

Józef ZWOLIŃSKI, Irena MATUSZCZYK, Zbigniew HAWRYŚ\*

## WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE GLEB I IGIEŁ SOSNY ORAZ AKTYWNOŚĆ MIKROBIOLOGICZNA GLEB NA TERENIE POŻARZYSK LEŚNYCH Z 1992 ROKU W NADLEŚNICTWACH RUDY RACIBORSKIE I POTRZEBOWICE

CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS AND SCOTS PINE NEEDLES  
AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS ON FOREST AREAS BURNT  
IN 1992 IN FOREST DISTRICTS OF RUDY RACIBORSKIE AND POTRZEBOWICE

***Abstract.** The pine plantations in forest districts of Rudy Raciborskie and Potrzebowice on areas burnt in 1992 during the forest fire were found to be characterized by the lower content of macronutrients in soil, limited activity of soil microorganisms and poorer tree nutrient status, comparing to control areas (out of the burned areas). Research results indicate, that 10 years after forest fire the restoration of soil microorganisms has not been yet completed, while the method of reforestation, apart from fire intensity, has influence on the rate of soil regeneration.*

***Key words:** post-fire areas, pine regeneration, soil chemistry, soil microbial properties, nutritional status of trees.*

---

\* Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych,  
ul. Św. Huberta 35, 40-952 Katowice, e-mail: iblzgrp@elmo.katowice.nask.pl

## 1. WSTĘP

Pożar lasu prowadzi do spalenia materiału roślinnego oraz substancji organicznej zgromadzonej na dnie lasu i w górnych warstwach gleb. W rezultacie uwolnione zostają związki mineralne, co na ogół skutkuje znacznym wzrostem zawartości składników pokarmowych w glebie tuż po pożarze (Macadam 1987; Kutieli, Shaviv 1992), a następnie systematycznym jej spadkiem w wyniku szybkiego wymywania w głąb profilu glebowego (De Bano, Conrad 1978; Mc Lean i in. 1983). Ponadto, bezpośrednie oddziaływanie wysokiej temperatury oraz ograniczenie, w następstwie pożaru, dopływu do gleby substratów odżywczych (z opadem roślinnym i z korzeni) powoduje znaczną redukcję drobnoustrojów glebowych (Fritze i in. 1994; Eivazi, Bayan 1996) i w konsekwencji spadek aktywności mikrobiologicznych procesów rozkładu substancji organicznej gleb, gwarantujących utrzymanie ich żyzności. Rozmiar przedstawionych powyżej negatywnych zmian w glebie zależy od intensywności pożaru, czego wskaźnikiem może być głębokość spalonej warstwy gleby (Johnston, Elliott 1998; Lynham i in. 1998).

W 1992 r. zanotowano w Polsce kilka wielkoobszarowych pożarów, z czego największe miały miejsce na terenie Lasów Raciborskich (nadleśnictwa: Rudy Raciborskie, Rudziniec i Kędzierzyn), obejmując obszar około 9 tys. ha, oraz w Puszczy Noteckiej (Nadleśnictwo Potrzebowice), gdzie spaleniemu uległo około 5 tys. ha lasu. W latach 1999–2002 na pożarzyskach tych prowadzono kompleksowe badania rozwoju upraw sosnowych, w zakres których wchodziły analizy chemiczne i mikrobiologiczne gleb, analizy chemiczne igieł sosny, pomiar przyrostu bieżącego sosny oraz ocena zagrożeń jej rozwoju ze strony owadów, patogenów grzybowych i zwierzyzny.

Celem niniejszej pracy\* było określenie właściwości chemicznych i aktywności mikrobiologicznej gleb oraz stanu zaopatrzenia drzew w składniki pokarmowe w uprawach sosny zwyczajnej na pożarzyskach, przy uwzględnieniu różnych warunków siedliskowych i sposobów odnowienia.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Badania prowadzono w odnowieniach sosny zwyczajnej na terenie wielkoobszarowych pożarzysk leśnych z 1992 r., w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice.

Pożarzysko w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie stanowi obszar około 4,5 tys. ha, gdzie przed pożarem udział sosny zwyczajnej w drzewostanach wynosił około

---

\*Pracę wykonano w ramach tematu BLP-986 finansowanego przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych

90%, a dominującymi typami siedlisk były bór mieszany świeży (BMśw) i bór mieszany wilgotny (BMw), zajmujące około 80% powierzchni. Gleby należą do typu gleb rdzawych, wytworzonych z piasków luźnych i słabo gliniastych. Prace odnowieniowe rozpoczęto tu w 1993 r. i kontynuowano je do 1997 r. Na znacznej części pożarzyska (około 2,8 tys ha) wysadzono w tym czasie sadzonki drzew i krzewów po uprzednim przygotowaniu gleby (przeważnie orka w bruzdy). W 1993 r. pojawiły się odnowienia naturalne, głównie brzozy i sosny, obejmujące obecnie obszar ponad 1,5 tys. ha (Szabla 1998).

W Nadleśnictwie Potrzebowice w wyniku pożaru zniszczeniu uległo około 5 tys. ha lasu. Przed pożarem udział sosny zwyczajnej w drzewostanach wynosił ponad 90%. Dominujące siedlisko stanowił bór świeży (Bśw), zajmujący około 90% powierzchni pożarzyska, a pozostałą część zajmował głównie bór mieszany świeży (BMśw). Występują tam gleby rdzawe i bielcowe, wytworzone z piasków luźnych i słabo gliniastych. Odnawianie powierzchni po pożarze prowadzono w latach 1993–1995, po uprzednim przygotowaniu gleby (orka w bruzdy), zakładając uprawy, głównie sosny zwyczajnej, zarówno sadzeniem jak i siewem nasion (Kępa 2000).

