44	10,67	12,03	12,80	16,73	26,45
7	9	15	17	4	11	10	18	8	5	13	10	14	1	3	2	16	12
0,00	0,00	0,66	0,66	1,32	1,32	2,00	2,00	2,66	2,66	3,32	6,00	8,66	8,00	9,33	10,65	19,98	41,32
0,00	0,00	2,71	2,71	5,42	5,42	6,56	6,56	7,44	7,44	10,15	13,58	16,65	18,31	22,75	29,87	36,85	53,97

STOPIEŃ ŻYWOTNOŚCI ROŚLIN

DEGREE OF PLANT VIGOR

4	14	7	17	8	15	10	18	11	13	6	1	3	9	12	2	5	16
1,86	2,03	2,23	2,30	2,36	2,40	2,56	2,66	2,76	2,83	2,86	2,90	2,96	2,96	2,96	3,00	3,00	3,00
4	17	6	8	14	7	3	10	11	12	15	1	2	13	18	9	16	5
1,56	1,70	2,30	2,33	2,33	2,36	2,66	2,66	2,70	2,70	2,76	2,80	2,86	2,90	2,93	2,96	2,96	3,00
4	6	17	7	8	14	11	15	1	10	12	13	3	5	18	9	2	16
1,20	1,56	1,70	1,86	2,06	2,13	2,16	2,23	2,33	2,36	2,40	2,46	2,53	2,60	2,66	2,70	2,76	2,93
4	17	7	14	6	8	15	10	11	1	12	3	13	18	5	2	9	16
4,62	5,70	6,45	6,49	6,72	6,75	7,39	7,98	7,62	8,03	8,06	8,15	8,13	8,25	8,60	8,62	8,62	8,89

PROCENT POWIERZCHNI USZKODZEŃ LIŚCI

PERCENT OF INJURED LEAF SURFACE

14	12	5	4	16	1	11	6	17	2	8	13	3	15	7	18	10	9
3,6	6,6	7,0	8,0	8,6	12,6	13,3	14,0	14,0	19,5	20,3	20,3	23,6	23,6	33,0	33,3	38,3	47,0
4	14	12	2	5	6	16	17	8	11	1	7	3	13	10	15	9	18
1,6	3,3	4,3	4,6	5,3	5,3	6,3	8,3	9,3	10,6	11,0	13,0	16,0	18,3	24,3	26,0	28,0	37,6
8	7	16	4	5	6	12	1	11	17	2	10	9	14	13	3	18	15
1,6	2,6	3,0	4,3	5,0	5,3	5,3	8,0	9,0	9,6	13,6	16,0	16,3	20,6	23,3	24,0	31,3	38,0
4	12	5	16	6	14	8	1	17	11	2	7	13	3	10	15	9	18
13,9	16,2	17,3	17,9	24,6	27,5	31,2	31,6	31,9	32,9	37,8	48,6	61,9	65,6	78,6	87,6	91,3	102,2

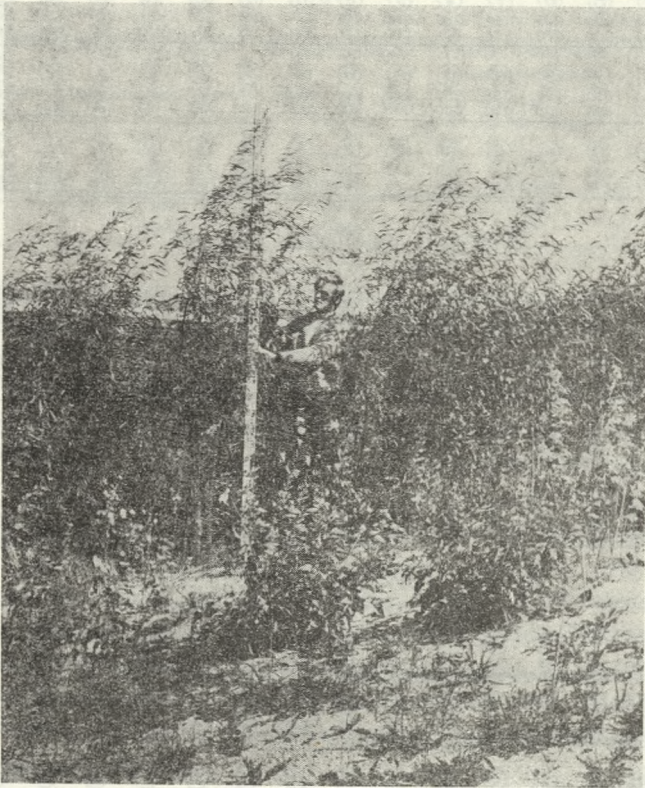
PRZYROST WYSOKOŚCI ROŚLIN

HEIGHT INCREMENT

4	14	15	7	10	9	8	18	13	1	11	17	2	3	12	6	16	5
123,6	94,0	75,3	56,6	56,0	49,3	46,6	42,3	32,6	25,0	21,0	17,6	17,0	13,0	9,0	9,0	2,3	1,6
12	4	3	17	1	15	6	14	13	2	5	19	9	11	7	8	10	16
63,0	59,3	59,3	34,0	26,0	24,0	23,3	16,3	16,0	13,0	12,0	9,6	8,0	6,6	6,0	5,0	3,6	2,3
12	6	4	1	17	3	2	5	13	15	11	14	10	7	8	18	9	16
57,3	42,0	37,0	31,0	28,0	24,6	22,0	21,6	15,0	9,0	7,6	7,6	7,0	6,6	6,0	5,0	4,0	1,6
4	12	14	15	3	1	17	6	7	10	13	9	8	18	2	5	11	16
219,9	129,3	117,9	108,3	96,9	82,0	79,6	74,3	69,2	66,6	63,6	61,3	57,6	56,9	52,0	35,2	35,2	6,2



gatunków w doświadczeniu. Rośliny pięciu następnych gatunków powtórzały co roku cechę dobrej żywotności; statystycznie tworzą one w zasadzie jedną grupę jednorodną. Są to: *Elaeagnus angustifolia* (17), *Physocarpus opulifolius* (7), *Tamarix tetrandra* (14), *Physocarpus intermedius* (8)



Fot. B. Kluczyński

Ryc. 2. *Salix acutifolia* na poletku pod koniec 3 okresu wegetacyjnego

Fig. 2. Plants of *Salix acutifolia* on a plot towards the end of the third vegetation period

i *Alnus incana* (6). Kolejny, również dość zwarty blok, tworzą gatunki, których rośliny odznaczają się nieodpowiednią żywotnością. Najgorsze pod tym względem wyniki cechują: *Hippophaë rhamnoides* (16), *Spiraea salicifolia* (9), *Populus tremula* (2) i *Betula verrucosa* (5). Test Duncana nie wykrył między nimi istotnych różnic.

