

CHARAKTERYSTYKA WZROSTU DRZEW KLONU JESIONOLISTNEGO, OLIWNIKA WĄSKOLISTNEGO I ROBINII AKACJOWEJ NA SKŁADOWISKU POPIOŁÓW ELEKTROWNIANYCH

Krzysztof Pacewicz¹, Mariola Wróbel¹, Tomasz Wieczorek¹,
Mirosława Gilewska², Krzysztof Otremba²

¹Akademia Rolnicza w Szczecinie

²Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Celem badań podjętych na składowisku mokrego odpopielania elektrowni Adamów w Turku była ocena wzrostu wybranych gatunków drzew zastosowanych do biologicznej rekultywacji składowiska. Na siedemnastu powierzchniach eksperymentalnych skałę popiołową pokryto warstwą osadu ściekowego lub gliny zwałowej, a w wybranych wariantach podłoża naprawiono chemizem, stosując dodatkowo kompleksowe nawożenie NPK lub nawożenie azotowe. Pomiarów biometrycznych obejmowały wysokość drzew, liczbę i średnicę pni oraz długość rocznych przyrostów pędów. Lepszymi parametrami wzrostu charakteryzowały się robinia akacja (*Robinia pseudoacacia*) i oliwnik wąskolistny (*Eleagnus angustifolius*) – drzewa tych gatunków wytwarzały więcej pni, o większej średnicy i miały dłuższe przyrosty roczne niż klon jesionolistny (*Acer negundo*). Wszystkie badane gatunki drzew 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, odpopielanie mokre, składowisko popiołów, *Acer negundo*, *Eleagnus angustifolius*, *Robinia pseudoacacia*

WSTĘP

Pozyskiwanie energii poprzez spalanie paliw kopalnych stwarza zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia środowiska, a ponadto rodzi problemy związane z zagospodarowaniem opadów popielnych i żużlu [Jusaitis i Pillman 1997, Scheetz i Earle 1998,

Michalski 2004]. Do najkorzystniejszych sposobów utylizacji odpadów paleniskowych powstających w procesie spalania węgla brunatnego należy rekultywacja biologiczna [Maciak i in. 1979, Maciak 1996, Gilewska 2004]. Właściwości fizykochemiczne skały popiołowej uniemożliwiają samoistny rozwój okrywy roślinnej, skała ta stwarza bowiem skrajnie nieprzyjazne warunki siedliskowe hamujące zasiedlanie jej powierzchni przez rośliny pionierskie. Odpady paleniskowe powstające w wyniku spalania węgla brunatnego są popiołami krzemianowo-wapniowymi o silnie zasadowym odczynie – wartość pH wynosi 8,1–8,3 w przypadku składowania na sucho i 10,0–11,2 przy składowaniu na mokro [Gilewska 2003]. Popioły te zawierają nadmierną w stosunku do potrzeb roślin ilość wapnia, glinu, żelaza, magnezu i boru, ale niewystarczającą ilość azotu i fosforu. Poza tym, obecny w skale popiołowej azot jest niedostępny dla roślin, gdyż znajduje się w resztkach niespalonego węgla. Cenne uzupełnienie w procesie rekultywacji odpadów paleniskowych może stanowić osad ściekowy, który jest bogaty w substancje organiczne, azot, fosfor i pierwiastki śladowe [Krzywy i Wołoszyk 1996, Mazur 1996, Wołoszyk 2003]. Właściwości wodne popiołów również kształtują się niekorzystnie, gdyż znaczna ilość wchłoniętej przez nie wody jest niedostępna dla roślin. Maksymalna higroskopowość skały popiołowej powstałej w wyniku utylizacji popiołów z elektrowni Adamów w Turku wynosi 6–11%, a efektywna retencja użyteczna kształtuje się w granicach 8–16% [Gilewska 2000].