Do badań wybrano powierzchnie, na których w wyniku pożaru nastąpiło całkowite spalenie drzewostanów, reprezentujące dominujące w nadleśnictwie typy siedliskowe lasu oraz stosowane najczęściej sposoby odnowienia. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie stanowiły je warianty (po 3 powtórzenia, każde w innym oddziale) z odnowieniem sztucznym (sadzenie, uprawy założone w 1994 r.) i z odnowieniem naturalnym, na siedliskach BMśw i BMw oraz powierzchnia kontrolna (odnowienie sosny sadzeniem poza pożarzyskiem na BMśw, z 1991 r.), a w Nadleśnictwie Potrzebowice warianty (po 3 powtórzenia) z odnowieniem siewem i sadzeniem (1994 r.) na siedlisku Bśw, wariant odnowienia z sadzenia na siedlisku BMśw (1994 r.) oraz powierzchnia kontrolna (odnowienie sosny sadzeniem poza pożarzyskiem na Bśw, z 1994 r.). Ograniczenie powierzchni kontrolnych jedynie do wymienionych wariantów odnowień na pożarzysku spowodowane było brakiem powierzchni poza pożarzyskami porównywalnych do pozostałych wariantów. Ogółem prace badawcze prowadzono na 23 powierzchniach (w 23 oddziałach).

### **3. METODYKA BADAŃ**

#### **3.1. Analizy chemiczne i mikrobiologiczne gleb**

Analizę chemiczną gleb w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie wykonano w 2000 r., a w Nadleśnictwie Potrzebowice w 2001 r. Pomiaru aktywności mikrobiologicznej gleb przeprowadzono na każdej powierzchni dwukrotnie, w latach 2000–2002. Do analiz pobrano próby ogólne z górnej, 25 cm warstwy gleby, zawierające po 5 wymieszanych próbek indywidualnych pobranych łaską glebową

(średnica 10 cm) w punktach pokrywających równomiernie powierzchnię obserwacyjną, stanowiącą cały obszar wydzielienia w oddziale.

Zawartość kationów zasadowych ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) oznaczono po ekstrakcji gleby 1-molowym octanem amonu, a glinu wymiennego ( $\text{Al}^{3+}$ ) po ekstrakcji 1-molowym KCl – metodą absorpcji atomowej.

Z sumy kationów zasadowych ( $\text{Å BC}$ ) i kwasowości wymiennej ( $H_w$ ) – oznaczonej po ekstrakcji gleby 1-molowym KCl, obliczono pojemność wymienną gleb (CEC). Obliczono także stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami (BS).

Zawartość węgla organicznego ( $C_{\text{org}}$ ) oznaczono za pomocą analizatora węgla (SC132 Leco), zawartość azotu metodą Kjeldahla, fosforu przyswajalnego ( $P_{\text{avail}}$ ) metodą Egnera-Riehma (Kowalkowski i in. 1973), a odczyn gleby metodą potencjometryczną w 1-molowym KCl; stosunek gleby do roztworu (w/v) wynosił 1:2,5.

Badania mikrobiologiczne wykonano następnego dnia po poborze prób glebowych, według metod opisanych szczegółowo wcześniej (Zwoliński 1995), oznaczając:

- tempo mineralizacji węgla ( $\text{ml CO}_2/\text{g } C_{\text{org}} \cdot \text{h}$ ) na aparacie Warburga,
- biomasę drobnoustrojów ( $C_{\text{biom}}$ ) metodą indukowanej substratem (glukozą) respiracji (Anderson, Domsch 1978),
- iloraz metaboliczny drobnoustrojów ( $q\text{CO}_2 = \text{mg C-CO}_2/\text{mg } C_{\text{biom}} \cdot \text{h}$ ) – z wyników tempa mineralizacji C i wielkości biomasy drobnoustrojów (Anderson, Domsch 1986).

### 3.2. Analiza chemiczna igieł sosny

W latach 2000–2002 pobrano dwukrotnie z każdej powierzchni igły jednoroczne z górnej części korony (3 okółek) z 10 drzew. Po wysuszeniu igieł w temp.  $80^\circ\text{C}$  i zmieleniu, wykonano oznaczenia:

- zawartości metali (K, Mg, Ca, Zn, Pb, Cu, Cd) metodą absorpcji atomowej, po uprzednim spopieleniu igieł ( $450^\circ\text{C}$  przez 24 h) i rozpuszczeniu popiołu w 10% HCl,
- zawartości azotu metodą Kjeldahla (aparatury Büchi B-324), siarki przy użyciu analizatora siarki (SC132 Leco) i fosforu metodą molibdenową (Ostrowska i in. 1991).

## 4. WYNIKI

### 4.1. Właściwości chemiczne gleb

Wierzchnią warstwę gleb badanych terenów popożarowych tworzą aktualnie piaski różnej granulacji. W wyniku pożaru zniszczeniu uległ poziom organiczny oraz nastąpił spadek zawartości substancji organicznej w poziomach mineralnych.

Analizy chemiczne gleb wykazały, że badane powierzchnie na obu pożarzyskach charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem po względem zawartości węgla organicznego ( $C_{org}$ ) w 0–25cm warstwie gleby, lecz w porównywalnych warunkach siedliskowych, tj. w BMśw w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i w Bśw w Nadleśnictwie Potrzebowice średnia zawartość  $C_{org}$  w glebie po pożarze, niezależnie od sposobu odnowienia, była niższa niż na powierzchniach kontrolnych o odpowiednio 53 i 31% (tab. 1 i 2). Podobną tendencję obserwowano w przypadku azotu, a mianowicie ubytek jego zawartości w glebie o 36% w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i o około 35% w Nadleśnictwie Potrzebowice. Stwierdzono wyraźną zależność zawartości węgla i azotu na pożarzyskach od typu siedliskowego lasu. Średnia zawartość tych składników w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie była wyższa w BMw niż BMśw, a w Nadleśnictwie Potrzebowice wyższa w BMśw niż w Bśw. Negatywny wpływ pożaru na zawartość w glebie fosforu przyswajalnego ( $P_{avail}$ ) – w odróżnieniu od węgla i azotu – był słabo zaznaczony. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie wyraźny jego ubytek stwierdzono jedynie w odnowieniach naturalnych na siedlisku BMw, natomiast w Nadleśnictwie Potrzebowice zawartość  $P_{avail}$  na pożarzysku była znacznie wyższa (szczególnie na siedlisku BMśw) niż na powierzchni kontrolnej.

