

## CHARAKTERYSTYKA WZROSTU KRZEWÓW KARAGANY SYBERYJSKIEJ, DERENIA ŚWIDWY I ROKITNIKA ZWYCZAJNEGO NA SKŁADOWISKU POPIOŁÓW ELEKTROWNIANYCH

Mariola Wróbel<sup>1</sup>, Krzysztof Pacewicz<sup>1</sup>, Tomasz Wieczorek<sup>1</sup>,  
Mirosława Gilewska<sup>2</sup>, Krzysztof Otremba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademia Rolnicza w Szczecinie

<sup>2</sup>Akademia Rolnicza w Poznaniu

**Streszczenie.** Celem badań podjętych na składowisku mokrego odpielania elektrowni Adamów w Turku była ocena wzrostu wybranych gatunków krzewów zastosowanych do biologicznej rekultywacji składowiska – karagany syberyjskiej (*Caragana arborescens*), derenia świdwy (*Cornus sanguinea*) i rokitnika zwyczajnego (*Hippophaë rhamnoides*). Na siedemnastu powierzchniach eksperymentalnych skałę popiołową pokryto warstwą osadu ściekowego lub gliny zwalowej, a w wybranych wariantach naprawiono chemizm podłoża, stosując dodatkowo kompleksowe nawożenie NPK lub nawożenie azotowe. Pomiar biometryczne obejmowały wysokość krzewów, liczbę i średnicę pni oraz długość rocznych przyrostów pędów. Lepszymi parametrami wzrostu charakteryzowały się karagana syberyjska i rokitnik zwyczajny – krzewy tych gatunków rosły szybciej, wytwarzały więcej pni i miały dłuższe przyrosty roczne niż krzewy derenia świdwy. Wszystkie badane gatunki krzewów osiągały istotnie lepsze wartości cech biometrycznych na podłożach wzbogaconych nadkładem gliny. Nawożenie mineralne nie oddziaływało jednoznacznie na związki między poszczególnymi cechami.

**Słowa kluczowe:** rekultywacja biologiczna, odpielanie mokre, składowisko popiołów, *Caragana arborescens*, *Cornus sanguinea*, *Hippophaë rhamnoides*

### WSTĘP

Energetyka cieplna oparta na wykorzystaniu węgla brunatnego stwarza ogromne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Głównym problemem jest rekultywacja terenów przekształconych w wyniku odkrywkowej eksploatacji tego surowca oraz zagospodaro-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Mariola Wróbel, Katedra Botaniki i Ochrony Przyrody, Akademia Rolnicza w Szczecinie, ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin,  
e-mail: mwrobel@agro.ar.szczecin.pl

wanie odpadów paleniskowych [Maciak 1976, 1996, Maciak i in. 1979, Scheetz i Earle 1998, Ozerskii i Ozerskii 2003, Wierzchowska-Janik i Siera 2004]. Składowiska popiołów krzemianowo-wapniowych pochodzących z elektrowni opalanych węglem brunatnym, podobnie jak innych odpadów popielnych, zalicza się do obiektów uciążliwych dla środowiska i trudnych do rekultywacji, gdyż skała popiołowa nie ma swojego odpowiednika w przyrodzie [Bender i Gilewska 2004]. Składowanie popiołów metodą na mokro w formie pulpy doprowadza do powstania hałd o płaskiej i silnie skonsolidowanej powierzchni. Powstająca w ten sposób skała popiołowa, zasobna w węglan wapna oraz wodorotlenki wapnia, potasu, magnezu i sodu, ma układ warstwowy. Poszczególne warstwy popiołów o zróżnicowanej miąższości są poroździelane resztkami niespalonego węgla, które mają silne właściwości pęczniące, sprzyjające wnikaniu tlenu i wody, a tym samym procesom erozyjnym skały. Specyfiką skały popiołowej jest znikoma zawartość dostępnych dla roślin związków azotu i fosforu. Niezrównoważony układ pierwiastków, alkaliczny odczyn i niedobór wody wpływają hamująco na rozwój szaty roślinnej [Gilewska 2004]. Cennym uzupełnieniem w procesie rekultywacji odpadów paleniskowych może być osad ściekowy – materiał bogaty w substancje organiczne, azot, fosfor i inne pierwiastki śladowe [Krzywy i Wołoszyk 1996, Mazur 1996, Wołoszyk 2003].

Podjęte badania miały na celu porównanie wzrostu krzewów karagany syberyjskiej (*Caragana arborescens*), derenia świdwy (*Cornus sanguinea*) i rokitnika zwyczajnego (*Hippophaë rhamnoides*) na składowisku popiołów elektrownianych oraz ocenienie przydatności tych gatunków do rekultywacji skały popiołowej w różnych wariantach nawożenia oraz grubości nadkładu gliny zwałowej i osadu ściekowego.

