INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 41-61
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2025.003

ANALIZA MIKROBIOLOGICZNA POWIETRZA W PRZECHOWALNIACH WARZYW

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF AIR IN VEGETABLE STORAGE FACILITIES

Patrycja SZCZECHURA [1], Ewelina AKSAMIT [1], Katarzyna WOLNY-KOŁADKA [1]

STRESZCZENIE

Przeprowadzono analizę powietrza, w wybranych przechowalniach warzyw pod kątem oceny stopnia jego zanieczyszczenia przez drobnoustroje wskaźnikowe – bakterie ogólne, grzyby, gronkowce oraz promieniowce. Stan aerosanitarny wewnątrz magazynów porównywano ze środowiskiem zewnętrznym (punkty kontrolne w pobliżu magazynów). W analizie uwzględniono także czynnik fizyczny zanieczyszczenia powietrza, frakcję pyłów PM2,5 oraz PM10. Badania wykonywane były na przestrzeni ośmiu miesięcy: przed rozpoczęciem magazynowania warzyw w przechowalniach, na początku, w trakcie oraz pod koniec tego okresu. Planowano zweryfikować występowanie związku pomiędzy stężeniem drobnoustrojów, a pozostałymi oznaczanymi zmiennymi. Oznaczone liczebności mikroorganizmów z racji barku obowiązujących norm odniesiono do wartości referencyjnych z wycofanych w 2015 roku aktów prawnych. Wyniki dotyczące stężenia pyłów porównano z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku oraz indeksem jakości powietrza Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Jak pokazały niniejsze badania, w środowisku przechowalni warzyw występują potencjalnie niebezpieczne mikroorganizmy, głównie grzyby pleśniowe oraz wysokie zapylenie, co stwarza wątpliwości w kontekście bezpieczeństwa długotrwałego przebywania w obiektach w trakcie prac rolniczych.

Słowa kluczowe: *przechowalnia warzyw, bioaerozol, mikroorganizmy, zanieczyszczenie powietrza*

[1] *Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Polska*

ABSTRACT

Air analysis was carried out in selected vegetable storage rooms to assess the level of contamination by indicator microorganisms – general bacteria, fungi, staphylococci and actinomycetes. The air quality inside the storage facilities was compared with the external environment (control points near the storage facilities). The analysis also included the physical factor of air pollution, the PM2.5 and PM10 dust fractions. The tests were carried out over eight months: before the start of vegetable storage in the storage facilities, at the beginning, during and at the end of this period. It was planned to verify the existence of a relationship between the concentration of microorganisms and the other variables being determined. Due to the lack of applicable standards, the determined numbers of microorganisms were referred to the reference values from legal acts withdrawn in 2015. The results regarding dust concentration were compared with the applicable Regulation of the Minister of the Environment of 24 August 2012 and the air quality index of the Chief Inspectorate for Environmental Protection. As this study has shown, the environment of vegetable storage facilities is inhabited by potentially dangerous microorganisms, mainly mould fungi, and high dust levels, which raises doubts in the context of the safety of long-term stay in the facilities during agricultural work.

Keywords*: vegetable storage, bioaerosol, microorganisms, air pollution*

WSTĘP

Przechowywanie płodów rolnych w coraz bardziej wyspecjalizowany sposób, stało się koniecznością ze względu na wymagania rynku w postaci całorocznego zapotrzebowania na świeże produkty dobrej jakości (Przygodziński i in., 2016). Aby zachować wartości odżywcze, estetyczny wygląd, a także walory smakowe konieczne jest właściwe magazynowanie, które możliwe jest jedynie w specjalnie przygotowanych do tego obiektach. Szczególną rolę odgrywa wytworzony w przechowalniach mikroklimat o odpowiednim składzie gazowym atmosfery, utrzymywanej temperaturze, wilgotności względnej oraz cyrkulacji powietrza (Chądzyński i Piróg, 2013). Obniżona temperatura odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu jakości i bezpieczeństwa żywności, ponieważ pozwala na zahamowanie rozwoju części drobnoustrojów (Altunatmaz i in., 2012).

Jednak zanim rozwój technologii pozwolił na budowę zaawansowanych hal przechowalniczych ludzie szukali rozwiązań, pozwalających na magazynowanie warzyw z zachowaniem jak najlepszej trwałości. Obecnie dobór metody przechowywania płodów rolnych uzależniony jest w dużej mierze od stopnia rozwoju danego gospodarstwa. Do metod tradycyjnych, niewymagających dużego nakładu finansowego oraz nowoczesnych rozwiązań technologicznych, należą: zimowanie w polu, kopcowanie, składowanie w ziemiankach, magazynowanie w piwnicach i przechowywanie w kopcach technicznych (Przerwa, 2015). Wymienione wyżej metody aktualnie stosowane są najczęściej w przypadkach magazynowania warzyw na własny użytek. W odpowiedzi na zwiększoną produkcję rolniczą oraz potrzebę wydłużenia trwałości produktu rozpoczęto poszukiwania nowych, efektywniejszych metod przechowywania. Sposobem na wydłużenie okresu

magazynowania jest składowanie w wyspecjalizowanych pomieszczeniach gospodarczych. Wśród budynków tego typu można wyróżnić

- przechowalnie bez specjalistycznego systemu chłodzącego – obiekty o dostosowanych układach funkcjonalno-przestrzennych z pomieszczeniami składowymi, gdzie obniżona temperatura przechowywania uzyskiwana jest poprzez system wentylacji aktywnej lub grawitacyjnej, wykorzystującej chłodne powietrze w otoczeniu budynku;
- chłodnie – przechowalnie wykorzystujące instalację chłodniczą, z atmosferą zbliżoną do warunków zewnętrznych; zastosowanie systemu chłodzącego pozwala na uniezależnienie procesu od zmieniających się warunków klimatycznych (Chądzyński i Piróg, 2013);
- chłodnie z kontrolowaną atmosferą (KA) – wyspecjalizowane przechowalnie, gdzie oprócz temperatury, można sterować atmosferą wewnątrz pomieszczenia m.in. stężeniem tlenu i dwutlenku węgla, co pozwala na optymalizację warunków przechowywania w odniesieniu do konkretnego gatunku, dzięki czemu można regulować reakcjami zachodzącymi w warzywach, wpływającymi na obniżenie jakości (Idaszewska i Bieńczak, 2011), warunki te utrzymywane są od początku do końca okresu przechowawczego;
- chłodnie z dynamicznie kontrolowaną atmosferą (DKA) - modyfikacja przechowywania warzyw w pomieszczeniach z KA, gdzie stężenie tlenu podlega regulacji na bieżąco, dzięki czemu dostosowuje się go do aktualnych potrzeb (Grzegorzewska, 2018).

Dobierając sposób przechowywania należy uwzględnić materiał, który ma być składowany. Dla każdego warzywa można dobrać odpowiednie warunki jego przechowywania. W przypadku buraka ćwikłowego temperatura powinna wynosić 1-2°C, a wilgotność względna powietrza utrzymywana w zakresie 95-98%. Czas przechowywania może wynosić około 8 miesięcy (Adamicki i in., 2020). Natomiast dla cebuli warunki optymalne stanowi temperatura 0°C i wilgotność względna w zakresie 65-75%. Należy pamiętać, że oprócz warunków przechowywania, na trwałość przechowalniczą wpływa odmiana warzywa, warunki klimatycznych, stopień dojrzałości oraz termin zbioru (Badełek i in., 2016). Budowa nowych pomieszczeń do magazynowania warzyw, jak i adaptacja istniejących obiektów wymaga analizy możliwych do wyboru technologii przechowywania. Powinno uwzględnić się nie tylko koszt poniesionej inwestycji, ale i funkcjonalność budynku również po okresie przechowalniczym (Przygodziński i in., 2016).