Analiza wyników procentowej powierzchni uszkodzeń liści za pomocą testu Duncana wyłoniła dość duże różnice międzygatunkowe. W I, II i III roku obserwacji oraz sumarycznie za 3 lata grupę jednorodną gatunków z najmniejszym uszkodzeniem liści tworzą: *Salix acutifolia* (4), *Robinia pseudacacia* (12), *Betula verrucosa* (5), *Hippophaë rhamnoides* (16), *Alnus incana* (6) oraz *Tamarix tetrandra* (14). W tym samym czasie największym porażeniem liści odznaczały się rośliny: *Lonicera tatarica* (18), *Spi-*



*raea salicifolia* (9), *Tamarix gallica* (15), *Spiraea menziesii* (10), a w nieco mniejszym stopniu — *Salix caprea* (3) i *Caragana arborescens* (13). Rośliny pozostałych gatunków osiągnęły wartości pośrednie.

W odniesieniu do przyrostów wysokości sadzonek test Duncana uległ „rozbiciu” na kilka grup jednorodnych. *Salix acutifolia* (4) jest gatunkiem z najlepszym przyrostem wysokości w I roku oraz sumarycznie za lata 1971 - 1973 (ogólny przyrost wysokości — 219,9 cm). W II roku obserwacji wierzby te miały niewiele mniejszy przyrost od robinii akacjowej (12), a w III dodatkowo od olszy szarej (6). Drugą pozycję w bilansie 3 lat, istotnie różniącą się od pierwszej, zajmują rośliny *Robinia pseudacacia* (12) z przyrostem 129,3 cm. W tej oraz w sąsiedniej grupie jednorodnej są jeszcze rośliny: *Tamarix tetrandra* (117,9 cm), *T. gallica* (108,3 cm), *Salix caprea* (96,9 cm), *Populus alba* (82,0 cm) i *Elaeagnus*



Fot. B. Kluczyński

Ryc. 3. Poletko doświadczalne na skarpie piaskowni w Szczakowej w 3 roku obserwacji. Pod względem wzrostu wyróżniają się (od lewej): *Salix acutifolia* i *Tamarix gallica* (z przyrostem absolutnym po posadzeniu) oraz *Elaeagnus angustifolia*  
 Fig. 3. Experimental plot on a sand escarpment in Szczakowa in the 3rd year of observation. In terms of growth the following plants are noticeable from the left: *Salix acutifolia*, *Tamarix gallica* (with all the growth occurring after planting out) and *Elaeagnus angustifolia*

*angustifolia* (79,6 cm). Najmniejsze przyrosty cechują rośliny następujących gatunków (począwszy od osiągających wyniki najslabsze): *Hippophaë rhamnoides* (6,2 cm), *Rosa rugosa* i *Betula verrucosa* (po 35,2 cm), *Populus tremula* (52,0 cm) oraz *Lonicera tatarica* (56,9 cm). Pomędzy



przyrostem u roślin *Hippophaë rhamnoides* i pozostałych gatunków zaznacza się różnica istotna.

Wyniki przeprowadzonej dodatkowo, dla uwzględnienia poziomów wysokości skarpy, analizy profilowej przedstawia tabela 8. Zawarto w niej wyliczone wartości testu *F*.

Tabela 8

Wartość testu *F* w analizie profilowej w zależności od czynnika doświadczalnego, obserwowanej cechy i terminu obserwacji

Value of the *F* test in the profile analysis depending on the experimental variable, the character observed and the date of observation

Zmienne doświadczania w latach obserwacji Experimental variables in years of observation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Wielkość i stopień istotności <i>F</i> (poziom istotności 0,05* i 0,01**) Magnitude and significance of <i>F</i> (level of significance 0.05* and 0.01**)		
		stopień żywotności roślin degree of seedling viability	procent powierzchni uszkodzeń liści percentage injured foliage area	przyrost wysokości height growth increment
Bloki (B) Blocks (B)	1971	1,13	6,89**	1,22
	1972	3,19*	0,45	1,86
	1973	3,89*	0,94	1,32
	1971 - 1973	2; 178	2,59	2,35
Poziomy (P) Elevations (P)	1971	5,60**	0,05	7,51**
	1972	12,46**	61,16**	25,68**
	1973	97,84**	74,12**	7,84**
	1971 - 1973	4; 178	24,90**	69,04**
Gatunki (G) Species (G)	1971	42,30**	44,73**	395,10**
	1972	46,25**	36,36**	62,89**
	1973	37,16**	32,71**	42,25**
	1971 - 1973	17; 178	67,63**	68,80**
P × G	1971	0,86	1,07	0,92
	1972	2,89**	3,10**	3,85
	1973	2,04**	2,50**	1,33*
	1971 - 1973	68; 178	1,84**	2,37**
Lata (L) Years (L)				
L × B	2; 177	206,12**	75,42**	647,90**
L × P	4; 354	3,05*	3,03*	2,61*
L × G	8; 354	49,74**	21,56**	4,23**
L × P × G	34; 354	9,83**	13,32**	71,87**
L × P × G	136; 354	2,28**	1,94**	1,49**

Dla stopnia żywotności roślin stwierdzono istotne różnice między poziomami wysokości na skarpie w każdym roku obserwacji oddzielnie oraz łącznie za okres 3 lat. Na podstawie wartości testu *F* należy podkreślić wzrastające w kolejnych latach zróżnicowanie stopnia żywotności roślin na wyłonionych umownie 5 poziomach. Stwierdzono, że na zróżnicowanie stopnia żywotności wpływają bardziej od ich położenia (poziomu) na skarpie właściwości ekologiczne zastosowanych gatunków roślin. Z wyjątkiem I roku doświadczenia rośliny poszczególnych gatunków nie



reagowały jednakowo stopniem żywotności na warunki kolejnych poziomów. Świadczy o tym istotność interakcji  $P \times G$ . Lata trwania doświadczenia również nie wpłynęły jednakowo tak na warunki ekologiczne poszczególnych poziomów jak i na zastosowane w doświadczeniu gatunki roślin; świadczy o tym istotność interakcji:  $L \times P$ ,  $L \times G$ ,  $L \times P \times G$ . Zwraca uwagę wysoce istotne współdziałanie lat z poziomami ( $F_{obl.} = 49,74^{**}$ ). Istotne różnice między blokami dotyczyły omawianej cechy jedynie w 1972 r. i w 1973 r. Ponadto wystąpiła istotna interakcja bloków z latami ( $L \times B$ ). Pod względem stopnia żywotności roślin różnice między latami obserwacji są wysoce istotne ( $F_{obl.} = 206,12^{**}$ ).

