

ROMAN WOJTKOWIAK, MIROŚLAW NOWIŃSKI, ROBERT TOMCZAK

Spalanie pozostałości zrębowych, a emisja lotnych produktów

Burning of wood slash as a source of air pollution

ABSTRACT

Concentrations of gaseous air pollutants were measured during burning of wood slash in a clear-cut pine forest stand. Large amounts of CO₂ and CO were produced in this process, and the forest ecosystem lost considerable amounts of nitrogen and sulphur. In the study area, increased concentrations of NO, NO₂, CO and SO₂ were detected in the air. Instantaneous concentrations of NO₂ and SO₂ sometimes exceeded permissible levels.

KEY WORDS

burning, utilization, wood slash, bonfire, air pollution

Wstęp

Po procesie pozyskania drewna na powierzchniach zrębowych pozostają duże ilości nie wykorzystanych gałęzi i igliwia. Pozostałości te powinny pozostać na zrębie ponieważ zawierają (w przeciwieństwie do surowca drzewnego) duże ilości składników pokarmowych [Pilarek 1998, Gornowicz 1993 i 2002]. W Polsce tradycyjnym sposobem uprzętnięcia gałęzi i igliwia było ich spalanie w ogniskach na powierzchniach zrębowych. Spalanie, oprócz straty dużej części składników pokarmowych zawartych w gałęziach i igłach, powoduje emisję do atmosfery gazów cieplarnianych [Wojtkowiak i in. 2001]. Znaczną szkodą jest wypalenie gleby w miejscach ognisk. Te niekorzystne zjawiska powodowane spalaniem gałęzi i igliwia nie są wystarczająco znane i z tego powodu bagatelizowane. Pomimo wprowadzania od lat dziewięćdziesiątych technologii mechanicznego rozdrabniania, spalanie pozostałości zrębowych jest wciąż jeszcze szeroko stosowane [Wojtkowiak 2000].

W skali Polski do zagospodarowania pozostają bardzo duże masy gałęzi i igliwia. Według Kubiaka [1985] gałęzie i igliwie stanowią odpowiednio 10,3% i 1,7% wagi drzew, a według

ROMAN WOJTKOWIAK

Katedra Techniki Leśnej
Akademia Rolnicza
ul. Wojska Polskiego 71c
60-625 Poznań
rowojtko@au.poznan.pl

Kamińskiego [1988] nawet do 15%. Masa pozostałości zrębowych na powierzchni jednego hektara drzewostanu sosnowego w wieku rębności może dochodzić do 18,6 Mg [Kubiak i in. 1985]. Niektórzy autorzy [Gornowicz i Wojtkowiak 2000] podają, że waga świeżych

MIROŚLAW NOWIŃSKI

Katedra Gleboznawstwa Leśnego i Nawożenia Lasu
Akademia Rolnicza
ul. Góralska 3
60-623 Poznań
nowinski@au.poznan.pl

ROBERT TOMCZAK

Institut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza
ul. Wojska Polskiego 50
60-625 Poznań
rjt@au.poznan.pl

gałęzi i igliwia może osiągać 66 Mg. Wojtkowiak [2000] szacuje, że podczas spalania pozostałości zrębowych z jednego hektara zrębu do atmosfery odprowadzane są duże ilości gazów: 69 100 kg CO₂, 7952 kg CO oraz 503 000 MJ energii cieplnej.

Celem pracy było określenie stężeń CO, CO₂, NO, NO₂, i SO₂ w spalinach pojedynczych ognisk oraz w powietrzu atmosferycznym na powierzchni zrębowej, na której spalano pozostałości zrębowe po drzewostanie sosnowym.

Metody badań

Badania wykonano w Puszczy Noteckiej na terenie Nadleśnictwa Oborniki. Pomiarów wybranych zanieczyszczeń powietrza ulatniających się podczas spalania pozostałości pozrębowych wykonano za pomocą automatycznego przyrządu „MADUR”. Urządzenie to służy do pomiaru stężenia spalin czujnikiem elektrochemicznym. Końcówkę lancy urządzenia umieszczano w płomieniach ogniska. Drugi koniec lancy doprowadzony był do analizatora, który automatycznie dokonuje pomiaru i rejestruje wynik. Dzięki tej aparaturze, uzyskano pomiary ilości wydzielających się w danej chwili z ogniska następujących związków: tlen (O₂), dwutlenek węgla (CO₂), tlenek węgla (CO), tlenek azotu (NO), dwutlenek azotu (NO₂), tlenki azotu w sumie (NO_x), dwutlenek siarki (SO₂). Zmierzono także temperaturę spalin.

