



Długoterminowa reakcja mikroorganizmów i mezofauny na pożary gleb leśnych pochodzenia antropogenicznego

Ewa Beata Górską^{}, Izabella Olejniczak^{**},
Dariusz Gozdowski^{*}, Ewa Panek^{*}, Marek Kondras^{*},
Lidia Oktaba^{*}, Anna Prędecka^{***}, Stanisław Biedugnis^{***},
Paweł Boniecki^{**}, Łukasz Tyburski^{****}, Izabela Oktaba^{*},
Monika Skawińska^{*}, Jakub Dobrzyński^{*}, Urszula Jankiewicz^{*},
Edyta Hewelke^{*}, Anita Kaliszkiwicz^{**}*
^{}Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa*
*^{**}Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa*
*^{***}Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa*
*^{****}Kampinoski Park Narodowy, Izabelin*

1. Wstęp

Pożary z powodu ogromnego wpływu na ekosystemy od dawna były w centrum zainteresowań badaczy. Zainteresowanie pożarami, zwłaszcza pochodzenia antropogenicznego wzrosło w ostatnich dziesięcioleciach. Z roku na rok na kuli ziemskiej notuje się zwiększającą się liczbę pożarów, co może być związane z nasilającą się działalnością człowieka, ale także wynikać z postępującego ocieplenia klimatu.

Żywiol ten niesie ze sobą nie tylko straty dla gospodarki człowieka, ale również zmienia drastycznie właściwości abiotyczne i biotyczne środowiska przyrodniczego w czasie i przestrzeni (Kim i Jung 2008, Čuchta i in. 2012). W wyniku pożaru obserwuje się spadek liczebności oraz różnorodności taksonomicznej mikro- i mezofauny glebowej (Sileski i Mafongoya 2006, Malmström i in. 2009), co ma zdecydowany

wpływ na kształtowanie metabolizmu ekosystemów glebowych (Certin 2005, Smith 2008, Hauke-Pacewiczowa i Trzcńska 1980).

Drobnoustroje, jak również mezofauna a w szczególności *Collembola* i *Acari*, kolonizując glebę pełnią kluczową rolę w stabilności, regulacji i funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, dlatego tak istotnym jest zbadanie i zrozumienie wpływu ognia oraz jego intensywności na zespoły tych grup edafonu. Dodatkowo mikroorganizmy, a w szczególności bakterie, są powszechnie stosowane, jako bardzo czułe wskaźniki zmian zachodzących w środowisku (Smith 2008, Holden 2016). Powodem tego jest zdecydowanie większa powierzchnia ich komórek w stosunku do ich objętości, przez co bardzo szybko adoptują się do zmieniających warunków środowiska.

Celem badań była ocena dynamiki zmian liczebności mikroorganizmów i mezofauny glebowej w glebie i ściółce w zależności od intensywności pożaru jak również od okresu- czasu po pożarze. Badania pozwoliły odpowiedzieć na pytania:

- 1) w jakim czasie dochodzi do regeneracji zespołów mikroorganizmów oraz mezofauny w glebach leśnych po pożarze,
- 2) czy regeneracja edafonu zależy od siły ognia.

2. Metodyka badań

W latach 2015-2017 przeprowadzono badania w północno-wschodniej części Kampinoskiego Parku Narodowego (Olejniczak i in. 2017). Badaniami objęto obszary wypalone – powstałe na skutek „mocnego”(Mp) i „słabego”(Sp) pożaru (Zaniewski i Otręba 2017), oraz sąsiadujące z nimi obszary niewypalone – kontrolowane w 2., 14. i 28. miesiącu po pożarze który nastąpił w czerwcu 2015 r. Roślinność porastająca te obszary należy do zespołu *Peucedano-pinetum* (Zaniewski i Otręba 2017). Występujące na badanym obszarze gleby zaklasyfikowano do gleb rdzawych z próchnicą typu moder-mor świeży (Biały i in. 2000). Właściwości gleb badanych powierzchni wypalonych na skutek mocnego i słabego pożaru oraz sąsiadujących z nimi obszarów niewypalonych – kontrolnych podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości chemiczne gleby [w dwóch poziomach genetycznych: organicznym (org.) i mineralnym (min.)] w kolejnych latach badań w miejscu niewypalonym-kontrolnym, oraz na obszarze słabego i silnego pożaru

Table 1. Selected chemical properties of soil [on two levels genetic: organic (org.) and mineral (min.)] in the following years of research in unburnt-control place, and in the area of weak and strong fire