Badania wykonano w ramach projektu badawczego nr 2P06S 030 28, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji.

## MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na zredukowanym składowisku mokrego odpopielania elektrowni ciepłej Adamów w Turku, w której jako paliwo stosuje się węgiel brunatny. Doświadczenie zostało założone w 1999 r. według zasad opracowanych przez Bendera i Gilewską [2004] przy współpracy elektrowni Adamów. Na składowisku wytyczono siedemnaście powierzchni eksperymentalnych o wymiarach 15 × 50 m. Jako materiał do nasadzeń wykorzystano kalcyfilne gatunki drzew i krzewów o płytkim systemie korzeniowym, które miały szansę na wzrost i rozwój w warunkach siedliskowych skały popiołowej. Na każdej powierzchni wysadzono 366 sztuk w układzie drzewo–krzew. Więźba sadzenia drzew i krzewów na powierzchniach doświadczalnych wynosiła 2,5 × 1 m.

Doświadczenie obejmowało trzy warianty (tab. 1):

1. wariant ze skałą popiołową,
2. wariant ze skałą popiołową pokrytą warstwą osadów ściekowych lub dołkami wypełnionymi osadem,
3. wariant ze skałą popiołową pokrytą warstwą gliny zwałowej szarej lub dołkami wypełnionymi gliną.

Drugim obok nadkładu czynnikiem różnicującym było nawożenie mineralne (NPK lub N), zwane w terminologii rekultywacyjnej naprawą chemizmu gruntu (tab. 1).

Tabela 1. Schemat doświadczenia

Table 1. Experimental design

Powierzchnia Plot	Wariant nadkładu – Variant of cover layer			Nawożenie, kg · ha <sup>-1</sup> Fertilisation, kg · ha <sup>-1</sup>		
	rodzaj – type	grubość, cm thickness, cm	symbol	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	popiół – ash	0	P-0	300	100	100
2	popiół – ash	0	P-0	300	0	0
3	popiół – ash	0	P-0	0	0	0
4	osad – sludge	25	O-25	300	100	100
5	osad – sludge	25	O-25	100	0	0
6	osad – sludge	25	O-25	0	0	0
7	osad – sludge	50	O-50	0	0	0
8	glina + osad – clay + sludge	25	GO-25	0	0	0
9	popiół – ash	25	P-25	300	100	100
10	popiół – ash	dołki z gliną holes with clay	P-G	300	100	100
11	popiół – ash	dołki z osadem holes with sludge	P-O	300	100	100
12	glina – clay	50	G-50	0	0	0
13	glina – clay	50	G-50	300	100	100
14	glina – clay	50	G-50	300	0	0
15	glina – clay	50	G-50	200	100	100
16	glina – clay	50	G-50	100	100	100
17	osad – sludge	50	O-50	300	0	0

Pomiary biometryczne wybranych trzech gatunków krzewów – karagany syberyjskiej (*Caragana arborescens*), derenia świdy (*Cornus sanguinea*) i rokitnika zwyczajnego (*Hippophaë rhamnoides*) – przeprowadzono w lipcu 2005 r. Na każdej powierzchni losowo wybrano do badań po pięć krzewów każdego gatunku. Policzone pnie i zmierzono ich średnicę na wysokości 60 cm. Zmierzono także długość rocznych przyrostów dziesięciu pędów pochodzących z centralnej części korony. Skrajne warunki siedliskowe panujące na powierzchniach doświadczalnych nr 1–3 uniemożliwiły w niektórych przypadkach wybranie do pomiarów pięciu żywotnych okazów krzewów, ograniczając ich liczbę do dwóch lub trzech osobników.

Dla wysokości krzewów, liczby pni, ich średnicy oraz długości rocznych przyrostów pędów wyliczono wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla każdego wariantu. Aby umożliwić pełniejszą analizę stopnia zmienności, określono dodatkowo współczynniki zmienności dla wysokości krzewów, średnicy pni i długości rocznych przyrostów. Średnie porównano, przeprowadzając analizę wariancji w układzie kompletnej randomizacji (tab. 2), biorąc do porównania te warianty, w których udało się wykonać co najmniej dwa pomiary badanej cechy, a następnie określono grupy jednorodne za pomocą testu Tukeya przy poziomie istotności 0,05. Średnie należące do wspólnej grupy jednorod-

nej oznaczono w zestawieniu tą samą literą alfabetu. Ścisłość wyników poszczególnych analiz wariancji określono na podstawie współczynnika zmienności w oparciu o błąd analizy. Współczynnik zmienności obliczano ze wzoru:

$$V\% = \frac{\sqrt{S_E^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Siłę zależności między średnicą krzewu a jego wysokością oceniono, wyliczając współczynnik determinacji ( $r^2$ ) i określając istotność zależności. Dla każdej prostej określono obszar ufności przy poziomie 0,05.