Mikroflorą dominującą w powietrzu są grzyby strzępkowe, szczególnie z rodzaju *Cladosporium, Penicillium* oraz *Aspergillus*. Jeśli chodzi o bakterie, w pomieszczeniach zamkniętych jednym z najczęściej występujących jest rodzaj *Staphylococcus*. Gronkowce manitoloujemne i manitolododatnie stanowią główny wskaźnik w ocenie stanu sanitarnego powietrza. To właśnie jakość powietrza wewnętrznego jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na ludzkie zdrowie. Występowanie biologicznego skażenia wewnątrz pomieszczeń może być związane z obecnością mikroorganizmów na materiałach, które są w nich składowane (Wołejko i in., 2016).

Mimo, że zagrożenie dla zdrowia wynikające z zanieczyszczenia powietrza drobnoustrojami jest bardzo znaczące, w obecnej chwili nie ma wystraczających regulacji prawnych dotyczących jego kontroli pod względem czystości mikrobiologicznej. Akty prawne odnoszące się do stanu

aerosanitarnego zostały uchylone w 2015 roku i do tej pory nie pojawiły się ich nowelizacje. W związku z tym w opracowaniach dotyczących oceny czystości powietrza w aspekcie mikrobiologicznym wykorzystuje się zawarte w starych opracowaniach wartości graniczne liczebności zanieczyszczeń drobnoustrojami (Tab. 1, 2). Brak oficjalnych aktów prawnych określających normy jakości mikrobiologicznej powietrza może być problematyczny przy ocenie wyników badań naukowych. Fakt jak mocno powietrze oraz mikroby w nim zawarte oddziałowywują na zdrowie ludzi pokazuje konieczność opracowania odpowiednich regulacji, określających wartości normatywne (Chmiel i in., 2015).

Tabela 1. Ocena stanu mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez bakterie **(**Chmiel i in., 2015 na podstawie: PN-89/Z-04111/02)
Table 1. Assessment of microbiological effects of bacterial impact (Chmiel et al., 2015 based on: PN-89/Z-04111/02).

Ogólna liczba bakterii	**Ogólna liczba promieniowców**	**Liczba gronkowców hemolizujących**		***Pseudomonas fluorescens***	**Stopień zanieczyszczenia powietrza**
		αβ	β		
[jtk·m^{-3}]					
<1000	<10	0	0	0	Nie zanieczyszczone
1000-3000	10-100	1-25	1-50	1-50	Średnio zanieczyszczone
>3000	>100	>25	>50	>50	Silnie zanieczyszczone

Tabela 2. Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez grzyby (Chmiel i in., 2015 na podstawie PN-89/Z-04111/03)
Table 2. Assessment of the level of air pollution caused by fungi (Chmiel et al., 2015 based on PN-89/Z-04111/03).

Ogólna liczba grzybów [jtk·m^3]	**Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego**
3000 – 5000	Przeciętnie czyste powietrze atmosferyczne
5000 – 10000	Zanieczyszczenia mogące negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne człowieka
>10000	Zanieczyszczenia zagrażające środowisku naturalnemu człowieka

Na zanieczyszczenie powietrza składa się również obecność w nim rożnego rodzaju pyłów. Wzrost poziomu zapylenia powietrza przekłada się często na zwiększoną liczbę oznaczonych drobnoustrojów, z racji tego, że razem współtworzą bioaerozol. Powietrze bogate w wymienione czynniki przyczynia się do występowania szeregu schorzeń, głównie dotyczących układu oddechowego (Grzyb i Frączek, 2013).

Pył zawieszony to mieszanina cząstek stałych i ciekłych o różnych rozmiarach, składach chemicznych, a także właściwościach fizycznych i biologicznych. Szczególną uwagę zwraca się na frakcję pyłu zawieszonego o średnicy cząstek poniżej 2,5 μm oraz poniżej 10 μm, oznaczanych odpowiednio jako PM2,5 i PM10 (Bekierski, 2019). Udowodniono, że mniejsze cząstki (PM2,5) stanowią dużo większe zagrożenie da zdrowia

człowieka, ze względu na zdolność do odkładania się w pęcherzykach płucnych oraz przekraczanie bariery pomiędzy płucem a krwią (Toczylowski i in., 2021).

Światowa Organizacja Zdrowia wskazuje na negatywny wpływ pyłów zawieszonych w powietrzu na ludzkie zdrowie. Ważnym aspektem jest stężenie substancji szkodliwych, które okazuje się oddziaływać niekorzystnie przy mniejszej koncentracji, niż wcześniej zakładano. Doniesienia naukowe przełożyły się na rekomendacje zaostrzenia wartości granicznych, maksymalnego dopuszczalnego stężenia pyłów zawieszonych. Według najnowszych wytycznych WHO zawartość PM2,5 w ciągu roku nie powinna przekraczać 5 $\mu m \cdot m^{-3}$, poprzednio wartość dopuszczalna była dwukrotnie wyższa. W przypadku PM10 roczne stężenie dopuszczalne z 25 $\mu m \cdot m^{-3}$ zmieniono na 15 $\mu m \cdot m^{-3}$ (WHO, 2021). Aktualne krajowe przepisy prawa odnoszące się do dopuszczalnych stężeń pyłów zawieszonych w powietrzu zgromadzone są w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku (Tabela 3).

Tabela 3. Poziomy dopuszczalne dla pyłów zawieszonych
(Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r.)
Table 3. Permissible levels for suspended dust
(Regulation of the Minister of Environment of 24 August 2012).

Nazwa substancji (numer CAS)[a)]	Okres uśredniania wyników pomiarów	Poziom dopuszczalny [$\mu g \cdot m^{-3}$]
Pył PM2,5[b)]	Rok kalendarzowy	25[d),e)] 20[d),f)]
Pył PM10[c)]	24 godziny	50[d)]
	Rok kalendarzowy	40[d)]

a) Oznaczenia numeryczne substancji wg Chemical Abstracts Service Registry Number.
b) Stężenie pyłu o średnicy aerodynamicznej ziaren do 2,5 μm (PM2,5) mierzone metodą wagową z separacją frakcji lub metodami uznanymi za równorzędne.
c) Stężenie pyłu o średnicy aerodynamicznej ziaren do 10 μm (PM10) mierzone metodą wagową z separacją frakcji lub metodami uznanymi za równorzędne.
d) Poziom dopuszczalny ze względu na ochronę zdrowia ludzi.
e) Poziom dopuszczalny dla pyłu zawieszonego PM2,5 do osiągnięcia do dnia 1 stycznia 2015 r. (faza I).
f) Poziom dopuszczalny dla pyłu zawieszonego PM2,5 do osiągnięcia do dnia 1 stycznia 2020 r. (faza II).

W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska prowadzi są bieżąco pomiary stężeń PM2,5 oraz PM10 z wykorzystaniem automatycznych stacji na terenie całego kraju. Uśredniona wartość wyników gromadzonych w czasie godziny stanowi wskaźnik, na podstawie którego ocenia się aktualny stan czystości powietrza. Jest to tzw. indeks jakości powietrza, dzięki któremu można przyporządkować odczytane stężenie pyłów zawieszonych do odpowiedniej kategorii (Tabela 4).