Siła pożaru	Czas od pożaru (miesiące)	C-org g·kg ⁻¹		N-org. g·kg ⁻¹		C:N		pH w KCl		pH w H ₂ O	
		Poziom genetyczny									
		org.	min.	org.	min.	org.	min.	org.	min.	org.	min.
K – kontrola	2	282,0	13,57	6,91	0,37	40,8	36,7	3,09	3,51	3,25	3,78
	14	401,9	13,84	7,16	0,36	56,1	38,4	3,09	3,73	3,26	4,17
	28	281,5	12,01	11,29	0,58	24,9	20,7	2,70	3,53	2,87	2,91
Sp – słaby pożar	2	340,1	12,93	6,23	0,37	54,6	34,9	3,57	3,62	3,75	3,70
	14	391,1	13,50	7,36	0,30	53,1	45,0	2,99	3,97	3,16	4,18
	28	291,3	11,87	12,43	0,58	23,4	20,5	2,81	3,43	3,02	2,86
Mp – mocny pożar	2	301,9	9,00	5,08	0,29	59,4	31,0	3,90	3,86	4,05	3,62
	14	320,7	13,66	5,29	0,28	60,6	48,8	3,46	3,39	3,62	3,66
	28	223,7	9,34	10,52	0,54	23,9	17,3	2,82	3,34	3,22	2,82

Próbki do analiz mikrobiologicznych i mezofauny glebowej pobierano z warstwy organicznej (do głębokości 5 cm) i poziomu mineralnego gleby (poniżej 5 cm), z wyznaczonych powierzchni badawczych (każda o powierzchni 10 m^2) wypalonych na skutek „mocnego” i „słabego” pożaru oraz niewypalonych- kontrolnych, oddalonych o 10 m od linii ognia. Zarówno do analizy mikrobiologicznej jak i mezofauny próbki pobierano z 6 losowo wybranych punktów na każdej powierzchni, z których w laboratorium dla każdego poziomu genetycznego przygotowano próbkę zbiorczą. W przypadku mikroorganizmów próbki pobierano do pojemników jałowych z głębokości 5-20 cm, dbając o ich aseptyczność.

W poziomie organicznym i mineralnym gleb metodą posiewu wgłębnego oznaczono ogólną liczbę bakterii heterotroficznych na podłożu Bunta i Roviry z dodatkiem wyciągu glebowego i cyklohexamidu- $50\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Bunt i Rovira 1955) oraz grzybów mikroskopowych na podłożu Martina z dodatkiem streptomycyny – $50\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Martin 1950). Liczebność mikroorganizmów wyrażano w jednostkach tworzących kolonie (jtk) w przeliczeniu na kg suchej masy ściółki i gleby.

Próbki do analizy mezofauny glebowej pobierano wycinakiem glebowym o powierzchni 10 cm^2 do głębokości 10 cm. Tak pobrane walce gleby dzielono na dwie podpróby, umieszczane w osobnych pojemnikach: pierwszą obejmującą warstwę 0-5 cm (organiczną) oraz drugą obejmującą warstwę 5-10 cm (mineralną). Mezofaunę z prób glebowych wypłaszano w aparacie MacFadyena i konserwowano w 70% alkoholu etylowym.

Wyniki badań dotyczące wpływu intensywności pożaru oraz terminu na liczebność organizmów glebowych zweryfikowano jednoczynnikową analizą wariancji, grupy jednorodne wyróżniono testem Tukey'a dla $\alpha = 0,05$ stosując program Statgraphics ver. plus 4.1. Zależności między badanymi cechami oraz wielocechowe zróżnicowanie badanych obiektów oceniono stosując analizę składowych głównych (PCA).

3. Wyniki i dyskusja

Liczebność mikroorganizmów w glebie i ściółce zależała od terminu badań w poszczególnych obszarach badawczych, jak również od intensywności pożaru. W obszarze niewypalonym-kontrolnym nie wykazano istotnych różnic w liczebności bakterii w ściółce oraz w liczebności

grzybów mikroskopowych w obu badanych poziomach genetycznych gleby w zależności od terminu badań (tab. 2). Największą liczebność bakterii stwierdzono po upływie 2 miesięcy od działania ognia zarówno w warstwie organicznej jak i mineralnej gleby na powierzchniach objętych pożarem bez względu na jego intensywność. W miarę upływu czasu od żywołu liczebność bakterii uległa drastycznemu zmniejszeniu, natomiast liczebność grzybów mikroskopowych utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Wyniki badań są zgodne z literaturą przedmiotu, która wykazuje wzrost liczebności populacji bakterii w podłożu po pożarze, co jest wynikiem zmian właściwości fizyko-chemicznych środowiska m.in. wzrostu odczynu, zawartości składników mineralnych, które wpływają korzystnie na zwiększenie populacji bakterii (Cerda i Robichaud 2009, Badia i Marti 2003, Jokinen i in. 2006, Guerro i in. 2005). W kolejnych latach po pożarze dochodzi do zakwaszenia środowiska, wypłukiwania składników mineralnych, co przekłada się na istotne zmniejszenie liczebności bakterii (Grasso i in. 1996, Mataix-Solera i in. 2009) (tab. 2).