W następstwie pożaru nastąpił ubytek kationów zasadowych w glebie, silnie zaznaczony zwłaszcza w Nadleśnictwie Potrzebowice, o czym świadczy wyraźnie wyższa suma zasad ( $\Sigma BC$ ) na powierzchniach kontrolnych niż na odpowiadających im, pod względem siedliskowym i sposobu odnowienia, powierzchniach na pożarzysku.

Stwierdzono ponadto, że w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie zawartość kationów zasadowych na powierzchni po odnowieniu sztucznym (sadzenie) jest wyższa niż po naturalnym, niezależnie od typu siedliska, natomiast w Nadleśnictwie Potrzebowice różnice w zawartości kationów zasadowych wynikające ze sposobu odnowienia (sadzenie, siew) były nieznaczne. Zniszczenie w wyniku pożaru organicznej części kompleksu sorpcyjnego gleb spowodowało zmniejszenie pojemności wymiennej (CEC) o 37% w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i o 27% w Nadleśnictwie Potrzebowice. Powierzchnie na pożarzyskach, zwłaszcza w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, charakteryzowały się ponadto niższą kwasowością wymienną ( $H_w$ ) i zawartością glinu wymiennego oraz wyższym pH gleb, w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi. Wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (BS) było natomiast na obu pożarzyskach zależne od typu siedliska, a mianowicie wyższe na siedlisku BMśw niż BMw w Rudach Raciborskich oraz wyższe w BMśw niż Bśw w Potrzebowicach, przy czym w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, niezależnie od typu siedliska, wyższym BS charakteryzowały się powierzchnie odnowione sadzeniem.

#### 4.2. Stan mikrobiologiczny gleb

Oznaczenia biomasy i ilorazu metabolicznego ( $qCO_2$ ) drobnoustrojów glebowych oraz pomiary tempa mineralizacji węgla wykonano na każdej powierzchni

**Tabela 1. Właściwości chemiczne gleb w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie**  
 Table 1. Chemical properties of soils in Rudy Raciborskie Forest District

Typ siedliskowy lasu Site type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compart- ment	pH (KCl)	C (%)	N (%)	P <sub>avail</sub> (mg/kg)	Kompleks sorpcyjny Sorption complex (cmol(±)/kg)							BS (%)		
							Na	K	Ca	Mg	Al	SBC	H <sub>w</sub>		CEC	
BMśw	sadzenie planting	52c	4,13	1,71	0,08	26,8	0,01	0,03	1,03	0,08	0,86	1,15	2,11	3,26	35,3	
		116m	4,23	1,05	0,05	11,6	0,01	0,03	0,12	0,01	0,97	0,17	2,38	2,55	6,7	
		51d	4,30	1,51	0,07	12,4	0,01	0,03	0,10	0,02	1,24	0,16	2,86	3,02	5,3	
		$\bar{x}$	4,22	1,42	0,07	16,9	0,01	0,03	0,42	0,04	1,02	0,49	2,45	2,94	15,8	
	naturalny natural	54a	4,01	1,59	0,08	16,2	0,01	0,03	0,24	0,02	1,54	0,30	3,49	3,79	7,9	
		76f	3,91	1,38	0,06	14,3	0,01	0,02	0,13	0,02	1,48	0,18	3,49	3,67	4,9	
		52a	3,94	1,29	0,06	15,9	0,01	0,02	0,25	0,02	1,37	0,30	3,18	3,48	8,6	
		$\bar{x}$	3,95	1,42	0,07	15,5	0,01	0,02	0,21	0,02	1,46	0,26	3,39	3,65	7,1	
	BMw	sadzenie planting	69a	4,10	2,59	0,11	21,2	0,01	0,03	0,56	0,06	1,63	0,66	3,76	4,42	14,9
			70b	4,14	1,88	0,08	13,7	0,01	0,03	0,20	0,02	1,25	0,26	2,96	3,22	8,1
132g		3,62	2,34	0,09	24,4	0,01	0,02	0,20	0,02	1,79	0,25	4,05	4,30	5,8		
		$\bar{x}$	3,95	2,27	0,09	19,8	0,01	0,03	0,32	0,03	1,56	0,39	3,59	3,98	9,6	
naturalny natural		70a	3,94	2,79	0,11	17,7	0,01	0,02	0,25	0,04	2,48	0,32	4,50	4,82	7,1	
	79a	3,90	1,77	0,07	13,1	0,01	0,02	0,19	0,02	1,99	0,24	4,75	4,99	4,8		
	78i	3,69	1,22	0,06	9,4	ślady	0,02	0,11	0,01	1,12	0,14	2,68	2,82	5,2		
	$\bar{x}$	3,84	1,93	0,08	13,4	0,01	0,02	0,18	0,02	1,86	0,23	3,98	4,21	5,7		
<b>Kontrola*</b>	<b>Control area*</b>	254c	3,52	2,69	0,11	18,8	0,01	0,05	0,41	1,83	0,52	4,18	4,70	11,1		

\*powierzchnia poza pożarzyskiem (BMśw, odnowienie sadzeniem)  
 \*out of forest burnt area (BMśw, regeneration by planting)

**Tabela 2. Właściwości chemiczne gleb w Nadleśnictwie Potrzebówice**  
 Table 2. Chemical properties of soils in Potrzebówice Forest District