Do pomiaru stężeń chwilowych zanieczyszczeń powietrza na powierzchni, na której spalano pozostałości zrębowe w 6 ogniskach, posłużono się „Mobilnym Laboratorium do Pomiaru Składu Powietrza” zamontowanym na samochodzie ciężarowym. Zestaw mierników, w jakie wyposażone jest to laboratorium, pozwala mierzyć cząstki stałe, jak również tlen (O₂), dwutlenek węgla (CO₂), tlenek węgla (CO), tlenek azotu (NO), dwutlenek azotu (NO₂), tlenki azotu w sumie (NO_x), dwutlenek siarki (SO₂), znajdujące się w danym momencie w powietrzu na wysokości trzech metrów nad powierzchnią, gdzie ustawiony jest samochód. Pomiar stężeń zanieczyszczenia powietrza wykonano za pomocą sond, jak również w wiązce światła spolaryzowanego. Dzięki mobilności pojazdu, został on ustawiony w pasie spalin i dymów ulatniających się z analizowanych ognisk. Obserwacje ilości i rodzajów zanieczyszczeń wychwytywanych przez aparaturę prowadzono od momentu rozpalenia ognisk do zakończenia palenia płomieniowego przez okres 4 godzin.

Wyniki badań

STĘŻENIA GAZÓW W SPALINACH POJEDYNCZYCH OGNISK. W pracy przedstawiono wycinek pomiarów dokonanych w spalinach dwóch ognisk (tab. 1 i 2). Temperatura spalin wahała się w szerokich granicach i przekraczała chwilami 900°C. Najczęściej temperatura spalin osiągała kilkaset °C, jednak zdarzały się pojedyncze pomiary z wynikami 51°C i 77°C. Wyniki te wskazują, że w ogniskach występowały silne prądy zasysające zimne powietrze z zewnątrz (podczas dokonywania pomiarów temperatura powietrza wynosiła od 5,6°C do 7,5°C).

Podczas spalania gałęzi i igliwia zawartość tlenu spadała do kilkunastu, a chwilami nawet do kilku procent. W ognisku pierwszym od 6% do 14,5%, a w ognisku drugim od 1% do 17,5%. Tak obniżona zawartość tlenu w spalinach świadczy o dużym nasileniu procesu spalania pozostałości pozrębowych.

W spalinach stwierdzono duże stężenie CO₂. Wahało się ono w pierwszym ognisku od 6% do 14%, a w drugim od 3,5% do 18%. Wyniki te wskazują na bardzo dużą emisję CO₂ do powietrza atmosferycznego. Jest to wynik spalania całkowitego węgla zawartego w drewnie, korze i igłach.

Również bardzo wysokie było stężenie CO w spalinach ognisk. W pierwszym ognisku wahało się od 4246 mg/m³ do 9753 mg/m³, a w drugim od 1126 mg/m³ do 15570 mg/m³.

Tabela 1.

Wyniki pomiarów stężeń wybranych gazów w spalinach z ogniska pierwszego
Concentrations of selected combustion gasses generated from the first fire – measurement results

Nr próbki	Temperatura spalin [°C]	O ₂	CO ₂	CO	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x
		%						
1	201	8,51	11,52	6331	2422	159	35	194
2	242	10,42	9,75	8800	2888	237	35	272
3	754	5,96	13,88	9258	3680	263	55	318
4	462	12,97	7,39	2933	1373	66	14	80
5	528	14,47	6,00	9686	1813	221	27	248
6	77	14,24	6,21	4879	1361	83	18	101
7	641	11,79	8,48	5170	1630	184	14	198
8	473	9,53	10,58	5468	1544	201	16	217
9	527	8,24	11,77	9753	2665	200	39	239
10	51	12,12	8,18	4246	1018	67	18	85

Tabela 2.