Tabela 4. Indeks jakości powietrza dla PM10 i PM2,5 z uwzględnieniem oznaczenia kolorystycznego [GIOŚ]
Table 4. Air quality index for PM10 and PM2.5 with color coding [GIOŚ].

Indeks jakości powietrza	PM10 [µg·m^{-3}]	PM2,5[µg·m^{-3}]
Bardzo dobry	0 – 20	0 – 13
Dobry	20,1 – 50	13,1 – 35
Umiarkowany	50,1 – 80	35,1 – 55
Dostateczny	80,1 – 110	55,1 – 75
Zły	110,1 – 150	75,1 – 110
Bardzo zły	>150	>110

Celem pracy było określenie oraz porównanie stopnia zanieczyszczenia powietrza mikroorganizmami oraz pyłami zawieszonymi o średnicy cząstek poniżej 2,5 µm oraz poniżej 10 µm w czterech przechowalniach warzyw umiejscowionych w powiecie proszowickim na przestrzeni okresu przechowalniczego, z uwzględnieniem zmieniającej się temperatury. Ponadto planowano ocenić występowanie zależności pomiędzy ilością oznaczonych drobnoustrojów a pozostałymi zmiennymi. W analizie wykorzystano mikroorganizmy wskaźnikowe – bakterie, gronkowce, grzyby pleśniowe oraz promieniowce.

MATERIAŁ I METODY

Pobory powietrza oraz pomiary zawartości pyłów zawieszonych o średnicy cząstek poniżej 2,5 µm oraz poniżej 10 µm wykonano w czterech przechowalniach oraz w czterech, odpowiadających każdej z nich, punktach kontrolnych na wolnym powietrzu zlokalizowanych w pobliżu miejsc magazynowania warzyw. Wszystkie z wybranych obiektów badań były własnością prywatną rolników. Gospodarstwa, w których wykonywano pobory znajdowały się na terenie województwa małopolskiego w powiecie proszowickim.

Rysunek 1. Przechowalnia w Niezwojowicach (I): (a) wewnątrz (b) zewnątrz [Źródło: fot. własna]
Figure 1. Storage in Niezwojowice (I): (a) inside (b) outside [Source: own photo]

Pierwszą lokalizacją, w której przeprowadzono badania były Niezwojowice. Znajdujące się tam gospodarstwo rolne (50.307863, 20.319901) zajmuje się w głównej mierze produkcją warzyw okopowych. Podczas trwania pomiarów w badanej przechowalni (I) (Rysunek 1) przechowywane były marchew oraz pietruszka. Warzywa składowane były w skrzyniopaletach, ustawionych piętrowo do wysokości pomieszczenia. Obiekt wyposażony jest w system chłodzący, dzięki któremu przez cały okres przechowawczy, wewnątrz obiektu utrzymywana była stała temperatura pomiędzy 1-2°C. Pomiarowy punkt kontrolny (IK) znajdował się w odległości kilku metrów od przechowalni, w otoczeniu innych budynków.

Drugi magazyn warzyw (II) (Rysunek 2) oraz odpowiadający mu punkt kontrolny (IIK) znajdowały się w gospodarstwie rolnym (50.284300, 20.278040) w Lelowicach Kolonii. Obiekt ten nie wykorzystuje wyspecjalizowanych systemów chłodzących. Warunki odpowiednie do przechowywania są wynikiem częściowego wbudowania konstrukcji w ziemię, co chroni warzywa przed minusową temperaturą w sezonie jesienno-zimowym. W trakcie trwania badań w przechowalni znajdowały się ziemniaki, które składowano w skrzyniopaletach. Temperatura w okresie przechowawczym wynosiła między 3-11°C.

Rysunek 2. Przechowalnia w Lelowicach Kolonii (II): (a) wewnątrz (b) zewnątrz [Źródło: fot. własna]
Figure 2. Storage in Lelowice Kolonia (II): (a) inside (b) outside. [Source: own photo]

Trzecia przechowalnia (III) (Rysunek 3) oraz wyznaczony punkt kontrolny (IIIK) usytuowana była w gospodarstwie rolnym (50.189313, 20.427064), znajdującym się w miejscowości Wolwanowice. W obiekcie składowane były selery oraz buraki ćwikłowe, częściowo zebrane w skrzyniopaletach oraz w workach i poukładane na paletach, przygotowane do transportu. Wybrana przechowalnia wykorzystuje agregat chłodniczy, który zostaje czasowo wyłączany. W porównaniu do pozostałych punktów pomiarowych, wyposażonych w system chłodzący, w III zmierzona temperatura była wyższa, utrzymująca się na poziomie 6-8°C.

Rysunek 3. Przechowalnia w Wolwanowicach (III): (a) wewnątrz (b) zewnątrz [Źródło: fot. własne]
Figure 3. Storage in Wolwanowice (III): (a) inside (b) outside. [Source: own photo]

Ostatnie z wybranych punktów pomiarowych – IV (Rysunek 4) oraz IVK znajdowały się w gospodarstwie (50.159500, 20.189702) w miejscowości Biórków Mały. W okresie przeprowadzania badań, w przechowalni IV składowano kapustę głowiastą białą. Warzywa przechowywano w skrzyniopaletach, ustawionych piętrowo na wysokości obiektu. Stała temperatura wewnątrz przechowalni, wynosząca między 1 a 2°C, utrzymywana była poprzez wykorzystanie systemu chodzącego. Warunki zapewnione podczas przechowywania warzyw były podobne, jak w obiekcie I.

Rysunek 4. Przechowalnia w Biórkowie Małym (IV): (a) wewnątrz (b) zewnątrz [Źródło: fot. własne]
Figure 4. Storage room in Biórkowo Małe (IV): (a) inside (b) outside. [Source: own photo]

Przed rozpoczęciem sezonu magazynowania płodów rolnych, wybrane obiekty wykorzystywane były jako miejsce składowania maszyn rolniczych oraz pustych skrzyniopalet. Był to również okres, w którym następowało naturalne wietrzenie przechowalni. Badania własne wykonywano na przestrzeni ośmiu miesięcy w czterech oddalonych od siebie terminach, a mianowicie przed okresem przechowywania, na początku składowania warzyw w przechowalniach, w trakcie sezonu przechowawczego, oraz pod koniec czasu trwania magazynowania płodów rolnych.

Pierwszy pobór miał charakter kontrolny, sprawdzający stan powietrza w przechowalniach, kiedy nie stanowiły one miejsca magazynowania warzyw. Kolejne terminy stanowiły przegląd składu mikrobiologicznego powietrza w magazynach w trakcie przechowywania warzyw.

Pobory powietrza przeprowadzono metodą uderzeniową wykorzystując impaktor MAS-100 firmy Merck. Pomiary dla każdej grupy mikroorganizmów każdorazowo wykonane zostały w trzech powtórzeniach dla każdej przechowalni oraz odpowiadającemu jej punktowi kontrolnemu. Na wcześniej przygotowane szalki zawierające podłoża różnicujące dla bakterii ogólnych, gronkowców, promieniowców oraz grzybów pleśniowych za pomocą aerometru pobierano 0,1 m^3 powietrza (100 litrów) przez okres 1 minuty. W trakcie pomiarów impaktor znajdował się w strefie respiracyjnej człowieka, na wysokości około 1,5 m. Dodatkowo w każdym z punktów poboru powietrza mierzono temperaturę otoczenia. Wartość wskazaną na termometrze po ustabilizowaniu zapisywano.