Typ siedliskowy lasu Site type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compart- ment	pH (KCl)	C (%)	N (%)	P <sub>avail</sub> (mg/kg)	Kompleks sorpcyjny Sorption complex (cmol(+)/kg)						BS (%)		
							Na	K	Ca	Mg	Al	SBC		H <sub>w</sub>	CEC
Bśw	siew seeding	57c	4,23	0,81	0,029	25,6	0,003	0,022	0,055	0,013	0,72	0,093	1,89	1,983	4,7
		60a	4,18	0,96	0,036	12,5	0,002	0,010	0,027	0,008	0,77	0,047	2,00	2,047	2,3
		145c	4,11	1,35	0,055	7,9	0,003	0,017	0,146	0,020	0,89	0,186	2,31	2,496	7,7
	$\bar{x}$	4,17	1,04	0,040	15,3	0,003	0,016	0,076	0,014	0,79	0,109	2,07	2,175	4,9	
	sadzenie planting	85a	4,18	1,12	0,037	14,2	0,003	0,014	0,089	0,013	0,76	0,119	2,01	2,129	5,6
191a		4,31	0,98	0,040	9,4	0,004	0,014	0,042	0,012	0,69	0,072	1,77	1,842	3,9	
237a		4,17	0,98	0,036	7,2	0,004	0,014	0,075	0,012	0,76	0,105	1,93	2,035	5,2	
$\bar{x}$	4,22	1,03	0,038	10,3	0,004	0,014	0,069	0,012	0,74	0,099	1,90	2,002	4,9		
BMśw	sadzenie planting	26d	4,16	1,50	0,078	14,3	0,004	0,036	0,351	0,039	1,01	0,430	2,45	2,880	14,9
		50d	4,16	1,08	0,052	54,1	0,004	0,047	0,377	0,043	0,58	0,471	1,59	2,061	22,9
		53d	3,86	0,99	0,048	34,2	0,003	0,023	0,337	0,040	0,73	0,403	1,94	2,343	17,2
$\bar{x}$	4,06	1,19	0,059	34,2	0,004	0,035	0,355	0,041	0,77	0,435	1,99	2,428	18,3		
Kontrola*	Control area*	254c	4,02	1,50	0,060	7,3	0,004	0,022	0,097	0,020	1,06	0,143	2,56	2,703	5,3

\*powierzchnia poza pożarzyskiem (Bśw, odnowienie sadzeniem)  
 \*out of forest burnt area (BMśw, regeneration by planting)

**Tabela 3 Aktywność mikrobiologiczna gleb**  
**Table 3. Microbiological activity of soils**

Nadleśnictwo Forest district	Typ sied- liskowy lasu Site type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compartment	Mineralizacja C Mineralization of C ml CO <sub>2</sub> /g C <sub>org.</sub> h	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass mg C <sub>biom</sub> /g C <sub>org</sub>	qCO <sub>2</sub> mg C-CO <sub>2</sub> /mg C <sub>biom.</sub> · h
Rudy Raciborskie	BMśw	sadzenie planting	52c	38,04	5,39	3,88
			116m	28,75	6,05	2,55
			51d	21,60	4,03	2,89
			$\bar{x}$	29,46	5,16	3,11
		naturalny natural	54a	35,74	4,36	4,47
			76f	48,56	5,65	4,67
			52a	37,58	5,01	4,01
			$\bar{x}$	40,62	5,01	4,38
	BMw	sadzenie planting	69a	31,70	4,14	3,79
			70b	39,85	4,60	4,71
			132g	43,16	4,32	5,37
			$\bar{x}$	38,24	4,35	4,62
		naturalny natural	70a	27,78	2,86	5,41
			79a	33,16	3,81	4,62
78i			37,20	5,15	3,88	
$\bar{x}$			32,71	3,94	4,64	
<b>kontrola</b> * control area *		254c	31,86	6,55	2,64	
Potrzebowice	Bśw	siew seeding	57c	80,68	9,11	5,30
			60a	64,20	8,03	4,25
			145c	62,10	6,33	5,19
			$\bar{x}$	68,99	7,82	4,91
		sadzenie planting	85a	47,07	8,00	3,06
			191a	72,79	9,23	4,44
			237a	56,10	7,28	4,08
			$\bar{x}$	58,65	8,17	3,86
	BMśw	sadzenie planting	26d	53,55	6,78	4,24
			50d	67,57	6,84	5,13
			53d	58,83	7,65	4,27
$\bar{x}$			59,98	7,09	4,55	
<b>kontrola</b> * control area *		149a	52,39	8,28	3,30	

\* jak w tabelach 1 i 2

\* see tables 1 and 2

dwukrotnie, tj. w 2000 i 2002 r. w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie oraz w 2000 i 2001 r. w Nadleśnictwie Potrzebowice; przedstawione wyniki badań są średnią arytmetyczną z dwu lat (tab. 3).

W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie intensywność mineralizacji węgla na powierzchni kontrolnej ( $31,8 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$ ) była podobna jak w porównywalnym wariantcie (BMśw, sadzenie) na pożarzysku ( $29,5 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$ ). Pozostałe warianty charakteryzowała wyższa aktywność tego procesu ( $32,7\text{--}40,6 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$ ). Udział biomasy drobnoustrojów glebowych ( $C_{\text{biom}}$ ) w zawartym w glebie węglu organicznym ( $C_{\text{org}}$ ) był wyraźnie niższy w uprawach na pożarzysku niż na powierzchni kontrolnej. Wynosił on średnio około  $5 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$  w BMśw i około  $4 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$  w BMw, przy  $6,6 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$  w uprawie kontrolnej. Zarówno w BMśw jak i BMw nie stwierdzono znaczących różnic wielkości biomasy drobnoustrojów wynikających ze sposobu odnowienia. Sposób odnowienia oraz typ siedliska miał wyraźny wpływ na kształtowanie się ilorazu metabolicznego drobnoustrojów na pożarzysku. Na siedlisku BMśw wartości  $q\text{CO}_2$  były znacznie niższe po odnowieniu sztucznym niż naturalnym i wynosiły odpowiednio  $3,11$  i  $4,38 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ , natomiast w BMw średnia wartość  $q\text{CO}_2$ , niezależnie od sposobu odnowienia, wynosiła około  $4,60 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ . Najniższą wartość  $q\text{CO}_2$ , tj.  $2,64 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ , notowano na powierzchni kontrolnej.