Podjęte badania miały na celu porównanie wzrostu drzew klonu jesionolistnego (*Acer negundo*), oliwnika wąskolistnego (*Eleagnus angustifolius*) i robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia*) na składowisku popiołów elektrownianych oraz ocenienie przydatności tych gatunków do rekultywacji skały popiołowej w różnych wariantach nawożenia oraz grubości nadkładu gliny zwalowej 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 zrekultywowanym składowisku mokrego odpopielania elektrowni ciepłej Adamów w Turku, w której jako paliwo stosuje się węgiel brunatny. Doświadczenie zostało założone w 1999 r. według metodyki opracowanej 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. Na każdej powierzchni wysadzono 366 sztuk w układzie drzewo–krzew. Więźba sadzenia drzew i krzewów na powierzchniach wynosiła 2,5 × 1 m. Dominującymi gatunkami drzew, tworzącymi trzon drzewostanu wykształconego na tych powierzchniach w wyniku przeprowadzonej rekultywacji biologicznej, były klon jesionolistny (*Acer negundo*) i robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia*) pochodzenia północnoamerykańskiego oraz oliwnik wąskolistny (*Eleagnus angustifolius*) pochodzący z rejonu zachodniej i środkowej Azji.

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.

Tabela 1. Schemat doświadczenia

Table 1. Experimental design

Powierzchnia Plot	Wariant nadkładu – Variant of cover layer			Nawożenie, kg·ha ⁻¹ Fertilisation, kg·ha ⁻¹		
	rodzaj – type	grubość, cm thickness, cm	symbol	N	P ₂ O ₅	K ₂ 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 drzew przeprowadzono w lipcu 2005 r. Na każdej powierzchni losowo wybrano do badań po pięć drzew 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 nr 1–4 uniemożliwiły w niektórych przypadkach wybranie do pomiarów pięciu żywotnych okazów drzew, ograniczając przez to liczbę obserwacji.

Dla wysokości drzew, liczby pni, ich średnicy oraz długości rocznych przyrostów pędów wyliczono wartości średnie i odchylenia standardowe dla każdego wariantu. Aby umożliwić pełniejszą analizę stopnia zmienności, określono dodatkowo współczynniki

zmienności dla wysokości drzew, 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 jednorodnej 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 drzewa 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 drzew 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 for selected biometrical traits of tree species used in biological reclamation of ash rock

Gatunek – Species	Wysokość roślin Plant height		Średnica pnia Stem diameter		Roczne przyrosty pędów Annual shoot increments	
	α	CV%	α	CV%	α	CV%
<i>Acer negundo</i>	**	25	**	48	**	32
<i>Elaeagnus angustifolius</i>	**	15	**	32	r.n.	21
<i>Robinia pseudoacacia</i>	**	20	**	39	**	21

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

WYNIKI I DYSKUSJA

Wartości wybranych cech biometrycznych drzew klonu jesionolistnego, oliwnika wąskolistnego i robinii akacjowej rosnących na zreaktywowanym składowisku popiołów elektrownianych w różnych wariantach nadkładu i nawożenia mineralnego przedstawiono w tabeli 3.

Klon jesionolistny (*Acer negundo*) to gatunek dwupiennego drzewa, które formuje nieregularne korony i krzywe, niskie pnie o kruchych, łamliwych konarach. Cechuje się bardzo szybkim wzrostem, ma niewielkie wymagania glebowe, jest wyjątkowo odporny na suszę, mrozy i zanieczyszczenia przemysłowe. Stosuje się go w zadrzewieniach rekultywacyjnych i osłonowych [Bugala 2000].

Tabela 3. Wpływ wariantu nadkładu oraz nawożenia NPK na wysokość roślin, liczbę i średnicę pni oraz przyrosty roczne gatunków drzew wykorzystanych przy biologicznej rekultywacji składowiska mokrego odpalenia 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 tree species used in biological reclamation of wet ash disposal site of Adamów power plant in Turek