Analizy powietrza w badaniach zostały przeprowadzone zgodnie z wytycznymi Polskich Norm:

- PN-89/Z-04008/08 – pobieranie próbek powietrza atmosferycznego do badań mikrobiologicznych metodą aspiracyjna i sedymentacyjną,
- PN-89/Z-04111/02 – oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym w próbkach powietrza pobranych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną,
- PN-89/Z-04111/03 – oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym w próbkach powietrza pobranych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.

Normy te zostały wycofane w 2015 roku, jednak są nadal wykorzystywane ze względu brak zastąpienia ich nowelizacjami.

Odczyt zawartości pyłów zawieszonych w obu oznaczanych frakcjach (PM2,5 i PM10) prowadzono w jednym powtórzeniu dla każdego punktu pomiarowego. Wyniki otrzymane w pomiarach za pomocą wymiennych nakładek dla średnicy cząstek poniżej 2,5 μm oraz poniżej 10 μm, mocowanych do pyłomierza, odczytywano po okresie 1 minutowego poboru z ekranu w $mg \cdot m^{-3}$. Wartości te zostały następnie przeliczone na $\mu g \cdot m^{-3}$, aby zachować zgodność z jednostką wartości dopuszczalnych zawartych w normach (Tab. 3 i 4), do których uzyskane wartości były odnoszone.

Po zakończeniu poborów gotowe do inkubacji szalki Petriego z podłożami selektywnymi przetransportowano do laboratorium Katedry Mikrobiologii i Biomonitoringu Wydziału Rolniczo-Ekonomicznego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, gdzie umieszczone zostały w odpowiednich dla danej grupy mikroorganizmów warunkach (Tabela 5).

Tabela 5. Podłoża oraz parametry inkubacji poszczególnych grup mikroorganizmów oznaczanych przy użyciu impaktora MAS-100
Table 5. Media and incubation parameters of individual groups of microorganisms determined using the MAS-100 impactor.

Oznaczana grupa mikroorganizmów	Wykorzystana pożywka	Temperatura inkubacji [°C]	Czas inkubacji [dni]
Bakterie ogólne	agar TSA	37	2
Gronkowce	agar Chapmana	37	2
Grzyby pleśniowe	agar MEA	28	2-3
Promieniowce	agar Prochona	28	2-3

Po upływie okresu inkubacji kolonie wyrosłe na szalkach z poszczególnymi pożywkami zostały policzone. Wyniki, które otrzymano przeliczono przy pomocy poniższego wzoru otrzymując ogólną liczbę drobnoustrojów w jednostkach tworzących kolonie w 1 m^3 powietrza:

$$L = Pr \cdot 100/v \ [jtk \cdot m^{-3}]$$

gdzie:
L – ogólna liczba drobnoustrojów w 1 m^3 powietrza [$jtk \cdot m^{-3}$]
Pr – ilość kolonii uwzględniająca poprawkę statystyczną wg tabeli producenta aeroskopu,
100 – przelicznik na 1 m^3,
v – objętość powietrza pobranego przez aeroskop [dm^3].

W celu przeprowadzenia testowania statystycznego otrzymanych wyników posłużono się programem STATISTICA 13.5. Aby ocenić występowanie związku między ilością oznaczonych drobnoustrojów z powietrza, a terminem i miejscem wykonania poborów wykonano dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Zmienną zależną stanowiła liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów oznaczanych w badaniach własnych w danym terminie oraz punkcie pomiaru. Jako zmienne niezależne przyjęto datę oraz miejsce wykonania poboru powietrza. Przyjęte w analizie poziomy istotności wynosiły α=0,05.

Kolejną analizą statystyczną była ocena zależności pomiędzy oznaczoną zawartością pyłów PM2,5 oraz PM10 a temperaturą powietrza w momencie wykonywania poborów. Pierwszą listę zmiennych stanowiła temperatura powietrza w danym miejscu pomiarowym, natomiast drugą listę zmiennych tworzyło stężenie pyłów zawieszonych o średnicy poniżej 2,5 μm oraz poniżej 10 μm. Ponadto, aby ocenić zależność pomiędzy czynnikami mikrobiologicznego i fizycznego zanieczyszczenia powietrza, przeprowadzono kolejną analizę korelacji. W tym przypadku pierwszą listę zmiennych stanowiła liczebność mikroorganizmów z poszczególnej grupy, natomiast drugą stężenia pyłów PM2,5 oraz PM10. Poziom istotności testu, podobnie jak w przypadku pierwszego testowania, wnosił α=0,05.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przez poszczególne grupy drobnoustrojów wewnątrz przechowalni oraz w punktach kontrolnych, zlokalizowanych na wolnym powietrzu, wykonywanych czterokrotnie na przestrzeni ośmiu miesięcy przedstawiono w tabeli zbiorczej (Tabela 6).

Analizując otrzymane wyniki można zauważyć, że niemal w każdym terminie w przechowalniach, grupą mikroorganizmów o największej liczebności jtk w m^3 były grzyby. Z poboru na pobór, wraz z upływem okresu przechowania warzyw, ich oznaczana ilość rosła. Drugą najliczniej oznaczaną grupą drobnoustrojów były bakterie, w ich przypadku jednak liczebność w magazynach spadała z kolejnymi terminami poborów powietrza. Wzrastająca koncentracja grzybów w bioaerozolu może być następstwem rozwoju chorób przechowywanych warzyw. W trakcie poborów zaobserwowano przypadki pleśnienia składowanych płodów rolnych.

Jak wskazuje Chmiel i in. (2015), porównując skład mikrobiologiczny powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, najczęściej większą koncentracją drobnoustrojów oraz ilościowego, aeromikrobiom w pomieszczeniach zazwyczaj jest stabilniejszy. W przypadku analiz przeprowadzonych w terminów wykonywania badań. O ile skład jakościowy wydaje się zbliżony w każdym z poborów, tak oznaczenia ilościowe wskazują na duże rozbieżności. Stałość mikrobiomu może być zaburzona na skutek udziału powietrza zewnętrznego, trafiającego do przechowalni podczas stopniowego pobierania składowanych warzyw.

Micek (2021) na podstawie wyników badań własnych, ukierunkowanych na ilościową i jakościową ocenę zarodników grzybów strzępkowych występujących w bioaerozolu w przechowalniach warzyw i owoców, udowodniła znaczne zróżnicowanie i bogactwo wyizolowanych mikroorganizmów, oznaczając 60 gatunków. Oznaczenie znacznej liczebności grzybów w magazynie tłumaczy wzmożonym przemieszczaniem produktów, dużą powierzchnią magazynu, a także obecnością w nim ludzi. Rozmiary przechowalni, w których pobierano powietrze w badaniach własnych były mniejsze od tych wykorzystanych w badaniach Micek (2021). Jednak ruch wynikający z wywożenia warzyw oraz częsta obecność rolników w przechowalniach również w przypadku badań własnych może być przyczyną bogatego bioaerozolu w ich wnętrzu. W swojej pracy Micek (2021) zwraca uwagę na możliwość wykorzystywania w przechowalniach monitoringu aeromykologicznego, pozwalającego kontrolować czystość powietrza, planować dezynfekcje, aby ograniczyć źródła emisji potencjalnie patogennych drobnoustrojów.