Na pożarzysku w Nadleśnictwie Potrzebowice średnie tempo mineralizacji węgla kształtowało się w granicach od około  $60 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$  – w wariantach odnowionych sadzeniem do  $69 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$  – w wariantcie odnowionym siewem, natomiast w uprawie kontrolnej wynosiło około  $52 \text{ ml CO}_2/\text{g C}_{\text{org}}\cdot\text{h}$ . Uprawa kontrolna charakteryzowała się z kolei większą biomasa drobnoustrojów glebowych, tj.  $8,3 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$ , aniżeli uprawy na pożarzysku; na siedlisku Bśw wynosiła około  $8 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$ , niezależnie od sposobu odnowienia, a na siedlisku BMśw  $7,1 \text{ mg C}_{\text{biom}}/\text{g C}_{\text{org}}$ . Bardziej wyraźne różnice pomiędzy uprawą kontrolną a uprawami na pożarzysku stwierdzono w przypadku ilorazu metabolicznego drobnoustrojów. Najniższą wartość  $q\text{CO}_2$ , wynoszącą  $3,30 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$  notowano w kontroli, natomiast średnie wartości  $q\text{CO}_2$  na siedlisku Bśw po odnowieniu sadzeniem i siewem wynosiły odpowiednio  $3,86$  i  $4,91 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ , a na siedlisku BMśw (po odnowieniu sadzeniem)  $4,55 \text{ mg C-CO}_2/\text{mg C}_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ .

#### 4.3. Skład chemiczny igieł sosny

Analizy chemiczne igieł sosny przeprowadzono dwukrotnie, a mianowicie w latach 2000 i 2002 w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie oraz w 2001 r. i 2002 r. w Nadleśnictwie Potrzebowice. Uzyskane wyniki, które są średnimi arytmetycznymi z dwu lat, wskazują na słabsze zaopatrzenie drzew w podstawowe składniki odżywcze w uprawach na pożarzysku, niż w uprawach poza jego terenem (tab. 4 i 5). Dotyczy to azotu, fosforu, magnezu i dodatkowo, na powierzchniach sztucznie odnowionych, potasu w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie oraz azotu i potasu (tylko na siedlisku Bśw) w Nadleśnictwie Potrzebowice. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie zróżnicowanie zawartości poszczególnych makroskładników wynikające z

**Tabela 4. Skład chemiczny jednorocznych igieł sosny w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie**  
 Table 4. Chemical composition of one-year-old pine needles in Rudy Raciborskie Forest District

Typ siedliskowy lasu Site type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compar- tment	Makroskładniki (%) Macronutrients (%)						Metale ciężkie (mg/kg) Heavy metals (mg/kg)				
			N	P	S	K	Mg	Ca	Zn	Pb	Cu	Cd	
BMśw	sadzenie planting	52c	1,41	0,12	0,14	0,45	0,05	0,24	50,0	3,1	3,4	0,19	
		116m	1,38	0,12	0,15	0,47	0,06	0,25	49,0	4,4	3,4	0,38	
		51d	1,44	0,12	0,14	0,47	0,07	0,23	45,2	3,1	4,1	0,32	
		$\bar{x}$	1,41	0,12	0,14	0,46	0,06	0,24	48,1	3,6	3,7	0,30	
	naturalny natural	54a	1,50	0,13	0,15	0,51	0,06	0,28	60,9	3,8	4,4	0,44	
		76f	1,41	0,12	0,14	0,51	0,06	0,30	56,4	1,3	3,4	0,38	
		52a	1,44	0,13	0,14	0,47	0,06	0,27	52,7	2,5	2,1	0,25	
		$\bar{x}$	1,45	0,13	0,14	0,50	0,06	0,28	56,7	2,5	3,3	0,36	
	BMW	sadzenie planting	69a	1,41	0,13	0,15	0,49	0,05	0,20	51,1	3,1	3,3	0,44
			70b	1,44	0,12	0,14	0,49	0,06	0,22	55,3	3,4	4,4	0,38
132g			1,40	0,12	0,14	0,46	0,05	0,23	42,7	2,5	3,2	0,25	
$\bar{x}$			1,42	0,12	0,14	0,48	0,05	0,22	49,7	3,0	3,6	0,36	
naturalny natural		70a	1,37	0,11	0,14	0,46	0,06	0,25	54,0	1,9	3,1	0,38	
		79a	1,42	0,12	0,14	0,50	0,06	0,21	57,6	2,5	3,1	0,50	
		78i	1,48	0,13	0,14	0,53	0,06	0,22	48,0	1,6	3,3	0,25	
		$\bar{x}$	1,42	0,12	0,14	0,50	0,06	0,23	53,2	2,0	3,2	0,38	
<b>Kontrola</b> * Control area *		254c	1,55	0,14	0,15	0,51	0,08	0,24	41,0	2,8	3,9	0,80	

\* jak w tabeli 1

\* see table 1

typu siedliska oraz sposobu odnowienia było słabo zaznaczone. Natomiast w Nadleśnictwie Potrzebowice igły sosny w uprawach na siedlisku BMśw odznaczały się wyższą zawartością azotu, potasu i wapnia niż na siedlisku Bśw, przy czym na tym ostatnim zaopatrzenie w niektóre makroskładniki (azot, potas) było nieznacznie lepsze po odnowieniu siewem niż sadzeniem. W Nadleśnictwie Potrzebowice zawartość siarki oraz metali ciężkich była zbliżona na całym obszarze badań. Podobną sytuację stwierdzono w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie z tym, że zawartość tych pierwiastków w igłach sosny była znacznie wyższa, co wynika z usytuowania w pobliżu źródeł emisji przemysłowych.