Porównując liczebność bakterii w ściółce w 2 miesiącu po pożarze, większą ich liczebność stwierdzono na powierzchniach objętych pożarem słabym i mocnym w porównaniu do powierzchni kontrolnej, podobne relacje - jednak nie istotne statystycznie - wykazano dla liczebności tych mikroorganizmów w warstwie mineralnej gleby. Zarówno w 14 jak i w 28 miesięcy po pożarze liczebność bakterii w badanych poziomach gleby nie różniła się istotnie (tab. 2). Liczebność grzybów mikroskopowych w ściółce była największa w 2 i w 14 miesiącu po pożarze, jednak nie istotna statystycznie na powierzchniach, które były objęte pożarem w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 2). Natomiast 28 miesięcy po pożarze, na powierzchniach kontrolnych stwierdzono odwrotne relacje w liczebności tej grupy mikroorganizmów w ściółce (tab. 2).

Tabela 2. Wpływ czasu od pożaru oraz intensywności pożaru na liczebność drobnoustrojów (jtk·10³·g suchej masy) na powierzchniach badawczych (grupy jednorodne – a, b wyróżniono testem Tukeya dla $\alpha = 0,05$; małe litery oznaczają porównania dla każdego obszaru badawczego między latami, duże litery oznaczają porównania pomiędzy obszarami badawczymi w każdym roku)

Table 2. The influence of the time of combustion and the intensity of the fire on the number of microorganisms (cfu·10³ g d.m.) on the surfaces of research (homogeneous groups – a, b distinguished by Tukey test for $\alpha = 0.05$), small letters indicate a comparison of each research area between years, capital letters mean comparisons between research areas each year

Powierzchnie badawcze	Czas od pożaru (miesiące)	Liczebność bakterii jtk·10 ⁶ ·kg ⁻¹ suchej masy		Liczebność grzybów mikroskopowych jtk·10 ⁶ ·kg ⁻¹ suchej masy	
		Poziom genetyczny			
		org.	min.	org.	min.
K – kontrola	2	1 726,7 a A	441,3 ab A	952,2 a A	94,8 a A
	14	1 892,7 a A	595,8 b A	1 432,5 a A	90,3 a A
	28	14 471,6 a A	132,4 a A	12 157,0 a A	114,6 a A
Sp – słaby pożar	2	22 625,0 b B	1 110,0 b A	2 113,8 a A	175,3 b A
	14	2 534,2 a A	470,8 a A	1 546,3 a A	83,3 a AB
	28	2 901,9 a A	94,9 a A	3 144,7 a A	100,9 ab A
Mp – mocny pożar	2	22 250,0 b B	1 176,8 b A	7 542,0 a A	280,0 a A
	14	1 981,7 a A	580,3 a A	1 941,7 a A	127,0 a B
	28	3 079,5 a A	127,5 a A	2 912,8 a A	122,0 a A

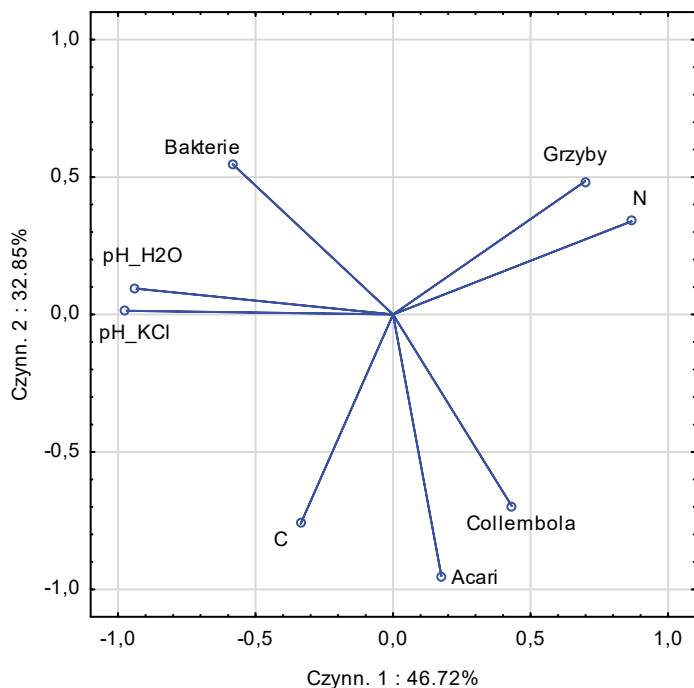
Mezofauna występowała przede wszystkim w warstwie organicznej gleby (tab. 3). Podobnie jak w przypadku mikroorganizmów, także na liczebność roztoczy i skoczogonek wpływał okres po pożarze oraz siła ognia. Zależność ta dotyczyła warstwy organicznej gleby, bowiem w warstwie mineralnej nie obserwowano różnic w liczebnościach mezofauny (tab. 3). W przypadku roztoczy na liczebność wpływał przede wszystkim czas po pożarze. Liczebności roztoczy (*Acari*) były większe na powierzchniach niewypalonych - kontrolnych w porównaniu z wypalonymi zarówno w 2. jak i w 14. miesiącu po pożarze, a różnice te zanikały po 28. miesiącach od żywiołu (tab. 3). W przypadku skoczogonek najniższe liczebności zanotowano na obszarach wypalonych powstałych wskutek mocnego pożaru po upływie 2. miesięcy, przy czym już po 14. miesiącach po pożarze były one podobne do tych notowanych na powierzchniach kontrolnych (tab. 3). Szczególnie interesująco kształtowały się liczebności tych bezkręgowców na powierzchniach wypalonych na skutek słabego pożaru. Liczebności skoczogonek na tych powierzchniach kształtowały się podobnie przez cały okres badań (tab. 3). Podobnie do roztoczy, także w przypadku skoczogonek zaobserwowano zbliżone liczebności zarówno na powierzchniach wypalonych jak i niewypalonych po 28. miesiącach od pożaru (tab. 3).

