PROGRESS IN PLANT PROTECTION
66 (3): 129–135, 2026
eISSN 2084-4883

DOI: 10.14199/ppp-2026-012
Published online: 30.09.2026

Received: 29.08.2026 / Accepted: 28.09.2026

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Analiza występowania grzybów entomopatogenicznych w glebach terenów przemysłowych miasta Siedlce

Analysis of the occurrence of entomopathogenic fungi in the soils of industrial areas in the city of Siedlce

Anna Majchrowska-Safaryan*, Ewa Szymońska

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań było określenie składu rodzajowego oraz nasilenia występowania grzybów entomopatogenicznych w glebach pobranych z terenów przemysłowych zlokalizowanych na terenie miasta Siedlce. Materiał do badań stanowiły próbki glebowe pobrane w 2025 roku z siedmiu powierzchni badawczych w dwóch terminach: wiosna i jesień. Grzyby entomopatogeniczne izolowano za pomocą wysiewu roztworów glebowych na podłoże hodowlane. Wyniki wyrażono w postaci liczby jednostek tworzących kolonie poszczególnych rodzajów grzybów entomopatogenicznych w 1 g suchej gleby. Badania przeprowadzone w terminie wiosennym i jesiennym wykazały w pobranych próbkach glebowych występowanie czterech rodzajów grzybów entomopatogenicznych: *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Cordyceps* spp. i *Akanthomyces* spp. Dominującym rodzajem grzybów entomopatogenicznych wyizolowanych z badanych gleb, zarówno w jesiennym, jak i wiosennym terminie badań był rodzaj *Metarhizium* spp., który wytworzył kolonie w próbkach gleby pobranych ze wszystkich stanowisk badawczych.

Słowa kluczowe: miejskie tereny przemysłowe, antropopresja, ekologia miasta, grzyby entomopatogeniczne

Abstract

The aim of the study was to determine the generic composition and prevalence of entomopathogenic fungi in soils collected from industrial areas located in the city of Siedlce. The study material consisted of soil samples collected in 2025 from seven study plots in two periods: spring and autumn. Entomopathogenic fungi were isolated by sowing soil solutions onto a culture medium. Results were expressed as the number of colony-forming units of individual entomopathogenic fungi genera in 1 g of dry soil. The studies conducted in spring and autumn showed the presence of four types of entomopathogenic fungi in the collected soil samples: *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Cordyceps* spp., and *Akanthomyces* spp. The dominant type of entomopathogenic fungi isolated from the tested soils in both autumn and spring was the genus *Metarhizium* spp., which formed colonies in the soil samples collected from all research sites.

Keywords: urban industrial areas, anthropopressure, urban ecology, entomopathogenic fungi

Uniwersytet w Siedlcach
Wydział Nauk Rolniczych, Instytut Rolnictwa i Ogrodnictwa
ul. Bolesława Prusa 14, 08-110 Siedlce
* corresponding author: anna.majchrowska-safaryan@uws.edu.pl

Wstęp / Introduction

Grzyby entomopatogeniczne to wąska grupa około 3000 poznanych dotychczas mikroorganizmów pasożytujących na stawonogach, która wykazuje w swoim rozwoju chorobotwórcze właściwości wobec określonych grup i gatunków owadów, w konsekwencji prowadząc do zachwiania ich prawidłowych procesów fizjologicznych, a ostatecznie powodując ich śmierć (Bałazy 2004; Sosnowska 2005; Tkaczuk i wsp. 2014; Lu i St. Leger 2016; Jaronski 2023). U większości grzybów entomopatogenicznych cykl życiowy składa się z fazy rozwoju grzybni na powierzchni zainfekowanego owada oraz następującej po niej fazy pączkowania, odbywającej się w jamach ciała (głównie w hemolimfie) żywiciela. Szereg czynników, takich jak warunki wodne, stan fizjologiczny żywiciela, temperatura, czy rodzaj gleby mają wpływ na rozwój zarodników i grzybni (Augustyniuk-Kram 2010; Augustyniuk-Kram i Kram 2012). Mikroorganizmy te występujące w środowisku naturalnym, jak i przekształconym przez działalność człowieka, zarówno w przestrzeni rolniczej, jak i miejskiej przyczyniają się do istotnego ograniczenia liczebności szkodliwych owadów. Potencjał ten coraz częściej wykorzystywany jest w biologicznych metodach ochrony roślin. Grzyby te stanowią stosunkowo bezpieczny dla środowiska i człowieka zamiennik chemicznych insektycydów, wpisując się w działania zintegrowanej ochrony przed szkodnikami.

