



Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

**Anna Miernik**

*Analiza wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na aktywność  
mikrobiologiczną gleby*

*Rozprawa doktorska*

Praca wykonana pod kierunkiem:  
dr hab. inż. Pawła Kielbasy, prof. URK  
Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii  
i Procesów Produkcyjnych

Kraków, 2023

## *Streszczenie*

Rozprawa doktorska dotyczy określenia relacji ilościowo-jakościowych między wybranymi systemami rolnictwa precyzyjnego i wynikającymi z tych technologii parametrami fizycznymi gleby a zidentyfikowanymi mikroorganizmami glebowymi. Ponadto określono rozkład przestrzenny mikroorganizmów w profilu glebowym oraz usytuowano to zróżnicowanie w konkretnym miejscu pól stanowiących poligony doświadczalne a jednocześnie będącymi polami produkcyjnymi. Technologie precyzyjnego rolnictwa są wysublimowanym ciągiem działań, których kolejność, precyzja i zaawansowanie technologiczne mają istotne znaczenie zarówno dla wyników finansowych produkcji, jak i dla stopnia degradacji biologicznej gleby. Nowoczesne rolnictwo stawia przed sobą dwa główne cele, które muszą obecnie współistnieć - maksymalizacja plonów oraz minimalizacja ingerencji w środowisko glebowe. W ciągu ostatnich kilku dekad przeprowadzono badania, które miały na celu określenie wpływu poszczególnych praktyk agrotechnicznych na liczebność, różnorodność i aktywność mikroorganizmów w glebie. Przemiany mikrobiologiczne są skomplikowanym równowagowym procesem, który tworzy dynamiczną równowagę między nimi. Jednym z kluczowych wskaźników utrzymania równowagi między tymi dwoma celami jest stopień biologizacji gleby, którego parametryzacja jest istotnym zagadnieniem we współczesnych systemach produkcji. Mimo prowadzonych intensywnych badań, nadal brakuje dostatecznej ilości jakościowych danych dotyczących wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na proces biologizacji gleby. Obecnie identyfikacja tego zjawiska opiera się głównie na analizach laboratoryjnych, co ogranicza możliwość wykorzystania tych wyników do monitorowania i regulowania mikrobiologicznego życia gleby w czasie rzeczywistym. Uzyskane wyniki badań dały podstawę do sporządzenia wytycznych metodycznych dla technologii uprawy uwzględniającej informacje o mikroorganizmach glebowych, które będą pełnić funkcję determinanta poszczególnych zabiegów uprawowych. Posiadanie takiej wiedzy pozwoliłoby nam ocenić jakość mikroorganizmów obecnych w glebie oraz dostosować parametry produkcyjne różnych typów gleb w zależności od zawartości mikroorganizmów w nich obecnych. Praca obejmuje badania realizowane w trzech gospodarstwach o zróżnicowanej specyfice produkcji, parku maszynowym i technologiach, gdzie na wybranych obszarach wykonano szczegółowe pomiary dotyczące właściwości mechanicznych, elektrycznych, chemicznych i mikrobiologicznych gleby. Przeprowadzono badania laboratoryjne, w czasie których określono właściwości fizykochemiczno-biologiczne gleby zgodnie z przyjętą normatywnie metodyką badań. Następnie, przy użyciu metody odwrotnych odległości, zestawiono wyniki badań dla poszczególnych poligonów doświadczalnych. Wygenerowano mapy, ukazujące przestrzenną zmienność każdej zmierzonej wielkości. W ten sposób, dzięki przeprowadzonym badaniom i analizom, uzyskano kompleksowy obraz zmienności właściwości gleby w przestrzeni, co pozwoliło stworzyć trójwymiarową mapę potencjału produkcyjnego gleby. Stwierdzono, że technologia uprawy ma istotny wpływ na strukturę mikroorganizmów glebowych. Stwierdzono wpływ analizowanych systemów rolnictwa precyzyjnego na zróżnicowanie przestrzenne drobnoustrojów. Wykorzystując analizę jakościową mikroorganizmów stwierdzono, że promieniowce są najlepszym biomarkerem rolnictwa precyzyjnego, a bakterie wegetatywne i grzyby są markerami, które można stosować przy mniej zaawansowanych systemach rolnictwa precyzyjnego. Zaobserwowano, że na podstawie struktury ilościowej mikroorganizmów glebowych możliwa jest przestrzenna identyfikacja warunków wodno-powietrznych gleby i zawartości makroelementów. Obszary o wysokim zagęszczeniu, wilgotności, przewodnictwie elektrycznym gleby oraz niskiej zawartości azotu, fosforu, potasu, magnezu i niskim pH charakteryzują się niską liczebnością drobnoustrojów w profilu glebowym.

**Słowa kluczowe:** *technologie rolnictwa precyzyjnego, mikroorganizmy, gleba, biologizacji gleby*

## *Summary*

The dissertation is concerned with determining the quantitative-qualitative relationships between selected precision agriculture systems and the resulting soil physical parameters and identified soil microorganisms. In addition, the spatial distribution of microorganisms in the soil profile was determined, and this differentiation was located in a specific location of fields that are experimental fields and at the same time being production fields. Precision agriculture technologies are a sublime sequence of activities, the sequence, precision and technological sophistication of which are important for both the financial results of production and the degree of biological degradation of the soil. Modern agriculture has two main goals that must now coexist - maximizing yields and minimizing interference with the soil environment. Over the past few decades, studies have been conducted to determine the impact of specific agrotechnical practices on the abundance, diversity and activity of microorganisms in the soil. Microbial transformation is a complex equilibrium process that creates a dynamic balance between the two. One of the key indicators of maintaining the balance between these two goals is the degree of soil biologization, the parameterization of which is an important issue in modern production systems. Despite intensive research, there is still not enough qualitative data on the impact of precision farming technologies on the process of soil biologization. Currently, the identification of this phenomenon is mainly based on laboratory analyses, which limits the possibility of using these results to monitor and regulate soil microbial life in real time. The results obtained gave rise to methodological guidelines for cultivation technology taking into account information about soil microorganisms, which will act as a determinant of individual cultivation procedures. Having such knowledge would allow us to assess the quality of microorganisms present in the soil and adjust the production parameters of different types of soils depending on the content of microorganisms present in them. The work includes research carried out on three farms with different production characteristics, machinery and technologies, where detailed measurements were made in selected areas on the mechanical, electrical, chemical and microbiological properties of the soil. Laboratory tests were carried out, during which the physical, chemical and biological properties of the soil were determined in accordance with the normatively accepted testing methodology. Then, using the inverse-distance method, the results of the tests were compiled for each experimental polygon. Having such knowledge would allow us to assess the quality of microorganisms present in the soil and adjust the production parameters of different types of soils depending on the content of microorganisms present in them. The work includes research carried out on three farms with different production characteristics, machinery and technologies, where detailed measurements were made in selected areas on the mechanical, electrical, chemical and microbiological properties of the soil. Laboratory tests were carried out, during which the physical, chemical and biological properties of the soil were determined in accordance with the normatively accepted testing methodology. Then, using the inverse-distance method, the results of the tests were compiled for each experimental polygon. Maps were generated, showing the spatial variability of each measured quantity. In this way, thanks to the research and analysis conducted, a comprehensive picture of the variability of soil properties was obtained in space, which made it possible to create a three-dimensional map of soil production potential. Cultivation technology was found to have a significant impact on the structure of soil microorganisms. The influence of the analyzed precision farming systems on the spatial variation of microorganisms was found. Using qualitative analysis of microorganisms, it was found that radicellae are the best biomarkers for precision agriculture, while vegetative bacteria and fungi are markers that can be used for less advanced precision agriculture systems. It has been observed that based on the quantitative structure of soil microorganisms, it is possible to spatially identify soil water and aeration conditions and

macronutrient content. Areas with high density, moisture content, soil electrical conductivity and low nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium content and low pH are characterized by low microbial abundance in the soil profile.

**Keywords:** *precision agriculture technologies, microorganisms, soil, soil biologization*



## Spis treści

1	Wstęp.....	6
2	Przegląd literatury .....	8
2.1	Mikrobiologia gleby.....	8
2.1.1	Występowanie bakterii w glebie .....	10
2.1.2	Występowanie promieniowców w glebie.....	11
2.1.3	Występowanie grzybów w glebie.....	12
2.1.4	Analiza mikrobiologiczna gleby .....	14
2.2	Technologia uprawy a jakość gleby .....	17
2.2.1	Ekologiczne systemy uprawy .....	18
2.2.2	Konwencjonalne i intensywne systemy uprawy.....	19
2.2.3	Rolnictwo precyzyjne.....	19
3	Problem badawczy .....	22
4	Cel i zakres pracy .....	26
4.1.1	Cel pracy .....	26
4.1.2	Zakres pracy .....	26
5	Przedmiot i warunki badań.....	28
5.1	Obiekt i przedmiot badań .....	28
5.2	Warunki badań .....	30
6	Materiały i metody .....	30
6.1	Metodyka wyodrębniania pól do badań eksperymentalnych .....	30
6.2	Identyfikacja miejsc poboru próbek.....	33
6.3	Analiza mikrobiologiczna gleby .....	34
6.3.1	Pobór próbek .....	34
6.3.2	Przygotowanie próbek do analizy .....	34
6.3.3	Przygotowanie szkła laboratoryjnego .....	35
6.3.4	Przygotowanie podłoży hodowlanych do izolacji mikroorganizmów .....	35
6.3.5	Izolacja mikroorganizmów.....	36
6.3.6	Prowadzenie kolekcji szczepów.....	36
6.3.7	Identyfikacja gatunkowa techniką MALDI-TOF MS .....	37
6.4	Pomiar wybranych parametrów fizycznych gleby .....	38
6.4.1	Pomiar zwięzłości gleby metodą penetrometryczną oraz wilgotności gleby .....	38
6.4.2	Pomiar przewodności elektrycznej gleby metodą konduktometryczną .....	39
6.4.3	Pomiar odczynu chemicznego metodą potencjometryczną.....	40
6.5	Oznaczenie zawartości makroelementów w glebie.....	40

6.5.1	Oznaczenie zawartości pentatlenku difosforu i azotanów metodą kolorymetryczną....	40
6.5.2	Oznaczenie zawartości tlenku dipotasu metodą fotometrii płomieniowej .....	41
6.5.3	Oznaczenie zawartości magnezu techniką atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu (FAAS).....	41
6.6	Tworzenie map cyfrowych przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości .....	41
6.7	Analiza statystyczna.....	43
7	Wyniki.....	44
7.1	Obiekt I.....	44
7.1.1	Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby.....	44
7.1.2	Charakterystyka parametrów fizycznych gleby .....	80
7.1.3	Charakterystyka parametrów chemicznych gleby.....	90
7.1.4	Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby .....	108
7.1.5	Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby .....	111
7.1.6	Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów .....	114
7.2	Obiekt II .....	116
7.2.1	Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby.....	116
7.2.2	Charakterystyka parametrów fizycznych gleby .....	147
7.2.3	Charakterystyka parametrów chemicznych gleby.....	159
7.2.4	Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby .....	178
7.2.5	Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby .....	182
7.2.6	Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów .....	184
7.3	Obiekt III.....	185
7.3.1	Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby.....	185
7.3.2	Charakterystyka parametrów fizycznych gleby .....	220
7.3.3	Charakterystyka parametrów chemicznych gleby.....	231
7.3.4	Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby .....	248
7.3.5	Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby .....	252
7.3.6	Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów .....	254
8	Analiza statystyczna.....	256
9	Dyskusja.....	277
10	Wnioski .....	288
11	Literatura.....	292

# 1 WSTĘP

Technologie rolnictwa precyzyjnego stanowią wysublimowany ciąg czynności, których kolejność, stopień dokładności i zaawansowanie techniczne ma istotne znaczenie w wyniku finansowym produkcji, ale również stopniu degradacji biologicznej gleby. Stopień oczujnikowania systemów technicznych oraz przestrzeni pracy maszyn w tym gleby pozwala na generowanie mnóstwa sygnałów na podstawie których podejmowane są decyzje o intensywności kolejnych czynności technologicznych. Pomimo wykorzystywanych zaawansowanych technologii, których synergiczne wykorzystanie pozwala precyzyjnie określać przyrost, zdrowotność oraz potrzeby pokarmowe roślin, jednak stan biologizacji gleby jest często pomijany. Gleba, stanowiąca trójfazowy ośrodek; o określonym składzie mechanicznym, wody i powietrza, jest coraz częściej uznawana za nieodnawialny zasób w skali ludzkiego życia, ponieważ po degradacji, jej regeneracja jest niezwykle powolnym procesem. Biorąc pod uwagę znaczenie gleb dla produkcji roślinnej i hodowlanej, jej utrzymanie w dobrym stanie ma fundamentalne znaczenie. Aby dobrze zarządzać użytkowaniem gleb rolniczych, potrzeba naukowych, łatwych w zastosowaniu i opłacalnych narzędzi do oceny zmian jakości i funkcji gleby. Pojęcie jakości gleby obejmuje ocenę właściwości i procesów zachodzących w glebie, ponieważ odnoszą się one do jej zdolności do produktywnego funkcjonowania jako składnika ekosystemu. Swoiste funkcje zapewniane przez ekosystemy są zmienne i zależą od wielu fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby oraz procesów w niej zachodzących, które mogą różnić się przestrzennie oraz w skali czasowej [Bai i in., 2018].

W wyniku ograniczeń biofizycznych oraz szybkiego rozwoju strukturalnego i technologicznego, pojawiają się nowe sposoby gospodarowania, których wpływ na procesy i funkcje gleby jest w dużej mierze nieznany. Utrudnia to ocenę potencjału tych nowych praktyk w zakresie zrównoważonej intensyfikacji, stworzonych w odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na produkty żywnościowe i nieżywnościowe [Techen i in., 2020]. Zrównoważone rolnictwo obejmuje skuteczne zarządzanie zasobami rolnymi w celu zaspokojenia potrzeb ludzkich, przy jednoczesnym zachowaniu jakości środowiska i zasobów naturalnych na przyszłość. Poprawa zrównoważenia rolnictwa wymaga optymalnego wykorzystania żyzności gleby i zarządzania jej właściwościami fizyko-chemicznymi. Opiera się to na procesach biologicznych gleby i jej bioróżnorodności. Oznacza to zastosowanie praktyk zarządzania, zwiększających aktywność biologiczną gleby, a tym samym zwiększającą długoterminową produktywność gleby i zdrowie plonów. Takie praktyki są bardzo ważne na obszarach marginalnych, ponieważ pomagają uniknąć degradacji i przywracania terenów zdegradowanych, a także w regionach, w których rolnictwo o wysokim nakładzie zewnętrznym nie jest możliwe [Singh i in., 2011].