W warstwie organicznej gleby liczebności roztoczy (*Acari*) i skoczogonek (*Collembola*) były wyraźnie dodatnio skorelowane z zawartością węgla organicznego (C-org) i znacznie słabiej z zawartością azotu (N-org) i liczebnością grzybów oraz ujemnie skorelowane z odczynem gleby (pH) i liczebnością bakterii (rys. 1). Największe zróżnicowanie powierzchni badawczych pod względem badanych cech, czyli właściwości gleby (tj. zawartością C-org, N-org, pH) oraz liczebności mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mezofauny (*Acari* i *Collembola*) odnotowano w pierwszym roku badań czyli w 2 miesiące po pożarze (rys. 2). W miarę upływu czasu od pożaru (po 14. i 28. miesiącach) różnice między powierzchniami badawczymi ze względu na zależności między mikroorganizmami, mezofauną i właściwościami gleby zmniejszały się (rys. 2).

Tabela 3. Wpływ czasu od pożaru oraz intensywności pożaru na liczebność roztoczy (*Acari*) oraz skoczogonek (*Collembola*) ($N \cdot 10^3 \cdot m^{-2}$) na powierzchniach badawczych (grupy jednorodnie – a, b wyróżniono testem Tukeya dla $\alpha = 0,05$; małe litery oznaczają porównania dla każdego obszaru badawczego między latami, duże litery oznaczają porównania pomiędzy obszarami badawczymi w każdym roku)

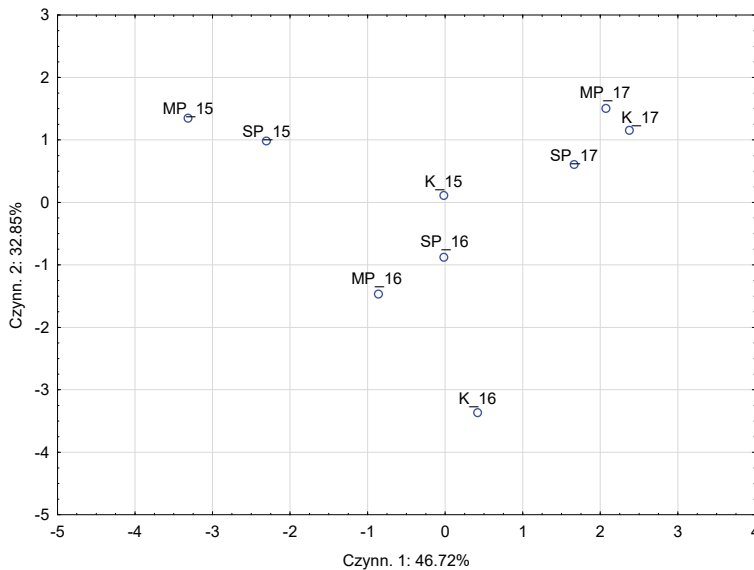
Table 3. The influence of the time of combustion and the intensity of the fire on Acari and Collembola ($N \cdot 10^3 \cdot m^{-2}$) on the surfaces of research (homogeneous groups – a, b distinguished by Tukey test for $\alpha = 0.05$), small letters indicate a comparison of each research area between years, capital letters mean comparisons between research areas each year

Powierzchnie badawcze	Czas od pożaru (miesiące)	Liczebność roztoczy (<i>Acari</i>) $N \cdot 10^3 \cdot m^{-2}$				Liczebność skoczogonek (<i>Collembola</i>) $N \cdot 10^3 \cdot m^{-2}$			
		org.		min.		org.		min.	
		Poziom genetyczny							
K – kontrola	2	5,53 a B	19,30 b AB	0,50 a A	0,27 a A	3,20 a B	12,67 a AB	0,10 a A	0,20 a A
	14	4,90 a A	2,83 a B	0,17 a A	2,07 a A	8,07 a A	1,63 a A	0,17 a A	0,20 a A
	28	7,33 b A	0,53 a A	0,07 a A	2,90 a A	3,87 a A	0,10 a A	0,17 a A	0,17 a A
Sp – słaby pożar	2	4,90 ab A	2,17 a A	0,07 a A	1,20 a A	0,77 a A	10,57 a A	0,17 a A	0,10 a A
	14	2,17 a A	9,73 b A	0,43 a A	0,07 a A	5,87 a A	0,17 a A	0,10 a A	0,20 a A
	28	2,17 a A	4,23 a A	0,07 a A	0,07 a A	0,77 a A	10,57 a A	0,17 a A	0,20 a A