Tabela 2. Ocena istotności różnic ( $\alpha = 0,05$ ) na podstawie analizy wariancji oraz współczynniki zmienności (CV%) wybranych cech biometrycznych gatunków krzewów wykorzystanych przy biologicznej rekultywacji skały popiołowej

Table 2. Estimation of significance of differences ( $\alpha = 0.05$ ) based on analysis of variance, and coefficients of variation (CV%) for selected biometrical traits of shrub species used in biological reclamation of ash rock

Gatunek – Species	Wysokość roślin Plant height		Średnica pnia Stem diameter		Roczne przyrosty pędów Annual shoot increments	
	$\alpha$	CV%	$\alpha$	CV%	$\alpha$	CV%
<i>Caragana arborescens</i>	**	17	**	22	**	23
<i>Cornus sanguinea</i>	**	20	r.n.	21	**	33
<i>Hippophaë rhamnoides</i>	**	24	**	31	**	21

\*\* – różnice wysoce istotne – highly significant differences, r.n. – różnice nieistotne – nonsignificant differences

## WYNIKI I DYKUSJA

Wartości wybranych cech biometrycznych krzewów karagany syberyjskiej, derenia świdwy i rokitnika zwyczajnego rosnących na zrehabilitowanym składowisku popiołów elektrownianych w różnych wariantach nadkładu i nawożenia mineralnego przedstawiono w tabeli 3.

**Karagana syberyjska** (*Caragana arborescens*) jest krzewem wyjątkowo wytrzymałym na suszę, niską temperaturę oraz zanieczyszczenia przemysłowe. Reprezentuje rodzinę motylkowatych (*Fabaceae*), dlatego braki przyswajalnych związków azotu w podłożu uzupełnia dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Rhizobium*. Preferuje gleby lekkie, zasobne w węglan wapnia i jest gatunkiem światłolubnym [Seneta i Dolatowski 1997, Bugała 2000].

Krzewy karagany syberyjskiej dobrze rozwijały się na powierzchniach doświadczalnych, z wyjątkiem trzech pierwszych powierzchni, gdzie skała popiołowa nie była przykryta warstwą nadkładu. Wysokość roślin była największa w wariancie z 25-centymetrowym nadkładem gliny i pełnym nawożeniem NPK (odpowiednio 300, 100 i 100 kg · ha<sup>-1</sup>) oraz 50-centymetrowym nadkładem gliny i nawożeniem azotowym w dawce 300 kg · ha<sup>-1</sup>,

Tabela 3. Wpływ wariantu nadkładu oraz nawożenia NPK na wysokość roślin, liczbę i średnicę pni oraz przyrosty roczne gatunków krzewów wykorzystanych przy biologicznej rekultywacji składowiska mokrą odpadami elektrowni Adamów w Turku  
 Table 3. Effect of cover layer variant and NPK fertilisation on height of plants, number and diameter of stems, and annual increments of shrub species used in biological reclamation of wet ash disposal site of Adamów power plant in Turek