W przeszłości nauki mikrobiologiczne dotyczące gleby koncentrowały się na szkodliwych lub patogennych zagrożeniach stwarzanych przez niewielką liczbę mikroorganizmów żyjących w glebie. Spowodowało to odwrócenie uwagi od większości mikroorganizmów glebowych, które nie stanowią zagrożenia dla zdrowia człowieka ani dla produkcji rolnej, a które odgrywają zasadniczą rolę w mechanizmach mających podstawowe znaczenie dla trwałości cywilizacji ludzkiej i życia na naszej planecie. Interdyscyplinarne badania gleby muszą uwzględniać dynamiczny obszar wzajemnie oddziałujących na siebie procesów: holistyczny charakter żywej gleby oraz fakt, że ta część gleby jest tylko częścią większego systemu glebowego. Dzięki zastosowaniu metod integracyjnych, obejmujących nieniszczące obrazowanie, analizy chemiczne nowej generacji o znacznej rozdzielczości przestrzennej i czasowej oraz modelowanie symulacyjne, możliwe będzie poznanie dynamiki relacji między glebą a organizmami biologicznymi. Holistyczna nauka o glebie może znacznie zwiększyć zrozumienie systemów roślina-gleba i dostarczyć wskazówek

dotyczących palących problemów XXI wieku, takich jak zrównoważone rolnictwo i zmiany środowiskowe [Johns, 2017]. Technologie mikrobiologiczne w ostatnich latach ze znacznym sukcesem znalazły zastosowanie w różnych aspektach rolnictwa. Ponieważ mikroorganizmy są przydatne w pokonywaniu problemów związanych ze stosowaniem nawozów chemicznych i pestycydów, są obecnie szeroko stosowane w rolnictwie. Zanieczyszczenie środowiska przez nadmierną erozję gleby, nawozy chemiczne i pestycydy stanowią poważne zagrożenie dla środowiska. W celu rozwiązania tych problemów próbuje się wykorzystać środki chemiczne i fizyczne, które bez wdrożenia metod i technologii mikrobiologicznych okazują się nieskuteczne [Singh i in., 2011].

## 2 PRZEGLĄD LITERATURY

### 2.1 Mikrobiologia gleby

Gleba jest naturalnie występującym, niejednorodnym materiałem mineralnym i organicznym, który zapewnia środowisko bytowania żywym organizmom. Naukowcy badają glebę ze względu na liczbę i różnorodność interakcji zachodzących między jej składnikami biologicznymi, chemicznymi i fizycznymi [Barea i in., 2005; Buscot, 2005]. Żyzność gleby, czyli jej zdolność do wzbogacania roślin naturalnych i rolniczych, zależy od trzech współdziałających i wzajemnie zależnych elementów: żyzności fizycznej, chemicznej i biologicznej. Żyzność fizyczna odnosi się do fizycznych właściwości gleby, w tym do jej struktury, tekstury, zdolności pochłaniania i zatrzymywania wody oraz penetracji korzeni. Żyzność chemiczna obejmuje poziom składników pokarmowych i obecność warunków chemicznych, takich jak kwasowość, zasadowość i zasolenie, które mogą być szkodliwe lub toksyczne dla roślin. Natomiast żyzność biologiczna odnosi się do organizmów żyjących w glebie i współdziałających z pozostałymi składnikami. Organizmy te żyją w glebie, materii organicznej i przeprowadzają w niej wiele procesów życiowych. Niektóre z nich pełnią kluczowe funkcje w obiegu składników pokarmowych i węgla. Bardzo niewiele organizmów glebowych jest szkodnikami. Spośród tych trzech składników żyzności to element mikrobiologiczny, czyli bogata różnorodność organizmów takich jak bakterie, wirusy, grzyby i glony, które tworzą interaktywne społeczności jest najbardziej złożony i, paradoksalnie, najsłabiej poznany.

Mikrobiologia gleby to nauka o organizmach występujących w glebie, ich funkcjach i wpływie na właściwości gleby. Mikroorganizmy glebowe można sklasyfikować jako bakterie, promieniowce, grzyby, glony, pierwotniaki i wirusy. Każda z tych grup ma inne cechy charakterystyczne, które określają te organizmy, oraz inne funkcje w glebie, w której żyją. Co ważne, organizmy te nie istnieją w izolacji, lecz wzajemnie na siebie oddziałują, a te wzajemne oddziaływania wpływają na żyzność gleby w takim samym lub większym stopniu niż indywidualne działania poszczególnych organizmów [Johns, 2017]. Szeroki zakres zajmowanych przez gleby siedlisk umożliwia bytowanie ogromnej ilości biomasy, którą szacuje się na  $2,6 \cdot 10^{29}$  samych komórek prokariotycznych [Voroney, 2007]. Drobnoustroje występują w środowisku glebowym globalnie, niezależnie od położenia geograficznego, a także nierównomiernie. W wielu miejscach rozwijają się tylko określone grupy fizjologiczne mikroorganizmów. Jednocześnie mikrośrodowiska są oddalone od siebie olbrzymimi z punktu widzenia drobnoustrojów odległościami, a okres rozwoju danej grupy jest zmienny w danym biotypie. W każdym z mikrosiedlisk bytuje populacja rozkładająca znajdujący się tam substrat. Po zużyciu wszystkich substratów wzrost drobnoustrojów ulega zahamowaniu lub przechodzą one w formy przetrwalne. Największą liczebność drobnoustrojów można zaobserwować w warstwie gleby uprawnej do głębokości ok. 30 cm – tabela 1. W tej warstwie na powierzchni 1 hektara może znajdować się od kilkuset do kilku ton masy bakteryjnej. Natomiast Kwaśna podaje, że w warstwie ornej gleby na powierzchni 1 ha znajduje się od 3 do 15 ton bakterii, a w 1 g gleby występuje od kilku tysięcy do kilku miliardów komórek bakterii i promieniowców oraz 75 tysięcy do 1,5 miliona zarodników grzybów [Kunicki- Goldfinger, 1998; Kwaśna, 2007c]. Zdrowe gleby zawierają ogromną liczbę mikroorganizmów i znaczne ilości biomasy mikrobiologicznej. Przekłada się to na ogromny potencjał aktywności mikroorganizmów, gdy warunki glebowe (dostępne źródła węgla, wilgotność, napowietrzenie, temperatura, kwasowość/alkaliczność oraz dostępne nieorganiczne składniki odżywcze, takie jak azot) są korzystne. Potencjał aktywności musi być podkreślony, ponieważ w normalnych warunkach populacja mikroorganizmów nie

otrzymuje stałego dopływu łatwo dostępnych substratów, aby utrzymać długotrwałe wysokie tempo wzrostu. Wymagają one wilgotnego środowiska, z dostępem do tlenu znajdującego się w przestrzeniach powietrznych w glebie. Te przyczyny wyjaśniają, dlaczego 75% organizmów glebowych znajduje się w górnych pięciu centymetrach gleby. Wyjaśnia to jednak również, dlaczego wiele populacji mikroorganizmów glebowych w rolnictwie jest zubożonych [Johns, 2017].

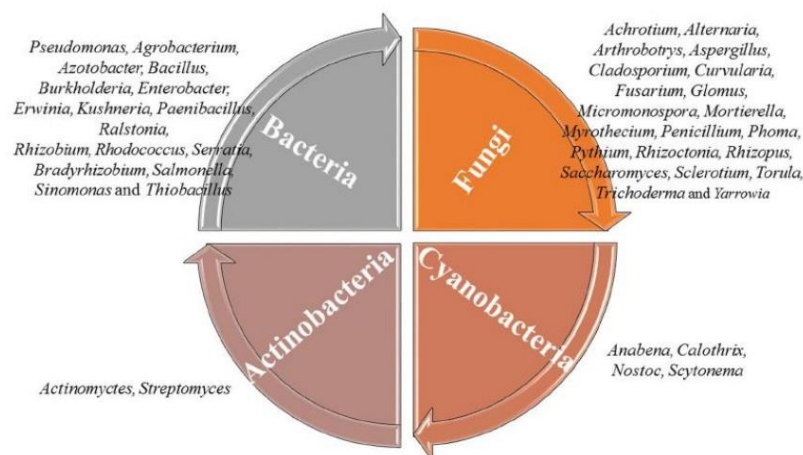
Tabela 1. Liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów wyrażona w tysiącach na 1 g suchej masy gleby w zależności od głębokości

Głębokość [cm]	Bakterie tlenowe	Bakterie beztlenowe	Promieniowce	Grzyby
3-8	7800	1950	2080	119
20-25	1800	379	245	50
35-40	472	98	49	14
65-75	10	1	5	6
135-145	1	0,4	-	5

*Źródło: Kunicki- Goldfinger, 1998*

Mikroorganizmy glebowe odgrywają zasadniczą rolę w rozkładaniu materii organicznej, krążeniu składników odżywczych i użyźnianiu gleby. Bez obiegu pierwiastków kontynuacja życia na Ziemi byłaby niemożliwa, ponieważ niezbędne składniki odżywcze zostałyby szybko pobrane przez organizmy i zamknięte w formie, która nie może być wykorzystana przez inne. Reakcje biorące udział w obiegu pierwiastków mają często charakter chemiczny, ale ważną rolę w obiegu pierwiastków odgrywają również reakcje biochemiczne, czyli te, w których biorą udział organizmy. W procesie tym podstawowe znaczenie mają mikroorganizmy glebowe. Mikroby glebowe są również ważne dla rozwoju zdrowej struktury gleby. Drobnoustroje glebowe wytwarzają wiele substancji gumowatych (na przykład polisacharydy i śluzu), które pomagają cementować agregaty glebowe. Należy podkreślić, że drobnoustroje mają niewielki wpływ na zmianę fizycznej struktury gleby, co jest zadaniem większych organizmów [Johns, 2017; Nannipieri i in., 2003]. Reasumując, rolą mikroorganizmów w ekosystemie glebowym jest:

1. uczestnictwo w cyklach biogeochemicznych wielu pierwiastków – węgla, azotu, fosforu, żelaza i siarki (rys. 1);
2. rozkład i mineralizacja substancji organicznej oraz przekształcanie związków mineralnych;
3. uwalnianie do podłoża wielu związków mineralnych;
4. zwiększanie dostępności jonów amonowych dla roślin;
5. uczestnictwo w tworzeniu i odnawianiu związków humusowych, wpływających na żyzność gleby;
6. przez uczestnictwo w tworzeniu humusu decydują o właściwościach biologicznych, chemicznych i fizycznych gleby;
7. biodegradacja związków toksycznych;
8. korzystny wpływ na żyzność i wzrost roślin przez wchodzenie w symbiozę z roślinami [Kwaśna, 2007a; Jabłońska, 2021; Jabłońska i in., 2022].



Źródło: Woźniak i Gałązka, 2019

Rys. 1. Mikroorganizmy biorące udział w obiegu fosforu [Woźniak i Gałązka, 2019]

### 2.1.1 Występowanie bakterii w glebie

Bakterie są najliczniejszą i podstawową grupą występującą w środowisku glebowym. Charakteryzują się również bardzo wysoką aktywnością. Bakterie glebowe można podzielić na trzy grupy. Do pierwszej grupy należą bakterie autochtoniczne, występujące w glebie zawsze, niezależnie od jej żyzności i rodzaju, bakterie zymogeniczne rozwijające się masowo po wprowadzeniu dużej ilości materii organicznej do gleby oraz bakterie allochtoniczne przeniesione do gleby z innego środowiska [Koźłwan i in., 2005; Kunicki- Goldfinger, 1998]. Mikrobiom autochtoniczny obejmuje pałeczki Gram-dodatnie, nieprzetrwalnikujące, mogące w czasie rozwoju rozpadać się do form ziarnkowych. Są to organizmy wolno rosnące, tlenowe, wykorzystujące jako źródło węgla i energii wiele związków, od prostych węglowodanów do związków aromatycznych i alifatycznych. Najliczniej tą grupę bakterii reprezentują organizmy należące do rodzaju: *Arthrobacter*, *Corynebacterium* i *Pseudomonas* (tabela 2) [Kunicki- Goldfinger, 1998]. Ponadto do autochtonów glebowych należą rodzaje: *Bacteroides*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Leuconostoc* i *Legionella*. Istotną grupę stanowią bakterie odpowiadające za obieg azotu, siarki i fosforu, do których klasyfikuje się rodzaje: *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus* i *Desulfovibrio* [Piotrowska i Kusewicz, 2010]. Po zwiększeniu materii organicznej np. dodatku resztek roślin silnie rozwija się grupa bakterii zymogenicznych. W jej skład wchodzi wiele gatunków *Pseudomonas* (które w pewnych warunkach mogą być zaliczane do grupy autochtonów), *Bacillus*, *Escherichia*, *Proteus* i *Corynebacterium* [Kunicki- Goldfinger, 1998; Piotrowska i Kusewicz, 2010].

Tabela 2. Udział procentowy poszczególnych grup bakterii w stosunku do całkowitej liczby bakterii w zależności od rodzaju gleby

Gleba	Udział procentowy w stosunku do całkowitej liczby bakterii		
	<i>Arthrobacter</i> i <i>Corynebacterium</i>	laseczki	pałeczki
<b>Orna, piaszczysta</b>	57,5-63,6	22,7-42,3	0-13,7
<b>Orna, gliniasta</b>	75	14	11
<b>Łąka</b>	43	14	43

Źródło: Kunicki- Goldfinger 1998

Wysoką liczebność bakterii można odnotować w pobliżu korzeni roślin i ich podziemnych części [Kunicki- Goldfinger, 1998]. Liczebność bakterii w ryzosferze przedstawia tabela 3. Drobnoustroje bytujące w ryzosferze odgrywają bardzo ważną rolę w kształtowaniu życia gospodarza roślinnego. Niektóre z nich korzystnie wpływają na wzrost i rozwój roślin np. bakterie wiążące azot atmosferyczny czy *Rhizobacteria* promujące wzrost roślin (PGPR ang. Plant Growth Promoting *Rhizobacteria*). Drobnoustroje te żyją symbiotycznie z roślinami w oparciu o wzajemne korzyści [Jankowska i Swędrzynska, 2016]. Ryzosfera jest zamieszkała przez różne mikroorganizmy nazywane ryzobakteriami [Kloepper, 1994; Kloepper i in., 1991].

Tabela 3. Stosunek liczby bakterii w ryzosferze i glebie poza korzeniowej w glebie nawożonej i nienawożonej w zależności od dni wzrostu rośliny

Grupa bakterii	Gleby nienawożone		Gleby nawożone	
	Dni wzrostu rośliny			
	80	117	80	117
<b>Bakterie ogółem</b>	35	45	26	120
<b>Beztlenowce</b>	19	40	12	46
<i>Nitrosomonas</i>	0,9	2,2	6	1,4
<i>Azotobacter</i>	0,4	5,3	0,9	1,5
<b>Amonifikatory</b>	17	9	29	167
<b>Denitryfikatory</b>	43	15	29	230

Źródło: Kunicki- Goldfinger 1998

Bakterie biorą udział w procesach glebotwórczych. Uczestniczą w wietrzeniu minerałów, tworzeniu poziomów glebowych oraz kształtowaniu i poprawie struktury gleby. Bakterie wydzielając kwasy organiczne i nieorganiczne generują rozpad i rozpuszczanie trwałych związków mineralnych – potasowych, wapniowych, magnezowych, krzemionkowych i żelazowych. Ze względu na bogactwo materii organicznej w górnej warstwie gleby oraz zmiany wilgotności i temperatury, formowanie tego poziomu glebowego jest intensywniejsze. Śluzowe metabolity bakteryjne oraz związki humusowe łączą gruzełki glebowe w większe agregaty, co sprzyja powstawaniu korzystniejszych warunków do rozwoju bakterii tlenowych i korzeni roślin. Dzięki temu następuje stabilizacja gleby, zatrzymanie wody, zwiększa się przewietrzanie gleby i zawartość materii organicznej oraz przeciwdziałła erozji [Kwaśna, 2007b].