Tereny przemysłowe, a obecnie również poprzemysłowe stanowią istotny element struktury funkcjonalno-przestrzennej miast w Polsce, ukształtowany w wyniku procesów industrializacji oraz historycznych uwarunkowań rozwoju urbanistycznego. Ich lokalizacja była determinowana przede wszystkim dostępnością infrastruktury transportowej, w szczególności linii kolejowych oraz głównych ciągów komunikacyjnych, a także dostępem do zasobów surowcowych i zaplecza siły roboczej (Domański 2001; Pancewicz 2012). Obecnie tereny poprzemysłowe przekształcane są w tereny rekreacyjne, ogólnoużytkowe dla mieszkańców miast, które wymagają odpowiedniego zagospodarowania, a także wprowadzenia jak najbardziej bezpiecznej dla społeczeństwa ochrony roślin. Ochrona ta w przestrzeni miejskiej to działania mające na celu utrzymanie zdrowego i odpornego drzewostanu oraz krzewów w trudnych warunkach zurbanizowanych (np. zanieczyszczenia, susza, ubita gleba). Kluczowe jest stosowanie metod integrowanej ochrony (np. walka biologiczna) i odpowiednia pielęgnacja pod nadzorem ekspertów.

Badania nad występowaniem grzybów entomopatogenicznych w środowisku miejskim zyskują na popularności. Przykładem takich działań jest projekt realizowany przez Uniwersytet Łódzki i Uniwersytet w Zagrzebiu w ramach platformy Science Hub UniLodz (edycja UNIC), we współpracy z partnerem instytucjonalnym. Celem tej inicjatywy jest zmapowanie obecności tych grzybów w miastach oraz ocena ich potencjału jako naturalnych regulatorów szkodliwych populacji owadzich, co ma kluczowe znaczenie dla przyszłości miast poprzemysłowych (Projekt Science Hub UniLodz, 2026).

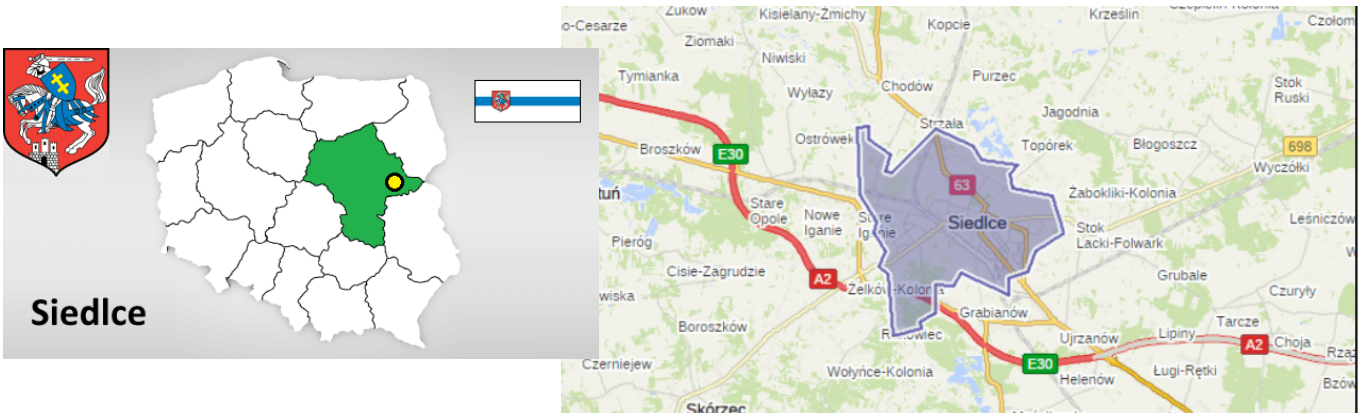
Występowanie grzybów entomopatogenicznych w glebach terenów przemysłowych i poprzemysłowych przestrzeni miejskiej jest stosunkowo słabo poznane i opisane.