Po- wierzeh- nia Plot	Wariant nadkładu Variant of cover layer	Nawożenie Fertilisation N-P-K kg · ha <sup>-1</sup>	n	Wysokość roślin, cm Plant height, cm			Liczba pni na roślinę Number of stems per plant			Średnica pnia, cm Stem diameter, cm			Roczne przyrosty pędów, cm Annual shoot increments, cm			
				$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%	
<i>Caragana arborescens</i>																
1	P-0	300-100-100	1	92	–	–	1,0	–	–	0,9	–	–	5	67,2	–	–
2	P-0	300-0-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	P-0	0-0-0	2	56 cd	24	43	1,0	–	–	0,4 c	0,1	20	5	0,2 b	0,0	7
4	O-25	300-100-100	5	195 c	14	7	1,0	–	–	1,6 ab	0,3	15	10	23,9 a	4,3	18
5	O-25	100-0-0	5	190 c	10	5	2,4	0,89	–	1,5 abc	0,6	36	10	24,3 a	5,6	23
6	O-25	0-0-0	5	200 c	24	12	1,8	0,84	–	1,7 ab	0,1	8	10	26,8 a	2,9	11
7	O-50	0-0-0	5	197 c	24	12	2,2	0,84	–	1,8 ab	0,4	22	10	23,7 a	3,3	14
8	GO-25	0-0-0	5	252 bc	23	9	2,4	0,89	–	2,2 ab	0,6	27	10	21,7 a	4,2	19
9	P-25	300-100-100	5	351 a	83	24	2,4	0,89	–	2,0 ab	0,4	19	10	21,1 a	2,9	14
10	P-G	300-100-100	5	174 c	25	14	2,2	0,84	–	1,4 bc	0,1	9	10	20,8 a	4,7	23
11	P-O	300-100-100	5	183 c	24	13	2,0	0,71	–	1,5 bc	0,3	21	10	18,8 a	4,2	22
12	G-50	0-0-0	5	237 bc	44	19	2,8	0,45	–	2,3 ab	0,4	18	10	21,6 a	1,6	8
13	G-50	300-0-0	5	290 ab	49	17	3,0	–	–	2,2 ab	0,2	7	10	20,7 a	4,8	23
14	G-50	300-100-100	5	221 bc	30	14	3,0	–	–	1,7 ab	0,3	16	10	17,1 a	3,2	19
15	G-50	200-100-100	5	235 bc	35	15	3,0	–	–	2,5 a	0,6	24	10	26,1 a	1,2	47

Tabela 3 cd. – Table 3 contid

Po- wierzeh- nia Plot	Wariant nadmładu Variant of cover layer	Nawożenie Fertilisation N-P-K kg · ha <sup>-1</sup>	n	Wysokość roślin, cm Plant height, cm			Liczba pni na roślinę Number of stems per plant			Średnica pnia, cm Stem diameter, cm			Roczne przyrosty pędów, cm Annual shoot increments, cm		
				$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%	$\bar{x}$	SD	CV%
16	G-50	100-100-100	5	244 bc	44	18	2,4	0,55	2,0 ab	0,4	18	10	22,9 a	3,9	17
17	O-50	300-100-100	5	213 bc	26	12	2,2	0,84	2,2 ab	0,7	33	10	21,9 a	4,5	21
<i>Cornus sanguinea</i>															
1	P-0	300-100-100	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	P-0	300-0-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	P-0	0-0-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	O-25	300-100-100	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	O-25	100-0-0	5	103 c	34	33	1,0	–	1,1 ab	0,4	34	9	10,6 c	7,6	71
6	O-25	0-0-0	5	118 bc	29	25	2,6	0,89	1,1 ab	0,1	12	10	13,8 abc	6,1	44
7	O-50	0-0-0	5	161 abc	20	12	2,8	0,45	1,3 ab	0,1	6	10	23,6 a	3,1	13
8	GO-25	0-0-0	5	165 abc	36	22	2,2	0,45	1,0 ab	0,2	21	10	14,7 abc	5,1	35
9	P-25	300-100-100	5	168 abc	7	4	2,4	0,89	1,2 ab	0,3	22	10	11,9 bc	3,8	32
10	P-G	300-100-100	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
11	P-O	300-100-100	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	G-50	0-0-0	5	150 abc	37	24	2,2	0,84	0,8 b	0,2	21	10	11,2 c	2,8	25
13	G-50	300-0-0	5	204 a	47	23	2,8	0,45	1,3 ab	0,3	25	10	12,8 bc	1,4	11
14	G-50	300-100-100	5	172 ab	45	26	2,2	1,10	1,2 ab	0,1	12	10	11,9 bc	4,5	38
15	G-50	200-100-100	5	154 abc	23	15	2,8	0,45	1,2 ab	0,3	25	10	13,7 abc	2,9	21
16	G-50	100-100-100	5	198 a	18	9	2,4	0,55	1,3 ab	0,4	30	10	21,5 ab	5,6	26
17	O-50	300-100-100	5	109 bc	19	18	2,0	1,00	1,3 a	0,2	13	10	10,9 c	5,8	53