Analiza obserwacji procentu powierzchni uszkodzeń liści i przyrostu wysokości dała podobne wyniki (tab. 8). Globalne różnice między latami pod względem powierzchni uszkodzeń liści są jednak mniejsze ( $F_{obl.} = 75,42^{**}$ ) aniżeli pod względem przyrostów wysokości ( $F_{obl.} = 647,90^{**}$ ). Wyodrębnione teoretycznie poziomy na skarpie nie wpłynęły istotnie na procent powierzchni uszkodzeń liści jedynie w I roku trwania doświadczenia. Zwraca uwagę wyraźny wpływ różnych poziomów wysokości skarpy na przyrost wysokości roślin, zwłaszcza w II (1972) roku obserwacji ( $F_{obl.} = 25,68^{**}$ ). Najbardziej zróżnicowany przyrost wysokości cechował rośliny zastosowanych gatunków w I (1971) roku trwania doświadczenia ( $F_{obl.} = 359,10^{**}$ ). W czasie obserwacji nie stwierdzono istotnego wpływu bloków doświadczenia zarówno na procent powierzchni

Tabela 9

Średni stopień żywotności roślin w latach obserwacji 1971 - 1973 w zależności od poziomu wysokości na skarpie<sup>1</sup>

Mean degree of plant viability in the years of observations 1971 - 1973 depending on the elevation on the escarpment<sup>1</sup>

Lp. No.	Gatunek Species	Poziomy na skarpie w kierunku dół→górze Elevation from bottom to escarpment top				
		1	2	3	4	5
1	<i>Populus alba</i>	2,68	2,51	2,53	2,92	2,79
2	<i>P. tremula</i>	2,81	2,89	2,82	2,98	2,93
3	<i>Salix caprea</i>	2,60	2,71	2,68	2,86	2,87
4	<i>S. acutifolia</i>	1,40	1,28	1,38	1,78	1,51
5	<i>Betula verrucosa</i>	2,82	2,78	2,83	2,94	2,94
6	<i>Alnus incana</i>	2,09	2,24	2,18	2,26	2,22
7	<i>Physocarpus opulifolius</i>	2,16	2,12	2,10	2,28	2,09
8	<i>P. intermedius</i>	2,41	2,28	2,14	2,29	2,11
9	<i>Spiraea salicifolia</i>	2,74	2,76	2,87	2,99	2,97
10	<i>S. menziesii</i>	2,63	2,49	2,47	2,58	2,53
11	<i>Rosa rugosa</i>	2,62	2,56	2,43	2,70	2,61
12	<i>Robinia pseudacacia</i>	2,68	2,59	2,31	2,99	2,92
13	<i>Caragana arborescens</i>	2,67	2,56	2,69	2,94	2,94
14	<i>Tamarix tetrandra</i>	1,97	1,60	2,09	2,59	2,51
15	<i>T. gallica</i>	2,16	2,30	2,40	2,62	2,81
16	<i>Hippophaë rhamnoides</i>	2,99	2,78	2,96	2,99	2,98
17	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1,67	1,64	1,63	2,19	2,49
18	<i>Lonicera tatarica</i>	2,62	2,78	2,80	2,92	2,77

<sup>1</sup> Dla porównania średnich w tabeli  $NIR_{0,05}=0,30$ .

<sup>1</sup> For comparison of means in the table  $LSD_{0,05}=0,30$ .



uszkodzeń liści jak i na przyrost wysokości. Wyjątek stanowią tu uszkodzenia liści w 1971 r. ( $F_{obl.} = 6,89^{**}$ ). Pod względem przyrostu wysokości ma miejsce wysoce istotna interakcja ( $F_{obl.} = 71,87^{**}$ ) lat z gatunkami ( $L \times G$ ).

Szczegółowe badania wpływów poziomów wysokości przeprowadzono na średnich dla kombinacji wszystkich gatunków roślin z poziomami na skarpie za 3-letni okres obserwacji (tab. 9, 10 i 11). Pomocą do uproszczonego sprawdzania istotności różnic są podane w odsyłaczach tabel 9, 10 i 11 wartości  $NIR_{0,05}$ . Ze względu na niejednakowe oddziaływanie poziomów skarpy na rośliny największe zróżnicowanie stwierdzono w przyrostach wysokości (tab. 11), najmniejsze — w stopniu żywotności (tab. 9).

Tabela 10

Średni procent powierzchni uszkodzeń liści na roślinach w latach obserwacji 1971 - 1973 w zależności od poziomu wysokości na skarpie<sup>1</sup>  
Mean percentage injured foliage area on plants in the years of observation 1971 - 1973 depending on the elevation in the escarpment<sup>1</sup>

Lp. No.	Gatunek Species	Poziomy na skarpie w kierunku dół→góra Elevation from bottom to escarpment top				
		1	2	3	4	5
1	<i>Populus alba</i>	9,1	6,1	12,8	14,8	11,7
2	<i>P. tremula</i>	13,2	8,2	12,9	15,1	15,4
3	<i>Salix caprea</i>	12,5	16,3	21,3	26,5	34,0
4	<i>S. acutifolia</i>	4,5	2,2	4,5	6,7	4,5
5	<i>Betula verrucosa</i>	2,7	3,8	5,9	7,4	11,1
6	<i>Alnus incana</i>	8,9	7,3	8,9	7,8	8,5
7	<i>Physocarpus opulifolius</i>	11,5	12,4	18,7	16,8	21,2
8	<i>P. intermedius</i>	6,2	7,4	12,7	13,8	13,0
9	<i>Spiraea salicifolia</i>	19,3	22,7	36,8	41,1	32,2
10	<i>S. menziesii</i>	14,9	16,1	28,8	32,2	35,7
11	<i>Rosa rugosa</i>	4,9	5,0	10,3	17,9	18,5
12	<i>Robinia pseudacacia</i>	2,5	2,2	4,7	6,1	9,5
13	<i>Caragana arborescens</i>	12,7	12,2	20,5	25,7	31,1
14	<i>Tamarix tetrandra</i>	4,0	3,2	12,1	14,7	11,4
15	<i>T. gallica</i>	24,1	25,2	30,3	33,1	30,1
16	<i>Hippophaë rhamnoides</i>	4,8	4,0	4,7	7,3	9,3
17	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	3,7	3,4	8,7	22,9	16,8
18	<i>Lonicera tatarica</i>	21,1	22,7	34,8	47,1	46,8

<sup>1</sup> Dla porównania średnich w tabeli  $NIR_{0,05} = 7,09$ .

<sup>1</sup> For comparison of means in the table  $LSD_{0,05} = 7,09$ .

Najkorzystniejsze warunki (scharakteryzowane przez największe przyrosty wysokości, najniższy procent powierzchni uszkodzeń liści i najlepszy stopień żywotności) stwierdza się dla większości gatunków na drugim poziomie (czyli około 20 - 30 m od podstawy skarpy), nieco rzadziej na pierwszym (około 10 - 20 m od podstawy skarpy). Najgorsze warunki życia stwarzają zastosowanym roślinom poziomy 4 i 5, a poziom trzeci — warunki pośrednie. Należy dodać, że w odniesieniu do stopnia żywotności poszczególnych gatunków różnice między poziomami są (w skali 3-letnich obserwacji) najczęściej nieistotne. W przypadku procentu powierzchni uszkodzeń dość wyrównane oddziaływanie na rośliny wykazują dwa,





Fot. B. Kluczyński

Ryc. 4. Widok na skarpe piaskowni z fragmentem doświadczenia. W lewej części zdjęcia (mniej więcej w połowie wysokości skarpy) zarysowuje się górna granica kilkunastometrowego pasa roślin z lepszym rozwojem i wzrostem