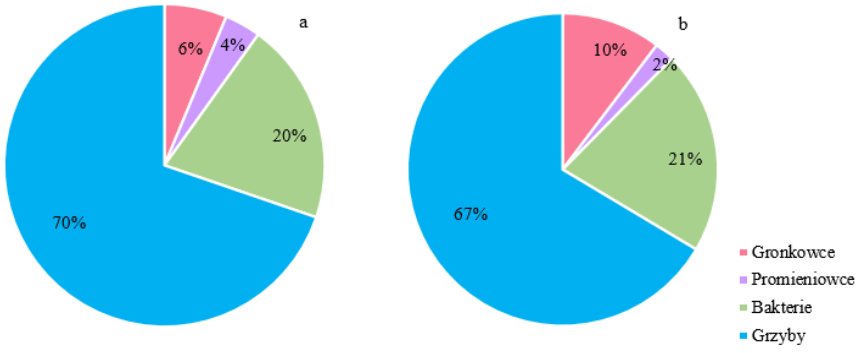
Tabela 6. Liczebności oznaczonych drobnoustrojów [jtk·m^{-3}] z uwzględnieniem terminu i punktu poboru powietrza oraz jego temperatury
Table 6. Numbers of identified microorganisms [CFU·m^{-3}] taking into account the date and point of air sampling and its temperature.

Termin poboru	Temperatura [°C]	Punkt poboru	Oznaczona liczebność drobnoustrojów z poszczególnych grup [jtk·m^{-3}]											
			Gronkowce			Promieniowce			Bakterie			Grzyby		
08.2022	24	I	90	410	230	30	0	20	200	140	450	570	550	520
	32,5	IK	20	230	10	0	0	0	270	200	160	940	1230	1070
	20,6	II	1120	1230	1520	140	60	90	1570	1680	830	480	560	390
	31	IIK	1510	1570	910	30	50	10	2210	2430	1810	710	1010	1120
	22	III	110	170	90	50	70	70	420	380	410	640	530	670
	31,4	IIIK	180	240	250	60	10	40	920	630	710	1270	910	1390
	23	IV	80	70	80	50	60	10	410	270	330	570	680	700
	30,5	IVK	150	180	90	40	30	30	730	500	410	1100	970	890
11.2022	1,1	I	20	80	30	10	0	0	570	1830	1200	340	1520	570
	9,4	IK	60	2300	100	90	10	70	390	470	730	760	2670	3970
	6,5	II	200	210	190	140	60	90	1710	1570	1170	2030	1870	2000
	8,2	IIK	190	240	730	10	10	10	350	360	510	3570	2720	3040
	11,1	III	360	180	110	30	50	50	1100	530	880	3490	4400	37490
	8,6	IIIK	90	90	180	30	100	80	460	200	860	3310	3890	3870
	1,2	IV	30	40	95	20	0	10	1020	1190	1530	1430	1270	1120
	7,7	IVK	140	50	120	60	0	0	90	200	180	800	1010	1070
01.2023	1,2	I	60	50	140	160	180	120	440	350	470	3160	2670	2790
	4,1	IK	50	30	30	110	70	90	490	440	510	3590	3030	3210
	6,2	II	160	140	110	270	280	150	310	460	410	2030	1770	2160
	3,6	IIK	140	160	70	40	20	80	510	390	300	3000	2400	2700
	3,2	III	60	40	100	130	150	50	210	340	380	1480	1800	2110
	4,8	IIIK	40	40	50	30	70	60	260	200	280	2130	2700	1600
	2,2	IV	130	140	100	70	110	60	420	380	240	1810	1870	1620
	5,9	IVK	70	90	150	30	80	70	290	200	380	2240	2030	1790
03.2023	2,1	I	70	60	80	170	150	220	270	310	260	3050	27890	3390
	19,3	IK	120	80	130	70	50	60	470	320	610	370	280	300
	8,2	II	20	40	30	310	230	270	320	350	260	2570	3110	3260
	17,2	IIK	340	270	230	100	120	150	540	370	860	230	340	180
	10,6	III	50	120	90	210	190	220	290	300	280	2800	3240	3580
	20,3	IIIK	30	70	50	40	90	100	450	730	580	370	330	350
	2,1	IV	120	90	180	90	130	110	170	200	290	3290	2260	2880
	18,9	IVK	60	110	70	40	50	30	430	370	550	250	310	280

Największą ilość *Staphylococcus* spp. oznaczono przed rozpoczęciem okresu przechowawczego, a najmniejszą pod jego koniec. Podobnie w odniesieniu do punktów badawczych na wolnym powietrzu, najliczniej gronkowce wyizolowane zostały przed okresem przechowania, jednak w tym przypadku najniższą wartość jtk·m^{-3} zliczono w czasie jego trwania. Przed rozpoczęciem okresu przechowawczego oraz w jego trakcie więcej gronkowców oznaczono w przechowalniach, natomiast na początku oraz pod koniec w powietrzu atmosferycznym pobranym z punktów kontrolnych.

Liczebność wyizolowanych promieniowców [jtk·m^{-3}]była bardzo zróżnicowana. Największą ich liczebność w każdym poborze oznaczono dla przechowalni II, gdzie przechowywane były ziemniaki. Była to jedyna przechowalnia, nie wyposażona w systemy chłodzące. Biorąc pod uwagę procentowy rozkład liczebności [jtk·m^{-3}] poszczególnych grup mikroorganizmów w trakcie trwania badań (Rysunku 5), zaobserwować można podobieństwo między przechowalniami a punktami kontrolnymi. Największy udział miały grzyby, następnie bakterie, gronkowce oraz promieniowce. W powietrzu atmosferycznym oznaczono więcej mikroorganizmów z rodzaju *Staphylococcus* spp.

Wyniki badań składu bioaerozolu są tożsame z rezultatami uzyskanymi przez Wolny-Koładka i Szatan (2015), analizujących mikrobiologicznie powietrze w wybranych miejscach Krakowa. Zarówno w punktach kontrolnych, jak i przechowalniach dominującą grupą w powietrzu były bakterie oraz grzyby. Natomiast liczebności wyizolowanych promieniowców i gronkowców, stanowiły niewielki udział w całej ilości oznaczanych drobnoustrojów.



Rysunek 5. Procentowy udział poszczególnych grup mikroorganizmów podczas badań: (a) przechowalnie (b) punkty kontrolne
Figure 5. Percentage of individual groups of microorganisms during the tests: (a) storage facilities (b) control points.

Zgromadzone wyniki odniesiono do wartości referencyjnych, które pozwalają na ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza przez drobnoustroje – bakterie, promieniowce oraz gronkowce (Tabela 1) oraz grzyby (Tabela 2). Oceniając otrzymane średnie zawartości jtk bakterii w 1 m^3 można stwierdzić, że znaczna część wyników (<1000 jtk·m^{-3}) świadczy o tym, że badane powietrze można zaklasyfikować jako niezanieczyszczone tymi mikroorganizmami. Wyznaczyć można pojedyncze wyniki mówiące o średnim stopniu zanieczyszczenia – II i IIK w sierpniu 2022 r. oraz I, II i IV

w listopadzie 2022 r. Silny stopień zanieczyszczenia zaobserwowano w styczniu, w przechowalniach I oraz III, gdzie oznaczono więcej niż 100 jtk w 1 m^3. Wyników nie odniesiono do umieszczonych w tabeli (Tabela 1) wartości referencyjnych dla *Staphylococcus* spp, z racji braku różnicowania w doświadczeniu na gronkowce hemolizujące αβ oraz β. Przechodząc do oceny czystości powietrza przez pryzmat liczebności grzybów, należy zauważyć, że jedynie kilka wyników mieści się w zakresie dla przeciętnie czystego powietrza (3000-5000 jtk·m^{-3}) – II, III i IIIK w listopadzie 2022 r., I i IK w styczniu 2023 r. oraz każdej z przechowalni – I, II, III oraz IV w ostatnim terminie poboru. Reszta pomiarów <3000 może wskazywać, zgodnie z danymi z tab. 2, na czyste powietrze w badanych punktach.