<i>Hippophaë rhamnoides</i>															
1	P-0	300-100-100	5	100 f	15	15	2,4	0,89	1,2 abc	0,6	48	10	6,9 d	2,3	33
2	P-0	300-0-0	5	94 f	20	21	1,6	0,55	0,8 c	0,3	41	10	6,6 d	1,4	22
3	P-0	0-0-0	2	79 f	11	14	1,0	-	1,2 abc	0,1	12	10	7,2 cd	1,1	15
4	O-25	300-100-100	5	147 def	18	12	1,6	0,55	1,5 abc	0,3	21	10	13,8 abc	3,8	27
5	O-25	100-0-0	5	156 def	22	14	2,2	0,45	0,9 bc	0,2	26	10	10,9 abcd	0,7	6
6	O-25	0-0-0	5	173 cdef	78	45	1,4	0,55	1,5 abc	0,6	38	10	14,1 abc	1,9	13
7	O-50	0-0-0	5	189 bcdef	72	38	1,4	0,55	1,6 abc	0,5	31	10	16,7 a	5,5	33
8	GO-25	0-0-0	5	219 bcde	39	18	1,2	0,45	2,2 a	0,5	22	10	16,3 ab	3,1	19
9	P-25	300-100-100	5	249 abcd	47	19	1,8	0,84	2,1 ab	0,8	38	10	12,8 abcd	1,8	14
10	P-G	300-100-100	5	184 cdef	21	11	2,0	0,71	1,8 abc	0,3	18	10	11,9 abcd	4,2	35
11	P-O	300-100-100	5	167 def	20	12	1,4	0,55	1,2 abc	0,3	24	10	10,8 abcd	2,0	18
12	G-50	0-0-0	5	211 bcde	22	10	1,4	0,55	1,5 abc	0,6	37	10	15,2 abc	2,9	19
13	G-50	300-0-0	5	328 a	57	17	2,6	0,55	2,3 a	0,5	20	10	14,1 abc	2,8	20
14	G-50	300-100-100	5	274 abc	51	19	2,0	0,71	2,3 a	0,9	38	10	11,4 abcd	1,4	12
15	G-50	200-100-100	5	227 abcd	47	21	2,0	0,71	1,8 abc	0,5	26	10	14,8 abc	2,9	20
16	G-50	100-100-100	5	294 ab	78	27	2,0	1,00	1,9 abc	0,3	17	10	13,9 abc	1,2	8
17	O-50	300-100-100	5	181 cdef	61	34	1,6	0,55	2,0 abc	0,8	37	10	10,1 bcd	0,8	8

$\bar{x}$  – wartość średnia – mean, SD – odchylenie standardowe – standard deviation, CV% – współczynnik zmienności – coefficient of variation  
 Symbole wariantów nadkładu jak w tabeli 1 – Symbols of cover layer variants as in Table 1  
 Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ( $\alpha = 0,05$ ) – Means followed by the same letters do not differ significantly ( $\alpha = 0,05$ )

natomiast w pozostałych wariantach wysokość roślin była zbliżona i mieściła się w przedziale od ok. 200 do 250 cm. Stabilny wzrost i rozwój poszczególnych egzemplarzy na poletkach potwierdza niski współczynnik zmienności z reguły nie przekraczający 20%.

Liczba pni krzewów była zróżnicowana – od jednego w skrajnie trudnych dla karagany wariantach do trzech w wariantach z gliną o miąższości 50 cm i różnymi wariantami nawożenia. Pnie miały średnicę od 0,1 do 0,7 cm, a zależało to, podobnie jak u pozostałych gatunków, od warunków konkurencyjności o światło i wodę oraz od przeciętnej liczby pni, jaką miały krzewy w danym wariantcie.

We wszystkich wariantach długość rocznych przyrostów pędów była zbliżona i wynosiła od 17 do 27 cm. Podobnie jak w przypadku średnicy pni trudno jest tu doszukać się relacji między wariantem a uzyskanym wynikiem. O braku istotności różnic zdecydowała między innymi zmienność obserwacji. Brak różnic pod względem przyrostu świadczy także o dobrym przystosowaniu krzewów karagany, po pięciu latach od nasadzenia, do trudnych warunków siedliskowych w poszczególnych wariantach doświadczenia. Wynika stąd, że różnice wzrostu były efektem niejednakowych przyrostów w początkowej fazie eksperymentu.

**Dereń świdwa** (*Cornus sanguinea*) preferuje żyzne siedliska wilgotne w lasach lub nadbrzeżnych zaroślach, ale odznacza się dużą tolerancją w stosunku do warunków glebowych i oświetlenia. Gatunek ten ma zastosowanie w rekultywacji terenów zdegradowanych i hałd kopalnianych oraz w zadrzewieniach krajobrazowych [Bugala 2000].

Rośliny derenia świdwy były wrażliwsze od krzewów pozostałych gatunków badanych w doświadczeniu. Nie występowały w wariantach bez nadkładu, w wariantach z 25-centymetrową warstwą osadu ściekowego i pełnym nawożeniem ani w wariantach z dołkami w skale popiołowej wypełnionymi gliną lub osadem. Najwyższe krzewy wyrosły w wariantach z nadkładem gliny o grubości 50 cm i nawożeniem azotowym w dawce  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz nawożeniem NPK w ilości  $200-100-100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a niewiele niższe – w pozostałych wariantach z gliną. W wariantach z osadem, szczególnie z warstwą o grubości 25 cm, wysokość roślin była zdecydowanie mniejsza. Zmienność wysokości roślin była zróżnicowana – współczynnik zmienności wynosił od kilku do kilkunastu procent, przy czym nie odgrywał tu roli rodzaj podłoża w wariantcie.