Pozycja wierzchnia Plot	Wariant nadkładu Variant of cover layer	Nawożenie Fertilisation N-P-K kg·ha ⁻¹	Wysokość roślin, cm Plant height, cm			Liczba pni na roślinie 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>Acer negundo</i>														
1	P-0	300-100-100	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	P-0	300-0-0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	P-0	0-0-0	1	39	-	1,0	-	0,9	-	-	5,7	-	-	-
4	O-25	300-100-100	5	179 cde	20	1,4	0,55	1,4 bc	0,2	17	10	21,4 ab	2,5	12
5	O-25	100-0-0	5	202 cde	56	1,0	-	2,2 abc	0,7	34	10	21,8 a	6,3	29
6	O-25	0-0-0	5	181 cde	64	1,4	0,55	1,7 abc	0,4	22	10	16,9 abc	4,0	23
7	O-50	0-0-0	5	287 abcd	111	39	0,55	2,2 abc	0,9	40	10	11,9 bcd	2,1	18
8	GO-25	0-0-0	5	287 abcd	76	26	0,45	2,2 abc	1,2	55	10	14,3 abc	7,3	51
9	P-25	300-100-100	5	351 ab	83	24	0,45	3,3 ab	1,5	47	10	8,2 cd	3,7	45
10	P-G	300-100-100	5	165 de	24	14	1,0	1,3 bc	0,4	30	9	4,0 d	1,2	30
11	P-O	300-100-100	5	133 e	47	36	0,55	1,0 c	0,2	17	10	9,5 cd	3,4	36
12	G-50	0-0-0	5	184 cde	47	26	0,45	1,0 c	0,2	22	8	15,6 abc	2,5	16
13	G-50	300-0-0	5	379 ab	34	9	0,84	3,2 ab	1,6	51	10	11,7 bcd	3,1	26
14	G-50	300-100-100	5	270 abcde	53	20	0,45	1,8 abc	0,9	50	10	10,5 cd	5,4	52
15	G-50	200-100-100	5	322 abc	79	24	1,0	2,3 abc	0,7	31	10	11,9 bcd	2,6	22
16	G-50	100-100-100	5	396 a	93	24	0,45	3,7 a	2,1	55	10	18,0 abc	7,7	43
17	O-50	300-100-100	5	248 bcde	58	23	0,84	1,9 abc	0,5	26	10	15,9 abc	4,2	27

Tabela 3 cd. – Table 3 contd

Po- wierzch- nia Plot	Wariant nakładki Variant of cover layer	Nawożenie Fertilisation N-P-K kg·ha ⁻¹	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>Elaeagnus angustifolius</i>															
1	P-0	300-100-100	3	84 e	13	15	1,7	0,58	0,7 e	0,1	20	10	13,3 a	7,8	58
2	P-0	300-0-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	P-0	0-0-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	O-25	300-100-100	5	205 d	35	17	2,0	1,00	2,1 de	0,3	14	10	20,1 a	2,0	10
5	O-25	100-0-0	5	208 d	47	23	1,0	–	2,7 cde	0,4	15	10	19,8 a	4,3	22
6	O-25	0-0-0	5	190 de	41	22	1,2	0,45	2,3 cde	0,7	29	10	16,6 a	3,8	23
7	O-50	0-0-0	5	242 cd	33	13	1,6	0,55	2,4 cde	0,8	33	10	17,5 a	2,3	13
8	GO-25	0-0-0	5	359 ab	42	12	1,6	0,55	4,5 abcd	1,3	29	10	18,6 a	1,3	7
9	P-25	300-100-100	5	333 abc	30	9	2,2	1,10	3,0 bcde	0,6	19	10	17,1 a	1,6	9
10	P-G	300-100-100	5	219 d	33	15	1,4	0,55	2,4 cde	0,9	36	10	14,8 a	1,8	12
11	P-O	300-100-100	5	272 bed	64	24	1,6	0,55	2,8 cde	0,8	30	10	15,0 a	2,9	19
12	G-50	0-0-0	5	389 a	39	10	3,0	–	4,1 abcd	0,8	21	10	16,3 a	1,4	9
13	G-50	300-0-0	5	406 a	45	11	3,0	–	3,7 bed	0,8	23	10	18,3 a	3,6	20
14	G-50	300-100-100	5	365 ab	62	17	1,6	0,89	4,7 abc	1,1	23	10	16,7 a	7,1	42
15	G-50	200-100-100	5	406 a	72	18	1,8	0,84	5,5 ab	2,1	39	10	15,8 a	3,2	20
16	G-50	100-100-100	5	421 a	40	9	1,6	0,55	6,4 a	2,0	31	10	16,9 a	3,6	21
17	O-50	300-100-100	5	270 bed	39	15	1,4	0,55	3,9 abcd	1,6	42	10	16,4 a	2,1	13