Jak wskazują Sadowiec i Russel (2013), ekspozycja rolników na szkodliwe czynniki pochodzenia biologicznego może przekładać się na ich stan zdrowia, wywołując m.in. alergie i infekcje, a nawet choroby zakaźne. Ze względów sanitarno-epidemiologicznych już sama obecność potencjalnie patogennych drobnoustrojów, zwłaszcza grzybów oraz produktów ich metabolizmu stanowi poważny czynnik zagrażający zdrowiu i życiu ludzi (Ropek i Frączek, 2016).

W przypadku każdej z analizowanych grup mikroorganizmów oznaczono istotną zależność między wyznaczoną liczebnością, a miejscem i terminem poboru powietrza do badań. Poziomy prawdopodobieństwa wszystkich zmiennych stanowiły wartość mniejszą od ustalonego poziomu istotności, co można interpretować jako znaczny związek. Zarówno miejsce, jak i czas, wykonywania pomiaru istotnie różnicuje średnie ilości oznaczonych jtk bakterii, gronkowców, grzybów oraz promieniowców w 1 m^3 powietrza.

We wspominanych już wcześniej badaniach, przeprowadzonych przez Wolny-Koładka i Szatan (2015), wykazano zależność między średnią liczebnością a porą roku. Najwyższe stężenie bakterii oraz grzybów oznaczono w lecie. Badania własne przeprowadzone na przestrzeni kilku miesięcy w środowisku wiejskim - w przechowalniach oraz punktach kontrolnych świadczą o dużym zróżnicowaniu składu bioaerozolu w poszczególnych miesiącach. Wyniki przeprowadzonych analiz w środowisku wiejskim w pewnym stopniu pokrywają się z rezultatami Wolny-Koładki i Szatan (2015). Najwyższa oznaczona liczebność bakterii w obydwu przypadkach była najwyższa w lecie (zarówno w przechowalniach, jak i punktach kontrolnych). Sytuacja wygląda inaczej dla grzybów, gdzie w kontroli największą koncentrację tych drobnoustrojów oznaczono w listopadzie (jesień), a w magazynach w marcu (wiosna). Wyniki uzyskane w różnych środowiskach różnić się mogą z racji ograniczonej możliwości przedostania się drobnoustrojów z gleby, która jest jednym z ich głównych źródeł. W warunkach naturalnych przepływ blokowany może być m.in. poprzez zamarzniętą ziemię (Zmysłowska, 2003). Drobnoustroje w przechowalniach pojawiają się najprawdopodobniej wraz z materiałem roślinnym. Cząstki gleby oraz same warzywa stają się swojego rodzaju wektorami, transportującymi mikroorganizmy do wnętrza magazynów (Szczech i in., 2014).

W badaniach własnych przeprowadzono również analizę zanieczyszczenia powietrza czynnikiem fizycznym – pyłem zawieszonym. Pomiary przeprowadzono w każdym z punktów dla dwóch frakcji o średnicy cząstek poniżej 2,5 μm oraz poniżej 10 μm. Wyniki uzyskane w czterech terminach dla poszczególnych przechowalni (I, II, III, IV) oraz

odpowiadających im punktów kontrolnych (IK, IIK, IIIK, IVK) umieszczone w tabeli zbiorczej (Tabela 7).

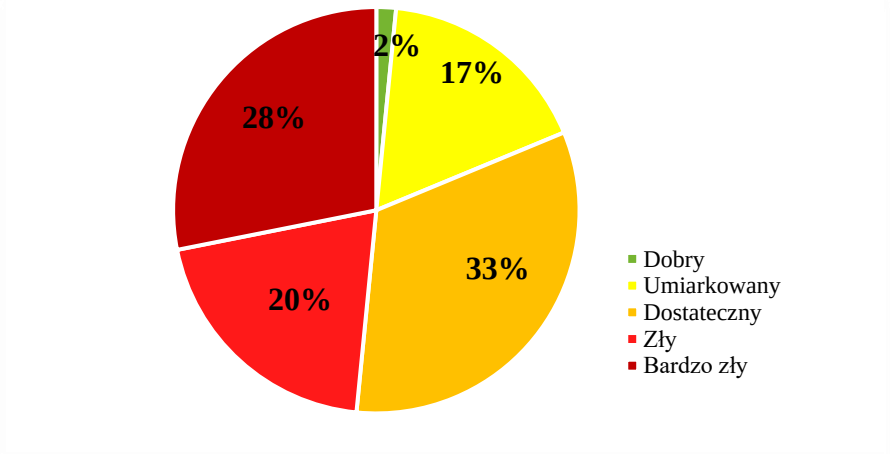
Tabela 7. Stężenie pyłów [$\mu g \cdot m^{-3}$] oznaczone w poszczególnych terminach i miejscach z uwzględnieniem kolorystycznego oznaczenia klas jakości powietrza
Table 7. Dust concentration [$\mu g \cdot m^{-3}$] determined in individual dates and places, taking into account the color coding of air quality classes.

Termin	Punkt poboru	PM2,5 [$\mu m \cdot m^{-3}$]	PM10 [$\mu m \cdot m^{-3}$]
Sierpień 2022	I	59	61
	IK	77	100
	II	83	97
	IIK	97	69
	III	71	79
	IIIK	68	84
	IV	65	71
	IVK	69	73
Listopad 2022	I	92	59
	IK	211	208
	II	231	298
	IIK	249	229
	III	311	356
	IIIK	438	408
	IV	209	192
	IVK	239	214
Styczeń 2023	I	133	129
	IK	114	105
	II	110	106
	IIK	108	117
	III	88	90
	IIIK	104	96
	IV	82	102
	IVK	162	169
Marzec 2023	I	39	41
	IK	79	86
	II	83	86
	IIK	95	92
	III	56	95
	IIIK	66	68
	IV	63	68
	IVK	95	90

Na podstawie wyników można stwierdzić, że najwyższy stopień zapylenia dla obydwu frakcji nastąpił w listopadzie. Był to okres, w którym płody rolne były zwożone do przechowalni, co mogło przyczynić się do zwiększenia zawartości pyłów w powietrzu. Dodatkowo, w tym czasie rozpoczynał się sezon grzewczy. Najwyższe wyniki, spośród wszystkich uzyskano właśnie w poborze listopadowym, dla punktu III i IIIK, z czego więcej pyłów obydwu frakcji oznaczono w punkcie kontrolnym. Na rezultat ten wpływ miał najprawdopodobniej fakt, że w pobliżu miejsca pomiarowego odbywał się proces suszenia kukurydzy. Wyniki uzyskane w przechowalniach nie różnią się znacznie od tych zgromadzonych na wolnym powietrzu. Zarówno w listopadzie, jak i marcu stężenie pyłów było wyższe w punktach kontrolnych. Najmniej zanieczyszczone przez pyły PM2,5 oraz PM10 powietrze stwierdzono w marcu, w przechowalni I. W opowiadającym jej punkcie kontrolnym zmierzono dwukrotnie wyższe stężenia dla obydwu frakcji.