Celem przeprowadzonych badań było określenie składu rodzajowego oraz nasilenia występowania grzybów entomopatogenicznych w glebach pobranych z terenów przemysłowych zlokalizowanych na terenie miasta Siedlce.

Materiały i metody / Materials and methods

Lokalizacja powierzchni badawczych

Materiał do badań stanowiły próbki glebowe pobrane w 2025 roku z siedmiu powierzchni badawczych zlokalizowanych na terenie miasta Siedlce, w województwie mazowieckim (rys. 1). Charakterystykę powierzchni badawczych przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Lokalizacja miasta Siedlce (źródło: https://paczka-wiedzy.pl/siedlce-ciekawostki/)
Fig 1. Location of the city of Siedlce (source: https://paczka-wiedzy.pl/siedlce-ciekawostki/)

Tabela 1. Opis powierzchni badawczych
Table 1. Description of the research areas

Numer próbki glebowej Soil sample number	Miejsce pobrania próbki glebowej Location of soil sample collection	Współrzędne geograficzne Geographic coordinates	Roślinność Plants
1	oczyszczalnia ścieków, Siedlce sewage treatment plant, Siedlce	52°11'19"N 22°15'23"E	trawnik grass
2	teren zdegradowany przy oczyszczalni ścieków, Siedlce degraded area near the sewage treatment plant, Siedlce	52°11'16"N 22°15'80"E	odpady budowlane, gruz, resztki roślin construction waste, rubble, plant remains
3	grunt orny (przy oczyszczalni ścieków, tereny poprzemysłowe), Siedlce arable land (near the sewage treatment plant, post-industrial areas), Siedlce	52°11'21"N 22°15'11"E	kukurydza maize
4	zakład produkcyjny – Drosed, Siedlce production plant – Drosed, Siedlce	52°11'12"N 22°16'31"E	trawnik grass
5	obwodnica miasta, Siedlce city bypass, Siedlce	52°10'59"N 22°16'33"E	łąka kośna hay meadow
6	zakład produkcyjny – Mostostal, Siedlce production plant – Mostostal, Siedlce	52°10'59"N 22°17'30"E	trawnik grass
7	warsztat samochodowy – Nowy Świat, Siedlce car repair shop – Nowy Świat, Siedlce	52°10'33"N 22°15'52"E	nieużytek wasteland

W każdej lokalizacji próbki gleby do badań pobierano w dwóch terminach: wiosennym i jesiennym z siedmiu miejsc za pomocą laski glebowej do głębokości 20 cm. Za każdym razem, po zmianie stanowiska poboru prób, laskę glebową dezynfekowano w 70% roztworze etanolu. Z tak pobranych próbek sporządzono próbę mieszaną stanowiącą próbę badawczą, którą przechowywano do rozpoczęcia analiz w workach plastikowych w temperaturze 0–4°C. W badanej glebie określono dodatkowo pH w 1 mol KCl (tab. 2).

Tabela 2. pH badanych gleb
Table 2. pH of the tested soils

Numer próbki glebowej Soil sample number	pH gleb – pH of soils	
	wiosna – spring 2025	jesień – autumn 2025
1	4,49	4,31
2	3,95	3,84
3	5,30	5,52
4	4,18	3,96
5	4,95	5,12
6	4,90	4,97
7	5,07	5,98

Izolacja grzybów

Grzyby entomopatogeniczne izolowano za pomocą wysiewu roztworów glebowych na podłoże hodowlane, opracowane przez Strassera i wsp. (1996). Do badań laboratoryjnych wykorzystano podłoże selektywne o następującym składzie: 20 g glukozy, 10 g peptonu i 18 g agaru, które rozpuszczono w 1 litrze wody dejonizowanej, a następnie sterylizowano w autoklawie w temperaturze 120°C przez 20 minut. Do tak przygotowanego podłoża schłodzonego do temperatury 50°C dodano następujące składniki selektywne: 0,6 g streptomycyny; 0,05 g tetracykliny; 0,05 g cykloheksamidu i 0,1 g dodyny.