<i>Robinia pseudoacacia</i>															
1	P-0	300-100-100	5	185 gh	103	56	1,0	-	2,0 ef	1,1	58	10	12,7 bcde	1,7	14
2	P-0	300-0-0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	P-0	0-0-0	5	54 h	20	36	1,4	0,89	1,4 f	0,9	64	10	10,4 de	4,8	46
4	O-25	300-100-100	5	280 efg	50	18	1,0	-	3,1 def	0,7	23	10	16,7 abc	2,8	17
5	O-25	100-0-0	5	239 fg	46	19	1,0	-	2,8 def	0,6	22	10	19,2 a	2,1	11
6	O-25	0-0-0	5	313 efg	66	21	1,0	-	4,1 cdef	0,8	20	10	16,0 abcd	1,4	9
7	O-50	0-0-0	5	313 efg	83	26	1,0	-	3,9 cdef	1,5	38	10	18,2 ab	4,1	22
8	GO-25	0-0-0	5	402 cdef	94	23	2,2	0,45	3,8 cdef	1,1	29	10	16,1 abcd	2,3	14
9	P-25	300-100-100	5	416 bcde	54	13	2,4	0,89	5,0 bcde	2,3	46	10	12,6 bcde	3,1	25
10	P-G	300-100-100	5	282 efg	38	13	2,4	0,55	3,0 def	0,7	23	10	8,2 e	1,7	21
11	P-O	300-100-100	5	310 efg	60	19	1,2	0,45	3,7 cdef	1,4	39	10	12,1 cde	3,0	25
12	G-50	0-0-0	5	530 abcd	74	14	2,8	0,45	5,7 abcde	1,9	33	10	9,4 e	2,3	25
13	G-50	300-0-0	5	497 abcd	80	16	2,4	0,89	6,0 abcde	1,6	27	10	10,0 e	1,1	11
14	G-50	300-100-100	5	602 a	57	9	1,0	0,00	7,8 abc	1,5	19	10	9,3 e	1,5	16
15	G-50	200-100-100	5	574 ab	114	20	1,2	0,45	9,0 ab	4,1	45	10	10,8 cde	2,4	22
16	G-50	100-100-100	5	555 abc	107	19	1,6	0,55	9,6 a	3,0	31	10	10,3 de	3,6	36
17	O-50	300-100-100	5	372 cdef	51	14	1,4	0,89	6,3 abcd	2,5	40	10	11,7 cde	1,7	15

\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 ($\alpha = 0,05$)

Klon jesionolistny okazał się gatunkiem wrażliwym na rodzaj podłoża – na stanowiskach ze skałą popiołową bez nadkładu wypadły praktycznie wszystkie sadzonki tej rośliny. Wzrost i rozwój w wariantach z nadkładem był zróżnicowany. Najwyższe rośliny rosły w wariantach z nadkładem gliny o grubości 50 cm, najniższe – w wariantach z dołkami wypełnionymi osadem ściekowym lub gliną. Największą zmiennością charakteryzowały się rośliny w wariantach z 50- i 25-centymetrową warstwą osadu bez nawożenia i w wariantach z dołkami wypełnionymi osadem, w którym zastosowano pełne nawożenie NPK (odpowiednio 300, 100 i 100 kg · ha⁻¹). Może to świadczyć, że przy braku nawożenia osad (w warstwie lub dołkach) wywiera różnicujący wpływ na warunki sprzyjające rozwojowi klonu.