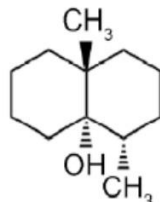
### 2.1.2 Występowanie promieniowców w glebie

Promieniowce to mikroorganizmy glebowe podobne zarówno do bakterii, jak i grzybów, posiadające cechy łączące je z obiema grupami. Często uważa się, że stanowią one brakujące ogniwo ewolucyjne pomiędzy bakteriami i grzybami, jednak mają one o wiele więcej cech wspólnych z bakteriami niż z grzybami [Johns, 2017]. Promieniowce występują głównie w glebie, ale można je także spotkać w wodach, kompostach i oborniku. Promieniowce w odróżnieniu od innych bakterii cechuje duży genom oraz wysoka zawartość par zasad guaniny i cytozyny w DNA [Starościak i in., 1998; Solecka i in., 2013]. Przyjmuje się, że od 5 do 10% genów promieniowców odpowiada za wtórny metabolizm [Baltz, 2008].

W żyznych glebach liczebność promieniowców jest mniejsza niż pozostałych bakterii natomiast w glebach przesuszonych ich liczebność może być znacząco wyższa. Gatunki saprofityczne wyróżniają się wysoką aktywnością w rozkładzie i mineralizacji materii organicznej. Są to dla nich podstawowe źródła węgla, azotu i energii. Promieniowce zdolne są



do prowadzenia rozmaitych procesów takich jak redukcje siarczanów do siarkowodoru, azotanów do azotynów oraz rozkładu białka z uwolnieniem do podłoża azotu. Produkty tych reakcji mogą być wykorzystywane przez rośliny, jak również przez inne mikroorganizmy. Z produktów ich działalności tworzona jest próchnica. Cechą charakterystyczną, świadczącą o ich występowaniu jest obecność geosminy (1,10-dimetylo-9-dekalol – rys. 2) o zapachu świeżo zaoranej gleby, produkowanej m.in. przez *Streptomyces griseus*. Wiele promieniowców np. z rodzaju *Micromonospora* dzięki zdolności do syntezy wielu enzymów, może prowadzić rozkład związków trudno degradowalnych – celulozy, chityny, ligniny, wyższych kwasów tłuszczowych, sterydów czy kwasów huminowych [Lenart-Boroń i Banach, 2014]. Promieniowce są zdolne także do syntezy liaz biorących udział w rozkładzie ścian komórkowych bakterii i grzybów [Starościk i in., 1998; Hopwood, 2007].



Źródło: Solecka i in., 2013

Rys 2. Struktura chemiczna geosminy

Promieniowce z rodzaju *Frankia* wchodzą w symbiozę z roślinami wyższymi, ułatwiając im pobieranie azotu. Organizmy te są zdolne do wiązania azotu atmosferycznego oraz w wyniku rozkładu materii organicznej udostępniania amoniaku jako łatwo przyswajalnej dla roślin formy azotu [Hopwood, 2007; Solecka i in., 2013]. Natomiast promieniowce z rodzaju *Thermomonospora* i *Thermoactinomyces* odpowiadają za rozkład materii organicznej w kompoście [Lenart-Boroń i Banach, 2014]. Wiele gatunków promieniowców jest zdolnych do produkcji barwników, głównie czarnych i brązowych odpowiadających za ciemny kolor humusu [Hopwood, 2007; Solecka i in., 2013]. Dzięki związkom symbiotycznym promieniowce nie tylko przyczyniają się do polepszenia wzrostu roślin, ale także zwiększają ich odporność na bakteryjne i grzybowe patogeny [Schrey i Tarkka, 2008; Solecka i in., 2013].

### 2.1.3 Występowanie grzybów w glebie

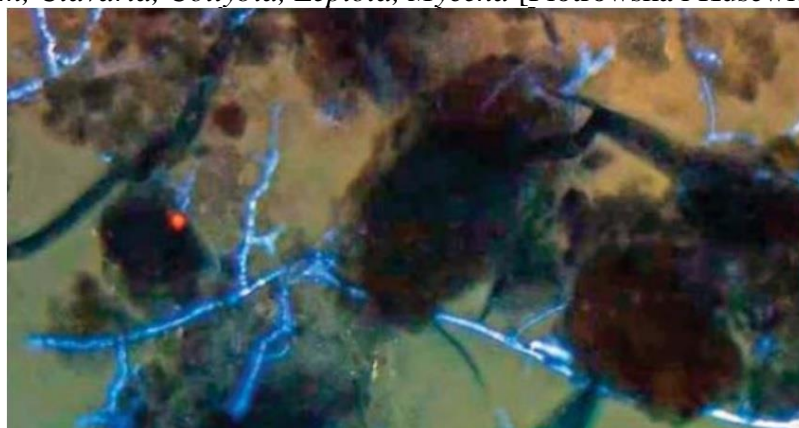
Grzyby są mikroorganizmami eukariotycznymi i tak jak rośliny posiadają ścianę komórkową. Są chemoorganoheterotrofami zdobywającymi energię konieczną do życia, w wyniku utleniania związków organicznych. Grzyby charakteryzują się ograniczonym zróżnicowaniem morfologicznym oraz niewielkim zróżnicowaniem funkcjonalnym [Schlegel 2003]. Najliczniej występującymi w glebie grzybami (rys. 3) są organizmy z rodzaju: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Zygorhynchus* i *Chaetomium*. Ich główną rolą w glebie, podobnie jak promieniowców jest rozkład materii organicznej oraz udział w tworzeniu próchnicy. W glebie bytują na jej powierzchni, choć strzępki można spotkać do głębokości ok. 1 metra. Rozwijają się one silnie w kwaśnej glebie, a ich obecność istotnie wpływa na odczyn gleby. Występują w glebie w formie grzybni lub jako spory. Ich liczebność w 1 gramie gleby może osiągać sto kilka tysięcy w zależności od wilgotności gleby (tabela 4) i jej zasobności w substancje odżywcze [Koźłwan i in., 2005].

Tabela 4. Występowanie grzybów w glebie w zależności od jej wilgotności

Procentowa wilgotność gleby	Liczba grzybów w tysiącach w przeliczeniu na 1 g gleby		
	całkowita	grzybnia	spory
8,9	99	60	39
11,2	89	57	32
18,5	142	113	29
27,1	173	153	20

Źródło: Kunicki- Goldfinger, 1998

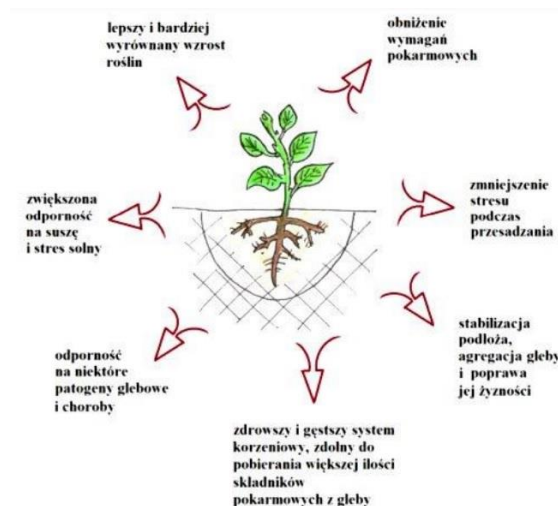
Wiele gatunków grzybów bierze udział w rozkładzie trudno degradowanych związków takich jak celuloza czy chityna. Do rodzajów grzybów biorących udział w tym procesie należą: *Chaetomium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Mortirella*, *Absidia*, *Stereum*, *Clavaria*, *Collybia*, *Lepiota*, *Mycena* [Piotrowska i Kusewicz, 2010].



Źródło: Johns, 2017

Rys 3. Strzępki grzyba (zaznaczone na niebiesko) rozciągające się w glebie

Z punktu widzenia rolnictwa, szczególną rolą grzybów jest nawiązywanie stosunków mutualistycznych z roślinami jakimi są mikoryzy. Mikoryza polega na nawiązaniu współpracy pomiędzy rośliną a grzybem strzępkowym, w trakcie której oba organizmy odnoszą korzyści. Grzyb pobiera i udostępnia roślinie związki mineralne zawarte w glebie, w zamian otrzymując od rośliny związki węglowe syntetyzowane w czasie fotosyntezy. Mikoryzę można podzielić na trzy zasadnicze grupy: mikoryzę zewnętrzną – ektomikoryzę, mikoryzę wewnętrzną – endomikoryzę oraz formę przejściową – ektoendomikoryzę [Kurcek, 2011; Krupa, 2010]. Według Martyniuka [2010] oddziaływanie między roślinami uprawnymi a grzybami mikoryzowymi należą do grupy endomikoryz. Endomikoryza jest najbardziej rozpowszechnioną formą symbiozy. Mikoryza ta jest typowa dla grzybów z gromady *Glomeromycota*. Strzępki grzyba wnikają do kory pierwotnej korzenia i zostają tam strawione. We wnętrzu komórek korzenia mogą tworzyć się dwa rodzaje struktur: wesikule będące strzępkami magazynującymi lipidy i arbuskule odpowiadające za wymianę substancji organicznych między grzybem a rośliną [Krupa, 2010]. Ogólnie roślina z endomikoryzą nie wykazuje różnic w wyglądzie w stosunku do rośliny niemikoryzowej, to czasem możliwe jest zaobserwowanie stwardnienia czy zmiany barwy korzenia [Kurcek, 2011]. Sas-Paszt i inni [2015 i 2019] donoszą, że bio-nawozy wzbogacone o arbuskularne grzyby mikoryzowe i grzyby nitkowate mają stymulujący wpływ na wzrost i rozmnażanie wielu gatunków roślin. Poza poprawą plonowania i odporności roślin, niewątpliwą korzyścią wynikającą z mikoryzy jest konkurencyjność przy zasiedlaniu. Znajdujące się na terenach rolniczych chwasty są w ten sposób w naturalny sposób limitowane, bez konieczności stosowania herbicydów. Korzyści występujące z tytułu powstawania oddziaływań mikoryzowych zostały przedstawione na rysunku 4.



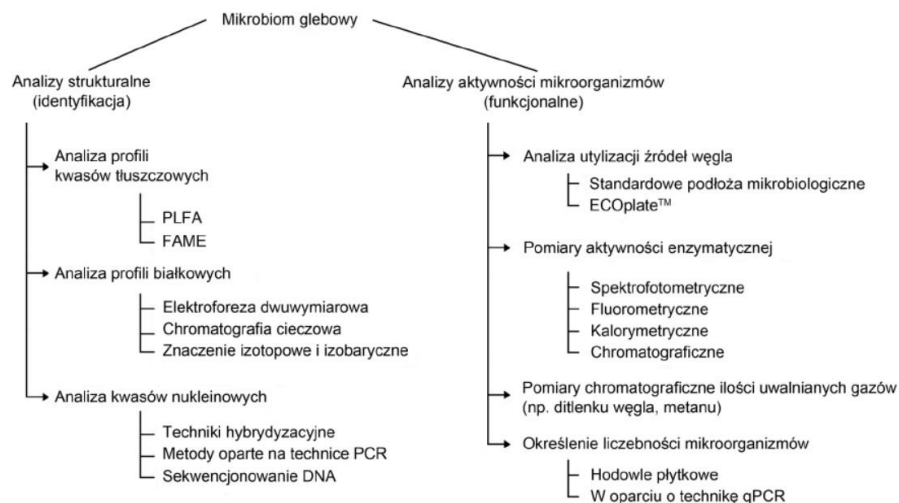
Źródło: Kurcek, 2011

Rys 4. Wpływ mikoryzy na rośliny

#### 2.1.4 Analiza mikrobiologiczna gleby

Aktywność mikrobiologiczną gleby można mierzyć posługując się takimi parametrami jak ogólna liczebność (lub liczebność konkretnych, specyficznych grup drobnoustrojów), biomasa oraz aktywność enzymatyczna [Alef i in., 1995; Scinner i in., 1995; Bloem i in., 2006]. Cechy charakteryzujące drobnoustroje glebowe są ze sobą powiązane i mają związek z właściwościami fizykochemicznymi gleby [Martyniuk i in., 1997]. Aktywność mikrobiologiczna bezpośrednio określa jakość gleby, ze względu na to, że mikrobiologiczny edafon odpowiada za przebieg wielu ważnych procesów biogeochemicznych [Furtak i in., 2018; Tabatabai i in., 2002]. Informacje dotyczące różnorodności i aktywności drobnoustrojów umożliwiają ocenę środowiska glebowego, co jest szczególnie ważne w rolnictwie. Podejmowane działania antropogeniczne takie jak intensyfikacja rolnictwa czy stosowanie środków ochrony roślin - prowadzi do wystąpienia istotnych zmian aktywności mikrobiologicznej gleby [Furtak i in., 2018; Nannipieri i in., 2003]. Antropogenizacja może także negatywnie rzutować na różnorodność mikrobiomu, co odbije się na trwałości i wielofunkcyjności gleby oraz w konsekwencji wpłynie na produktywność gleby jak i żyjącej w niej roślinności [Furtak i in., 2018; Gajda, 2015; Scherer-Lorenzen i in., 2003; Wagg i in., 2014].

Do analizy aktywności mikrobiologicznej można zastosować wiele metod. Sposoby analiz klasyfikuje się głównie na podstawie rodzaju wykorzystywanej techniki oraz celu przeprowadzania testów. Na rysunku 5 zobrazowano przykładowe metody analizy mikroorganizmów glebowych. Najczęściej stosowane metody biochemiczne umożliwiają określenie zdolności do syntezy, rozkładu czy asymilacji określonych związków chemicznych znajdujących się w glebie przez mikroorganizmy. Techniki biochemiczne pozwalają oznaczyć aktywność oraz zidentyfikować drobnoustroje na podstawie wybranych związków wchodzących w skład budowy ich organelli oraz produktów ich metabolizmu [Furtak i in., 2018].