Krzewy derenia świdwy wykształcały średnio od jednego pnia – w wariantcie, w którym odnotowano ich najmniejszą wysokość, do blisko trzech pni – w kilku wariantach z osadem lub gliną. Różnice średnic były niewielkie – w zdecydowanej większości wariantów średnica mieściła się w zakresie od 1,1 do 1,3 cm, a zmienność wynosiła ok. 20%.

Długość rocznych przyrostów pędów była silniej zróżnicowana niż pozostałe cechy krzewów derenia świdwy. Zmierzone wartości kształtowały się w przedziale od 11 do 23 cm, przy czym rozrzut wyników nie wiązał się z typem nadkładu. Spośród wszystkich badanych gatunków dereń był najchętniej zgryzany przez zwierzynę leśną, co miało wpływ na zróżnicowanie wielkości przyrostów.

**Rokitnik zwyczajny** (*Hippophaë rhamnoides*) to powszechnie znany i ceniony gatunek dwupiennego krzewu, szeroko stosowany w rekultywacji nieużytków przemysłowych. Dziko rosnące okazy rokitnika zwyczajnego są objęte ochroną prawną. Rokitnik preferuje siedliska zasobne w węglan wapnia, suche i przepuszczalne, a symbioza korzeni z mikroorganizmami z grupy promieniowców (*Actinomyces*) stymuluje jego wzrost i rozwój [Seneta i Dolatowski 1997].



Rokitnik zwyczajny był jedynym gatunkiem, który utrzymał się we wszystkich wariantach, również tych bez nadkładu. Świadczy to o jego bardzo dużej zdolności do przetrwania w skrajnie niekorzystnych warunkach. Najniższe krzewy rokitnika – o wysokości nie przekraczającej 100 cm – rosły w wariantach bez nadkładu. Na warstwach osadu o grubości 25 cm osiągały przeciętnie 150 cm, nieco więcej – w wariantach z dołkami z gliną lub osadem. Zastosowanie nadkładu gliny skutkowało większą wysokością roślin – przekraczała ona 200 cm, dochodząc do 330 cm w wariantcie z 50-centymetrową warstwą gliny i nawożeniem azotowym w dawce  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Widoczna tendencja do różnic w zależności od rodzaju nadkładu nie była już tak jednoznaczna w przypadku nawożenia. Zmienność generalnie kształtowała się na dość niskim poziomie kilkunastu procent, z wyjątkiem kilku wariantów, w których była wyższa.

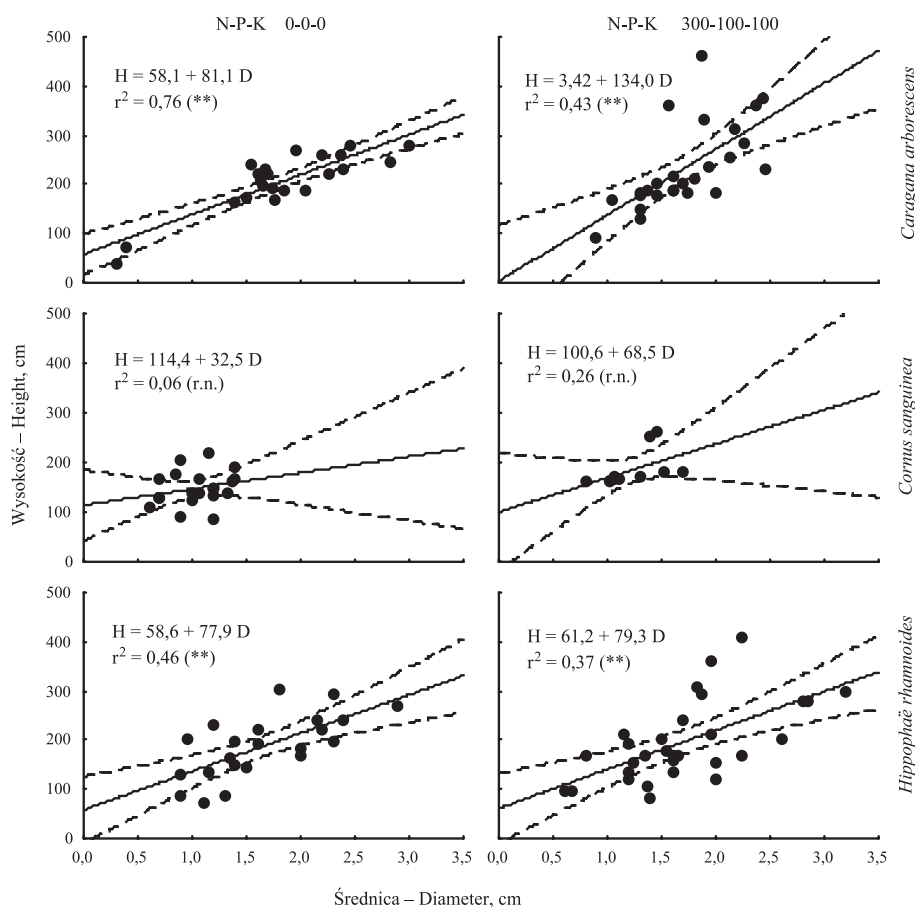
Niezależnie od wariantu krzewy rokitnika miały ok. dwóch pni. Średnica pnia wynosiła od ok. 1 cm u roślin znajdujących się w skrajnie niekorzystnych warunkach do ok. 2,0–2,3 cm, najczęściej u krzewów rosnących na glinach. Zmienność tej cechy w obrębie wariantu była większa niż zmienność wysokości roślin. Przypadki wegetatywnego rozmnażania się rokitnika poprzez odrosty korzeniowe w wariantach bez nadkładu świadczą o jego żywotności nawet w skrajnie niekorzystnych warunkach siedliskowych.