Fig. 4. View of the sand escarpment with a fragment of the experimental plot. In the left part of the photograph, at about mid-height of the escarpment one can see the upper limit of the several meters wide belt of plants with a better development and growth

a nawet trzy kolejne poziomy skarpy (1, 2 i 3 — licząc od jej podstawy). Dla większości zastosowanych gatunków istotnie gorsze pod tym względem warunki stwarzają poziomy 4 i 5. Na obydwu poziomach, 4 i 5, wartości tej cechy roślin są zbliżone. Podobny układ poziomów można uzyskać podczas analizowania danych z tabeli 11, które odnoszą się do średnich przyrostów wysokości roślin w latach 1971 - 1973. W tym przypadku brak istotnego zróżnicowania między wszystkimi pięcioma poziomami jest nieco częstszy aniżeli w odniesieniu do cechy uszkodzeń liści. Do gatunków, które w doświadczeniu najbardziej reagowały na zróżnicowane warunki siedliskowe skarpy (poziomy wysokości) należą: *Elaeagnus angustifolia* (17), *Tamarix gallica* (15), *T. tetrandra* (14) i *Caragana arborescens* (13). Do gatunków, dla których zróżnicowane pod względem wysokości na skarpie położenie nie wpływa w sposób istotny na wyniki 3 analizowanych cech należą: *Hippophaë rhamnoides* (16) i *Physocarpus intermedius* (8). W odniesieniu do *Betula verrucosa* (5), *Spiraea salicifolia* (9), *S. menziesii* (10), *Rosa rugosa* (11) i *Lonicera tatarica* (18) zmiana poziomu wysokości na skarpie nie wpływa w sposób istotny na ich żywotność i przyrost wysokości. Z kolei pod względem stopnia żywotności i procentu powierzchni



Tabela 11

Średnie przyrosty wysokości roślin w latach obserwacji 1971 - 1973 w zależności od poziomu wysokości na skarpie<sup>1</sup>  
 Mean height increments of the plants in the years of observation 1971 - 1973 depending on the elevation in the escarpment<sup>1</sup>

Lp. No.	Gatunek Species	Poziomy na skarpie w kierunku dół→góra Elevation from bottom to escarpment top				
		1	2	3	4	5
1	<i>Populus alba</i>	29,4	34,0	31,9	25,8	26,4
2	<i>P. tremula</i>	15,1	14,1	17,7	20,5	28,4
3	<i>Salix caprea</i>	26,0	32,1	32,5	25,8	20,0
4	<i>S. acutifolia</i>	75,7	92,8	75,5	60,2	60,3
5	<i>Betula verrucosa</i>	13,7	12,0	11,4	10,0	11,1
6	<i>Alnus incana</i>	31,5	26,7	25,0	21,2	18,8
7	<i>Physocarpus opulifolius</i>	25,5	28,3	20,0	18,2	20,8
8	<i>P. intermedius</i>	20,5	24,8	26,3	20,1	21,1
9	<i>Spiraea salicifolia</i>	19,1	24,5	20,5	17,5	20,8
10	<i>S. menziesii</i>	19,8	24,7	22,1	20,3	21,4
11	<i>Rosa rugosa</i>	12,0	14,1	13,1	9,7	9,2
12	<i>Robinia pseudacacia</i>	27,5	30,8	47,9	27,2	23,9
13	<i>Caragana arborescens</i>	24,0	27,8	22,3	16,2	16,1
14	<i>Tamarix tetrandra</i>	43,1	48,1	40,5	32,7	31,5
15	<i>T. gallica</i>	42,5	38,5	36,2	34,0	27,5
16	<i>Hippophaë rhamnoides</i>	2,0	2,1	3,0	1,1	1,5
17	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	35,7	35,2	34,0	15,7	12,3
18	<i>Lonicera tatarica</i>	20,1	21,1	17,8	16,7	19,2

<sup>1</sup> Dla porównania średnich w tabeli  $NIR_{0,05} = 8,35$ .

<sup>1</sup> For comparison of the means in the table  $LSD_{0,05} = 8,35$ .

Tabela 12

Klasyfikacja zastosowanych w doświadczeniu drzew i krzewów według ich przydatności do rekultywacji skarpi piaszczyn w Szczakowej  
 Classification of the trees and shrubs used in the experiment according to their usefulness in the recultivation of escarpments in the Szczakowa open sand mines

Grupa gatunków Groups of species		
I. przydatnych I. useful	II. mało przydatnych II. limited utility	III. nieprzydatnych III. useless
<i>Salix acutifolia</i> <i>Tamarix tetrandra</i> <i>T. gallica</i> <i>Elaeagnus angustifolia</i> <i>Physocarpus opulifolius</i> <i>Robinia pseudacacia</i> <i>Alnus incana</i>	<i>Populus alba</i> <i>Physocarpus intermedius</i> <i>Spiraea menziesii</i> <i>Rosa rugosa</i> <i>Caragana arborescens</i>	<i>Hippophaë rhamnoides</i> <i>Populus tremula</i> <i>Salix caprea</i> <i>Spiraea salicifolia</i> <i>Betula verrucosa</i> <i>Lonicera tatarica</i>

uszkodzeń liści tylko rośliny *Alnus incana* (6) nie są zróżnicowane istotnie przez poziomy wysokości. W przypadku pozostałych gatunków poziomy te różnicują rośliny istotnie pod względem dwu lub wszystkich trzech cech. Gatunki te zaliczono do silnie reagujących na zróżnicowane w układzie pionowym warunki skarpy.



## DYSKUSJA I PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Jak już zaznaczono wyżej przeprowadzone doświadczenie wykazało wysoce istotne różnice między zastosowanymi gatunkami pod względem 4 rozpatrywanych cech. Zważywszy, że w doświadczeniu wzięły udział drzewa i krzewy różniące się nie tylko przynależnością systematyczną, ale także wymaganiami siedliskowymi, powyższy fakt jest dość oczywisty. Porównywanie tych roślin, szczególnie w odniesieniu do przyrostów wysokości, może się wydawać niewłaściwe. W niniejszej pracy wynika ono z zamiaru wyselekcjonowania roślin przydatnych do rekultywacji skarp piaskowni, co przejawiać się może między innymi w najkorzystniejszym wroście. Sumaryczne dla gatunków różnice w wartościach rozpatrywanych cech między latami obserwacji pochodzą przede wszystkim ze specyficznej rytmiki wzrostu roślin poszczególnych gatunków oraz z różnych warunków pogodowych. Chodzi tu głównie o opady, bowiem w latach 1971 - 1973 pozostałe czynniki meteorologiczne miały wartości dość wyrównane (tab. 5).