Średnia liczba pni kształtowała się w zakresie od 1 do 2,6. Rośliny praktycznie jednopienne występowały w wariantach z nadkładem osadu o grubości 25 cm i pełnym nawożeniem NPK oraz w wariantach z nadkładem gliny o grubości 50 cm bez nawożenia, a najwięcej pni miały w wariantach z 50-centymetrową warstwą osadu bez nawożenia. Prawdopodobnie wiązało się to nie tyle z rodzajem podłoża, ile z pokrojem drzew wynikającym ze zróżnicowania płciowego tego gatunku (klon jesionolistny jest gatunkiem dwupiennym, rozdzielнопłciowym), a wskutek tego – z losowym doбором rozmieszczenia w wariantach, powodującym przewagę w nich roślin żeńskich lub męskich.

Średnica pni była największa w wariantach z gliną o grubości 50 cm i nawożeniem NPK po 100 kg · ha⁻¹, najmniejsza natomiast w wariantach z dołkami wypełnionymi osadem i z 50-centymetrowym nadkładem gliny bez nawożenia. Wielkość średnicy wiązała się z wysokością drzewa – pnie niskich okazów miały niewielką średnicę, a w miarę wzrostu wysokości drzew średnica pni oczywiście się zwiększała (co potwierdza współczynnik determinacji o wartości 86%). Zróżnicowanie średnic w poszczególnych wariantach było większe niż zróżnicowanie wysokości. Średnica okazów niższych cechowała się mniejszą zmiennością niż średnica okazów wysokich. Można przypuszczać, że wynikało to z efektu walki o światło w wariantach o zwartym zadrzewieniu.

Długość rocznych przyrostów pędów wynosiła od 4 cm – w wariantach z dołkami wypełnionymi gliną do 21,8 cm – w wariantach z 25-centymetrową warstwą osadu i nawożeniem azotowym w dawce 100 kg · ha⁻¹. Najmniejsze przyrosty w wariantach nr 9, 10 i 11 mogły być związane z silnym rozwojem warstwy zielnej z trzcinikiem piaskowym, perzem i trziną pospolitą. Przyczyną niewielkich przyrostów w wariantach, gdzie nie nastąpiło jeszcze zwarcie koron drzew, mogły stanowić posuszne warunki z silną konkurencją roślinności zielnej.

Oliwnik wąskolistny (*Eleagnus angustifolius*) to wyjątkowo odporny i ceniony gatunek drzewa, stosowany do wszelkiego rodzaju zadrzewień rekultywacyjnych na terenach przemysłowych. Jest bardzo wytrzymały na suszę i mało wymagający co do warunków glebowych, cechuje się także dużą odpornością na zasolenie gleby lub jej zasadowy odczyn [Bugala 2000]. Jest gatunkiem miododajnym, o ciemistych pędach i płytkim systemie korzeniowym, dlatego łatwo ulega wykrotom [Seneta i Dolatowski 1997].

Oliwnik wąskolistny rozwijał się w większości wariantów analizowanego modelu rekultywacji, z wyjątkiem tych pozbawionych nadkładu. Warte odnotowania jest przetrwanie w wariantach bez nadkładu i z pełnym nawożeniem trzech roślin (choć karłowatych i silnie zdeformowanych), co świadczy o dużej zdolności tego gatunku do przeżycia w skrajnych warunkach siedliskowych. Oliwnik najlepiej rósł na glinach o grubości 50 cm z różnym nawożeniem, osiągając wysokość 4 m. Warianty z osadem mniej sprzyjały wzrostowi – rośliny

ny były tam blisko o połowę niższe. Oliwnik był dość stabilny pod względem wzrostu, zmienność zazwyczaj wynosiła do kilkunastu procent. Należy podkreślić, że oliwnik jest gatunkiem wybitnie światłolubnym i wymagającym pełnego oświetlenia, dlatego konkuruje z innymi drzewami i krzewami rosnącymi w dużym zwarciu o dostęp do światła [Bugala 2000].

Liczba pni drzew w większości wariantów była zbliżona – kształtowała się w granicach od 1,4 do 1,6, choć zdarzały się także warianty, gdzie sięgała 3, ale trudno jest stwierdzić, czy różnice te miały związek z wariantem nadkładu.

Największą średnicę, do 4–6 cm, osiągały pnie drzew w wariantach z gliną, najmniejszą, 2–3 cm – w wariantach z osadem i z dołkami wypełnionymi gliną lub osadem. Zmienność tej cechy była większa niż zmienność wysokości, w kilku wariantach dochodziła do 40%.