Długość rocznych przyrostów pędów rokitnika mieściła się w przedziale od 10 do 17 cm, poza wariantami bez nadkładu, w których nie przekraczała 7 cm. Była to cecha najbardziej stabilna pod względem zmienności w obrębie wariantu.

Kształtowanie się zależności między średnicą pnia a wysokością krzewu wskazuje na jej międzygatunkowe zróżnicowanie w zależności od poziomu nawożenia (patrz rysunek). Związku takiego nie wykazywały rośliny derenia świdwy; decydujący wpływ miał na to zarówno rozwój pokroju tego gatunku uwarunkowany jego genotypem, jak i fakt częstego przygryzania krzewów przez zwierzynę leśną. W przypadku karagany syberyjskiej i rokitnika zwyczajnego związek między średnicą pnia a wysokością krzewu był statystycznie istotny i sprawdzał się w granicach 40–80%. Nawożenie różnicowało ten związek tylko w przypadku karagany – w wariantcie NPK 300-100-100  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  przy danej średnicy pnia krzewy osiągały wysokość odpowiednio większą niż w wariantcie bez nawożenia. Świadczą o tym różne wartości współczynników kierunkowych obu równań regresji opisujących zależności (rys.). Zróżnicowanie okazów pod względem wysokości dla danej średnicy pnia wiąże się z konkurencją o światło, która była niejednakowa na poszczególnych stanowiskach zajmowanych w danym modelu rekultywacji. Rośliny na nadkładach stwarzających lepsze warunki wzrostu i rozwoju dla innych gatunków (np. na glinach) musiały silniej konkurować, podobnie jak rośliny znajdujące się wewnątrz modelu, gdzie ilość światła, szczególnie przy zwartej szacie, była mniejsza.

Można przypuszczać, że wzrost i rozwój krzewów karagany syberyjskiej i rokitnika zwyczajnego dodatkowo stymulowała symbioza z mikroorganizmami asymilującymi azot.

Wybranie do oceny stanu roślin ich cech biometrycznych o charakterze ilościowym dało możliwość przedstawienia oprócz przeciętnej wartości badanej cechy również jej zmienności w obrębie poszczególnych wariantów badawczych. Dzięki temu można było obiektywnie ocenić wiarygodność prezentowanych danych, a jednocześnie zgromadzić informacje o wpływie zastosowanego sposobu rekultywacji na zróżnicowanie analizowanych cech. Ułatwi to w przyszłości planowanie tego typu pomiarów na powierzchniach doświadczalnych innych modeli biologicznej rekultywacji.



Rys. Zależność między przeciętną średnicą pnia (D) a wysokością krzewu (H) przy braku nawożenia oraz przy nawożeniu NPK w dawce 300-100-100 kg·ha<sup>-1</sup>; \*\* – zależność wysoce istotna, r.n. – zależność nieistotna

Fig. Relation between mean stem diameter (D) and shrub height (H) under no fertilisation and NPK fertilisation at rate 300-100-100 kg·ha<sup>-1</sup>; \*\* – highly significant relation, r.n. – nonsignificant relation

## PODSUMOWANIE

Spośród trzech badanych gatunków krzewów odporniejsze na niekorzystne warunki siedliskowe okazały się karagana syberyjska (*Caragana arborescens*) i rokitnik zwyczajny (*Hippophaë rhamnoides*), mniej odporny był dereń świdwa (*Cornus sanguinea*).