Wyniki pomiarów stężeń wybranych gazów w spalinach z ogniska drugiego
Concentrations of selected combustion gasses generated from the second fire – measurement results

Nr próbki	Temperatura spalin [°C]	O ₂	CO ₂	CO	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x
		%						
1	536	16,54	4,08	5644	1038	229	16	245
2	776	8,44	11,58	11 930	1993	232	41	273
3	439	16,09	4,50	1126	209	92	2	94
4	383	17,23	3,44	2079	478	131	4	135
5	424	3,42	16,23	12 968	2533	153	51	204
6	423	9,20	10,88	3144	712	225	10	235
7	397	12,92	7,44	1616	254	178	4	182
8	937	12,87	7,48	10 588	1644	194	33	227
9	293	17,49	3,20	1485	146	84	2	86
10	656	14,97	5,54	1688	369	119	4	123
11	801	1,21	18,28	15 570	2997	240	60	300

Zawartość CO była szczególnie duża w tych próbkach spalin, w których ilość tlenu spadła do kilku procent, a znacznie wzrosła zawartość CO₂. Może to świadczyć o spalaniu niepełnym wynikającym z dużej ilości węgla w spalanej masie organicznej i niedoboru tlenu dopływającego do ogniska. Stężenie SO₂ wahało się w bardzo szerokim przedziale. W spalinach pierwszego ogniska od 1018 mg/m³ do 3680 mg/m³, a w spalinach drugiego od 146 mg/m³ do 2997 mg/m³. Zaobserwowano, że największe stężenia SO₂ występowały w próbkach o dużej zawartości CO.

Stwierdzono stosunkowo dużą emisję tlenków azotu. NO występował w płomieniach pierwszego ogniska w ilości od 66 mg/m³ do 263 mg/m³, a w spalinach drugiego od 84 mg/m³ do 240 mg/m³. Zawartość NO₂ była znacznie mniejsza i wynosiła w spalinach pierwszego ogniska od 14 mg/m³ do 55 mg/m³, a w spalinach drugiego ogniska od 2 mg/m³ do 60 mg/m³. Suma tlenków azotu w pierwszym ognisku wahała się od 80 mg/m³ do 318 mg/m³, a w drugim od 86 mg/m³ do 300 mg/m³. Największe stężenia NO i NO₂ występowały w próbkach o dużej zawartości SO₂.

STĘŻENIA CHWILOWE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO NA POWIERZCHNI ZRĘBOWEJ. Na powierzchni zrębowej, na której spalano pozostałości zrębowe stwierdzono w powietrzu atmosferycznym podwyższone ilości NO, NO₂, SO₂ i CO (tab. 3).

Ilość NO wahała się w szerokich granicach od 2 do 340 µg/m³. Podobny zakres zmian wykazywał NO₂ (5 do 320 µg/m³). W kilku próbkach powietrza stężenie NO₂ przekroczyło dopuszczalną wartość (0,09 mg/m³) dla parków narodowych, a w dwóch próbkach nawet dopuszczalną wartość chwilową (0,15 mg/m³) dla leśnych kompleksów promocyjnych. Suma tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym na powierzchni zrębowej wynosiła od 7 do 660 µg/m³.

Tabela 3.

Wyniki pomiarów ilości wybranych zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym na powierzchni zrębowej
Amount of the selected pollutants in the atmospheric air in the cutting area – measurement results

Nr próbki	Stężenia chwilowe zanieczyszczeń powietrza				
	NO	NO ₂	NO _x [µg/m ³]	SO ₂	CO
1	13	61	74	154	1500
2	15	74	89	172	2300
3	26	42	68	126	1200
4	11	27	38	121	800
5	43	92	135	238	1500
6	4	8	12	0	100
7	6	24	30	23	1500
8	6	21	27	74	2100
9	6	10	16	0	200
10	5	21	26	13	800
11	10	26	36	87	1000
12	5	11	16	0	400
13	62	134	196	15	1500
14	7	19	26	45	3000
15	6	26	32	37	1800
16	10	34	44	5	800
17	6	21	27	54	1100
18	6	19	25	3	600
19	8	17	25	1	1200
20	14	24	38	1	1000
21	10	22	32	14	1700
22	15	28	43	3	1000
23	9	22	31	4	1400
24	12	34	46	12	1400
25	7	21	28	6	1100
26	10	25	35	3	800
27	13	32	45	2	700
28	340	320	660	524	1900
29	158	168	326	300	1800
30	2	5	7	0	100
31	12	30	42	3	500
Min.	2	5	7	0	100
Max.	340	320	660	524	3000
Średnia	27,6	45,7	73,4	65,8	1187,1

Podczas pomiaru w części próbek powietrza stwierdzono podwyższoną ilość SO_2 . Stężenie tego gazu wahało się w szerokich granicach od 0 do $524 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W kilku próbkach SO_2 przekroczyło w czasie pomiarów wartości dopuszczalne dla parków narodowych ($0,15 \text{ mg}/\text{m}^3$) i leśnych kompleksów promocyjnych ($0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$), a w jednej próbce także stężenie dopuszczalne dla pozostałych obszarów leśnych ($0,50 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Podczas spalania pozostałości zrębowych w powietrzu atmosferycznym ilość CO wahała się od 100 do $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Było to stężenie podwyższone. Nie przekroczyło jednak wysokiego progu ($20 \text{ mg}/\text{m}^3$) dopuszczalnego stężenia CO na obszarach leśnych.