Nie wystąpiły znaczące różnice pod względem długości rocznych przyrostów pędów oliwnika. Uzyskane wyniki mieściły się w zakresie od 15 do 20 cm, przy dość zróżnicowanej zmienności, która w kilku wariantach nie przekraczała 10%, w innych sięgała 20–23%, a w jednym nawet 42%. Brak istotnych różnic przyrostów rocznych roślin w poszczególnych wariantach po ośmiu latach od nasadzenia świadczy o dobrym przystosowaniu oliwnika do zróżnicowanych i niekorzystnych warunków siedliska. Wynika stąd, że odnotowane różnice wysokości były efektem niejednakowego tempa rozwoju w pierwszym okresie doświadczenia. Nie obserwowano przypadków zgryzania ciernistych pędów oliwnika przez zwierzynę leśną.

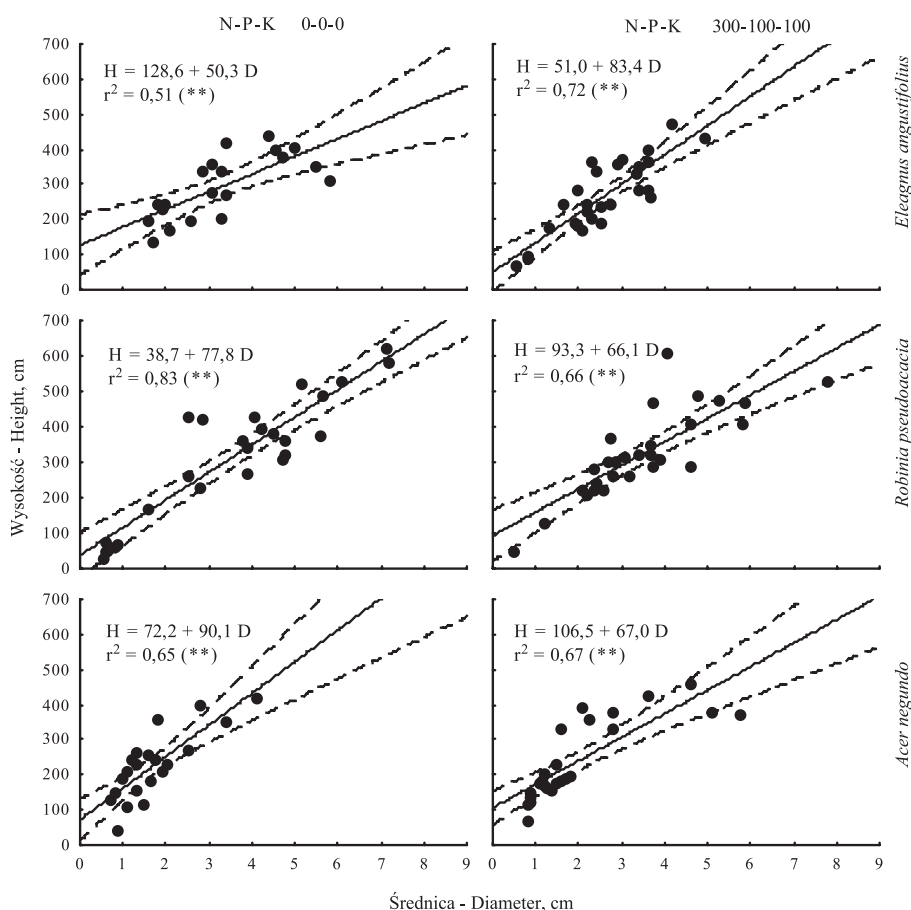
Robinia akacja (*Robinia pseudoacacia*) jest światłolubnym gatunkiem drzewa lub krzewu o skromnych wymaganiach glebowych, odpornym na suszę i niską wilgotność powietrza [Bugala 2000]. Gatunek ten ma wybitnie pionierski charakter dzięki symbiotycznym bakteriom brodawkowym z rodzaju *Rhizobium*, które asymilując azot cząsteczkowy z powietrza, uzupełniają w ten sposób braki tego pierwiastka w podłożu [Danso i in. 1995]. Robinia akacja dobrze rozwija się na glebach zasadowych, wykształcając rozległy system korzeniowy z licznymi odrostami korzeniowymi. Nasadzenia robinii akacjowej jako gatunku glebochronnego stosuje się w rekultywacji i zadrzewianiu hałd oraz wyrobisk [Seneta i Dolatowski 1997].