Rys. 1. Zależność między badanymi cechami: właściwością gleb, liczebnością mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mezofauny (*Acari* i *Collembola*) w warstwie organicznej gleby, w obszarach badawczych dla całego okresu badań

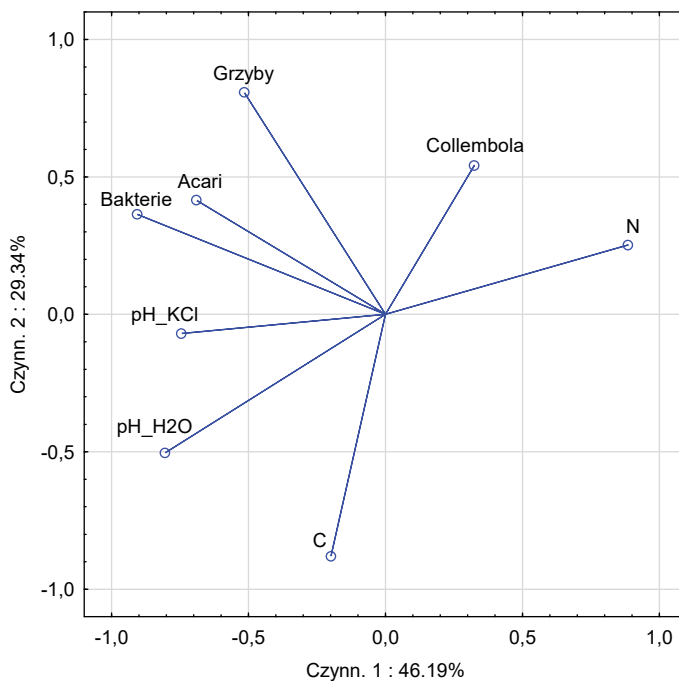
Fig. 1. The relationship between test features: a property of soil, microorganisms (bacteria and fungi), and mesofauna (*Acari* and *Collembola*) in the organic layer of the soil, research areas for the entire study period



Rys. 2. Zróżnicowanie powierzchni badawczych pod względem badanych cech: właściwości gleb (zawartości C, N, pH), liczebności mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mezofauny (*Acari* i *Collembola*) w organicznej warstwie gleby, w kolejnych latach badań; Mp – mocny pożar, Sp – słaby pożar, K – kontrola

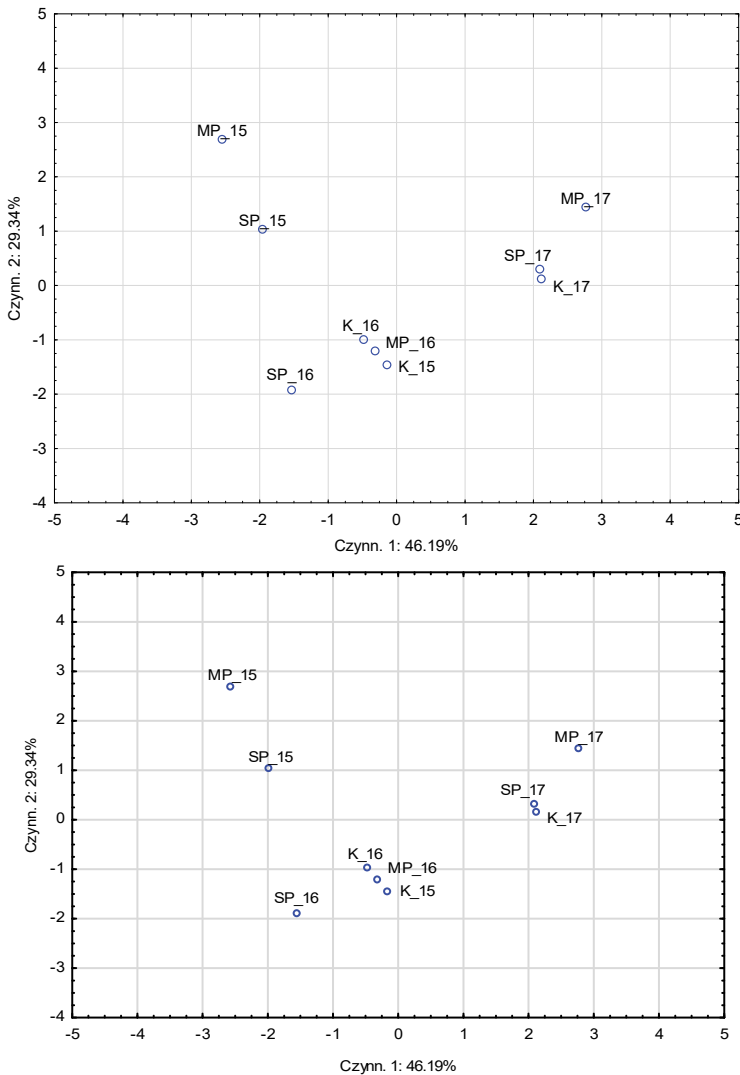
Fig. 2. Diversification of the research areas in terms of the studied traits: soil properties (C, N, pH), abundance of microorganisms (bacteria and fungi) and mezofauna (*Acari* and *Collembola*) in the organic soil layer in subsequent years of research; Mp – strong fire, Sp – weak fire, K – control