Z każdej uśrednionej próbki glebowej pobranej z danego stanowiska badawczego odważono 2 g gleby i dodano 18 ml wody dejonizowanej z dodatkiem 0,05% Triton X-100. Przygotowane roztwory glebowe w ilości 0,1 ml przeniesiono za pomocą automatycznej pipety na powierzchnie podłoża selektywnego. Szalki Petriego umieszczono w inkubatorach w temperaturze 22°C i po upływie 8–10 dni liczono kolonie poszczególnych rodzajów grzybów. Doświadczenie wykonano w czterech powtórzeniach dla każdej próbki glebowej. Wyniki wyrażono w postaci liczby jednostek tworzących kolonie (jtk) poszczególnych rodzajów grzybów entomopatogenicznych w 1 g suchej gleby. Grzyby były identyfikowane do rodzaju na podstawie charakterystyki morfologicznej prowadzonej w oparciu o sporządzane preparaty mikroskopowe (wielkość, kształt zarodników i komórek zarodnikotwórczych) z wykorzystaniem standardowych kluczy (Humber 2012; Inglis i wsp. 2012). Do rozpoznawania rodzajów grzybów entomopatogenicznych używano mikroskopu Nikon Eclipse E 600, z kontrastem fazowym.

Obliczenia statystyczne

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem programu Statistica 13.3 TIBCO Software Inc. Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) czynników głównych i post-hoc test Tukeya. Wyliczone średnie połączono w jednorodne grupy na poziomie istotności $\alpha < 0,05$. Obliczono odchylenie standardowe.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Badania przeprowadzone w terminie wiosennym i jesiennym wykazały w pobranych próbkach glebowych występowanie czterech rodzajów grzybów entomopatogenicznych: *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Cordyceps* spp. i *Akanthomyces* spp. (tab. 3, 4). W dostępnej literaturze naukowej

Tabela 3. Zidentyfikowane rodzaje grzybów entomopatogenicznych i zagęszczenie ich jednostek tworzących kolonie (jtk × $10^3 g^{-1}$) w badanych glebach (wiosna 2025)
Table 3. Identified genera of entomopathogenic fungi and the density of their colony-forming units (CFU × $10^3 g^{-1}$) in the tested soils (spring 2025)

Numer próbki glebowej Soil sample number	Rodzaje grzybów entomopatogenicznych Genera of entomopathogenic fungi			
	Beauveria spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.	*Akanthomyces* spp.
1	0,87 ±0,25 a	0,87 ±0,85 b	0,75 ±0,29 a	0,25 ±0,19 bc
2	0,12 ±0,25 b	0,5 ±0,70 b	0,0 ±0,0 a	0,37 ±0,17 bc
3	0,25 ±0,28 ab	3,5 ±0,81 a	0,12 ±0,25 a	1,25 ±0,57 ab
4	0,5 ±0,0 ab	0,37 ±0,17 b	0,0 ±0,0 a	1,5 ±0,0 a
5	0,5 ±0,4 ab	0,5 ±0,40 b	0,0 ±0,0 a	0,87 ±0,49 b
6	0,12 ±0,25 b	0,5 ±0,40 b	0,0 ±0,0 a	0,87 ±0,49 b
7	0,5 ±0,0 ab	0,25 ±0,14 b	0,0 ±0,0 a	0,5 ±0,0 bc
Wartość F F value	47,324	72,973	5,897	108,639
Wartość P P value	< 0,001	< 0,001	0,021	< 0,001

± – odchylenie standardowe – standard deviation
abc – średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie przy $\alpha < 0,05$ – means in columns containing the same lowercase letters are not significant at $\alpha < 0.05$