**Tabela 5. Skład chemiczny jednorocznych igieł sosny w Nadleśnictwie Potrzebowice**  
 Table 5. Chemical composition of one-year-old pine needles in Potrzebowice Forest District

Typ siedliskowy lasu Site type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compartment	Makroskładniki (%) Macronutrients (%)						Metale ciężkie (mg/kg) Heavy metals (mg/kg)				
			N	P	S	K	Mg	Ca	Zn	Pb	Cu	Cd	
Bśw	siew seeding	57c	1,16	0,16	0,10	0,25	0,04	0,25	34,1	2,5	2,4	0,13	
		60a	1,17	0,15	0,10	0,24	0,05	0,27	34,1	2,2	2,4	0,19	
		145c	1,20	0,15	0,10	0,26	0,05	0,33	39,5	2,2	2,6	0,13	
		$\bar{x}$	1,18	0,15	0,10	0,25	0,05	0,28	35,9	2,3	2,5	0,15	
	sadzenie planting	85a	1,16	0,15	0,10	0,26	0,04	0,28	34,9	3,1	2,4	0,13	
		191a	1,10	0,14	0,10	0,20	0,04	0,28	27,7	1,9	2,6	0,10	
		237a	1,11	0,14	0,10	0,21	0,04	0,23	29,6	2,5	2,6	0,13	
		$\bar{x}$	1,12	0,15	0,10	0,22	0,04	0,26	30,7	2,5	2,5	0,12	
	BMśw	sadzenie planting	26d	1,22	0,16	0,10	0,28	0,05	0,30	26,3	2,5	2,4	0,13
			50d	1,27	0,17	0,10	0,32	0,06	0,36	35,4	2,5	2,5	0,13
53d			1,27	0,16	0,10	0,31	0,05	0,35	37,7	2,5	2,8	0,13	
$\bar{x}$			1,25	0,16	0,10	0,30	0,05	0,33	33,1	2,5	2,5	0,13	
Kontrola* Control area*		254c	1,27	0,15	0,11	0,27	0,05	0,26	22,6	2,5	2,6	0,13	

\*jak w tabeli 2

\*see table 2

## 5. DYSKUSJA

Zmiany właściwości chemicznych gleb na pożarzyskach w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice – spadek zawartości węgla, azotu oraz innych składników pokarmowych – są typowym następstwem pożaru lasu, na co wskazują liczne doniesienia (np. Lewis 1974; Mac Lean i in. 1983; Fernandez i in. 1997). Różnice nasilenia tych zmian mogą wynikać z różnicy ilości masy organicznej skumulowanej przed pożarem na dnie lasu, zasobności spalonego drzewostanu oraz z ilości pozostawionych po pożarze resztek zrębowych. Istotne znaczenie ma także typ siedliska, w tym szczególnie warunki wilgotnościowe, determinujące podatność masy organicznej na spalanie i w rezultacie skład chemiczny gleb (Dyrness i in. 1989; Gillon i in. 1995). Potwierdzają to wyniki badań, zwłaszcza w Nadleśnictwie Potrzebowice, gdzie zasobność gleby w podstawowe składniki odżywcze w BMśw była zdecydowanie wyższa niż Bśw. Wyraźne zróżnicowanie składu chemicznego gleb wynikające ze sposobu odnowienia stwierdzono jedynie na pożarzysku w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, co przejawiało się wyższą zawartością fosforu przyswajalnego i kationów zasadowych po odnowieniu sztucznym niż naturalnym, niezależnie od typu siedliska. Można przypuszczać, że przygotowanie gleby przed sadzeniem (orka w bruzdy) stworzyło korzystniejsze

warunki do mineralizacji materii organicznej zawartej w glebie i unieruchomienia uwolnionych składników pokarmowych. Wydają się za tym przemawiać wyniki badań mikrobiologicznych gleb, wskazujące na większą biomasę drobnoustrojów glebowych w odnowieniach sztucznych niż naturalnych. Drobnoustroje glebowe, z uwagi na dominujący ich udział w procesach metabolicznych gleb, będące jednocześnie magazynem i źródłem pokarmu dla roślin, uważane są za jeden z głównych czynników determinujących żyzność gleb (Jenkinson i Ladd 1982; Mc Gill i in. 1986). Mniejszy udział biomasy drobnoustrojów w ogólnej zawartości substancji organicznej gleb ( $C_{\text{biom}}/C_{\text{org}}$ ) na obu badanych pożarzyskach niż na porównywalnych powierzchniach kontrolnych świadczy o tym, że po prawie 10 latach nie nastąpiła jeszcze pełna odbudowa zniszczonej przez pożar mikrobiocenozy gleby, co według niektórych autorów (Fritze i in. 1993) trwa około 12 lat. Po pożarze wraz z sukcesją drobnoustrojów glebowych ma miejsce systematyczny wzrost udziału  $C_{\text{biom}}$  w  $C_{\text{org}}$ , aż do osiągnięcia ustabilizowanej wartości w dojrzałych (zrównoważonych) systemach glebowych, która na siedliskach borowych wynosi około 1,2% (Martikainen, Palojärvi 1990; Fritze i in. 1993). W kolejnych etapach sukcesji spada jednocześnie wartość ilorazu metabolicznego ( $q\text{CO}_2$ ) drobnoustrojów (Insam, Haselwandter 1989), odzwierciedlająca specyficzne tempo respiracji biomasy. Następujące po sobie kolejne zespoły drobnoustrojów charakteryzują się bowiem coraz wyższą wydajnością wzrostu, tzn. że w większym stopniu energia wykorzystywana jest w procesach biosyntezy niż w katabolicznych (respiracji). Po pożarze lasu obserwuje się zwykle podwyższoną wartość  $q\text{CO}_2$  w glebach (Fritze i in. 1993; Pietikäinen, Fritze 1993), co notowano także na pożarzyskach w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. Stwierdzono, podobnie jak w przypadku biomasy drobnoustrojów, wyraźny wpływ sposobu odnowienia na  $q\text{CO}_2$ . Niższe wartości, wskazujące na lepsze warunki dla restytucji stanu mikrobiologicznego gleb, notowano po odnowieniu sztucznym niż naturalnym w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie oraz po odnowieniu sadzeniem niż siewem w Nadleśnictwie Potrzebowice. Na szybkość regeneracji gleb po pożarze niewątpliwym wpływ ma jego intensywność. W tym kontekście można sądzić, że proces ten będzie trwał krócej w Nadleśnictwie Potrzebowice, gdzie zawartość węgla organicznego oraz wielkość biomasy drobnoustrojów świadczą o słabszej degradacji gleby po pożarze.