W warstwie mineralnej gleby liczebności roztoczy (*Acari*) były dodatnio skorelowane zarówno z obecnością bakterii jak i grzybów, a także pH oraz ujemnie skorelowane z zawartością azotu (N-og). *Collembola* były dodatnio powiązane z zawartością azotu (N-og) w glebie (rys. 3). Podobnie do warstwy organicznej gleby, największe zróżnicowanie poszczególnych obiektów (pożarzysk po słabym i mocnym pożarze oraz obszaru niewypalonego-kontrolnego) wykazano w 2 miesiące po pożarze pod względem wszystkich badanych cech tj. właściwości chemiczne gleby, liczebności mikroorganizmów i mezofauny. Podobnie jak w warstwie organicznej także w warstwie mineralnej, po upływie 14. i 28. miesięcy od żywiołu zanotowano zmniejszanie się różnic między powierzchniami badawczymi uwzględniając zależności między mikroorganizmami, mezofauną i właściwościami gleby (rys. 4).



Rys. 3. Zależność między badanymi cechami: właściwościami chemicznymi gleb, liczebnością mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mezofauny (*Acari* i *Collembola*) w warstwie mineralnej gleby, w obszarach badawczych dla całego okresu badań

Fig. 3. The relationship between tested features: chemical properties of the soil, number of microorganisms (bacteria and fungi), and mesofauna (*Acari* and *Collembola*) in the layer of mineral soil in research areas for the entire study period



Rys. 4. Zróźnicowanie powierzchni badawczych pod względem badanych cech: właściwości gleby (zawartości C, N, pH), liczebności mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mezofauny (*Acari* i *Collembola*) w warstwie mineralnej gleby, w kolejnych latach badań; Mp – mocny pożar, Sp – słaby pożar, K – kontrola

Fig. 4. Diversification of research areas in terms of the studied traits: soil properties (C, N, pH), abundance of microorganisms (bacteria and fungi) and mezofauna (*Acari* and *Collembola*) in the mineral soil layer, in subsequent years of research; Mp – strong fire, Sp – weak fire, K – control

Według literatury przedmiotu, reakcja mezofauny na pożary jest bardzo zróżnicowana. Niektórzy badacze notowali spadek liczebności tych bezkręgowców na obszarach wypalonych (Sgardelis i Margaritis 1993), podczas gdy inni nie stwierdzali zmian (Lussenhop 1976). Badacze skłaniają się ku stwierdzeniu, że na zmniejszenie liczebności mezofauny może mieć wpływ wypalenie ściółki, która stanowi miejsce życia mezofauny. Dress i Boerner (2004) stwierdzili wyraźny związek między liczebnością mezofauny a masą ściółki. Ściółka to także środowisko, gdzie przedstawiciele mezofauny mogą znaleźć pokarm (Malmström 2010). Roztocza i skoczogonki mogą odżywiać się różnorodnym pokarmem dlatego w tej grupie bezkręgowców wyróżniamy saprofagi, drapieżców jak również roślinożerców. Stąd zanotowane przez nas wielopoziomowe zależności między badanymi grupami mezofauny i mikroorganizmami mogą być z tym związane.

Zaobserwowany po 28. miesiącach od pożaru wzrost liczebności *Acari* i *Collembola* na obszarach wypalonych jest zgodny z badaniami Wikarsa i Schimmela (2001) oraz Colemana i Rieske (2006). Badacze Ci stwierdzili wzrost liczebności tych bezkręgowców w miarę upływu czasu od pożaru. Jednak Malmström i inni (2009) wykazali, że pełna regeneracja mezofauny na obszarze wypalonym w lasach borealnych, wymaga ponad pięciu lat od żywiołu. Badacze sugerują, że na regenerację zespołów mezofauny może mieć wpływ między innymi intensywność pożaru (Henig-Sever i in. 2001). Z intensywnością pożaru wiążą się nie tylko zmiany we właściwościach gleby i w społeczności mikroorganizmów lecz także stopień zniszczenia warstwy roślinnej, która zapewnia optymalny mikroklimat dla rozwoju mezofauny. Zatem na regenerację mezofauny może mieć wpływ tempo regeneracji roślinności.