Robinia akacja była jedynym gatunkiem, którego osobniki występowały w wariantach bez nadkładu z pełnym nawożeniem, gdzie wzrastały i rozwijały się mimo bardzo niekorzystnych warunków siedliskowych. Największą wysokość, w granicach 5–6 m, drzewa robinii osiągały w wariantach z gliną o grubości 50 cm; przy grubości o połowę mniejszej drzewa miały 4 m. Wysokość drzew w wariantach z osadem oraz z dołkami wypełnionymi gliną lub osadem wynosiła ok. 3 m. Najmniejsze zróżnicowanie wysokości drzew wystąpiło w wariantach z gliną o grubości 50 cm i pełnym nawożeniem NPK. Zróżnicowanie osobnicze było większe w przypadku wariantów o niekorzystnych dla robinii warunkach, sięgając 56% w wariantach bez nadkładu.

W wariantach, gdzie rozwój był trudny, drzewa robinii akacjowej rosły jednopienne. Spowodowane to było wybujałym wzrostem pędu głównego rywalizującego o dostęp do światła z rosnącymi w dużym zwarciu drzewami i krzewami innych gatunków. W wariantach o lepszych warunkach (nadkład gliny) przeciętna liczba pni sięgała 2,4. Średnica pni była związana z wysokością drzew. Najmniejszą średnicę, ok. 2 cm, miały pnie w wariantach bez nadkładu. Przy lepszych warunkach siedliska średnica pni dochodziła do 10 cm.

Długość rocznych przyrostów pędów była w mniejszym stopniu zróżnicowana niż inne cechy robinii akacjowej. W wariantach bez nadkładu i z nadkładem gliny wynosiła ok. 10 cm. Zdecydowanie większa, w granicach 16–19 cm, była w wariantach z osadem. Ta tendencja może świadczyć o coraz lepszym radzeniu sobie robinii na podłożu z osadów, pod warunkiem osiągnięcia przez drzewa określonego wieku i związanej z tym wielkości systemu korzeniowego i korony. Przyrosty roczne były cechą najbardziej stabilną w obrębie wariantów. Nie obserwowano przypadków zgrzyzania ciemnych pędów robinii przez zwierzęta leśne.

Analiza zależności między przeciętną średnicą pnia a wysokością drzewa dla wariantów bez nawożenia i z pełnym nawożeniem NPK wykazała, że w większości przypadków (50–80%) cechy te są ze sobą związane (patrz rysunek). Nawożenie nie wpływa-



Rys. Zależność między przeciętną średnicą pnia (D) a wysokością drzewa (H) przy braku nawożenia oraz przy nawożeniu NPK w dawce 300-100-100 kg·ha⁻¹; ** – zależność wysoce istotna

Fig. Relation between mean stem diameter (D) and tree height (H) under no fertilisation and NPK fertilisation at rate 300-100-100 kg·ha⁻¹; ** – highly significant relation

ło wprowadzie na siłę związku między nimi, ale go różnicowało. W przypadku oliwnika wąskolistnego wysokość drzewa przy danej średnicy pnia była nieco mniejsza, a w przypadku robinii akacjowej i klonu jesionolistnego była większa w wariancie nienawożonym niż w nawożonym. O wpływie nawożenia świadczy wartość współczynników kierunkowych odpowiednich równań regresji zamieszczonych na rysunku. Można zauważyć, że w przypadku oliwnika wąskolistnego przy braku nawożenia, a robinii akacjowej przy pełnym nawożeniu, okazy o dużej wysokości mają pnie o średnicy zróżnicowanej od przeciętnej do dużej. W efekcie siła związku omawianych cech jest mniejsza. Wiąże się to ze zróżnicowaniem otoczenia wskutek rywalizacji o światło. Okazy rosnące w dużym zwarcu są wyższe przy średnicy pni niewiele różniące się od przeciętnej średnicy pni okazów rosnących w warunkach mniejszej konkurencji.