Wartości ujęte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku z (Tabela 3) wskazują uśredniony roczny poziom dopuszczalny dla pyłów PM2,5 oraz PM10 wynoszący odpowiednio 20 $\mu g \cdot m^{-3}$ oraz 40 $\mu g \cdot m^{-3}$ oraz w przypadku pyłu o średnicy cząstek poniżej 10 µm w ujęciu dobowym – 50 $\mu g \cdot m^{-3}$. W związku z tym wyników, uzyskanych poprzez jednokrotny pomiar, nie można porównać jednoznacznie z wymienionymi wartościami normatywnymi. Jednak odnosząc się do stopnia przekroczenia akceptowalnych poziomów, nawet kilkunastokrotnego, jakość powietrza w badanych obiektach budzi zaniepokojenie. Żadna z otrzymanych wartości nie spełnia wymogów wynikających z obowiązującego Rozporządzenia.

Odnosząc stężenia poziomów pyłów PM2,5 oraz PM10 w poszczególnych miejscach pomiarowych oraz terminach do indeksów jakości powietrza (Tabela 4), opracowanym przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, wśród wyników można wyróżnić 5 z nich. Procentowy rozkład poszczególnych klas na przestrzeni wszystkich pomiarów zamieszczono na wykresie kołowym (Rysunek 6). Otrzymane wartości najczęściej mieściły się w zakresie, odpowiadającym dostatecznej jakości powietrza. Razem z umiarkowaną oraz dobrą klasą powietrza obejmują ponad 50% wyników, z czego jednak większość (33%), przypada na jego dostateczny stan. Na uwagę zasługuje fakt, że aż 48% odczytów wskazywało na złą i bardzo złą jakość powietrza. Najwyższy stopień zapylenia przypadał na listopad, jednak tendencja wysokiego stężenia pyłów PM2,5 oraz PM10 utrzymywała się również w styczniu, głównie w kontekście zawartości frakcji o średnicy cząstek zastępczych poniżej 2,5 µm. Powietrze kwalifikujące się do zakresów akceptowalnych w głównej mierze otrzymano w pierwszym oraz ostatatnim poborze. W sierpniu 2022 r. jedynie w przypadku PM2,5 w punkcie II oraz IIK wyniki świadczą o złej jakości powietrza. W marcu natomiast były to trzy miejsca kontrolne IK, IIK i IVK oraz przechowalnia II.



Rysunek 6. Procentowy rozkład oznaczonych klas jakości powietrza zgodnie z indeksem jakości powietrza GIOŚ ze względu na zawartość pyłów PM2,5 oraz PM10 zmierzonych w badaniach własnych
Figure 6. Percentage distribution of the marked air quality classes according to the GIOŚ air quality index due to the content of PM2.5 and PM10 dust measured in our own studies.

Działalność rolnicza stanowi jedno z najpoważniejszych źródeł emisji pyłu zawieszonego PM2,5 w Europie. Ekspozycja na ponadnormatywne stężenia tego pyłu, zwłaszcza ze względu na wielkość cząstek, pozwalających na wniknięcie do układu krwionośnego i oddechowego, może prowadzić do negatywnych skutków dla zdrowia ludzi, w głównej mierze chorób układu oddechowego i krwionośnego. Jak szacuje Europejska Agencja Środowiskowa, zawartość pyłów w powietrzu na terenie Unii Europejskiej przyczynia się do ok. 450 tysięcy przedwczesnych śmierci w ciągu roku (Goździewicz-Biechnośka, 2017). Razem z zanieczyszczeniem pochodzenia fizycznego, do dróg oddechowych mogą przedostawać się potencjalnie chorobotwórcze mikroorganizmy, których koncentracja w badanych obiektach była wysoka.

W celu przeanalizowania związku pomiędzy stężeniem pyłów PM2,5 oraz PM10 w powietrzu, a panującą w chwili pomiaru temperaturą przeprowadzono analizę korealcji. Wyniki analizy statystycznej są podobne dla obydwu oznaczanych frakcji pyłów. Zgromadzone wyniki wskazują na ujemną korelację między temperaturą powietrza, a stężeniem liczebności pyłów. Wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona (r) w przypadku PM2,5 -0,31; co odpowiada korelacji przeciętnej. Natomiast dla stężenia PM10, r było równe -0,27; interpretowano jako słabe skorelowanie zmiennych. Ze względu na wielkość współczynnika bliskiej 0, można stwierdzić brak występowania zależności liniowej między zmiennymi. Nie oznacza to jednak braku związku. Wartości prawdopodobieństwa testowego (p) wynoszące 0,09 dla PM2,5 oraz 0,12 w przypadku analizy frakcji pyłu PM10, stanowią liczby mniejsze od przyjętego poziomu prawdopodobieństwa (α=0,05), co wyklucza ich istotność statystyczną. Współczynniki determinacji R^2 dla frakcji poniżej 2,5 wynosił około 0,1; a dla frakcji cząstek o średnicy poniżej 10 μm - 0,08; co świadczyło odpowiednio 10% i 8% zmienności stężenia pyłów wyjaśnionej regresją względem temperatury powietrza.

Zweryfikowano również zależność pomiędzy terminem poboru powietrza, a oznaczonym w tym samym czasie stężeniem pyłów PM2,5 oraz PM10. Wyniki te z racji tego, że gromadzone były w tym samym czasie, dają możliwość porównania zanieczyszczenia czynnikiem fizycznym przy podobnych warunkach atmosferycznych, panujących w punktach kontrolnych na wolnym powietrzu. Rezultatem analizy statystycznej była ponownie ujemna korelacja. Jednak w przypadku zależności między terminem wykonania pomiarów, a oznaczonych stężeniach pyłów, wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona wynosiły w przybliżeniu -0,2; co świadczy o korelacji słabej. Wartości prawdopodobieństwa testowego (p) na poziomie 0,07 ponownie świadczy o braku istotności r. Na podstawie wyników oceniono, że warunki panujące w punktach kontrolnych (IK, IIK, IIIK, IVK) mogą stanowić podstawę do obserwacji związku między temperaturą, a stężeniem pyłu PM2,5 oraz PM10. W przypadku przechowalni (I, II, III, IV) temperatura nie jest czynnikiem różnicującym poziom zapylenia. Wpływ na wartość stężenia w tych obiektach może mieć m.in. ilość kurzu nagromadzonego wraz z przechowywanym warzywem, powierzchnia przechowalni oraz moc agregatu chłodniczego, który powoduje ruch powietrza i wzbijanie się cząstek pyłu.

Zgromadzone wyniki przeanalizowano dodatkowo pod kątem występowania korelacji pomiędzy mikrobiologicznymi i fizycznymi czynnikami zanieczyszczającymi powietrze. W trakcie analizy statystycznej największy związek wykazano pomiędzy oznaczoną ilością jtk grzybów w 1 m^3 a frakcją pyłu o średnicy cząstek zastępczych poniżej 10 μm oraz 2,5 μm. Wyliczona w programie Statistica wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla obydwu frakcji pyłów wynosiła odpowiednio 0,35 dla PM10 oraz 0,33 w przypadku PM2,5, interpretowane jako korelacja dodatnia przeciętna. Kwadrat współczynnika korelacji dla pierwszego analizowanego przypadku mierzył jedynie 0,13, co tłumaczy się 13% zmiennością liczebności grzybów, będącej wyjaśnioną regresją odnośnie do stężenia pyłu PM10. W przypadku frakcji pyłu o średnicy cząstek zastępczych poniżej 2,5 μm wartość ta była równa 11%. Biorąc pod uwagę wartość p pomiędzy liczebnością grzybów a stężeniem pyłów zachodzi wysoce istotna korelacja.