Na podstawie danych z tabeli 6 można stwierdzić, że czynnik czasu zmniejszał systematycznie dysproporcje w stopniu żywotności oraz w przyroście wysokości roślin poszczególnych gatunków. Wartości testu  $F$  dotyczące uszkodzeń liści pozwalają przypuszczać, że w kilka lat po założeniu doświadczenia również obserwacje tej cechy korelować będą z wartościami dwóch cech poprzednich. Nie odnotowano tego w latach 1971 - 1973. Nie sposób przewidzieć, jak po zakończeniu obserwacji kształtować się będzie zróżnicowanie lat pod względem liczby wypadów. Z testu Duncana (rys. 1) wynika, że w III roku większość gatunków utrwała liczbę żywych roślin (zupełny brak wypadów), toteż w następnych latach nie należy się spodziewać licznego ich wymierania.

Ponieważ generalnie dla wszystkich gatunków lata obserwacji nie różnią się istotnie pod względem procentu wypadów, należy przypuszczać, że nie warunki pogodowe lecz właściwości ekologiczne roślin i właściwości podłoża regulowały w doświadczeniu czynnik udatności. Pozostałe z obserwowanych cech roślin podlegały w kolejnych latach zróżnicowaniu istotnemu.

Analiza wpływu poziomów wysokości skarpy wykazała istotne zróżnicowanie przez nie stopnia żywotności sadzonek (tab. 8). U zastosowanych gatunków drzew i krzewów zróżnicowanie to przyjmuje różne rozmiary i jest wypadkową ich wymagań w stosunku do siedliska. Wzrasta ono z upływem czasu (tab. 8). Wartości testu  $F$  dla procentu powierzchni uszkodzeń liści i przyrostów wysokości są, generalnie biorąc, przez poziomy skarpy również zróżnicowane istotnie.

Brak istotnego zróżnicowania w 1971 r. interakcji  $P \times G$  pod względem 3 cech (z pominięciem wypadów) dowodzi, że w I roku po posadzeniu rośliny nie podlegały znaczącemu zróżnicowaniu pod wpływem pozio-



mów. Wynika stąd, że był to okres poprzedzający właściwą reakcję roślin na niekorzystne warunki podłoża.

Wartości testu  $F$  dla interakcji:  $L \times P$ ,  $L \times G$ ,  $L \times P \times G$  wskazują, że warunki pogodowe (zwłaszcza opady) miały istotny wpływ na obserwowane cechy drzew i krzewów. Zróżnicowana ilość opadów w okresach vegetacyjnych kolejnych lat pogłębiała w konsekwencji różnice w warunkach egzystencji roślin na poszczególnych pięciu poziomach skarpy. Im wilgotniejszy był okres vegetacyjny, tym lepsze wyniki osiągały sadzonki na wyższych (suchszych) partiach zbocza. Działo się to głównie w 1972 r. (tab. 5); wówczas okres vegetacyjny (kwiecień — wrzesień) był wyjątkowo bogaty w opady (601,1 mm). W analogicznym okresie 1971 r. suma opadów wynosiła 417,7 mm, a 1973 r. — 447,3 mm. Średnia wieloletnia dla tego rejonu wynosi 452,0 mm.

Stwierdzono także, że w skali lat 1971 - 1973 spowodowane przez poziomy różnice w średnim stopniu żywotności roślin są dla wielu gatunków nieistotne (tab. 9). Brak istotnego zróżnicowania między wyodrębnionymi poziomami pod względem przyrostów wysokości dotyczą większej liczby gatunków aniżeli w odniesieniu do procentu powierzchni uszkodzeń liści (analiza wyników z tabeli 10 i 11).

Generalnie biorąc najkorzystniejsze warunki dla roślin pod względem rozpatrywanych cech (bez procentu wypadów) stwarza poziom 2 (około 20 - 30 m od podstawy skarpy przy ogólnej długości spadu 60 m), nieco rzadziej poziom 1 (na wysokości 10 - 20 m). Najbardziej niekorzystne dla roślin warunki panują na wysokości poziomu 4 (40 - 50 m) i 5 (50 - 60 m). Poziom 3 (30 - 40 m od podstawy) stwarza warunki pośrednie. Takiemu zróżnicowaniu podlegają najczęściej wartości procentu powierzchni uszkodzeń liści.

Tabelę 12 sporządzono na podstawie wyników testu  $D$  dla 4 obserwowanych cech (ryc. 1). Wyodrębniono 3 grupy gatunków pod względem przydatności do rekultywacji skarpy pola I w Szczakowej: grupę I — gatunków przydatnych, II — mało przydatnych i III — nieprzydatnych. Tymczasem na podstawie tabeli 9, 10 i 11 wyłoniono gatunki roślin reagujących stosunkowo najbardziej na zróżnicowane warunki w poszczególnych poziomach skarpy oraz gatunki nie reagujące na ten czynnik istotnie. Do tych pierwszych zaliczyć należy: *Elaeagnus angustifolia*, *Tamarix gallica*, *T. tetrandra*, *Caragana arborescens* i *Robinia pseudacacia*. Do grupy gatunków nie reagujących zdecydowanie na zróżnicowanie położenia roślin w poziomie wysokości skarpy kwalifikują się: *Hippophaë rhamnoides*, *Physocarpus intermedius*, *Betula verrucosa*, *Spiraea salicifolia*, *Rosa rugosa*, *Lonicera tatarica*, *Alnus incana*. Gatunki nie wymienione zachowują się pod tym względem dosyć obojętnie.

Jak z powyższego wynika gatunki roślin reagujących na zróżnicowane oddziaływanie poziomów wysokości, to gatunki zakwalifikowane w tabeli 12 do grupy najlepszych (przydatnych). Natomiast te gatunki, których



sadzonki pod względem wszystkich 3 cech (stopnia żywotności, powierzchni uszkodzeń liści oraz przyrostów wysokości) lub co najmniej dwóch z nich nie reagują w sposób istotny na zróżnicowanie w poziomach wysokości należą (z wyjątkiem *Alnus incana*) do grupy gatunków nieprzydatnych do rekultywacji skarp (tab. 12) i nie powinny mieć praktycznego zastosowania. Gatunki roślin o znaczeniu praktycznym podlegają ogólnie stwierdzonemu powyżej istotnemu zróżnicowaniu poziomów pod względem stopnia trudności do rekultywacji (poziomy najlepsze — 2, 1, 3, najtrudniejsze — 4 i 5).