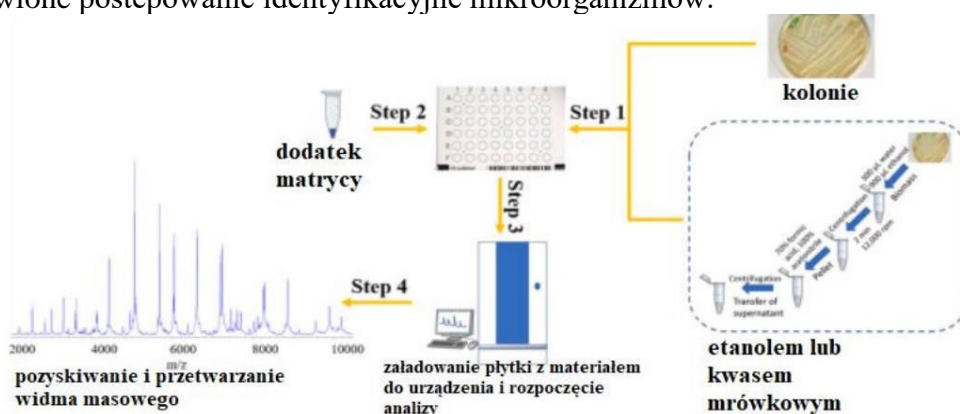
*Źródło: Furtak i in., 2018*

Rys 5. Przykładowe metody analizy mikrobiomu glebowego

Identyfikacja mikroorganizmów stanowi większe wyzwanie w badaniach środowiskowych niż w mikrobiologii klinicznej ze względu na ogromną różnorodność środowisk, w których żyją drobnoustroje. Dlatego szybka i wiarygodna charakterystyka izolatów środowiskowych ma zasadnicze znaczenie dla badania mikrobów istotnych dla środowiska [Torsvik i in., 2002].

Od ponad 50 lat różnicowanie bakterii i grzybów odbywa się głównie za pomocą mikroskopii i analizy cech metabolicznych z wykorzystaniem profili reakcji biochemicznych. W ostatnich latach spektrometria mas wspomagana laserową desorpcją jonizacji w czasie przelotu (MALDI-TOF MS) została wdrożona do rutynowych analiz i wykorzystana jako zupełnie nowe podejście do identyfikacji bakterii i drożdży. MALDI-TOF MS może przeprowadzać identyfikację na poziomie gatunku bez potrzeby wstępnego różnicowania.

Spektrometria masowa jest techniką analityczną używaną do analizy stosunku masy do ładunku różnych związków [Weiser i in., 2012]. MALDI-TOF MS polega na wykrywaniu stosunku masy do ładunku białek rybosomalnych mikroorganizmów, co pomaga zapewnić unikalne widmo masowe drobnoustrojów w krótkim czasie [Carbonnelle i in., 2011]. Identyfikację zapewnia porównanie widma z widmami szczepów referencyjnych w oparciu o najbliższe dopasowanie [Popovic i in., 2017]. Na rysunku 6 zostało przedstawione postępowanie identyfikacyjne mikroorganizmów.



*Źródło: Ashfaq i in., 2022*

Rys 6. Schemat postępowania przy identyfikacji mikroorganizmów techniką MALDI TOF MS

Monitorowanie różnych środowisk, żywności i powierzchni jest ważne dla badania składu i różnorodności drobnoustrojów. Czasami ma to na celu monitorowanie rozprzestrzeniania się bakterii chorobotwórczych, a czasami śledzenie źródła skażenia bakteryjnego. MALDI-TOF MS wykazał swój potencjał do wykorzystania do ciągłego monitorowania takich środowisk i dostarczania przydatnych informacji na temat składu i bioróżnorodności bakterii. Technika ta została również wykorzystana do analizy bakteryjnej wód naturalnych, ścieków i wody pitnej do celów monitorowania środowiska. Na przykład niedawno przeprowadzono badanie w celu analizy składników bakteryjnych wody z kranu i wody mineralnej; dwóch powszechnie używanych źródeł wody pitnej [Sala-Comorera i in., 2020].

## 2.2 Technologia uprawy a jakość gleby

Wyzwania stojące przed rolnictwem są ogromne - sektor rolniczy ma realizować kilka celów, a jednocześnie być zrównoważony i ekonomicznie opłacalny w perspektywie długoterminowej [Lindblom i in., 2017]. Powszechnie wiadomo, że działalność rolnicza człowieka wywiera wpływ na środowisko glebowe, a zmiany w glebie kształtują zmiany w całym towarzyszącym jej ekosystemie. Rolnictwo jest nieodzowną częścią gospodarki i produkcji, ale to człowiek decyduje, czy uprawia glebę w celu zwiększenia plonów tylko przez jeden rok, czy też w dalszej perspektywie. Stan gleby i jej jakość pogarszają się z upływem czasu. Wiele skutków działalności człowieka jest widocznych nie wcześniej niż kilka, a nawet kilkanaście lat później. Z tego powodu warto prowadzić monitoring gruntów rolnych, aby obserwować, jak szybko i w jakim zakresie zachodzą zmiany. Ważne jest rozsądne gospodarowanie środowiskiem, tak aby nie ulegało ono degradacji, a jednocześnie pozwalało na uzyskiwanie dobrych wyników produkcyjnych. Dodatkowym problemem jest trudność w interpretacji i porównywaniu wyników oznaczeń parametrów biogeochemicznych z nowymi metodami identyfikacji drobnoustrojów. Dlatego tematyka zmian zachodzących w glebie rolniczej jest wyzwaniem i celem badań nauk rolniczych [Furtak i Gajda, 2018].

Jakość gleby odgrywa ważną rolę w ochronie środowiska, zachowaniu bioróżnorodności i dobrych praktyk rolniczych [Girvan i in., 2003; Lemaire i in., 2014; Martinez-Selgado i in., 2010]. Rolnictwo oddziałuje na glebę, kształtując tym samym skład jakościowy i ilościowy mikroorganizmów glebowych. Intensyfikacja rolnictwa i stosowanie środków ochrony roślin, zmienia aktywność i różnorodność środowiska glebowego, co może doprowadzić do zmian w funkcjonowaniu i trwałości ekosystemu, a w konsekwencji prowadzi do zmian w różnorodności i produktywności roślin [Nannipieri i in., 2003; Gajda, 2015; Wagg i in., 2014]. Działalność człowieka ma na celu nadanie glebie jak najlepszych właściwości produkcyjnych by uzyskać większe plonowanie roślin. Prawidłowa gospodarka rolna powinna uwzględniać nie tylko fizykochemiczne właściwości gleby ale także jej właściwości mikrobiologiczne. Różnorodność i aktywność mikroorganizmów jest czułym wskaźnikiem jakości gleby, który jest obecnie przedmiotem badań wielu naukowców. Obecnie stosowane systemy uprawy modyfikują skład ilościowy i jakościowy organizmów zasiedlających środowisko glebowe [Kladivko i in., 2001]. Mikroorganizmy glebowe są wrażliwe na czynniki antropogeniczne, a w szczególności na działalność rolniczą [Kuffner i in., 2004]. Liczne badania dowodzą, że zabiegi agrotechniczne silnie zmieniają parametry fizykochemiczne gleby [Girvan i in., 2003; Wolińska i in., 2016a; Wolińska i in., 2016b; Wolińska i in., 2017; Singh i in., 2016]. Zmiany tych parametrów wpływają na różnorodność mikroorganizmów glebowych [Kheyrodin i in., 2012; Tintor i in., 2009]. Wskazuje się, że gleba ma dużą zdolność do zachowania różnorodności biologicznej, jednak przypuszcza się, że techniki rolnicze generują jednorodne środowisko glebowe i zmniejszają różnorodność mikrobiologiczną [Girvan i in., 2003; Palmer i Young, 2000]. Obecnie prowadzi się liczne badania mające na celu porównanie wpływu systemów uprawy roli na mikrobiologię gleby [Abigail i in., 2005; Wolińska i in., 2016b; Kheyrodin i in., 2012; Tintor i in., 2009; Gajda i in., 2017]. Z badań przeprowadzonych przez Wolińską i współpracowników [2016a; 2016b] wynika również, że gleby użytkowane rolniczo ulegają degradacji, czego wyrazem jest obniżenie parametrów mikrobiologicznych w porównaniu z glebami nieuprawianymi. Zmiany w zbiorowiskach glebowych i utrata różnorodności biologicznej gleb zagrażają wielofunkcyjności i trwałości ekosystemu [Wagg i in., 2014].

Badania nad jakością gleby są bardzo ważne z punktu widzenia jakości uzyskiwanych plonów oraz oceny wpływu rolnictwa na środowisko. Gleba jako środowisko życia wielu organizmów i miejsce występowania wielu procesów biochemicznych jest wrażliwa na czynniki naturalne i abiotyczne, w tym na działalność rolniczą. Ocena jakości gleby opiera się

na analizie jej parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych. Jednak mimo wielu badań i różnorodności stosowanych metod nadal nie ma jednego, uniwersalnego parametru, który pozwoliłby na szybkie określenie jakości gleby. Ponadto konieczne jest prowadzenie badań długoterminowych, ponieważ tylko w ten sposób można zauważyć zmiany zachodzące w środowisku [Furtak i Gajda, 2018].

### 2.2.1 Ekologiczne systemy uprawy

Rolnictwo ekologiczne jest powszechnie postrzegane jako bardziej przyjazne dla środowiska niż rolnictwo konwencjonalne. Jako forma rolnictwa zrównoważonego otrzymuje ono znaczące wsparcie ze strony polityki, ponieważ przyczynia się do ochrony środowiska, a także zapewnia takie udogodnienia, jak różnorodność biologiczna. Konsumenci są zainteresowani żywnością ekologiczną, ponieważ jest ona produkowana bez użycia syntetycznych środków chemicznych i spełnia wyższe standardy dobrostanu zwierząt. Rolnictwo ekologiczne stało się alternatywą dla konwencjonalnego rolnictwa i łańcuchów żywnościowych [Darnhofer i in., 2010].

Rolnictwo ekologiczne to system produkcji, który w maksymalnym lub znacznym stopniu unika lub wyklucza stosowanie syntetycznych nawozów, pestycydów, regulatorów wzrostu lub dodatków paszowych dla zwierząt gospodarskich. Zarządzanie rolnictwem ekologicznym opiera się na rozwijaniu różnorodności biologicznej na polach, tak aby zakłócić siedliska organizmów szkodliwych, oraz na celowym utrzymywaniu i uzupełnianiu żyzności gleby [Gałązka i in., 2016; Gałązka i in., 2017; Singh, 2021]. System rolnictwa ekologicznego opiera się na stosowaniu płodozmianu, resztek poźniwnych, obornika zwierzęcego, roślin strączkowych, nawozu zielonego, odpadów organicznych z gospodarstwa i spoza niego, uprawy mechanicznej i biologicznej ochrony przed szkodnikami, co pozwala utrzymać wydajność i strukturę gleby, dostarczać składniki odżywcze roślinom oraz zwalczać chwasty i inne szkodniki [Gałązka i in., 2017; Singh, 2021]. Wśród systemów ekologicznych stosuje się również uprawę bezorkową, która ogranicza się do wykonania rowka pod siew nasion. Badania wykazały, że uproszczenia prowadzą do zwiększenia liczby grzybów z rodzaju *Cladosporium* i *Mucor*, które mogą hamować rozwój patogenów w glebie [Lenart i Stowiński, 2010]. Badania przeprowadzone przez Caporali i współpracowników [2003] wykazały, że rolnictwo ekologiczne przyczynia się do zachowania bioróżnorodności gleby. Ponadto, nawożenie organiczne wywiera korzystny wpływ na mikrobiologię gleby [Dumontet i in., 2017; Zhang i in., 2012].

W ekologicznym podejściu do rolnictwa uznaje się, że całe środowisko, w którym rosną rośliny, jest czymś więcej niż sumą jego poszczególnych części, a wszystkie żywe istoty są ze sobą powiązane i wzajemnie od siebie zależne. Uprawa ekologiczna polega na traktowaniu gleby i środowiska jako zasobu, którym należy się opiekować dla przyszłych pokoleń. W rolnictwie ekologicznym różnorodność biologiczna jest zarówno narzędziem, jak i celem. Naturalna równowaga ekologiczna, zarówno pod, jak i nad ziemią, jest kluczem do sukcesu. Zdrowa gleba jest podstawą produkcji żywności, a różnorodność roślin i zwierząt na ziemi zapobiega epidemii szkodników i chorób. Choć rolnictwo ekologiczne angażuje się w ochronę i zwiększanie bioróżnorodności, wiele systemów ogranicza się dziś do zastępowania środków produkcji. Budowanie żyzności gleby jest podstawą rolnictwa ekologicznego. Praktyki ekologiczne stwarzają odpowiednie warunki dla zasobów biotycznych i abiotycznych. Badania naukowe prowadzone w Europie wykazały, że gleby zagospodarowane ekologicznie znacznie zwiększają aktywność biologiczną oraz gęstość i różnorodność mikroorganizmów glebowych. Taka bioróżnorodność poprawia recykling składników odżywczych i strukturę gleby. Wiele badań wskazuje na to, że rolnictwo



ekologiczne chroni bioróżnorodność pozarolniczą i stanowi realną alternatywę dla obszarów chronionych, na których dozwolona jest działalność człowieka [Singh, 2021].

## 2.2.2 Konwencjonalne i intensywne systemy uprawy

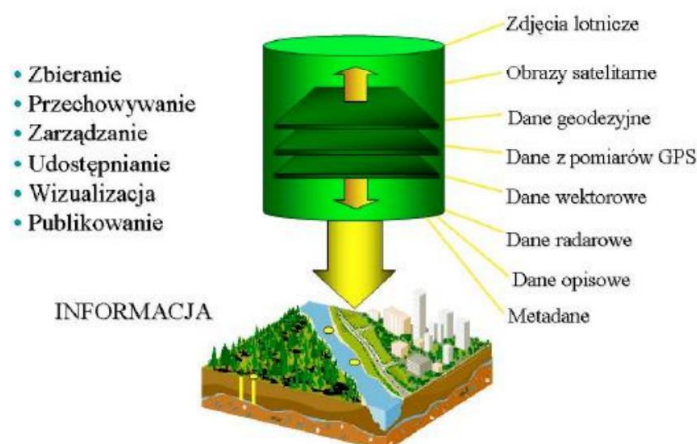
Tradycyjne systemy uprawy oparte są na specjalistycznych maszynach rolniczych, które bezpośrednio ingerują w strukturę gleby. Głęboka orka, sięgająca nawet 35 cm w głąb gleby, może powodować negatywne skutki w zakresie fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby [Busari i in., 2015; Derpsch i Friedrich, 2009]. Liczne badania wykazały, że konwencjonalna uprawa gleby i monokultura mogą mieć negatywny wpływ na jakość gleby [Gałązka i in., 2017; Gajda i in., 2016; Tran i in., 2016]. Intensywna orka prowadzi do większego zagęszczenia gleby, co może skutkować niższymi plonami. Intensywna produkcja roślinna i gospodarstwa wieloobszarowe bardzo często nie biorą pod uwagę ochrony środowiska i mogą mieć szkodliwy wpływ na jakość gleby [Tran i in., 2016]. W rolnictwie intensywnym stosuje się wiele nawozów mineralnych, antybiotyków i hormonów, co prowadzi do degradacji środowiska glebowego, a to zwiększa ryzyko utraty różnorodności biologicznej. Intensywne mieszanie gleby pługiem rozstawnym powoduje straty materii organicznej poprzez przyspieszenie procesu mineralizacji próchnicy. Wieloletnia konwencjonalna uprawa gleby może również przyczynić się do zmniejszania się populacji mikroorganizmów w glebie [Kheyrodin i in., 2012; Marquard i in., 2009].