Wszystkie badane gatunki osiągały istotnie lepsze parametry wzrostu – wysokość krzewów, średnicę pni i długość rocznych przyrostów pędów, gdy skała popiołowa była pokryta nadkładem z gliny, niż gdy stosowano nadkład z osadu ściekowego, dołki z gliną lub osadem bądź gdy nie stosowano żadnego nadkładu.

Gatunkiem rosnącym najszybciej, wytwarzającym średnio największą liczbę pni i osiągającym największe średnie przyrosty roczne była karagana syberyjska, nieco słabiej rósł rokitnik zwyczajny, a najsłabiej dereń świdwa.

Nawożenie mineralne NPK niejednoznacznie oddziaływało na związki między badanymi cechami biometrycznymi krzewów poszczególnych gatunków: w przypadku karagany przy określonej średnicy pnia krzewy rosnące na podłożu nawożonym miały większą wysokość, natomiast u rokitnika nawożenie nie miało wpływu na związek tych cech.

## PIŚMIENNICTWO

- Bender J., Gilewska M., 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. Roczn. Glebozn. 55 (2), 29–48.
- Bugała W., 2000. Drzewa i krzewy. PWRiL Warszawa.
- Gilewska M., 2004. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego. Roczn. Glebozn. 55 (2), 103–110.
- Krzywy E., Wołoszyk Cz., 1996. Charakterystyka chemiczna i możliwości wykorzystania do produkcji kompostów osadów ściekowych z miejskich oczyszczalni. Zesz. Nauk. AR Szczec., Rolnictwo 62, 265–271.
- Maciak F., 1976. Rekultywacja rolnicza odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. III. Przebieg procesów glebotwórczych na składowiskach popiołu pod wpływem roślinności trawiastej i motylkowej. Roczn. Glebozn. 27 (2), 189–209.
- Maciak F., 1996. Ochrona i rekultywacja środowiska. Wyd. SGGW Warszawa.
- Maciak F., Liwski S., Jeżewski Z., 1979. Rekultywacja hałdy popiołu z węgla brunatnego elektrowni Konin przez zadrzewienie i zakrzewienie. Roczn. Glebozn. 30 (3), 179–198.
- Mazur T., 1996. Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 456, 251–256.
- Ozerskii A.Yu., Ozerskii D.A., 2003. Disposal of ash and slag waste of the Berezovsk state regional power plant in the Berezovskii-1 mined-out space: a promising direction of environmental protection in the region. Power Technol. Eng. 37 (4), 248–251.
- Scheetz B.E., Earle R., 1998. Utilization of fly ash. Current Opinion in Solid State & Materials Science 3, 510–520.
- Seneta W., Dolatowski J., 1997. Dendrologia. PWN Warszawa.
- Wierchowska-Janik D., Siera W., 2004. Rekultywacja terenów przekształconych w wyniku odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego na przykładzie KWB „Adamów” i Konin”. Roczn. Glebozn. 55 (2), 493–508.
- Wołoszyk Cz., 2003. Agrochemiczna ocena nawożenia kompostami z komunalnych osadów ściekowych i odpadami przemysłowymi. Rozprawy AR Szczec. 217.

## GROWTH CHARACTERISTICS OF *Caragana arborescens*, *Cornus sanguinea* AND *Hippophaë rhamnoides* SHRUBS ON WET ASH DISPOSAL SITE

**Abstract.** Research carried out on the wet ash disposal site of the Adamów power plant in Turek assessed the growth of selected shrub species used for the biological reclamation of the disposal site. Ash rock on seventeen experimental plots was covered with a layer of sludge or bulder clay and in some variants the chemistry of the substrate was improved by

additional NPK or N fertilisation. Biometrical measurements included the height of shrubs, the number and diameter of stems, and the length of the annual increments of shoots. *Caragana arborescens* and *Hippophaë rhamnoides* performed better than *Cornus sanguinea*: the shrubs of the two former species grew faster, produced more stems and had longer annual increments. All the shrub species under study achieved significantly higher values of biometrical characteristics on substrates enriched with a layer of boulder clay. Mineral fertilisation had an ambiguous effect on the relations between the characteristics studied.

**Key words:** biological reclamation, wet ash removal, ash disposal site, *Caragana arborescens*, *Cornus sanguinea*, *Hippophaë rhamnoides*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.07.2006*