O niejednakowym rozwoju roślin na różnych wysokościach skarpy piaskowni donosili już Furdyna i Mac (1966). Przeprowadzili oni badania na wale oddzielającym dwa wyrobiska popiaskowe: Jaworznik i Rogoźnik. Na podstawie pomiarów wysokości roślin *Robinia pseudacacia* okazało się, że ich przyrost na szczycie skarpy jest bardzo mały, dalej stopniowo wzrasta by na wysokości 1/3 od podnóża osiągnąć swe maksimum, po czym znowu nieco maleje. Zbadanie systemów korzeniowych pomogło wyjaśnić to zjawisko. Okazało się, że systemy korzeniowe były najbardziej rozwinięte w miejscu najlepszego wzrostu roślin. W tych miejscach korzenie były na ogół zwrócone ukośnie w górę, a najdłuższe z nich osiągały długość do 5 m w drugim roku życia. Na górze zbocza korzenie rozpościerały się płasko pod powierzchnią, przy czym najdłuższe osiągały długość 2 m. U podnóża systemy korzeniowe były zwrócone w dół w kierunku wody gruntowej. W ślad za tymi stwierdzeniami przeprowadzono badania wilgotności, które wykazały, że na głębokości 20 cm największa wilgotność panuje właśnie na 1/3 wysokości skarpy i w trakcie opadów gwałtownie wzrasta. Natomiast na głębokości 100 cm największa wilgotność w czasie opadów dotyczy szczytu skarpy, po czym gwałtownie maleje; na 1/3 wysokości wilgotność wzrasta powoli, lecz na wyrównanym poziomie utrzymuje się najdłużej. Po kilkunastodniowym okresie suszy wilgotność na szczycie spadła do około 10%. Nieoczekiwany spadek przyrostu wysokości drzew i krzewów w dolnych częściach skarpy (o wystawie NW) jest zdaniem autorów, wtórnym następstwem zmniejszonego dostępu światła w porównaniu z wyższymi partiami zbocza. Otóż najlepiej oświetlona część skarpy na 1/3 jej wysokości sprzyja rozwojowi bogatszych systemów korzeniowych, które z kolei zatrzymują i wykorzystują coraz większe ilości wody opadowej spływającej po powierzchni i przenikającej w głąb. Woda ta nie może spłynąć do niższych partii, gdzie również niemożliwe jest dotarcie korzeni do wody gruntowej. W konkluzji wspomniani autorzy zalecają stosowanie robinii akacyjnej (współ z innymi gatunkami) do zalesienia tego typu skarp, bowiem znajduje ona tam odpowiednie dla siebie warunki rozwoju. Wyniki niniejszej pracy zalecenie to potwierdzają.

Powyzszą próbę wyjaśnienia przyczyn niejednakowego wpływu różnych poziomów wysokości skarpy wyrobiska na rośliny *Robinia pseud-*



acacia można, na tle uzyskanych w niniejszej pracy rezultatów, odnieść i do innych gatunków. Niniejsze doświadczenie zlokalizowano w podobnych warunkach skarpy (północny skłon). Ma to praktyczne znaczenie, bowiem przy dokonywaniu zalesień na górnej części stoku (poziom 4, 5 i ewentualnie 3, czyli jak wynika z obliczeń nieco powyżej połowy wysokości skarpy aż do górnej jej krawędzi) należy preferować gatunki nie reagujące w sposób istotny na zróżnicowanie poziomów wysokości. Z gatunków przydatnych (grupa I) kwalifikuje się do tego celu głównie *Alnus incana*.

Na zakończenie kilka uwag o przydatności obserwowanych w niniejszym doświadczeniu cech dla doboru roślin do rekultywacji. Pewne wątpliwości budzić może cecha przyrostów wysokości, bowiem nie zawsze najwyższe rośliny są najodpowiedniejszymi do rekultywacji skarp. W przedstawionych warunkach chodzi w pierwszej kolejności o jak najszybsze i najefektywniejsze pokrycie (zadarnienie) powierzchni w celu zabezpieczenia jej przed obsuwaniem się, erozją wietrzną, wodną itp. Do takich celów najbardziej wskazane są rośliny zielne lub niskopienne, płożące się krzewy (w tym róże), choć na przykład *Rosa rugosa* uzyskała w doświadczeniu wyniki przeciętne (II grupa). O wyborze gatunków decydować mogą inne, poza wysokością, cechy roślin, wśród nich również liczba wypadów, ogólna dynamika rozwoju, obfitość ulistnienia i jego zdrowotność, obfitość ugałęzienia, wielkość i charakter rozwoju systemu korzeniowego, najodpowiedniejsza więźba sadzenia itp. Są to czynniki, które należy badać dalej i sprawdzać na wielu innych gatunkach, zarówno na skarpach, jak i na dnie poszczególnych piaskowni. Prócz tego należałoby szukać dróg ułatwienia roślinom startu życiowego między innymi poprzez podlewanie (na skarpach), wprowadzanie pionierskiej roślinności uprawowej (na przykład łubinu, który należy głęboko przekopywać lub przyorywać) wespół z kombinowanym nawożeniem organicznym (torf, kompost, próchnica) i mineralnym (nawozy mineralne, bentonity). Bentonity (Skawina, 1965; Wiejacha i inni, 1967), czyli ility złożone głównie z montmorillonitu, wykazują wysokie właściwości nawożeniowe i aktywizujące spąg piaskowni, szczególnie wówczas, gdy stosuje się je w połączeniu z wodą amoniakalną (sorbento-nawóz).

O tym czy dany gatunek drzewa lub krzewu ma być na skarpach rośliną docelową czy przedplonową zdecydować może jedynie sprawdzona doświadczalnie jego przydatność biologiczna. Przydatność gospodarcza schodzi tutaj z pewnością na plan dalszy.

#### WNIOSKI

1. W świetle uzyskanych wyników pierwszy rok doświadczenia zapoczątkował zaledwie właściwą reakcję roślin na bardzo niekorzystne warunki życia na skarpie piaskowni w Szczakowej (ubóstwo wody i substan-



cji pokarmowych). Dla otrzymania wskazówek praktycznych doświadczenia tego typu należy obserwować przez kilka lat.

2. Spośród 18 przebadanych gatunków zdecydowanie najlepsze rezultaty osiągnęły rośliny *Salix acutifolia*. Oprócz nich do zadrzewień tego typu skarp stosować można między innymi: *Tamarix tetrandra*, *T. gallica*, *Elaeagnus angustifolia*, *Physocarpus opulifolius*, *Robinia pseudacacia* i *Alnus incana*.

3. Dane z literatury oraz obserwacje własne wskazują na niejednakowy wzrost i rozwój roślin na różnych poziomach skarpy o północnym nachyleniu. Generalnie najkorzystniejsze warunki życia stwarza, z pięciu wyłonionych w doświadczeniu poziomów, poziom 2 (około 20 - 30 m od podstawy skarpy przy 60-m ogólnej długości spadu), nieco rzadziej poziom 1 (na wysokości 10 - 20 m). Najbardziej niekorzystne warunki panują na wysokości poziomu 4 (40 - 50 m), a następnie 5 (50 - 60 m). Poziom 3 (30 - 40 m od podnóża) stwarza warunki pośrednie.

4. Na przedstawione w punkcie 3 zróżnicowanie warunków siedliskowych w poszczególnych poziomach skarpy reagują przede wszystkim rośliny gatunków przydatnych (punkt 2). Do gatunków nie reagujących wyraźnie na to zróżnicowanie zaliczyć można, z wyjątkiem *Alnus incana*, gatunki nieprzydatne do rekultywacji. Informacje te należy uwzględnić przy zalesianiu zboczy piaskowni głównie z północnym kierunkiem nachylenia.

5. W badaniach przydatności wielu innych gatunków drzew i krzewów do rekultywacji skarp (a także dna) piaskowni należy brać pod uwagę szerszy aniżeli w niniejszej pracy wachlarz cech, wśród nich: obfitość ugałęzienia (powodującego pożądane zacienienie powierzchni), wielkość i charakter rozwoju systemu korzeniowego oraz najodpowiedniejszą więźbę sadzenia.