## 2.2.3 Rolnictwo precyzyjne

Rolnictwo precyzyjne jest jedną z dziesięciu największych rewolucji w rolnictwie, choć praktykowane jest dopiero od lat 90-tych [Crookston, 2006]. Systemy produkcji rolnej skorzystały z włączenia postępu technologicznego opracowanego przede wszystkim dla innych gałęzi przemysłu. Rozwój przemysłu przyniósł mechanizację, a era technologii zaoferowała automatyzację [Zhang i in., 2002]. Rolnictwo precyzyjne opiera się na stosowaniu technologii i zasad zarządzania zmiennością przestrzenną i czasową związaną ze wszystkimi aspektami produkcji rolnej w celu poprawy wydajności upraw i jakości środowiska. Sukces rolnictwa precyzyjnego zależy od tego jak dobrze można wykorzystać jego zalety w produkcji roślinnej [Pierce i Nowak, 1999]. Taki sposób gospodarowania pozwala na optymalizację produkcji jednocześnie uwzględniając aspekty ekonomiczne i ekologiczne [Walczykova i in., 2016]. Podstawą rolnictwa precyzyjnego jest przestrzenna i czasowa zmienność gleb i czynników uprawnych w obrębie pola. Technologia rolnictwa precyzyjnego wykorzystuje gromadzone dane i ich przetwarzanie w celu zwiększenia efektywności produkcji [Mulla, 2012]. Rolnictwo precyzyjne postrzegane jest przez producentów jako właściwa droga produkcji roślin, ze względu na to, że optymalizacja nakładów prowadzi do obniżenia kosztów [Stafford, 2000]. Rolnictwo precyzyjne obejmuje lepsze zarządzanie nakładami rolnymi, takimi jak nawozy, herbicydy czy paliwo, poprzez stosowanie odpowiedniej praktyki zarządzania we właściwym miejscu i czasie. Gdy duże pola objęte konwencjonalnym systemem uprawy utrzymują jednolite zastosowanie np. nawożenia, z zastosowaniem rolnictwa precyzyjnego pole można podzielić na strefy, które będą różnie zarządzane, w zależności od rodzaju gleby i wcześniej stosowanych zabiegów. Z zastosowaniem technologii rolnictwa precyzyjnego można poprawić wydajność upraw, rentowność gospodarstw oraz ograniczyć antropogeniczną degradację środowiska, wynikającą z nadmiernego stosowania nawozów azotowych, fosforowych i środków ochrony roślin. Technologia ta odgrywa ważną rolę w zaspokojeniu zapotrzebowania na żywność, przy rozsądnym korzystaniu z zasobów naturalnych [Mulla, 2012; Walczykova i in., 2016].



Istotą stosowania systemu rolnictwa precyzyjnego jest gromadzenie i analiza danych przestrzennych określających zmienność oznaczanych cech w obrębie pola uprawnego, dzięki systemom informacji przestrzennej (ang. Geographic Information System), które są definiowane jako „zbiór technologii, obejmujących narzędzia, metody oraz oprogramowanie pozwalające na zebranie, przechowywanie, przetwarzanie i analizę danych zlokalizowanych przestrzennie” [Gozdowski i in., 2007; Olenderek i Będkowski, 2004]. Na globalny system nawigacji składają się dwa systemy satelitarne – amerykański GPS- NAVSTAR i rosyjski GLONASS [Walczykova i in., 2016]. System GIS pozwala na kolekcjonowanie danych dotyczących właściwości gleb, właściwości roślin, plonu, agrofagów i danych meteorologicznych – rys. 7 [Doruchowski, 2008].



Źródło: Bobola i Sztampke 2008

Rys. 7. Integracja danych i funkcje GIS

Zbieranie danych na skalę masową jest możliwe dzięki zaopatrzeniu urządzeń rolniczych w system GPS (ang. Global Positioning System). Zarządzanie zmiennością można osiągnąć z wykorzystaniem jednej z dwóch metod lub ich kombinacji. Metoda map-based oparta jest na zgromadzeniu danych, ich analizie i późniejszym wykorzystaniu tej wiedzy do optymalizacji zabiegów rolniczych, na podstawie specjalnie stworzonych map aplikacyjnych [Gozdowski i in., 2007]. Dzięki dostępowi do technologii GPS, teledetekcji, monitorowaniu plonów i próbkowaniu gleby – podejście oparte na mapie jest zdecydowanie łatwiejsze do wdrożenia. Gospodarowanie przy użyciu map wymaga wykonania siatki pola, analiz laboratoryjnych i wygenerowania specyficznej mapy, by dzięki niej sterować aplikatorem. Drugą metodą jest technika sensor-based, w której wykorzystywane są czujniki działające w czasie rzeczywistym, mierzące określone, pożądane właściwości gleby i roślin. Większość gospodarstw stosujących rolnictwo precyzyjne wykorzystuje technologię opartą na tworzeniu map aplikacyjnych. Ze względu na niewystarczającą dokładność, niedostępność lub zbyt dużą cenę, czujniki są rzadko wykorzystywane [Zhang i in., 2002].

W aspekcie technologii rolnictwa precyzyjnego najczęściej rozpatrywana jest zmienność przestrzenna, będąca wynikiem zmienności właściwości fizycznych gleby oraz antropogenicznej ingerencji w środowisko glebowe. Do jej rozpoznania konieczne jest przeprowadzenie szeregu analiz ilościowo – jakościowych przedstawiających skalę tej zmienności. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu metod geostatystycznych, pozwalających na podstawie występującego trendu określić konieczność zastosowania konkretnych zabiegów agrotechnicznych [Stępień i Pudełko, 2018]. Uprawa roślin jest związana z klimatem i warunkami glebowymi. Różnice w warunkach produkcyjnych mogą być trwałe lub czasowe i występować w obrębie jednego pola [Walczykova i in., 2016]. Uzasadnia to stosowanie zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych. Koniecznością staje się posiadanie dokładnych

map właściwości glebowych determinujących użytkowanie i produktywność pól. Obecnie wykorzystywane technologie umożliwiają stosowanie zróżnicowanych czynności agrotechnicznych z rozdzielczością roboczą stosowanych maszyn. Technologia rolnictwa precyzyjnego stosuje i rozwija nowatorskie rozwiązania umożliwiające zmniejszenie ilości pobieranych próbek, bez wpływu na jakość otrzymywanych danych informujących o zmienności występującej na polu [Stępień i Samborski, 2018]. Wyznaczenie obszarów pola jest wieloaspektowym procesem, wymagającym jak największego uproszczenia, otrzymywanego na podstawie jednego czynnika wraz z ustaleniem jego korelacji ze zmiennością plonu [Walczykova i in., 2016]. Poprzez bezpośredni pomiar określa się takie właściwości gleby jak przewodność elektryczna, pH, właściwości spektralne czy zwięźłość, przy jednoczesnym określeniu współrzędnych geograficznych każdego z punktów pomiarowych. Metody stosowane w rolnictwie precyzyjnym zostały przedstawione w tabeli 5 [Stępień i Samborski, 2018].

Tabela 5. Metody stosowane w rolnictwie precyzyjnym

<b>Grupa czujników</b>	<b>Zasada działania</b>	<b>Zastosowanie</b>
<b>Określanie przewodności elektrycznej gleby</b>	Pomiar oporu elektrycznego (ER)	Ocena zasolenia, wilgotności, uziarnienia gleby, głębokości zwierciadła wody gruntowej i warstw trudno przepuszczalnych
	Indukcja elektromagnetyczna (EMI)	
	Reflektometria (ADR, TDR, FDR)	Ocena zasolenia i wilgotności gleby
<b>Chemiczne</b>	Elektrody jonoselektywne	Pomiar pH gleby
<b>Optyczne</b>	Spektroskopia bliskiej podczerwieni (VIS-NIR)	Ocena zawartości materii organicznej w glebie i zawartości iłu
<b>Radioaktywne</b>	Spektroskopia gamma	Ocena uziarnienia gleby
<b>Mechaniczne</b>	Penetrometry poziome	Pomiar zwięźłości gleby
	Penetrometry pionowe	Pomiar zwięźłości gleby w poszczególnych miejscach pola

*Źródło: Stępień i Samborski, 2018*

### 3 PROBLEM BADAWCZY

Nowoczesna produkcja rolnicza stawia sobie dwa zasadnicze zadania, które obecnie muszą ze sobą koegzystować. Pierwszym z nich jest maksymalizacja plonu pozwalająca zaspokajać potrzeby rynku a drugim minimalizacja ingerencji w środowisko glebowe, co jest niezwykle trudne w intensywnych technologiach produkcji.

Gleba jest jednym z najważniejszych i najbardziej skomplikowanych środowisk naturalnych, w których rozwijają się mikroorganizmy. Rozwój mikrobiologiczny warunkuje utrzymanie żyzności gleby na wysokim poziomie [Kwaśna, 2007c].

Porównanie aktywności drobnoustrojów w warunkach naturalnych i laboratoryjnych pozwala wnioskować, że w warunkach naturalnych mikroorganizmy wykorzystują tylko niewielką część swoich możliwości. Znacząca część mikrobiomu glebowego pozostaje w stanie spoczynku lub wegetuje w zwolnionym tempie. Działania antropogeniczne mogą zniszczyć naturalną homeostazę gleby. Działania selekcyjne mogą doprowadzić do zmian przejawiających się zmianami aktywności poszczególnych grup drobnoustrojów przy niezmięnionej ich liczbie. W naturze czynnikami ograniczającymi aktywność mikroorganizmów są deficyt pokarmowy, warunki klimatyczne (przede wszystkim temperatura i wilgotność) oraz odczyn gleby. Średni czas podwojenia populacji drobnoustrojów glebowych wynosi 10 dni. Odbudowywaniu się populacji sprzyja bierna lub czynna migracja organizmów w glebie [Kwaśna, 2007c].

Na przestrzeni ostatnich kilku dekad prowadzono badania określające wpływ poszczególnych zabiegów agrotechnicznych na liczebność, różnorodność i aktywność mikrobiologiczną gleb. Przemiany mikrobiologiczne są zbilansowane, dzięki czemu wytwarza się między nimi dynamiczna równowaga. Jednym z podstawowych kryteriów świadczących o zachowaniu równowagi między wymienionymi zadaniami jest stopień biologizacji gleby, którego parametryzacja stanowi kluczowe zagadnienie współczesnych systemów produkcyjnych.

Niedobór lub brak składników pokarmowych często jest uzupełniany poprzez nawożenie. Jednak stosowanie nawozów powinno być celowe i bardzo przemyślane. Dawkę nawozu należy dostosować tak, aby zaspokoić potrzeby roślin oraz umożliwić wzrost aktywności właściwych grup mikroorganizmów. Pod wpływem drobnoustrojów nawozy ulegają przemianom, a niewłaściwy ich dobór może sprzyjać powstawaniu form rozpuszczalnych związków chemicznych i ich wymywaniu z gleby oraz nagromadzeniu form toksycznych dla roślin [Kwaśna, 2007c]. Prowadzono wiele badań dotyczących skutków użyźniania przy zastosowaniu różnego rodzaju nawozów na aktywność i liczebność drobnoustrojów. Górski i inni [2022] stwierdzili, że nawożenie obornikiem poprawiło właściwości fizykochemiczne gleby oraz zwiększyło udział promieniowców, ale także przyczyniło się do wzrostu patogenów grzybowych. Wśród mikroorganizmów w glebie nawożonej obornikiem najliczniej występowały promieniowce, a najmniej *Planctomycetes*. Natomiast gleba nieuprawiana była zdominowana przez *Nitrospirae*. Martyniuk [2014] stwierdza, że największą liczebność oraz biomasę bakterii i grzybów, a zwłaszcza aktywność enzymów z grupy dehydrogenaz i fosfataz obserwuje się w glebie nawożonej obornikiem i azotem mineralnym. W badanych przez niego obiektach doszło do kumulacji dużej ilości próchnicy glebowej. Efektem tego gleba nawożona obornikiem i nawozami mineralnymi wyróżniała się najwyższą produktywnością. Profilowanie zasobności gleby w mikroorganizmy jest zależne od rodzaju nawożenia. Myśków i współpracownicy [1996] ustalili, że systematyczne nawożenie gnojowicą lub obornikiem kreuje korzystne warunki do rozwoju bakterii, a wieloletnie nawożenie mineralne, zwłaszcza dużymi dawkami azotu, przyczynia się do silnego zakwaszenia gleb, skutkiem czego wzmagają się rozwój grzybów. Również Natywa i współpracownicy [2010] zaobserwowali istotny wpływ nawożenia azotem oraz fazy

rozwojowej kukurydzy na liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów i aktywność enzymów. Stwierdzono największą liczebność bakterii i promieniowców latem. Największą liczebność grzybów odnotowano jesienią po zbiorze kukurydzy. Natomiast najmniejszą liczebność badanych grup drobnoustrojów oraz zmniejszenie aktywności dehydrogenaz odnotowano wiosną. Istotnie na mikrobiom glebowy wpływa także zastosowanie osadów ściekowych jako nawozu. Aplikacja osadów do gleby wpływa nie tylko na wzrost populacji bakterii, ale także grzybów. Nopora i współpracownicy [2014] wykazali w swych badaniach, że osady ściekowe zwiększają w glebach populację grzybów, takich jak: *Penicillium*, *Verticillium*, *Mucor*, *Mortierella*, *Fusarium*, *Geotrichum* i *Trichoderma* (znany antagonistą wielu patogenów roślinnych). Do wzrostu poziomu liczebności drobnoustrojów, a zwłaszcza bakterii, mogły przyczynić się również inne, korzystne zmiany w środowisku ich bytowania, tj. podwyższenie wartości pH i wilgotności oraz poprawa warunków powietrzno-wodnych. Wzrost ilości bakterii, głównie oligo- i makrotroficznych, oraz grzybów nitkowatych i celulolitycznych obserwuje się najwidoczniej w warstwie bezpośredniej aplikacji osadów [Joniec i in., 2007]. Niektóre badania donoszą o istotnym, proporcjonalnym wzroście liczebności badanych mikroorganizmów wraz z rosnącą dawką osadów, a wprowadzenie materii organicznej miało bezpośredni wpływ na wzrost i plonowanie roślin oraz poprawę mikrobiologicznego stanu gleby [Loc i in., 2000]. Augustynowicz i współpracownicy [2010] również stwierdzili, że dodatek osadów ściekowych do gleby wyraźnie zwiększał liczebność bakterii, promieniowców i grzybów. Badania przeprowadzone przez Joniec i Furczaka [2007] dowiodły długotrwałe, pozytywne oddziaływanie osadów ściekowych. Wprowadzona do gleby materia organiczna ulega modyfikacji do form przyswajalnych dla roślin przy udziale drobnoustrojów, czego odzwierciedlenie można było znaleźć we wzroście plonu. W tych procesach kluczową rolę odgrywały autochtoniczne drobnoustroje glebowe. Po zastosowaniu osadów ściekowych wystąpił wzrost liczby rodzimych bakterii oraz grzybów nitkowatych, które utrzymywały się w glebie po dwóch latach w warstwie bezpośredniej aplikacji osadów. Również zastosowanie obornika jako nawozu na polach ryżowych spowodowało wzrost aktywności mikroorganizmów, przy jednoczesnym spadku tej aktywności w przypadku nawozów chemicznych [Mahajan i in., 2016].