Podczas analizowania regeneracji zespołów organizmów glebowych pożarzysk, nie należy zapominać o możliwości przemieszczania się tych organizmów. O ile bakterie właściwie nie mają zdolności aktywnego przemieszczania się (Richards 1987), to roztocza a zwłaszcza skoczogonki mogą przemieszczać się w ciągu tygodnia nawet kilka centymetrów (Ojala i Huhta 2001). Niemniej jednak większość organizmów glebowych przemieszcza się biernie wraz z wiatrem, wodą czy też na drodze forezji (Siepel 1994, Dighton i in. 1997). Można zatem przypuszczać, że zacieranie się różnic w liczebności mikroorganizmów i mezofauny pomiędzy badanymi powierzchniami wypalonymi i niewypalonymi wynikało z kolonizowania wypalonych obszarów przez organizmy przemieszczające się z sąsiadujących obszarów niewypalonych.

Wnioski

- Upływ czasu od pożaru oraz siła ognia nie wpływa jednoznacznie na rekolonizację gleby mineralnej i ściółki przez mikroorganizmy hodowlalne.
- Wydaje się, że regeneracja liczebności zespołów mezofauny następuje wraz z upływem czasu od pożaru. Jednakże nie zaobserwowano jednoznacznego wpływu siły pożaru na liczebność bezkręgowców glebowych.
- Wyniki badań prezentowane w artykule potwierdzają konieczność prowadzenia dalszych analiz glebowych dla oceny właściwości biologicznych gleb na pożarzyskach.

Badania zrealizowano w ramach zadania badawczego „Właściwości fizyczne, chemiczne gleb, różnorodność roślin, grzybów, mikrofauny na pożarzysku w Palmirach w Kampinoskim Parku Narodowym – etap II” dofinansowanego ze środków Funduszu Leśnego PGL LP w 2017 roku.

Literatura

- Badia, D., Marti, C. (2003). Effect of simulated fire on organic matter and selected microbiological properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17, 55-69.
- Biały, K., Brożek, S., Chojnicki, J., Czępińska-Kamińska, D., Januszek, K., Kowalkowski, A., Krzyżanowski, A., Okołowicz, M., Sienkiewicz, A., Skiba, S., Wójcik, J., Zielony, R. (2000). *Klasyfikacja gleb leśnych Polski*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 1-123.
- Bunt, Y.S., Rovira, A.D. (1955). Microbiological studies of some subarctic soils. *Journal of Soil Sciences*, 6, 119-128.
- Cerdá A., Robichaud, P.R. (2009). *Fire effects on soils and restoration strategies*. Wyd. Taylor and Francis Ltd, 589.
- Certin, G., (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10. DOI 10.1007/s00442-004-1788-8.
- Coleman, T.W., Rieske, L.K. (2006). Arthropod response to prescription burning at the soil-litter interface in oak-pine forests. *Forest Ecological Management*, 233, 52-60.
- Čuchta, P., Miklisová, D., Kováč, L. (2012). Changes within collembolan communities in windthrown European montane spruce forests 2 years after disturbance by fire. *Annals of Forest Science*, 69, 81-92.

- Dighton, J., Jones, H.E., Robinson, C.H., Beckett, J. (1994). The role of abiotic factors, cultivation practices and soil fauna in the dispersal of genetically modified microorganisms in soils. *Applied Soil Ecology*, 5, 109-131.
- Dress, W.J., Boerner, R.E.J. (2004). Patterns of microarthropod abundance in oak-hickory forest ecosystems in relation to prescribed fire and landscape position. *Pedobiologia*, 48, 1-8.
- Grasso, G.M., Ripabelli, G., Sammarco, M.L., Mazzoleni, S. (1996). Effects of heating on the microbial populations of grassland soil. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 67-70.
- Guerro, C., Mataix-Solera, J., Gómez, I., García-Orenes, F., Jordán, M.M. (2005). Microbial recolonization and chemical changes in soil heated at different temperatures. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 385-400.
- Hauke-Pacewiczowa, T., Trzcińska M., (1980). Wpływ pożaru dna lasu na aktywność mikrobiologiczną gleby, *Roczniki Gleboznawcze XXXI*, 2, 33-41.
- Henig-Sever, N., Poliakov, D., Broza, M. (2001). A novel method for estimation of wild fire intensity based on ash pH and soil microarthropod community. *Pedobiologia*, 45, 98-106.
- Holden, S.R., Rogers, B.M., Treseder, K.K., Randerson, J.T., (2016). LETTER-Fire severity influences the response of soil microbes to a boreal forest fire. *Environmental Research Letters*, 11 035004, doi:10.1088/1748-9326/11/3/0350.
- Jokinen, H.K., Kiiikkilä, O., Fritze, H. (2006). Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2285-2291.
- Kim, JW, Jung, C (2008). Abundance of soil microarthropods associated with forest fire severity in Samcheok, Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 11, 77-81.
- Lussenhop, J. (1976). Soil arthropod response to prairie burning. *Ecology*, 57, 88-98.
- Malmström, A. (2010). The importance of measuring fire severity-Evidence from microarthropod studies. *Forest Ecological Management*, 260, 62-70.
- Malmström, A., Perrson, T., Ahlström, K., Gongalsky, K.B., Bengtsson, J. (2009). Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. *Applied Soil Ecology* 43, 61-74.
- Martin, J.P. (1950). Use of acide rose Bengal and steptomycin in the plate method for estimating of fungi. *Soil Sciences*, 69, 215-233.
- Mataix-Solera, J., Barcenas-Moreno, G., Garcia-Orenes, F., (2009). Forest fire effects on soil microbiology, <http://www.researchgate.net/publication/1229163976>, DOI:101201/9781439843338-c5.
- Ojala, R., Huhta, V. (2001). Dispersal of microarthropods in forest soil. *Pedobiologia*, 45, 443-450.