6. W miarę możliwości należy łagodzić trudne warunki życia roślin między innymi poprzez podlewanie ich na skarpie, wprowadzanie roślinności uprawnej szybko użyźniającej substrat (na przykład łubinu, który należy głęboko przekopywać lub przyorywać), nawożenie organiczne (próchnica, kompost, torf) i mineralne (nawozy mineralne, bentonity).

7. Czynniki determinującymi dobór drzew i krzewów do zalesień przedplonowych czy też docelowych skarp piaskowni są dobry i zdrowy rozwój roślin oraz określona funkcja biologiczna zadrzewienia. Cel gospodarczy schodzi tu na plan dalszy.

Instytut Dendrologii  
Kórnik k. Poznania

#### LITERATURA

1. Adamowicz S. — 1965. Dobór roślin dla leśnej rekultywacji wyrobisk górnictwa piasku podsadzkowego. Zakład Badań Naukowych GOP-PAN, Biuletyn, 5: 83 - 88.



2. Dziura B., Furdyna L., Adamowicz S. — 1965. Badania kartograficzno-siedliskowe oraz inwentaryzacja terenów po eksploatacji piasków dla celów podszkadowych. IBL, Katowice (maszynopis).
3. Elandt R. — 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczego. PWN, Warszawa.
4. Furdyna L. — 1968. Badania podłoża wyrobiska popiaskownianego Kopalni Piasku „Szczakowa”. IBL, Katowice (maszynopis).
5. Furdyna L. — 1969. Badania ogólnej aktywności mikrobiologicznej na wyrobisku Kopalni Piasku Podszkadowego „Szczakowa”. IBL, Katowice (maszynopis).
6. Furdyna L. — 1974. Roślinność pionierska na obszarach objętych eksploatacją piasku podszkadowego. Sylwan, CXVIII, 2: 58 - 63.
7. Furdyna L., Mac J. — 1966. Przydatność grochodrzewu (*Robinia pseud-acacia* L.) do utrwalania skarp. Sylwan, CX, 9: 85 - 91.
8. Kluczyński B. — 1975. Wpływ związków fluoru na stan zdrowotny drzew i krzewów przy Hucie Aluminium „Konin”. Arboretum Kórnickie, 20 : 317 - 343.
9. Mroczkiewicz L. — 1952. Podział Polski na krainy i dzielnice przyrodniczo-leśne. PWRiL, Warszawa.
10. Oktaba W. — 1966. Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczeń rolniczego. PWN, Warszawa.
11. Olszowski J. — 1965. Przydatność poszczególnych gatunków topól do zadrzewienia wyrobisk popiaskowych. Zakład Badań Naukowych GOP-PAN, Biuletyn, 5: 97 - 104.
12. Schmuck A. — 1959. Zarys klimatologii Polski. PWN, Warszawa.
13. Skawina T. — 1965. Zastosowanie bentonitów w rekultywacji wyrobisk górnictwa piasku podszkadowego. Zakład Badań Naukowych GOP-PAN, Biuletyn, 5: 157 - 165.
14. Snedecor G. W. — 1956. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
15. Świetlicka-Grala J. — 1972. Analiza profilowa. Materiały Kursu Szkoleniowego Polskiego Towarzystwa Biometrycznego i Wydziału Nauk Rolniczych i Leśnych PAN, z. 4, Warszawa.
16. Świetlicka-Grala J., Grala B. — 1972. Zastosowanie analizy profilowej w doświadczeniach rolniczych. Listy Biometryczne, 34 - 36: 31 - 40.
17. Tymiński S. — 1965. Działalność rekultywacyjna w górnictwie piasku podszkadowego w Polsce. Zakład Badań Naukowych GOP-PAN, Biuletyn, 5: 65 - 73.
18. Wiejacha B., Lorenc N., Sylla U. — 1967. Charakterystyka techniczna rekultywacji i nakładów na ten cel. PMP-PW, Katowice (maszynopis).

WŁADYSŁAW BUGAŁA, BOGDAN KLUCZYŃSKI

*Studies on the utility of selected species of trees and shrubs  
for the recultivation of sand escarpments in Szczakowa*

Summary

In the fall of 1970 an experiment was established with trees and shrubs on the northern exposition of a freshly formed excavation, several hundred hectares in size, made by the open mining of sand by the „Szczakowa” Mine of Pit Sand. The excavation is constructed of post glacial sand of medium grain, about 30 m deep.



The fresh sand has a pH of about 5.0, is devoid of any organic material, sorption or basic elements (Tab. 1, 2 and 3).

It is a characteristic feature of these sands that they have a high degree of permeability. The slope of the escarpment is at an angle of about 16°, and measures about 60 m.

The experimental area was laid out in a complete block design. Over an area of about 0.26 ha 2700 2-year or 1-year old trees and shrubs have been planted (18 species in all): 1) *Populus alba* L., 2) *P. tremula* L., 3) *Salix caprea* L., 4) *S. acutifolia* Willd., 5) *Betula verrucosa* Ehrh., 6) *Alnus incana* Moench, 7) *Physocarpus opulifolius* Maxim., 8) *P. intermedius* Schneid., 9) *Spiraea salicifolia* L., 10) *S. menziesii* Hook., 11) *Rosa rugosa* Thunb., 12) *Robinia pseudacacia* L., 13) *Cara-gana arborescens* Lam., 14) *Tamarix tetrandra* Pall., 15) *T. gallica* L., 16) *Hippophaë rhamnoides* L., 17) *Elaeagnus angustifolia* L., 18) *Lonicera tatarica* L. The plants have been planted out in rows, parallel with the slope at a spacing of 1×1 m. After planting out the shrubs have been pruned close to the ground.

During three successive years (1971 - 1973) systematic observations have been conducted of each plant with respect to its general viability (health), percentage area of the leaf surface injured and the growth in height. The general viability of the plants and the percentage area of injured foliage have been estimated according to an adopted scale in mid August of each year, and in early spring the height in spring was measured. Also separately for each the percentage mortality within each species was evaluated. The atmospheric conditions in the years during which observations were made are summarized in table 5.

In order to compare species with respect to the mean values of observed characters use was made of factorial variance analysis for the repeated observations, that is the „profile analysis” (Tab. 6). In order to compare the species in detail use was made of the Duncan test (Fig. 1). Since the observations have indicated that the development of the plants is uneven at various elevations on the escarpment, a variance analysis was performed with the additional source of variation, elevation on the escarpment, employed as the second experimental variant (Tab. 8). The characters mentioned above have been subjected to these statistical analyses, except for the percentage mortality because of the insufficient number of plants on each plot (10 in all).

On the basis of the Duncan test the utility of the plants for recultivation was classified. Three groups of plants have been recognized: I — useful, II — of limited utility, III — useless (Tab. 12). Decidedly the best growth and developmental results as well as overall health have been demonstrated by shrubs of *Salix acutifolia* (Fig. 2 and 3). Besides that species the following are also to be recommended for the recultivation of such escarpments as these: *Tamarix tetrandra*, *T. gallica*, *Elaeagnus angustifolia*, *Physocarpus opulifolius*, *Robinia pseudacacia* and *Alnus incana*.