Niebagatelną rolę w liczebności drobnoustrojów w glebie odgrywa jej rodzaj. W glebach żyznych, o większej zawartości ilu, większej objętości małych porów oraz wyższym pH zaznacza się intensywny rozwój mikroorganizmów, gleby mniej żyzne, lżejsze i kwaśne są dobrym środowiskiem do rozwoju grzybów [Gałązka i in., 2016]. Natomiast Myśków i współpracownicy [1996] donoszą, iż największa liczba bakterii i promieniowców występuje w glebach lessowych, średnia w madach i pisaku gliniastym, natomiast najmniejsza w piasku luźnym.

Zabiegi uprawowe wpływają na wegetację oraz na procesy mikrobiologiczne zachodzące w glebie. Zabiegi kształtujące lepsze warunki do wzrostu roślin mają jednocześnie wpływ na zwiększenie aktywności mikrobiologicznej. Górska i współpracownicy [2022] odnotowali, że mikroorganizmy glebowe reagują zmianami liczebności i składu taksonomicznego w zależności od metod uprawy gleby. Dzięki poprawie warunków oraz wynikającemu z nich wzrostowi aktywności mikrobów możemy pośrednio kształtować rozwój roślin. Ogromne znaczenie mają zabiegi agrotechniczne pozwalające na wzruszenie gleby i poprawienie stosunków wodno-powietrznych. Wiadomo, że gleby zagospodarowane bardziej intensywnie zawierają często mniej biomasy grzybów [Birkhofer i in., 2008]. Brak orki przy jednoczesnym pozostawieniu resztek roślinnych na powierzchni gleby może wpływać na zwiększenie ilości grzybów patogenicznych dla roślin (*Fusarium sp.*). Jednocześnie, długotrwała gospodarka bez orki prowadzi do głębokiego zróżnicowania zbiorowisk mikroorganizmów, a także rozwija wysoką biomasę grzybów w glebie powierzchniowej [Sipilä i in., 2012]. Inni badacze wykazali, że praktyki uprawowe miały

niewielki wpływ na różnorodność zbiorowisk mikroorganizmów [Bisset i in., 2011]. Negatywny wpływ zwłaszcza w górnej warstwie gleby (0-20cm) ma także ugniatanie gleby, przez co niszczy się jej struktura oraz zaburzeniu ulega gospodarka wodna. Niekorzystnie wpływa także skrócenie cyklu zmianowania i wprowadzenie hodowli monokulturowej. Przez takie zabiegi dochodzi do krytycznych zmian w strukturze jakościowo- ilościowej mikrobiomu. Prowadzi to do powstania populacji uboższych gatunkowo, często zdominowanych przez pojedyncze gatunki towarzyszące uprawianym roślinom [Kwaśna, 2007c]. Acosta-Martinez i współpracownicy [2007], Mina i współpracownicy [2008], Aon i współpracownicy [2001] oraz Fließbach i współpracownicy [2007] potwierdzają, że długoterminowa uprawa roślin w monokulturze indukuje i przyspiesza procesy degradacji gleby, które mogą prowadzić do obniżenia liczebności i różnorodności mikroorganizmów środowiska glebowego oraz spadku zawartości materii organicznej. Także Marks i współpracownicy [2002], Weber [2010] oraz Weyman-Kaczmarkowa i Pędziwilk [1996] donoszą, że system uprawy znacząco modyfikuje ilościowo-jakościowy skład mikrobiomu zasiedlającego środowisko glebowe. Intensywna uprawa płuzna doprowadza z biegiem czasu do zwiększenia zwięzłości i gęstości gleby, co skutkuje znacznym obniżeniem plonów roślin uprawnych. Weber wykazał istotną redukcję warstwy organicznej nawet o 50%. Wieloletnia konwencjonalna uprawa roli przyczynia się do zmniejszenia liczebności mikroorganizmów glebowych. W porównaniu z uprawą tradycyjną, przy systemie bezorkowym znajdowano przeciętnie o 30% większą biomasa grzybów, głównie saprofitycznych rozkładających martwą materię organiczną. W systemie ekologicznym uprawy pszenicy w porównaniu do systemu konwencjonalnego odnotowuje się wyższą aktywność drobnoustrojów glebowych, świadcząca o dobrej jakości gleby i prawidłowym udostępnianiu roślinom składników odżywczych. W obu badanych systemach produkcji stwierdzono mniejszą aktywność mikrobiologiczną (liczebność bakterii i grzybów oraz aktywność dehydrogenaz) w warstwie gleby 10-20 cm niż 0-10 cm [Martyniuk i in., 2007; Crecchio i in., 2007; Frąć i in., 2011].

Przytoczone powyżej przykłady pokazują, że gleba jest złożonym ekosystemem, a sposób uprawy ma wpływ na wiele parametrów gleby (biologicznych, chemicznych, fizycznych), a tym samym na zasiedlające ją organizmy. Zmiany w populacjach organizmów glebowych mogą mieć wpływ na wzrost roślin, a tym samym na wielkość plonów [Furtak i Gajda, 2018]. Intensywna uprawa roli prowadzi do znacznej degradacji środowiska glebowego, co wymusza ciągle poszukiwanie nowych technik uprawy, które sprzyjają ochronie gleby i jej bioróżnorodności. Takie tezy wprowadza rolnictwo zrównoważone, którego założenia „sprzyjają zachowaniu naturalnego środowiska oraz wzrost produkcji bez ingerencji w naturalne zasoby środowiska przyrodniczego, bazuje na wspieraniu naturalnych procesów biologicznych bez naruszania procesów odtwarzających życie biocenozy i naturalną strukturę gleby”[Gałązka i in., 2016].

Pomimo licznych prac brak jest ilościowo jakościowych informacji o wpływie systemów technologii rolnictwa precyzyjnego na stopień biologizacji gleby. Obecnie przedmiotowa identyfikacja ma charakter badań laboratoryjnych, co wyklucza możliwości zastosowania wyników badań do sterowania życiem mikrobiologicznym gleby w czasie rzeczywistym. Nie rozpoznano jeszcze synergicznego oddziaływania gleby-wody-powietrza stanowiącego w dużym uproszczeniu skład podglebia na ilościowo jakościowe parametry mikroorganizmów, które umożliwiłyby parametryzację przydatności produkcyjnej poszczególnych gatunków gleb w funkcji mikroorganizmów w niej występujących. Ponadto nie istnieje technologia pozwalająca na realizację precyzyjnych dawek nawozowych, które byłyby efektywnie wykorzystane przez rośliny w zadanym interwale czasowym, gdzie markerem identyfikującym w/w potrzeby nawozowe byłyby mikroorganizmy. Obecnie relacje te w ujęciu ilościowym nie istnieją, co wyklucza identyfikację stopnia biologizacji gleby

w czasie rzeczywistym uniemożliwiają tworzenie nowoczesnych technologii rolnictwa 4.0 w przedmiotowym zakresie.

## 4 CEL I ZAKRES PRACY

### 4.1.1 Cel pracy

Celem przeprowadzonych badań było określenie relacji ilościowych i jakościowych między zidentyfikowanymi mikroorganizmami glebowymi a wybranymi parametrami fizycznymi gleby w warunkach produkcyjnych, gdzie stosowane są precyzyjne technologie produkcji o zróżnicowanym stopniu zaawansowania. Ponadto określenie rozkładu mikroorganizmów w profilu glebowym sparametryzowanej w funkcji technologii rodzaju uprawy oraz sporządzenie wytycznych metodycznych dla technologii uprawy uwzględniającej informacje o mikroorganizmach glebowych, które będą pełnić funkcję determinanta poszczególnych zabiegów uprawowych oraz nawożenia i ochrony chemicznej.

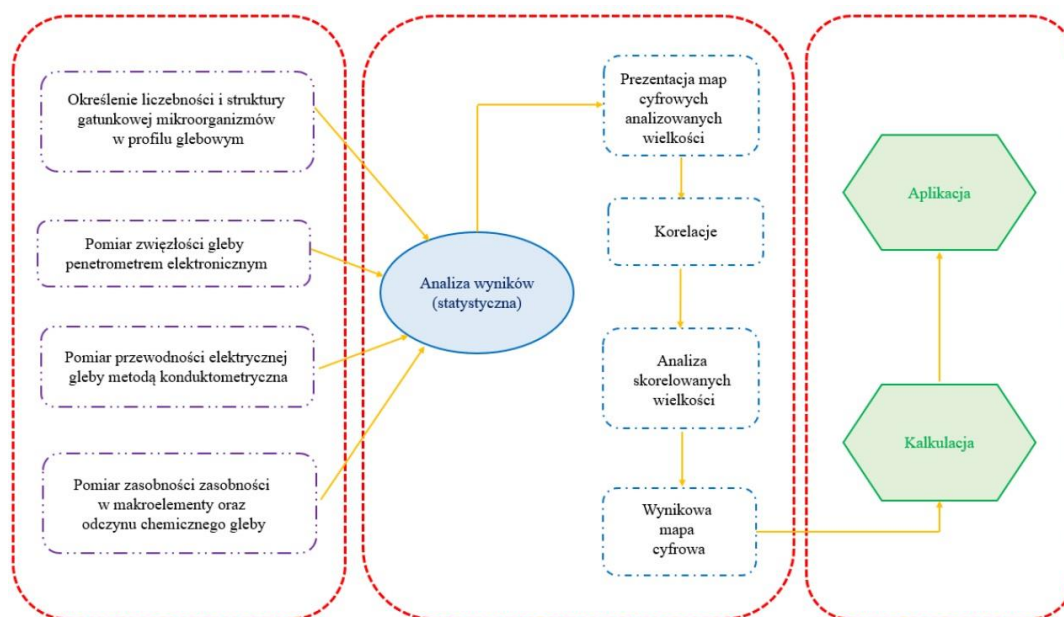
Przyjęto trzy hipotezy badawcze:

1. identyfikacja konkretnego rodzaju mikroorganizmów w profilu glebowym pozwoli ocenić stan przydatności produkcyjnej gleby oraz stopień jej zasobności w wybrane składniki mineralne;
2. istnienie możliwości przestrzennej identyfikacji zróżnicowania warunków wodno-powietrznych gleby na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych;
3. identyfikacja przestrzenna spektrum mikroorganizmów w profilu glebowym umożliwi rozszerzenie czynników decyzyjnych w planowaniu uprawy i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego.

### 4.1.2 Zakres pracy

Zakres pracy obejmował roczne badania realizowane w trzech gospodarstwach o zróżnicowanej specyfice produkcji, parku maszynowym i technologiach. W wybranych gospodarstwach na podstawie analizy danych archiwalnych dotyczących płodozmianu i udokumentowanych właściwości gleby oraz plonu wytypowano poligony doświadczalne, których łączna powierzchnia wynosiła ok. 160 ha. Na wybranych powierzchniach wykonano szczegółowe pomiary dotyczące właściwości mechanicznych, elektrycznych, chemicznych i mikrobiologicznych gleby. Wybór każdego z punktów pomiarowych był poprzedzony badaniami wstępnymi na podstawie, których uwzględniono zróżnicowanie przestrzenne poligonów doświadczalnych, głównie plonu i zasobności gleby.

Pomiary obejmowały kilka poziomów podglebia, tak aby było możliwe wygenerowanie struktury 3D. W punktach pomiarowych mierzono wielkość dawki nawozowej, identyfikowano liczbę przejazdów technologicznych oraz mierzono wielkość i jakość plonu. Procedura pomiarowa dla każdego z wyszczególnionych punktów została przedstawiona na rysunku 8.



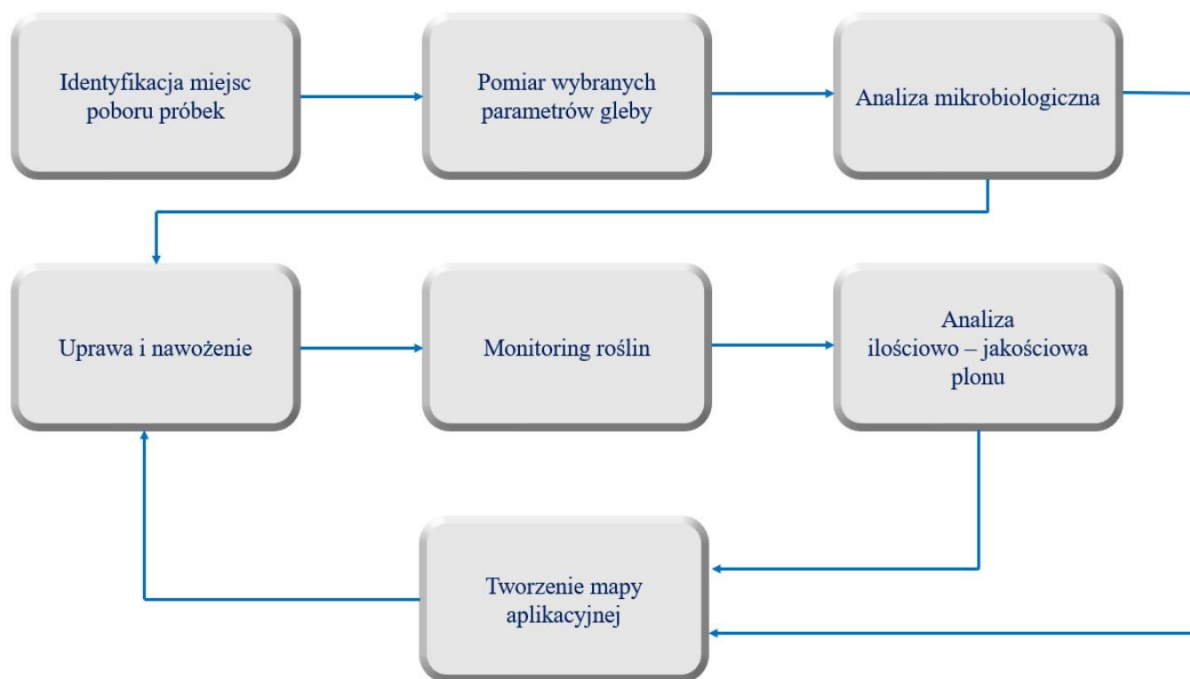
Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Schemat układu doświadczenia

Badania gleby wykonywano po zbiorze (badania inwazyjne wymagające znacznej ingerencji w środowisko glebowe). Liczba punktów pomiarowych była uzależniona od pomiarów wstępnych, ale nie mniej niż jeden punkt pomiarowy na jeden hektar poligonu doświadczalnego.