Tabela 4. Zidentyfikowane rodzaje grzybów entomopatogenicznych i zagęszczenie ich jednostek tworzących kolonie (jtk × $10^3 g^{-1}$) w badanych glebach (jesień 2025)
Table 4. Identified genera of entomopathogenic fungi and the density of their colony-forming units (CFU × $10^3 g^{-1}$) in the tested soils (autumn 2025)

Numer próbki glebowej Soil sample number	Rodzaje grzybów entomopatogenicznych Genera of entomopathogenic fungi			
	Beauveria spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.	*Akanthomyces* spp.
1	0,12 ±0,25 ab	2,25 ±0,64 a	0,62 ±0,25 a	0,5 ±0,29 bc
2	0,37 ±0,21 ab	2,0 ±0,70 a	0,0 ±0,0 a	0,37 ±0,25 bc
3	0,62 ±0,21 a	2,37 ±0,25 a	0,12 ±0,25 a	2,5 ±0,29 a
4	0,0 ±0,0 b	1,37 ±0,48 b	0,0 ±0,0 a	0,75 ±0,21 bc
5	0,63 ±0,42 a	1,62 ±0,63 b	0,0 ±0,0 a	0,62 ±0,34 bc
6	0,37 ±0,25 ab	0,13 ±0,09 c	0,0 ±0,0 a	0,0 ±0,0 c
7	0,37 ±0,25 ab	0,12 ±0,14 c	0,0 ±0,0 a	1,12 ±0,48 b
Wartość F F value	46,545	211,630	6,681	126,750
Wartość P P value	< 0,001	< 0,001	0,015	< 0,001

± – odchylenie standardowe – standard deviation
abc – średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie przy $\alpha < 0,05$ – means in columns containing the same lowercase letters are not significant at $\alpha < 0.05$

wielu autorów potwierdza dominację występowania w glebach Polski i Europy wyżej wymienionych rodzajów grzybów, należą do nich m.in.: Keller i Zimmermann (1989), Augustyniuk-Kram (2010), Bourceret i wsp. (2016), Gałązka i wsp. (2020), Mantzoukas i wsp. (2020, 2026), Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk (2021) oraz Tkaczuk i wsp. (2025).

Przeprowadzone badania wykazały, że grzyby z rodzaju *Metarhizium* spp., zarówno w terminie wiosennym, jak i jesiennym prowadzonych badań tworzyły najwięcej jtk w glebach badanych stanowisk. Największą liczbę jtk grzybów entomopatogenicznych z rodzaju *Metarhizium* spp. stwierdzono na obiekcie badawczym nr 3, który stanowił grunt orny (kukurydza) zlokalizowany przy oczyszczalni ścieków (odpowiednio: wiosna 3,50 jtk × 10^3g^{-1}; jesień 2,37 jtk × 10^3g^{-1}). Grzyby tego rodzaju w stosunku do pozostałych stanowisk badawczych tworzyły co najmniej cztery razy więcej jtk. Najmniej jtk grzybów tego rodzaju oznaczono w próbkach glebowych pobranych ze stanowiska nr 7 (odpowiednio: wiosna 0,25 jtk × 10^3g^{-1}, jesień 0,12 jtk × 10^3g^{-1}). Stanowisko to, to teren warsztatu samochodowego, gdzie gleby mogą być zanieczyszczone olejami samochodowymi oraz innymi zanieczyszczeniami związanymi z rodzajem prowadzonej działalności. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotne statystycznie różnice w nasileniu występowania oznaczonego rodzaju grzybów entomopatogenicznych w zależności od stanowiska badawczego.