The uneven development of plants on various elevations of the escarpment with a northern exposition, is probably caused by uneven illumination of the escarpment (literature and own observations). As a result of this the rate of growth and development was diversified not only in the aerial part of the plants but also in the root system. Richer root systems collecting and utilizing greater quantities of water from precipitation, have resulted in the more intensive growth of the whole plants in certain parts of the escarpment. Dividing the slope of the escarpment, 60 m long, into 6 elevations, each 10 m wide it was possible to establish that generally the best growth results were demonstrated by the plants growing on level 3 counting from the base of the escarpment. Level 4 created intermediate conditions. The presented differentiation in the condition of the substratum is manifest in the growth response of all the useful species (Tab. 12).



Among the species not having a clear differentiation in this respect one could include *Alnus incana* and the species classed as useless for recultivation (group III). The information presented above should be utilized in the recultivation practice.

In the future studies it would be necessary to employ a wider range of characters of the studied plants, such as density of branching (that creates the desired shading of the area), the size and nature of the root system, the best spacing for the plantings etc. Depending on the feasibility, one should attempt to reduce the severity of the life conditions by watering the plants on the escarpment, the sowing of leguminose plants and plowing them over annually, fertilizing with organic manure (humus, compost, peat) and mineral fertilizers (or bentonites).

The factors determining the choice of trees and shrubs for the pre-crop or crop afforestations of the escarpments in sand excavations are the good development of the plants and the biological function of the afforestation. Economic considerations are in this case of lesser importance.

ВЛАДИСЛАВ БУГАЛА, БОГДАН КЛЮЧИНСКИ

### Исследования пригодности выбранных видов деревьев и кустарников для рекултивации откосов песчаного карьера в Щаковой

#### Резюме

Осенью 1970 года был заложен эксперимент с деревьями и кустарниками на северной стороне новообразованного песчаного карьера выработки, принадлежащей копиям „Щакова” и занимающей несколько сот гектаров. Выработку составляют глубокие среднезернистые пески ледового происхождения мощностью слоя в 30 м. Свежий песок с реакцией около 5,0 рН лишен органической субстанции, сорбции и основных элементов (таблицы 1, 2 и 3). Характерной чертой этих песков является их большая проницаемость. Угол наклона карьера составляет около 16°, а длина карьера вдоль склона — около 60 м.

Опытные участки имели характер произвольных блоков. На площади 0,26 га было посажено 2700 штук 2-летних либо 1-летних деревьев и кустарников (всего 18 видов): 1) *Populus alba* L., 2) *P. tremula* L., 3) *Salix caprea* L., 4) *S. acutifolia* Willd., 5) *Betula verrucosa* Ehrh., 6) *Alnus incana* Moench., 7) *Physocarpus opulifolius* Maxim., 8) *P. intermedius* Schneid., 9) *Spiraea salicifolia* L., 10) *S. menziesii* Hook., 11) *Rosa rugosa* Thunb., 12) *Robinia pseudacacia* L., 13) *Caragana arborescens* Lam., 14) *Tamarix tetrandra* Pall., 15) *T. gallica* L., 16) *Hippophae rhamnoides* L., 17) *Elaeagnus angustifolia* L., 18) *Lonicera tatarica* L.

Растения были посажены рядами параллельными направлению склона (густота расположения саженцев 1 × 1 м). Кустарники после посадки были коротко острижены у земли.

В течение последующих 3-х лет (1971 - 1973) проводились систематические наблюдения за каждым растением в отношении общей жизнеспособности, процента поверхности поврежденных ассимиляционного аппарата и прироста высоты. Общая жизнеспособность растений, а также процент поверхности поврежденных листьев определялись в соответствии с определенными методами в середине августа каждого года, а в предвесенний период измерялась высота (в см). Был подсчитан также процент выпадений для каждого года отдельно. Метеорологические условия в годы наблюдений представлены в таблице 5.



Для сравнения видов относительно средних значений наблюдаемых признаков был применен сильноизменчивый анализ вариации повторных обмеров, т.е. „профильный анализ” (таблица 6). Для подробного сравнения видов применялся тест Дункана (рис. 1). В связи с тем, что наблюдения указывали на неодинаковое развитие растений на разной высоте карьера, был произведен статистический анализ в дополнительном варианте, в котором брались во внимание уровни высоты в качестве второго экспериментального фактора (таблица 8). Проанализированы упомянутые выше признаки растений, за исключением процента выпадений, слишком малое количество растений на выделенном участке — всего 10 штук).

На основе результатов теста Д была определена пригодность растений для рекультивации. Выделено 3 группы видов: I — пригодных, II — малопригодных и III — непригодных (таблица 12). Кустарники *Salix acutifolia* несомненно показали наилучшие результаты роста, развития и оказались наиболее здоровыми (рис. 2 и 3). Кроме них для такого типа озеленения карьеров могут быть использованы: *Tamarix tetrandra*, *T. gallica*, *Elaeagnus angustifolia*, *Physocarpus opulifolius*, *Robinia pseudacacia*, *Alnus incana*.

Неодинаковое развитие растений на разных уровнях высоты карьера при наклоне на север вызвано вероятно различным освещением карьера (литература и собственные наблюдения). В результате этого различным был темп роста и развития не только наземных частей, но также корневых систем растений. Более богатые корневые системы, задерживая и используя большее количество воды в результате осадков, способствовали более интенсивному росту целых растений в определенных местах карьера. Если поделить склон карьера длиной в 60 м на 6 уровней шириной в 10 м, то можно установить что наиболее благоприятные условия создает растениям 3-ий уровень, (считая от основания карьера), затем 2-ой и правдоподобнее всего — 1-ый (рис. 4). Наиболее неблагоприятные условия находятся на 5-ом, а затем на 6-ом уровнях. 4-ый уровень создает промежуточные условия. На представленные различные условия субстрата реагируют прежде всего растения пригодных видов (таблица 12). К видам, не реагирующим отчетливо на это различие, можно отнести непригодные для рекультивации виды (группа III), за исключением *Alnus incana*. Поданную выше информацию следует принимать во внимание в практике.

В будущих исследованиях следовало бы проводить наблюдения над более широким, чем в настоящей работе, диапазоном признаков растений: обилие разветвления (способствующего желательному затемнению поверхности), величина и характер развития корневой системы, наиболее соответствующая густота посадки и т.д. По мере возможности следует смягчать трудные условия жизни растений, например, поливанием растений на карьерах, посевом бобовых растений и их ежегодным вскапыванием, органическим удобрением (перегной, компост, торф) и минеральным (химические удобрения, бентониты).

Факторами, определяющими выбор деревьев и кустарников для ранневесеннего, а также желаемого залесения песчаного карьера являются: хорошее развитие растений, а также определенная биологическая функция залесения. Хозяйственные цели отходят здесь на задний план.