Warunki glebowe na pożarzyskach – na kształtowanie których, poza intensywnością pożaru, wpływ może mieć typ siedliska oraz sposób przeprowadzonego odnowienia – decydują o wielkości puli składników pokarmowych przyswajalnych dla roślin w glebie, a w rezultacie o stanie odżywienia drzew w uprawach. Uważa się bowiem (Prescott i in. 1992; Wang, Klinka 1997), że koncentracja składników pokarmowych w aparacie asymilacyjnym drzew, zwłaszcza na siedliskach borowych, jest odzwierciedleniem ich ilości w glebie. Wyraźna relacja między zawartością makroskładników w glebie i w igłach sosny widoczna była także na badanych powierzchniach w obu nadleśnictwach. Poza słabym zaopatrzeniem drzew w podstawowe składniki odżywcze w uprawach na pożarzyskach, zwraca uwagę bardzo niska zawartość niektórych makroskładników w igłach, a mianowicie

cie azotu, potasu i magnezu w Nadleśnictwie Potrzebowice, stwierdzona również w odnowieniach poza pożarzyskiem. Zawartość tych składników kształtowała się poniżej przyjętych dla sosny wartości progowych, tj. N – 1,3%, K – 0,3%, Mg – 0,06% (Ingestad 1979; Bonneau 1988; ICP Forest 1996), wskazując na ich niedobór. Koncentracja siarki i metali ciężkich w igłach sosny, w tym także w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie – bardziej narażonym na oddziaływanie emisji przemysłowych (Zwoliński 2001), nie powinna mieć, w świetle danych literaturowych (Balsberg-Pahlsson 1989; Dmuchowski, Bytnerowicz 1995; Zwoliński 1995), istotnego wpływu na rozwój upraw na badanych pożarzyskach.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Gleby w uprawach na pożarzyskach charakteryzują się znacznym ubytkiem węgla organicznego, azotu i niektórych kationów zasadowych, a także mniejszą pojemnością wymienną i niższym stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami. Wyraźny wpływ na kształtowanie się wartości powyższych parametrów ma typ siedliska oraz sposób odnowienia lasu.

2. Po upływie około 10 lat od pożaru nie nastąpiło jeszcze pełne odtworzenie mikrobiocenozy gleby, o czym świadczy niższy udział biomasy drobnoustrojów ( $C_{\text{biom}}$ ) w ogólnej zawartości węgla organicznego ( $C_{\text{org}}$ ) oraz wyższa wartość ilorazu metabolicznego drobnoustrojów ( $q\text{CO}_2$ ) niż w glebie poza pożarzyskiem. Tempo regeneracji gleb zależy zarówno od intensywności pożaru, jak i od sposobu odnowienia; korzystniejszy wpływ na rozwój drobnoustrojów ma odnowienie sztuczne (sadzenie bardziej niż siew) aniżeli odnowienie naturalne.

3. Właściwości chemiczne oraz stan mikrobiologiczny gleb wskazują na silniejszą degradację gleb po pożarze w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie niż w Nadleśnictwie Potrzebowice.

4. Zawartość makroskładników w igłach sosny, która pozostaje w relacji do ich zawartości w glebie, wskazuje na słabsze w porównaniu z kontrolą zaopatrzenie drzew w składniki pokarmowe na pożarzyskach.

5. Zaopatrzenie drzew w składniki pokarmowe w Nadleśnictwie Potrzebowice jest niedostateczne; wyraźny niedobór azotu, potasu i magnezu sugeruje konieczność podjęcia stosownych zabiegów nawożeniowych.

6. Zanieczyszczenia przemysłowe nie wydają się stanowić zagrożenia dla rozwoju upraw sosnowych na pożarzyskach w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice, za czym przemawia stwierdzona stosunkowo niska zawartość siarki i metali ciężkich w aparacie asymilacyjnym drzew.

7. Ze względu na krótki okres badań oraz brak powierzchni kontrolnych dla wszystkich wariantów odnowień sosny na pożarzyskach, wnioski wynikające z pracy powinny być zweryfikowane w dalszych badaniach.

CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS AND SCOTS PINE NEEDLES  
AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS ON FOREST AREAS BURNT  
IN 1992 IN FOREST DISTRICTS OF RUDY RACIBORSKIE AND POTRZEBOWICE

Summary

In 2000–2002, soil chemistry, soil microbial activity and foliar nutrient status were investigated in pine plantations on forest areas burned during the forest fire in 1992 in forest districts of Rudy Raciborskie and Potrzebowice. In both forest districts sample plots, representing prevailing site types and applied methods of regeneration, as well as control plots (out of the burned areas) were chosen.

The post-fire soils were characterized by a distinct decrease of organic carbon, nitrogen and some basic cations, comparing to the control areas. In addition, these soils were characterized by substantially lower exchange capacity and lower degree of base saturation. It was noted, that side type and method of regeneration had influence on chemical properties of post-fire soils (table 1 and 2).

The content of macronutrients in pine needles that, as was found in researches, was related to its content in soil, indicated poorer nutrient supply for trees on burnt areas. Results of chemical analyses of pine needles indicated also deficiencies (below threshold values) of nitrogen, potassium and magnesium in Potrzebowice Forest District (table 4 and 5).