Grzyby z rodzaju *Metarhizium* spp., a głównie *Metarhizium anisopliae* wykazują wysoką tolerancję, zarówno w stosunku do warunków gleb terenów miejskich (Tkaczuk i wsp. 2025; Mantzoukas i wsp. 2026) oraz w stosunku do stosowanych zabiegów rolniczych w glebach uprawnych (Majchrowska-Safaryan i wsp. 2023), jak i czasowego braku potencjalnych żywicieli (Vänninen 1996; Tkaczuk 2008). Badania własne wykazały również, że grzyby tego rodzaju znajdują także dogodne warunki do tworzenia jtk w glebach stanowisk intensywnie przekształconych antropogenicznie i zagospodarowanych przemysłowo.

Występowanie grzybów z rodzaju *Beauveria* spp. w terminie wiosennym stwierdzono w próbkach glebowych ze wszystkich stanowisk, a wartości oznaczonych jednostek tworzących kolonie oscylowały w granicach od 0,12 jtk × 10^3g^{-1} do 0,87 jtk × 10^3g^{-1}. W obydwu tych przypadkach próbki glebowe zostały pobrane z wieloletnich trawników zlokalizowanych odpowiednio na terenie przy oczyszczalni ścieków oraz przy zakładzie produkcyjnym Mostostal. Obecności jednostek tworzących kolonie grzybów z rodzaju *Beauveria* spp. w terminie jesiennym nie stwierdzono w próbkach glebowych pobranych ze stanowiska badawczego nr 4, które stanowiły tereny przy zakładzie produkcyjnym Drosed. W pozostałych próbkach glebowych wyniki potwierdziły obecność tych grzybów, a liczba jednostek tworzących kolonie kształtowała się od 0,12 jtk × 10^3g^{-1} w przypadku oczyszczalni ścieków do 0,63 jtk × 10^3g^{-1} dla gleby pobranej z łąki kośnej położonej przy obwodnicy miasta, i różnice te były istotne statystycznie. Badania przeprowadzone przez Tkaczuka i wsp. (2025) wykazały, że dominującymi rodzajami grzybów entomopatogenicznych, charakteryzującymi się najwyższą liczebnością jtk w glebach pasów kwietnych oraz przyległych trawników w przestrzeni miejskiej były *Metarhizium* spp. i *Beauveria* spp., co może świadczyć o ogólnej dominacji występowania tych grzybów w przestrzeni miejskiej. Okrasińska i wsp. (2022) podają, że w glebach zanieczyszczonych metalami ciężkimi, z terenów Polski i Iranu, a także w glebach które wskazywały obecność olejów mineralnych, benzyny, BTEX, WWA i rtęci stwierdzono obecność grzybów owadobójczych z rzędu Ascomycota, *Metarhizium* spp. i *Beauveria* spp. Potwierdzają to również badania Goli i wsp. (2016).

Grzyby entomopatogeniczne z rodzaju *Akanthomyces* spp. w terminie wiosennym najwięcej jtk tworzyły w glebie pobranej z trawnika przy zakładzie produkcyjnym Drosed, a w terminie jesiennym na gruncie ornym przy oczyszczalni ścieków (odpowiednio 1,5 i 2,5 jtk × 10^3g^{-1}). W przypadku grzybów *Akanthomyces* spp. w przeciwieństwie do wiosennego terminu, jesienią nie stwierdzono jednostek tworzących kolonie tego rodzaju w glebie przy zakładzie produkcyjnym Mostostal. Należy tutaj nadmienić, iż rodzaj ten w glebach badanych stanowisk zlokalizowanych na terenach przemysłowych miasta Siedlce tworzył stosunkowo wysoką liczbę jtk w stosunku do rodzaju *Beauveria* i *Metarhizium*, a różnice nasilenia występowania między badanymi stanowiskami były istotne statystycznie.

Grzyby z rodzaju *Cordyceps* spp., zarówno w terminie wiosennym, jak i jesiennym wyizolowano jedynie z próbek glebowych dwóch badanych stanowisk, wieloletniego trawnika zlokalizowanego przy oczyszczalni ścieków oraz gruntu uprawnego przy oczyszczalni ścieków. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotne statystycznie różnice nasilenia występowania oznaczonych rodzajów grzybów w zależności od badanego stanowiska z wyjątkiem rodzaju *Cordyceps* spp. (tab. 3, 4).