Zakres pracy obejmował również badania laboratoryjne, gdzie określono właściwości fizyko-chemiczno-biologiczne gleby zgodnie z przyjętą normatywnie metodyką badań. Następnie aproksymowano metodą odwrotnych odległości zbiór wyników badań dla poszczególnych poligonów doświadczalnych, co umożliwiło wygenerowanie map przestrzennej zmienności każdej zmierzonej i określonej na drodze obliczeń wielkości. Zestawienie map przestrzennej zmienności na poszczególnych poziomach głębokości profilu glebowego pozwoli stworzyć trójwymiarową mapę zróżnicowania potencjału produkcyjnego gleby. Po uwzględnieniu technologii produkcji i stopnia jej zaawansowania oraz nałożeniu na siebie istotnych charakterystyk można wyekstrahować w przestrzeni profilu glebowego obszary, których potencjał produkcyjny jest znacznie odstający od średniej oraz zidentyfikować jego antropogeniczność oraz możliwości jego naprawy wg rysunku 9.





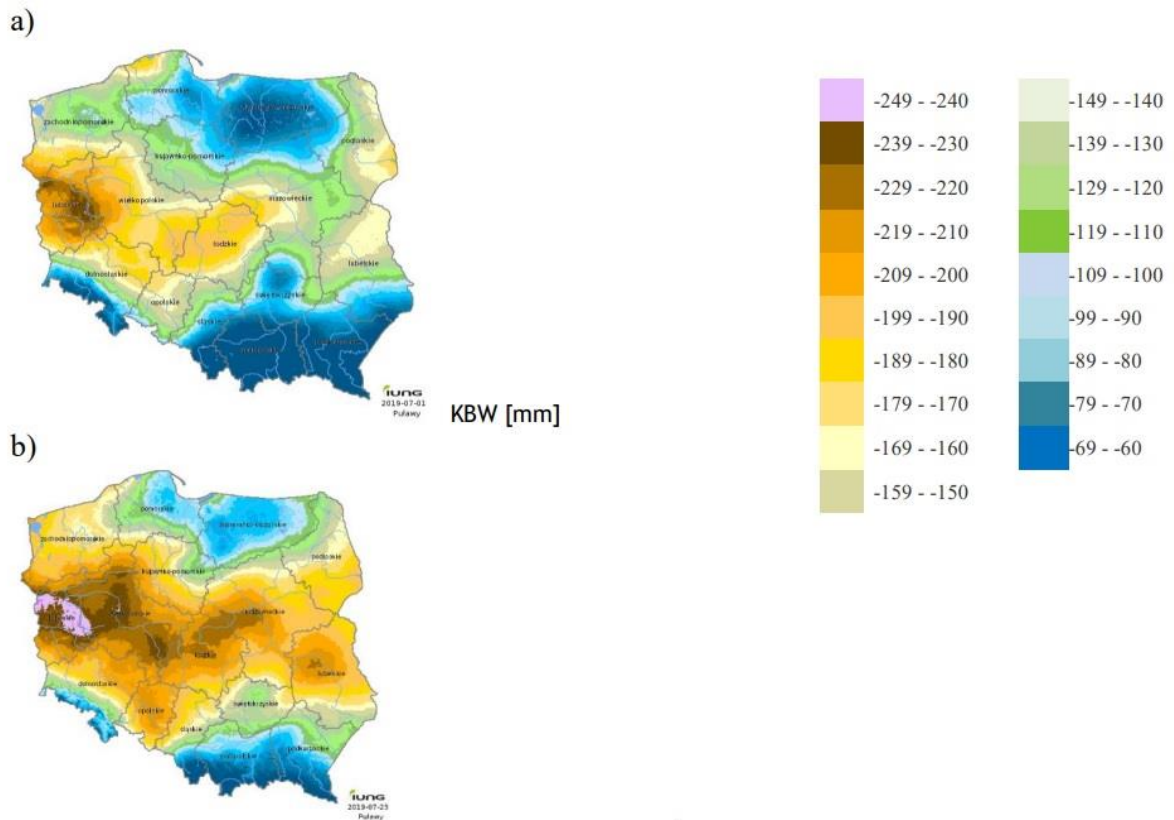
*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 9. Ogólny schemat układu aplikacji praktycznej badań

## 5 PRZEDMIOT I WARUNKI BADAŃ

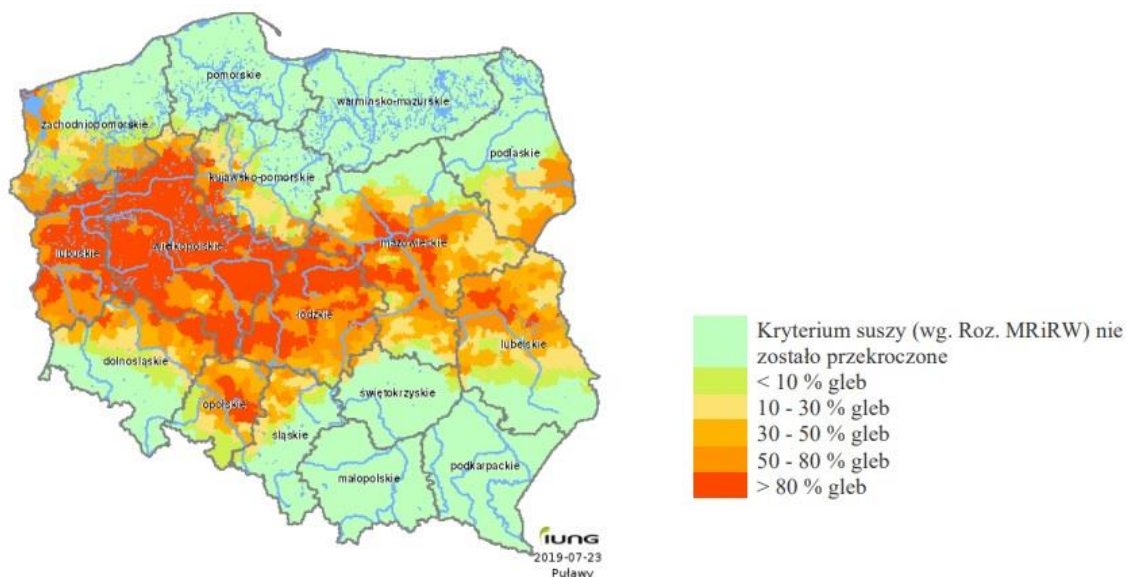
### 5.1 Obiekt i przedmiot badań

Badania przeprowadzono w trzech gospodarstwach rolnych, w których prowadzono wieloletnią obserwację parametrów glebowych i plonowania roślin z uwzględnieniem ich przestrzennej zmienności. Uwzględniono również warunki mikroklimatyczne oraz wskaźniki bonitacji gleb, co umożliwiło pozyskanie szerokiego spektrum materiału badawczego. Do badań wytypowano dwa gospodarstwa leżące na terenie województwa opolskiego oraz jedno leżące na terenie województwa małopolskiego. O decyzji wyboru gospodarstwa do badań przede wszystkim decydowały względy organizacyjne i możliwości technologiczne. Dodatkowo wzięto pod uwagę wartość klimatycznego bilansu wodnego SMSR (System Monitoringu Suszy Rolniczej) dla okresów od 21. IV do 20. VI oraz od 21. VI do 20. VII 2020 roku (rys. 10), gdzie wyraźnie wyszczególniono obszary deficytowe w wodę, oraz posłużono się mapami suszy rolniczej dla zbóż ozimych, SMSR (System Monitoringu Suszy Rolniczej) dla okresu od 21. V do 20. VII 2020 roku (rys. 11), gdzie wyodrębniono obszary deficytowe w wodę traktując je jako wyznacznik dla pozostałych uprawianych w wybranych gospodarstwach roślin. Wykorzystano również dostępne mapy przydatności rolniczej gleb w rejonach prowadzonego doświadczenia, gdzie był wyszczególniony kompleks rolniczy oraz gatunek gleby.



Źródło: <http://www.susza.iung.pulawy.pl/KBW/05/>

Rys. 10. Klimatyczny bilans wodny na obszarze Polski w okresie: a) od 21. IV do 20. VI, b) od 21. VI do 20. VII



Źródło: <http://www.susza.iung.pulawy.pl/KBW/05/>

Rys. 11. Potencjalny zasięg suszy rolniczej dla zbóż ozimych na obszarze Polski w okresie od 21. V do 20. VII.

## 5.2 Warunki badań

Każde z wybranych gospodarstw charakteryzowało się swoją specyfiką produkcyjną oraz organizacyjną. W każdym województwie jedno z gospodarstw było reprezentantem gospodarstwa rodzinnego a drugie gospodarstwa towarowego, co umożliwiło wyodrębnić specyfikę stosowanych technologii przy tej samej produkcji, a także określić zróżnicowanie życia biologicznego podglebia. W województwie opolskim, jako gospodarstwo towarowe wytypowano Kombinat Rolny Kietrz (8500 ha), a jako gospodarstwo rodzinne gospodarstwo Jerzego Koronczoka (25 ha). Natomiast w województwie małopolskim, jako gospodarstwo towarowe wytypowano gospodarstwo Państwa Jaroniów (600 ha).

Kombinat Rolny Kietrz zajmuje się zarówno produkcją roślinną, jak i zwierzęcą. Przedsiębiorstwo jest jedną z 41 spółek strategicznych należących do Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa. Produkcja realizowana jest w trzech ośrodkach: Kietrz, Bobów i Pilsz. W tym rejonie przeważają gleby klasy II, IIIa i IVa, typy gleb Lessy, Bielica – glina podsudecka, Czarnoziem zdegradowany, wskaźnik bonitacji - 1,41, opady - ok. 650 mm. Areal Kombinatów obejmuje 8500 ha. Średnia wielkość pola wynosi 102 ha przy 72 polach zmianowania. Na polach uprawiane są pszenica ozima (3500-3700 ha), buraki cukrowe (1450 ha), kukurydza (1500-1700 ha), rzepak ozimy (700-1000 ha) oraz rośliny z przeznaczeniem na paszę.

Kolejnym było gospodarstwo Państwa Jaroniów w podkrakowskiej miejscowości Brzezinka, o całkowitej powierzchni 450 ha zajmuje się wyłącznie produkcją roślinną. Przeważa uprawa kukurydzy na ziarno oraz pszenicy ozimej. W gospodarstwie, w którym zlokalizowane były badania, 75% powierzchni zajmowała kukurydza na ziarno z przeznaczeniem na pasze, zaś 25% pszenica ozima i rzepak ozimy. Gatunek gleby to glina ilasta należąca do III i IV klasy bonitacyjnej.

Gospodarstwo rodzinne Jerzego Koronczoka usytuowane było w Żędowicach, a sumaryczny areal użytków rolnych wynosił 25 ha. Struktura użytków rolnych była charakterystyczna dla gospodarstwa jednokierunkowego nastawionego na produkcję roślinną. W strukturze użytkowania ok. 15 ha stanowiły grunty orne, na których uprawiano zboża, kukurydzę i lucernę, a 10 ha użytki zielone. W gospodarstwie przeważają gleby bielicowe i pseudobielicowe, a w mniejszej ilości czarnoziemie właściwe, natomiast kompleks żytni słaby.

## 6 MATERIAŁY I METODY

### 6.1 Metodyka wyodrębniania pól do badań eksperymentalnych

Do wyboru pól, które stanowiły powierzchnie doświadczalne posłużono się dostępnymi danymi archiwizowanymi w danym gospodarstwie, gdzie założono, że znany jest płodozmian z minimum 10 lat wstecz, znane są dawki nawozowe oraz plon roślin przez minimum 5 lat, technologia uprawy gleby przez minimum 5 lat oraz stopień zawansowania systemów rolnictwa 4.0. Dodatkowo wykorzystano bazę danych CORINE Land Cover oraz Program Copernicus, a także serwis SatAgro do wytypowania powierzchni, z których zostaną pobrane próby laboratoryjne. Ponadto wykorzystano już istniejące w gospodarstwach bazy danych zabiegów agrotechnicznych, chemizacyjnych i plonowania do wytypowania powierzchni o interesującej charakterystyce potencjału produkcyjnego.

W przypadku gospodarstwa I towarowego z województwa opolskiego wybrano pole o powierzchni 136 ha, które podzielono na dziesięć kwater, każda o powierzchni 13 ha, pozostałe 6 ha stanowiły powierzchnie pomocnicze (rys. 12). W pierwszym roku badań

uprawiana była pszenica, natomiast w drugim roku badań kukurydza. Technologia produkcji wykorzystywała elementy rolnictwa precyzyjnego, a w szczególności: system jazdy równoległej w czasie prac uprawowych, ścieżek przejazdowych w trakcie trwania wegetacji, skanowania elektromagnetycznego profilu glebowego pola, mapowania plonu i precyzyjnego nawożenia NPK na podstawie map zasobności gleby (tradycyjne próbki glebowe) oraz nawożenia azotowego w czasie trwania wegetacji na podstawie analizy zdjęć satelitarnych a także systemów czasu rzeczywistego np. Crop Sensor. Należy zaznaczyć, że to gospodarstwo stosowało najbardziej zaawansowany i kompletny system rolnictwa precyzyjnego w realizowanych badaniach posiadając pełen park maszynowy kompatybilny z w/w systemami.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 12. Poligon doświadczalny w gospodarstwie towarowym nr I

Przykładowy profil gleby poligonu doświadczalnego został przedstawiony na rysunku 13, należy zaznaczyć, że zróżnicowanie profilu gleby w obrębie poligonu doświadczalnego było małe.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 13. Profil glebowy poligonu doświadczalnego w gospodarstwie towarowym nr I

W województwie małopolskim w gospodarstwie towarowym (nr II) wyznaczono poligon na bazie zdobytych już doświadczeń wieloletniej współpracy i dokładnej znajomości charakterystyk poszczególnych pól (rys. 14). Pole doświadczalne miało powierzchnię wynoszącą 26,04 ha. W tym przypadku nałożone siatki punktów pomiarowych uwzględniały okres pięciu lat, w celu wyznaczenia parametrów gleby i roślin w identycznych miejscach przez cały czas trwania monitoringu. Gatunek gleby to glina ilasta należąca do III i IV klasy bonitacyjnej. Na badanym polu stosowana była płuzna technologia uprawy, z orką zimową jako podstawowym zabiegiem uprawowym. Do siewu rzędowego i punktowego nasion posłużono się odpowiednio agregatami złożonymi z siewnika rzędowego Amazone 07 „Super-5” typu 4 wraz z ciągnikiem Ursus 1014 oraz siewnika punktowego 6- rzędowego



Monosem wraz z ciągnikiem John Deere 4450. Rozsiewacz nawozów Rauch Alpha 1131 zamontowany do ciągnika Ursus 1012 został wykorzystany do wysiewu nawozów NPK natomiast opryskiwacz Pelikan Hydraulik umocowany przy Ursus 1014 użyto do przeprowadzenia zabiegów oprysku herbicydami i nawożenia RSM. Do zbioru ziarna wykorzystano kombajn zbożowy Class Lexion 430. W gospodarstwie wykorzystywano optyczny system monitoringu plonu ziarna wraz z oprogramowaniem AgroMap PF, fma Agrocom Polska; Uniwersalny komputer pokładowy LH 5000 GPS; Modułowy odbiornik 3R-GPS, fma GPS.PL; Odbiornik D-GPS NovAtel SA/AllStar wraz z oprogramowaniem Site Mate VRA, fma GPS.PL; system nawigacji równoległej GUIDE MATE/INVICTA 100 wraz z oprogramowaniem FarmWorks Guide Mate, fma GPS.PL; radar Dickey-J do pomiaru prędkości rzeczywistej; czujniki obrotów koła i WOM; rozsiewacz fmy Rauch Alpha 1131 do zmiennego dawkowania oraz chlorofilometr SPAD 502DL fmy Spectrum Technologies Inc. Zatem gospodarstwo nr II stosowało elementy rolnictwa precyzyjnego, które najczęściej są wykorzystywane w praktyce produkcyjnej ponieważ dają najszybszy efekt a koszt takiego systemu jest akceptowalny dla gospodarstw pow. 100 ha.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 14. Poligon doświadczalny w gospodarstwie nr II

W przypadku gospodarstwa nr III wytypowano użytek zielony (rys. 15), na którym nie prowadzono uprawy gleby natomiast prowadzono precyzyjne zabiegi nawożenia NPK wykorzystując mapy zasobności gleby w składniki pokarmowe oraz system jazdy równoległej. Profil glebowy pomimo niewielkiej odległości między gospodarstwami województwa opolskiego był odmienny i charakteryzował się dużym zróżnicowaniem w płaszczyźnie pionowej (rys. 16).