Microbiological analyses showed lower share of microbial biomass ( $C_{\text{biom}}$ ) in soil organic carbon ( $C_{\text{org}}$ ) and higher values of metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) on post-fire areas than on control areas (table 3). One can assume that the restoration of soil microorganisms, about 10 years after forest fire, has not been yet completed. Influence of regeneration method on the rate of soil regeneration after fire was also proved. Artificial regeneration (planting, seeding) turned out to be more favorable to development of soil microorganisms than natural regeneration.

(transl. K. J.)

LITERATURA

- Anderson J. P. E., Domsch K. H. 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil. Biol. Biochem.*, 10: 215–221.
- Anderson T. H., Domsch K. H. 1986: The metabolic quotient for  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) as specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil. Biol. Biochem.*, 25: 393–395.
- Balsberg-Pahlsson A. M. 1989: Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. A literature review. *Water, Air, Soil Pollut.*, 47: 287–319.
- Bonneau M. 1988: Le diagnostic foliaire. *Rev. For. Franc. Special issue: Diagnostic en forêt.* 40: 19–3.
- De Bano L.F., Conrad C. E. 1978: The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*, 59: 489–497.
- Dmuchański W., Bytnerowicz A. 1995: Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environ. Pollut.*, 87: 87–104.
- Dyrness C. T., Van Cleve K., Levison J. D. 1989: The effect of wildfire on soil chemistry in four forest types in interior Alaska. *Can. J. For. Res.*, 19: 1389–1396.
- Eivazi F., Bayan M. R. 1996: Effects of long-term prescribed burning on the activity of select soil enzymes in an oak-hickory forest. *Can. J. For. Res.*, 26: 1799–1804.
- Fernandez I., Cabaneiro A., Carballas T. 1997: Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biol. Biochem.*, 1: 1–11.

- Fritze H., Pennanen T., Pietikäinen J. 1993: Recovery of soil biomass and activity from prescribed burning. *Can. J. For. Res.*, 23: 1286–1290.
- Fritze H., Smolander A., Levula T., Kitunen V., Mälkönen E. 1994: Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stands: Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biol. Fertil. Soils*, 17: 57–63.
- Gillon D., Gomendy V., Houssard C., Marechal J., Valette J. C. 1995: Combustion and nutrient losses during laboratory burns. *Int. J. Wildland Fire*, 5: 1–12.
- ICP Forest. 1999: Forest condition in Europe. 1996 Report, UN/ECE, Brussels, Geneva, 127 s.
- Ingestad T. 1979: Mineral nutrition requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plant.*, 45: 373–380.
- Insam H., Haselwandter K. 1989: Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 79: 174–179.
- Jenkinson D. S., Ladd J. N. 1981: Microbial biomass in soil: measurement and turnover. [W:] Soil Biochemistry, vol. 5, E. A. Paul and J. N. Ladd, eds, Marcel Dekker, New York, 415–471.
- Johnston M., Elliott J. 1998: The effects of fire severity on ash, and plant and soil nutrients levels following experimental burning in a boreal mixedwood stand. *Can. J. Soil Sci.*, 78: 35–44.
- Kępa P. 2000: Prace pozyskaniowe i hodowlano-ochronne na pożarzysku z roku 1992 w Nadleśnictwie Potrzebówice. [W:] Polskie Towarzystwo Leśne w służbie lasów i społeczeństwa, Mat. Sesji Naukowej PTL, Poznań 2000, 167–174.
- Kowalkowski A., Król H., Ostrowska A., Sytek J., Szczubiałka Z. 1973: Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych. Inst. Bad. Leś., ZGiN, Warszawa, 228 s.
- Kutiel P., Shaviv A. 1992: Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *For. Ecol. Manage.*, 53: 329–343.
- Lewis W. M. 1974: Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. *Ecology*, 55: 1120–1127.
- Lynham T. J., Wickware G. M., Mason J. A. 1998: Soil chemical changes and plant succession following experimental burning in immature jack pine. *Can. J. Soil Sci.*, 78: 93–104.
- Macadam A. M. 1987: Effects of broadcast slash burning on fuel and soil chemical properties in the Sub-boreal Spruce Zone of central British Columbia. *Can. J. For. Res.*, 17: 1577–1584.
- Martikainen P. J., Palojärvi A. 1990: Evaluation of the fumigation-extraction method for the determination of microbial C and N in a range of forest soils. *Soil Bio. Biochem.*, 22: 797–802.
- McGill W. B., Cannon K. R., Robertson J. A., Cook F. D. 1986: Dynamics of soil microbial biomass and water soluble C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. Soil Sci.*, 66: 1–19.
- Mac Lean D. A., Woodley S. J., Weber M. G., Wein R. W. 1983: Fire and nutrient cycling. [W:] The role of fire in Northern Circumpolar Ecosystems. R.W. Wein and D.A. Mac Lean, eds., John Wiley & Sons Ltd, New York, 111–132.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 334 s.
- Pietikäinen J., Fritze H. 1993: Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: short term effects of two different fires. *Can. J. For. Res.*, 23: 1275–1285.
- Prescott C. E., Corbin J. P., Parkinson D. 1992: Availability of nitrogen and phosphorus in the forest floor of Rocky Mountain coniferous forests. *Can. J. For. Res.*, 22: 593–600.
- Szabla K. 1998: Odnowienie lasu i ochrona upraw powstałych na wielkim pożarzysku w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. *Post. Techn. w Leśnictwie*, 67: 41–48.
- Wang G. G., Klinka K. 1997: White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrient amounts. *For. Ecol. Manage.*, 98: 89–99.
- Zwoliński J. 1995: Wpływ emisji zakładów przemysłu metali nieżelaznych na środowisko leśne – rola metali ciężkich w degradacji lasów. *Prace Inst. Bad. Leś.*, A, 809: 1–86.
- Zwoliński J. 2001: Reakcja borów sosnowych na kwaśne opady. I. Gleba i aparat asymilacyjny drzew. *Prace Inst. Bad. Leś.*, A, 1(912): 113–137.