- Olejniczak, I., Górska, E.B., Kondras, M., Oktaba, L., Gozdowski, D., Jankiewicz, U., Prędecka, A., Dobrzyński, J., Otręba, A., Tyburski, L., Mickiewicz, M., Hewelke, E. (2017) Pożar – czynnik kształtujący liczebność mikroorganizmów i mezofauny w glebach leśnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 19, 511-526.
- Richards, B.N. (1987). *The Microbiology of Terrestrial Ecosystems*. Longman Group UK, Signapore, 399.
- Sgardelis, S.P., Margaris, N.S. (1993). Effects of fire on soil microarthropods of a phryganic ecosystem. *Pedobiologia*, 37, 83-94.
- Siepel, H. (1994). Life-history tactics of soil microarthropods. *Biology and Fertility of Soils*, 18, 263-278.
- Sileshi, G., Mafongoya, P.L. (2006). The short-term impact of forest fire on soil invertebrates in the miombo. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3153-3160.
- Smith N. R., Kishchuk B. E., Mohn W.W. (2008). Effects of wildfire and harvest disturbances on forest soil bacterial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 216-224.
- Wikars, L.O., Schimmel, J. (2001). Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. *Forest Ecological Management*, 141, 189-200.
- Zaniewski, P.T., Otręba, A. (2017). Reakcja roślinności runa na pożar pokrywy gleby w zespole *Peucedano-Pinetum* W. Mat. (1962) 1973 w Kampinoskim Parku Narodowym, *Sylwan* 161(12), 991-1001.

Long-Term Reaction of Microorganisms and Mezofauna to Fires Forest Soils of Anthropogenic Origin

Abstract

Fires in forests apart from human losses for the economy, drastically change the properties of abiotic and biotic forest environment in both time and space. As a result of the fire, there is a decrease in the number and taxonomic diversity of soil microorganisms and mesofauna, which has a significant impact on the formation of metabolism of soil ecosystems. The aim of this study was to evaluate the dynamics of changes in the number of microorganisms and soil mesofauna in soil and litter depending on the intensity of the fire, as well as the period of time after the fire. The study was conducted in the north-eastern part of the Kampinos National Park. The study included areas burnt – resulting from a "strong" (Mp) and "weak" (Sp) fire, and the adjacent areas unfired – controlled 2, 14 and 28 months after the fire that took place in June 2015. Based on the obtained results, it was found that the intensity of the fire, as well as the time elapsing from the fire, shapes the population of bacteria, microscopic fungi

and mezofauna in the soil. The results of the research indicate slow regeneration of microorganism and mesofauna assemblages during firefighting. Regeneration and species diversity are affected by unburnt areas adjacent to a fire.

Streszczenie

Požary w lasach, poza stratami dla gospodarki człowieka, zmieniają drastycznie właściwości abiotyczne i biotyczne środowiska leśnego zarówno w czasie jak i przestrzeni. W wyniku pożaru obserwuje się spadek liczebności oraz różnorodności taksonomicznej mikro- i mezofauny glebowej co ma niebagatelny wpływ na kształtowanie metabolizmu ekosystemów glebowych. Celem podjętych badań była ocena dynamiki zmian liczebności mikroorganizmów i mezofauny glebowej w glebie i ściółce w zależności od intensywności pożaru jak również od okresu czasu po pożarze. Badania przeprowadzono w północno-wschodniej części Kampinoskiego Parku Narodowego. Badaniami objęto obszary wypalone – powstałe na skutek „mocnego”(Mp) i „słabego”(Sp) pożaru, oraz sąsiadujące z nimi obszary niewypalone – kontrolowane w 2., 14. i 28. miesiącu po pożarze który miał miejsce w czerwcu 2015 r. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że intensywność pożaru jak również czas upływający od żywiołu kształtuje liczebność populacji bakterii i grzybów mikroskopowych oraz mezofauny w glebie. Wyniki badań wskazują na powolną regenerację zespołów mikroorganizmów i mezofauny na pożarzyskach. Na tempo regeneracji i różnorodność gatunkową wpływ mają obszary niewypalone sąsiadujące z pożarzyskiem.

Słowa kluczowe:

pożary pochodzenia antropogenicznego,
liczebność mikroorganizmów, mezofauna, gleby leśne

Keywords:

fires of anthropogenic origin, number of microorganisms,
mesofauna, forest soils