Wybranie do oceny stanu roślin ich cech biometrycznych o charakterze ilościowym umożliwiło przedstawienie oprócz przeciętnej wartości każdej cechy również jej zmienności w obrębie poszczególnych wariantów badawczych. Pozwoliło to w sposób obiektywny ocenić wiarygodność prezentowanych danych, a jednocześnie uzyskać informacje o wpływie zastosowanego sposobu rekultywacji na zróżnicowanie analizowanych cech, co w przyszłości ułatwi planowanie tego typu pomiarów na powierzchniach doświadczalnych innych modeli biologicznej rekultywacji.

PODSUMOWANIE

Spśród trzech badanych gatunków drzew odporniejsze na niekorzystne warunki siedliskowe okazały się robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia*) i oliwnik wąskolistny (*Eleagnus angustifolius*) niż klon jesionolistny (*Acer negundo*).

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

Gatunkiem rosnącym najszybciej i wytwarzającym najgrubsze pnie była robinia akacjowa, nieco słabiej rósł oliwnik wąskolistny, a naj słabiej klon jesionolistny.

Największe średnie przyrosty roczne oraz średnio największą liczbę pni miał oliwnik wąskolistny, mniejsze robinia akacjowa, a najmniejsze klon jesionolistny.

Nawożenie mineralne NPK niejednoznacznie oddziaływało na związki badanych cech biometrycznych: w przypadku robinii akacjowej i klonu jesionolistnego relacja między średnicą pnia a wysokością drzewa była podobna, a w przypadku oliwnika wąskolistnego odwrotna niż u dwóch pierwszych.

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.
- Danso S.K.A., Zapata F., Awonaike K.O., 1995. Measurement of biological N₂ fixation in field-grown *Robinia pseudoacacia* L. Soil Biol. Biochem. 27 (4/5), 415–419.

- Gilewska M., 2000. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołów elektrownianych. Konf. nauk.-tech. Tereny zdegradowane – możliwości ich rekultywacji, 26–27.10.2000 r. Wyd. AR Szczec., Seria Nauka – Gospodarce, 65–74.
- Gilewska M., 2003. Rekultywacja biologiczna gruntów składowisk popiołowych ZE PAK S.A. X Międzynar. Konf. Nauk.-Tech. Popioły z energetyki, 14–17.10.2003 r., Warszawa, 331–342.
- Gilewska M., 2004. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego. Roczn. Glebozn. 55 (2), 103–110.
- Jusaitis M., Pillman A., 1997. Revegetation of waste fly ash lagoons. I. Plant selection and surface amelioration. Waste Manag. Res. 15, 307–321.
- 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., 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.
- Michalski A., 2004. Zagospodarowanie terenów pogórnich kopalń węgla brunatnego „Adamów” S.A. w Turku i „Konin” S.A. w Kleczewie. Roczn. Glebozn. 55 (2), 281–290.
- 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.
- Wołoszyk Cz., 2003. Agrochemiczna ocena nawożenia kompostami z komunalnych osadów ściekowych i odpadami przemysłowymi. Rozprawy AR Szczec. 217.

GROWTH CHARACTERISTICS OF *Acer negundo*, *Eleagnus angustifolius* AND *Robinia pseudoacacia* TREES 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 tree species used for the biological reclamation of the disposal site. Ash rock on seventeen experimental plots was covered with a layer of sludge or boulder clay and in some variants the chemistry of the substrate was improved by additional NPK or N fertilisation. Biometrical measurements included the height of trees, the number and diameter of stems, and the length of the annual increments of shoots. *Robinia pseudoacacia* and *Eleagnus angustifolius* performed better than *Acer negundo*: the trees of the two former species were higher, produced more stems of larger diameters and had longer annual increments. All the tree 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, *Acer negundo*, *Eleagnus angustifolius*, *Robinia pseudoacacia*

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.07.2006