Wnioski / Conclusions

1. W glebach pobranych z terenów przemysłowych w obydwu terminach badań stwierdzono występowanie grzybów entomopatogenicznych z rodzajów: *Beauveria*, *Metarhizium*, *Akanthomyces* oraz *Cordyceps*. Dominującym rodzajem grzybów entomopatogenicznych wyizolowanym z badanych gleb, zarówno w jesiennym, jak i wiosennym terminie badań był rodzaj *Metarhizium* spp., który wytworzył kolonie w próbkach gleby pobranych ze wszystkich stanowisk badawczych.

2. Największe nasilenie występowania grzybów z rodzaju *Metarhizium* spp. stwierdzono na gruncie ornym zlokalizowanym przy oczyszczalni ścieków, który stanowił punkt odniesienia (kontrolę) dla badanych terenów przemysłowych. Interesująca jest obecność rodzaju *Beauveria* spp. na obszarach przemysłowych, ponieważ środowisko to potencjalnie nie sprzyja tworzeniu jednostek tworzących kolonie przez te mikroorganizmy.
3. Wyniki badań przeprowadzonych na stanowiskach podlegających degradacji oraz na gruncie ornym nie dają jednoznacznej odpowiedzi, która świadczyłaby o tym, że intensywna produkcja przemysłowa ogranicza występowanie grzybów entomopatogenicznych na terenach miejskich.

Literatura / References

Augustyniuk-Kram A. 2010. Organizmy pożyteczne w strategiach biologicznego zwalczania – grzyby owadobójcze. Studia Ecologiae et Bioethicae 8 (1): 45–54.

Augustyniuk-Kram A., Kram K.J. 2012. Entomopathogenic fungi as an important natural regulator of insect outbreaks in forests. s. 265–294. W: Forest Ecosystems – More than Just Trees (J.A. Blanco, Y.-H. Lo, red.). IntechOpen Limited, London, 482 ss. ISBN 978-953-51-0202-1. DOI: 10.5772/30596

Bałazy S. 2004. Znaczenie obszarów chronionych dla zachowania zasobów grzybów entomopatogenicznych. Kosmos 53 (1): 5–16.

Bourceret A., Cébron A., Tisserant E., Poupin P., Bauda P., Beguiristain T., Leyval C. 2016. The bacterial and fungal diversity of an aged PAH- and heavy metal-contaminated soil is affected by plant cover and edaphic parameters. Microbial Ecology 71: 711–724. DOI: 10.1007/s00248-015-0682-8

Domański B. 2001. Przekształcenia terenów poprzemysłowych w województwach śląskim i małopolskim – prawidłowości i uwarunkowania. Prace Komisji Geografii Przemysłu PTG 3: 51–59.

Gałązka A., Grządziel J., Gałązka R., Gawryjołek K., Ukalska-Jaruga A., Smreczak B. 2020. Fungal community, metabolic diversity, and glomalin-related soil proteins (GRSP) content in soil contaminated with crude oil after long-term natural bioremediation. Frontiers in Microbiology 11: 572314. DOI: 10.3389/fmicb.2020.572314

Gola D., Dey P., Bhattacharya A., Mishra A., Malik A., Namburath M., Ahammad S.Z. 2016. Multiple heavy metal removal using an entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. Bioresource Technology 218: 388–396. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.06.096

Humber A.R. 2012. Identification of entomopathogenic fungi. s. 151–187. W: Manual of Techniques in Invertebrate Pathology, 2nd edition (L.A. Lacey, red.). Academic Press, London, 504 ss. ISBN 978-012-38-6899-2. DOI: 10.1016/B978-0-12-386899-2.00006-3

Inglis G.D., Enkerli J., Goettel M.S. 2012. Laboratory techniques used for entomopathogenic fungi: Hypocreales. s. 189–253. W: Manual of Techniques in Invertebrate Pathology, 2nd edition (L.A. Lacey, red.). Academic Press, London, 504 ss. ISBN 978-012-38-6899-2. DOI: 10.1016/B978-0-12-386899-2.00007-5