Zwraca uwagę zbieżność stężeń gazów w próbkach powietrza. Występowały próbki, w których ilość wszystkich badanych zanieczyszczeń była stosunkowo duża. W części próbek natomiast stężenie wszystkich badanych gazów było znacznie mniejsze. Było to związane ze smugowym przemieszczaniem zanieczyszczeń nad powierzchnią zrębu.

Wnioski

- ✦ Podczas spalania pozostałości zrębowych w ogniskach powstają bardzo duże ilości CO_2 i CO oraz znaczne ilości NO, NO_2 i SO_2 .
- ✦ Spalanie pozostałości zrębowych powoduje utratę z ekosystemu leśnego azotu oraz siarki zawartych w gałęziach i igłach.
- ✦ Na powierzchni, na której spalano pozostałości zrębowe stwierdzono w powietrzu atmosferycznym podwyższone stężenia NO, NO_2 , SO_2 i CO.
- ✦ Na powierzchni zrębowej podczas spalania pozostałości zrębowych występowały chwilowe przekroczenia dopuszczalnych stężeń NO_2 i SO_2 .

Literatura

- Gornowicz R. 1993. Der Nährstoffexport aus Kiefernreinbeständen in Abhängigkeit vom Hilzernteverfahren. Mechanisierung der Waldarbeit. Saloniki. 275-279.
- Gornowicz R. 1993. Wpływ pozyskiwania biomasy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego. Roczn. AR Pozn. Seria Rozprawy Naukowe. 331: 1-96.
- Kamiński E. 1988. Użytkowanie lasu a ochrona środowiska. Sylwan 10.
- Kubiak M., Giefing F.D., Grodecki J., Gornowicz R., Różański H., Wojtkowiak R. 1985. Udział podstawowych sortymentów w rębnych drzewostanach sosnowych ze szczególnym uwzględnieniem koron drzew. PTPN LX. 63-69.
- Pilarek Z. 1998. Ubytki podstawowych bioelementów w środowisku leśnym, w średniowiekowych drzewostanach sosnowych, w zależności od systemu pozyskania drewna. Maszynopis pracy doktorskiej wykonanej w Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- Wojtkowiak R. 2000. Metody utylizacji pozostałości poeksploatacyjnych na zrębach – maszyny i technologie. Zeszyt nr 132 w ramach Biblioteczka Leśniczego. SITLiD, Warszawa.
- Wojtkowiak R., Gałązka S., Nowiński M. 2001. Emisja lotnych produktów spalania pozostałości zrębowych. IV Krajowe Sympozjum „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”. 29 maja-1 czerwca 2001, Poznań-Kórnik. W druku.
- Wojtkowiak R. Gornowicz R. i inni. 2000. Technika i technologia utylizacji odpadów pozrębowych. Sprawozdanie z tematu zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie. Maszynopis. Poznań.

SUMMARY

Burning of wood slash as a source of air pollution

Burning of wood slash (branches, twigs, needles, etc.) is a source of many gaseous pollutants. Concentrations of volatile products emitted during burning of wood slash were measured in a clear-cut plot of *Pinus sylvestris* in the Noteć Forest (Puszcza Nadnotecka). A special „Madur” probe was used to measure the concentration of selected gases (NO , NO_2 , CO, CO_2 , SO_2)

directly in several bonfires were the residues were burnt in the study area. Simultaneously, concentrations of those gases were measured in the air, in trails of smoke between the bonfires (at the centre of study area), by means of a mobile laboratory contained in a van. The results were compared with permissible levels of air pollution. Large amounts of CO_2 and CO and considerable amounts of NO, NO_2 and SO_2 were emitted from bonfires. Consequently, concentrations of NO, NO_2 , CO and SO_2 in the air were higher than normal. In some air samples, instantaneous concentrations of NO_2 and SO_2 exceeded permissible levels.