Analiza statystyczna dla ilości oznaczonych promieniowców a zawartością w powietrzu pyłu PM2,5 wskazuje na ujemną korelację słabą. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona na poziomie 0,27 neguje występowanie zależności liniowej pomiędzy wymienionymi zmiennymi. Na podstawie wartości p równej 0,01 można ocenić korelację jako istotną, mimo braku związku liniowego.

Oznaczona ujemną korelacja słabą pomiędzy ilością promieniowców, a zawartością pyłów PM2,5 znajduje odzwierciedlenie w rezultatach uzyskanych przez Frączka i Grzyba (2013), w badaniach powietrza na terenie miasta Krakowa. Dowiedli oni związek pomiędzy badanymi zmiennymi dla każdej z mierzonych frakcji pyłów. W badaniach własnych związek między zwiększającą się liczebnością promieniowców wraz z obniżającą się temperaturą oznaczono jedynie w przypadku stężenia pyłów o średnicy cząstek poniżej 2,5 μm.

WNIOSKI

1. Przechowalnie pomimo utrzymywania systemów chłodzących stanowią miejsce sprzyjające rozwojowi drobnoustrojów.
2. Grupą mikroorganizmów oznaczaną najliczniej dla każdej z badanych przechowalni były grzyby.
3. Wraz z upływem okresu przechowywania warzyw w magazynach rosła średnia liczba oznaczonych grzybów, a malała średnia liczba bakterii ogólnych.
4. Przechowalnie oraz przestrzeń wokół gospodarstw rolnych stanowią środowisko o wysokim stopniu zapylenia.
5. Poziom zapylenia w przechowalniach nie zależy od temperatury, która w nich panuje.
6. Wykazano związek pomiędzy liczebnością grzybów [jtk·m^{-3}] a stężeniem pyłów PM2,5 oraz PM10, polegający na zwiększaniu się ilości oznaczanych drobnoustrojów wraz ze wzrostem stopnia zapylenia oznaczanymi frakcjami.
7. Stwierdzono ujemną korelację pomiędzy liczebnością oznaczonych promieniowców a stężeniem pyłów PM2,5 w powietrzu.
8. Wysoki poziom zapylenia oraz oznaczenie potencjalnie niebezpiecznych mikroorganizmów wewnątrz przechowalni budzi niepokój w kontekście negatywnego wpływu na zdrowie przebywających w nich osób, zwłaszcza uwzględniając długotrwałą ekspozycję na panujące w nich warunki, związana z pracami rolniczymi.

LITERATURA

1. Adamicki F., Dobrzański A., Nawrocka B., Sobolewski J. 2020. *Metodyka integrowanej produkcji buraków ćwikłowych. Główny Inspektorat Ochrony Roślin i Nasiennictwa*. Wyd. III. Warszawa.
2. Altunatmaz S. S., Issa G., Aydin A. 2012. *Detection of airborne psychrotrophic bacteria and fungi in food storage refrigerators*. Brazilian Journal of Microbiology, 43(4), 1436–1443.
3. Badełek E., Kosson R., Adamicki F., Maciorowski R., 2016. *Wpływ odmiany i warunków przechowywania na zawartość wybranych składników w cebuli*. Zeszyty Naukowe Instytutu Ogrodnictwa, 24.
4. Chądzyński A., Piróg M. 2013. *Technologia procesu przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków a układy funkcjonalno-przestrzenne obiektów*. Budownictwo i Architektura, 12(4), 21-28.
5. Chmiel M. J., Frączek K., Grzyb J. 2015. *Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza*. Woda-Środowisko-Obszary wiejskie: I-III, T.15, Z.1, 49, 17-27.
6. Goździewicz-Biechońska J. 2017. *Prawna ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami związanymi z prowadzeniem działalności rolniczej.* [W:] Studia Iuridica Agraria XV, 115-122.
7. Grzegorzewska M. 2018. *Nowe technologie w przechowywaniu warzyw*. Warzywa, 1, 62-64.
8. Grzyb J., Frączek K. 2013. *Bioaerosol-forming Actinomycetes at the selected sites of Kraków*. Ecological Chemistry and Engineering. A, 2013; 20: 443-436.
9. Idaszewska N, Bieńczak K. 2011. *Przewóz środków spożywczych zgodnie z najnowszą wersją umowy ATP*. Logistyka, (5), 61-63

10. Micek J. 2021. *Wpływ grzybów strzępkowych Mycota występujących w powietrzu atmosferycznym magazynów przechowalniczych na zdrowotność warzyw*. Praca doktorska.
11. PN-89/Z-04008/08 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek powietrza atmosferycznego (imisja) do badań mikrobiologicznych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
12. PN-89/Z-04111/02 Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną – oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym w próbkach powietrza pobranych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
13. PN-89/Z-04111/03 Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
14. Przerwa M. 2015. *Innowacyjne metody przechowywania warzyw*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu.
15. Przygodziński P., Rybacki P., Osuch A., Dworecki Z. 2016. *Przegląd systemów przechowywania warzyw w małych i średnich gospodarstwach rolnych.* Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 5, 18-20.
16. Ropek D., Frączek K. 2016. *Mikrobiologiczna jakość powietrza w obiektach inwentarskich gospodarstw rolnych.* Medycyna Środowiskowa, 19(3), 16-22.
17. Sadowiec K, Russel S. 2013. *Zagrożenia bakteriologiczne w budynkach inwentarskich.* Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska. Tom 3 Praca zbiorowa pod red. Teodory M. Traczewskiej Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, p. 601-607.
18. Szczech M., Smolińska U., Kowalska B., Kosson R., Szwejda-Grzybowska J., Tuszyńska M. 2014. *Zdrowa Żywność: Mikrobiologiczne bezpieczeństwo w produkcji rolniczej. Program Wieloletni. Rozwój zrównoważonych metod produkcji ogrodniczej w celu zapewnienia wysokiej jakości biologicznej i odżywczej produktów ogrodniczych oraz zachowania bioróżnorodności środowiska i ochrony jego zasobów*. Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
19. Toczylowski K., Wietlicka-Piszcz M., Grabowska M., Sulik A. 2021. *Cumulative Effects of Particulate Matter Pollution and Meteorological Variables on the Risk of Influenza-Like Illness.* Viruses, *13*(4), 556.
20. WHO. 2021. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.*
21. Wolny-Koładka K., Szatan M. 2015. *Określenie narażenia osób biegających w wybranych punktach Krakowa na aerozol mikrobiologiczny*. Medycyna Środowiskowa, 18, 2, 39-47.
22. Wołejko E., Kowaluk-Krupa A., Wydro U., Butarewicz A., Jabłońska-Trypuć A., Piekut J., Dec D., Łoboda T. 2016. *Ocena mikrobiologiczna jakości powietrza w zakładach piekarniczych.* Inżynieria Ekologiczna, 47, 182-188.
23. Zmysłowska I. 2003. *Mikrobiologia ogólna i środowiskowa*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego.

Źródła internetowe:

1. Główny Inspektorat Środowiska. Informacje zdrowotne – Indeks Jakości Powietrza. https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/health_informations

Autor korespondencyjny: Katarzyna Wolny-Koładka
ORCID: 0000-0003-2994-8842
E-mail: katarzyna.wolny@urk.edu.pl
Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Adama Mickiewicza 24/28,
30-059 Kraków

Ewelina Aksamit
Patrycja Szczechura
Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Adama Mickiewicza 24/28,
30-059 Kraków

Otrzymano: 21.02.2025
Zwrócono po recenzji: 27.03.2025
Opublikowano: 01.04.2025