Jaronski S.T. 2023. Mass production of entomopathogenic fungi – state of the art. Chapter 11. s. 317–357. W: Mass Production of Beneficial Organisms. Second edition. Invertebrates and Entomopathogens (J.A. Morales-Ramos, M. Guadalupe Rojas D.I., Shapiro-Ilan, red.). Academic Press, London, 640 ss. ISBN 978-0-12-822106-8. DOI: 10.1016/B978-0-12-822106-8.00017-8

Keller S., Zimmermann G. 1989. Mycopathogens of soil insects. s. 239–270. W: Insect – Fungus Interactions (N. Wilding, N.M. Collins, P.M. Hammond, J.F. Webber, red.). Academic Press, London, 344 ss. ISBN 978-0-12-751800-8. DOI: 10.1016/B978-0-12-751800-8.50016-1

Lu H.L., St. Leger R.J. 2016. Insect immunity to entomopathogenic fungi. Advances in Genetics 94: 251–285. DOI: 10.1016/bs.adgen.2015.11.002

Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C. 2021. Abundance of entomopathogenic fungi in leaf litter and soil layers in forested habitats in Poland. Insects 12 (2): 134. DOI: 10.3390/insects12020134

Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Baj-Wójtowicz B. 2023. Występowanie grzybów entomopatogenicznych w glebach siedlisk o zróżnicowanym użytkowaniu. Agronomy Science 78 (1): 5–18. DOI: 10.24326/as.2023.4956

Mantzoukas S., Lagogiannis I., Eliopoulos P.A. 2026. Entomopathogenic fungi in peri-urban green spaces: a reservoir for seasonal biological control of insect pests. Forests 17 (3): 347. DOI: 10.3390/f17030347

Mantzoukas S., Pettas I., Lagogiannis I. 2020. Stored product pests as models for trapping entomopathogenic fungi from olive tree orchards in Western Greece. Journal of Stored Products Research 87: 101584. DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101584

Okrasińska A., Decewicz P., Majchrowska M., Dziewit L., Muszewska A., Dolatabadi S., Kruszewski Ł., Błocka Z., Pawłowska J. 2022. Marginal lands and fungi – linking the type of soil contamination with fungal community composition. Environmental Microbiology 24 (8): 3809–3825. DOI: 10.1111/1462-2920.16007

Pancewicz A. 2012. Przyrodnicza rewitalizacja terenów poprzemysłowych. Czasopismo Techniczne. Architektura 109 (3-A): 313–317.

Sosnowska D. 2005. Biopreparaty grzybowe w biologicznym zwalczaniu szkodników upraw szklarniowych i polowych. Postępy Nauk Rolniczych 52 (5): 17–27.

Strasser H., Forer A., Schinner F. 1996. Development of media for the selective isolation and maintenance of virulence of *Beauveria brongniartii*. s. 125–130. W: Proceedings 3rd International Workshop on Microbial Control of Soil Dwelling Pests (T.A. Jackson, T.R. Glare, red.). AgResearch, Lincoln, New Zealand.

Tkaczuk C. 2008. Występowanie i potencjał infekcyjny grzybów owadobójczych w glebach agrocenoz i środowisk seminaturalnych w krajobrazie rolniczym. Rozprawa Naukowa nr 94. Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce, 160 ss.

Tkaczuk C., Król A., Majchrowska-Safaryan A., Niecewicz Ł. 2014. The occurrence of entomopathogenic fungi in soils from fields cultivated in a conventional and organic system. Journal of Ecological Engineering 15 (4): 137–144. DOI: 10.12911/22998993.1125468

Tkaczuk C., Majchrowska-Safaryan A., Dadak M. 2025. Comparative analysis of the occurrence of entomopathogenic fungi in soils from flower strips and lawns in urban space. Sustainability 17 (17): 7819. DOI: 10.3390/su17177819

Vänninen I. 1996. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: effect of geographical location, habitat type and soil type. Mycological Research 100 (1): 93–101. DOI: 10.1016/S0953-7562(96)80106-7