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 15. Poligon doświadczalny w gospodarstwie nr III

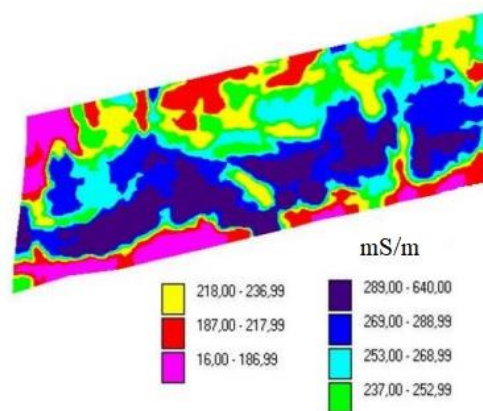


Źródło: opracowanie własne

Rys. 16. Profil glebowy poligonu doświadczalnego w gospodarstwie nr III

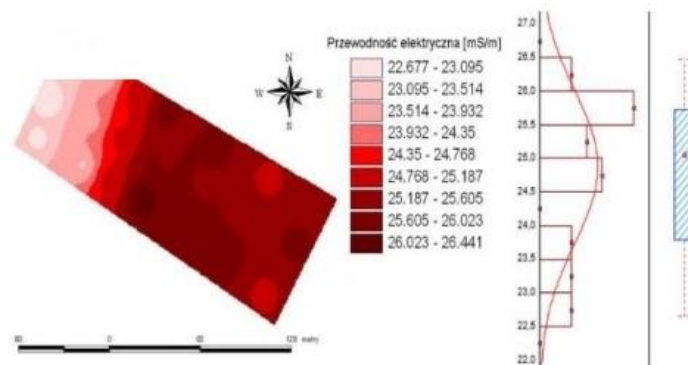
## 6.2 Identyfikacja miejsc poboru próbek

Biorąc pod uwagę jakościowo-ilościowe cechy mikroorganizmów istnieje możliwość precyzyjnej identyfikacji struktury składników pokarmowych dla roślin zarówno w przestrzeni profilu glebowego, jak i w przestrzeni pola. Nie rozpoznano jeszcze synergicznego oddziaływania gleby-wody-powietrza stanowiącego w dużym uproszczeniu skład podglebia na ilościowo-jakościowe parametry mikroorganizmów, które umożliwiłyby parametryzację przydatności produkcyjnej poszczególnych gatunków gleb w funkcji mikroorganizmów w niej występujących. Wybór miejsca został dokonany na podstawie map przewodności elektrycznej i plonowania roślin, co dotyczy trzech pól doświadczalnych (rys. 17, 18, 19).



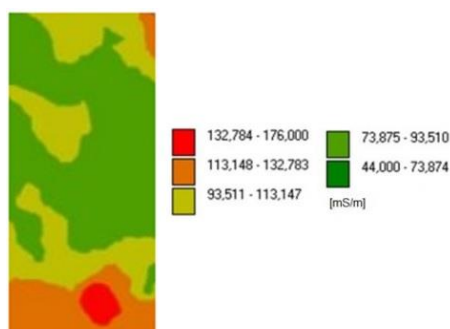
Źródło: opracowanie własne

Rys. 17. Przewodność elektryczna poligonu doświadczalnego w gospodarstwie nr I



Źródło: opracowanie własne

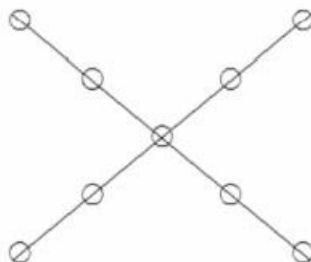
Rys. 18. Przewodność elektryczna poligonu doświadczalnego w gospodarstwie nr II



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 19. Przewodność elektryczna poligonu doświadczalnego w gospodarstwie nr III

W wytypowanych miejscach pobrano próbki do badań laboratoryjnych obejmujących badanie zasobności w składniki pokarmowe i skład granulometryczny gleby oraz strukturę jakościowo-ilościową mikroorganizmów. Próbki pobrane z 9 miejsc złożyły się na jedną próbę. Miejsca poboru były rozmieszczone w kształcie krzyża (rys. 20) o środku w punkcie wyznaczonym przez wirtualną siatkę współrzędnych geograficznych punktu. Glebę do badań pobierano z czterech głębokości 0,05m, 0,15m, 0,25m oraz 0,35m.



*Źródło: BN-78/99180-11*

Rys. 20. Schemat próbkowania w punkcie pomiarowym

## 6.3 Analiza mikrobiologiczna gleby

### 6.3.1 Pobór próbek

Próbki gleby wykorzystane do izolacji drobnoustrojów pobrano z wykorzystaniem noża mikrobiologicznego z zachowaniem zasad czystości mikrobiologicznej i umieszczono w sterylnych pojemnikach zgodnie z normą PN-ISO 10381-6:1998.

### 6.3.2 Przygotowanie próbek do analizy

W laboratorium próbki gleby rozsypano cienką warstwą na tekturowych tackach i pozostawiono do wyschnięcia na powietrzu przez 2 dni. Miejsce suszenia próbek było wolne od kurzu, gazów i par. Od czasu do czasu przemieszczano glebę, jednocześnie rozdrabniając większe grudki. Wysuszoną na powietrzu glebę zsypano do pojemników, które opisano (data poboru, numer próby, głębokość pobrania) i zamknięto. Przed właściwym przygotowaniem próby do analizy ważono ją, usuwano z niej zanieczyszczenia – kamyki i korzenie roślin. Następnie wolną od domieszek glebę przesiewano przez sito o średnicy oczek 1 mm.

### 6.3.3 Przygotowanie szkła laboratoryjnego

Wykorzystane w czasie doświadczeń naczynia: zlewki, kolby, probówki szklane okrągłodenne każdorazowo umyto, wysuszone oraz zabezpieczono folią aluminiową. Sterylizację wykonano w suszarce z obiegiem gorącego powietrza w ciągu 3 godzin w temperaturze 180°C.

### 6.3.4 Przygotowanie podłoży hodowlanych do izolacji mikroorganizmów

Do izolacji mikroorganizmów wykorzystano podłoża: Trypticase Soy Lab-Agar (TSA) do izolacji bakterii, Sabouarda do izolacji grzybów oraz podłoże Actinomycete Isolation Lab-Agar do izolacji promieniowców. Podłoża przygotowywano każdorazowo bezpośrednio przed wykonaniem izolacji w sterylnych kolbach stożkowych. Do przygotowania rozcieńczeń wykorzystano 0,85% roztwór soli fizjologicznej. W przypadku konieczności przechowywania podłoży oraz roztworu soli fizjologicznej, odczynniki umieszczano w chłodni w temperaturze 4°C.

Tabela 6. Skład roztworu 0,85% soli fizjologicznej

<b>Składnik</b>	<b>Ilość [g/l]</b>
NaCl	8,5

*Źródło: opracowanie własne*

Tabela 7. Skład podłoża Trypticasein Soy Lab-Agar (TSA)

<b>Składnik</b>	<b>Ilość [g/l]</b>
Trypticasein Soy Lab-Agar	40

*Źródło: opracowanie własne*

Tabela 8 . Skład podłoża Sabouraud Dextrose Lab-agar

<b>Składnik</b>	<b>Ilość [g/l]</b>
Sabouraud Dextrose Lab-agar	65

*Źródło: opracowanie własne*

Tabela 9. Skład podłoża Actinomycete Isolation Lab-Agar

<b>Składnik</b>	<b>Ilość [g/l]</b>
Actinomycete Isolation Lab-Agar	22
glicerol	5

*Źródło: opracowanie własne*

Każdy składnik (tabele 6 - 9) odmierzono przy pomocy wzorcowanej wagi laboratoryjnej. Następnie składniki przeniesiono ilościowo do szklanych butelek. W odpowiedniej ilości wody demineralizowanej rozpuszczono poszczególne składniki i mieszano aż do rozpuszczenia wszystkich komponentów. pH ustalono za pomocą pH-metru.

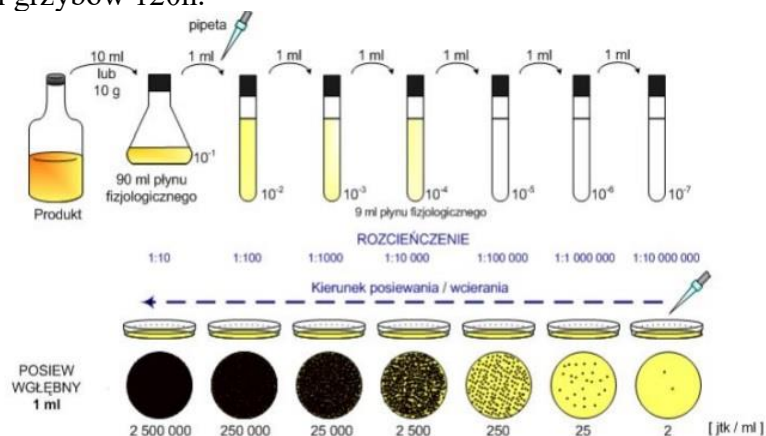


Tak przygotowane pożywki poddano sterylizacji w autoklawie w czasie 15 minut w temperaturze 121°C i ciśnieniu 1 bar.

### 6.3.5 Izolacja mikroorganizmów

Izolację mikroorganizmów wykonano metodą seryjnych rozcieńczeń wg Kocha. Metoda opiera się na wykonaniu kolejnych 10- krotnych rozcieńczeń badanej próbki, tak aby w końcowym rozcieńczeniu uzyskać pojedyncze kolonie mikroorganizmów lub aby nie były obecne.

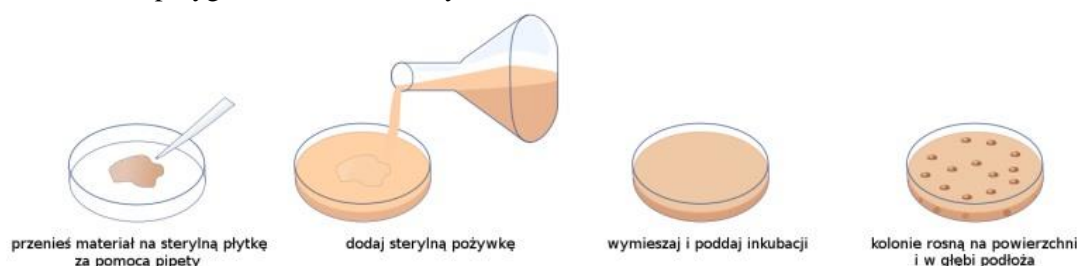
Odważono po 10 g próbek badanych gleb i przeniesiono ilościowo do kolbek zawierających 90 ml roztworu soli fizjologicznej. Następnie wykonano 6 kolejnych 10- krotnych rozcieńczeń badanych prób według poniższego schematu (rys. 21). Posiewy na płytki Petriego sporządzono poprzez przeniesienie 1 cm<sup>3</sup> rozcieńczenia na płytkę i zalaniu schłodzoną pożywką (rys. 22). Następnie pożywkę i zawiesinę dokładnie wymieszano poruszając płytkę ruchem ósemkowym. Hodowlę bakterii prowadzono 72 godziny, promieniowców i grzybów 120h.



Źródło: [https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F%2Fab1946f00dc3a66148946258293bfdedcc0b61801cd99584008f864f214fd672&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.stc.pl%2Fdhttp.php%3Fco%3D2018\\_06\\_26\\_papiewska\\_1.pdf&tbnid=YabDDfBGGatKRM&vet=12ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW\\_qDbwQMygHegUIARDpAQ..i&docid=qdMtBGB4cPiVVM&w=739&h=485&q=schemat%20rozcie%5%84cze%5%84&ved=2ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW\\_qDbwQMygHegUIARDpAQ](https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F%2Fab1946f00dc3a66148946258293bfdedcc0b61801cd99584008f864f214fd672&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.stc.pl%2Fdhttp.php%3Fco%3D2018_06_26_papiewska_1.pdf&tbnid=YabDDfBGGatKRM&vet=12ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW_qDbwQMygHegUIARDpAQ..i&docid=qdMtBGB4cPiVVM&w=739&h=485&q=schemat%20rozcie%5%84cze%5%84&ved=2ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW_qDbwQMygHegUIARDpAQ)

Źródło: [http://www.stc.pl%2Fdhttp.php%3Fco%3D2018\\_06\\_26\\_papiewska\\_1.pdf&tbnid=YabDDfBGGatKRM&vet=12ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW\\_qDbwQMygHegUIARDpAQ..i&docid=qdMtBGB4cPiVVM&w=739&h=485&q=schemat%20rozcie%5%84cze%5%84&ved=2ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW\\_qDbwQMygHegUIARDpAQ](http://www.stc.pl%2Fdhttp.php%3Fco%3D2018_06_26_papiewska_1.pdf&tbnid=YabDDfBGGatKRM&vet=12ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW_qDbwQMygHegUIARDpAQ..i&docid=qdMtBGB4cPiVVM&w=739&h=485&q=schemat%20rozcie%5%84cze%5%84&ved=2ahUKEwigkprirermAhXGzqQKHW_qDbwQMygHegUIARDpAQ)

Rys . 21. Schemat przygotowania 10- krotnych rozcieńczeń



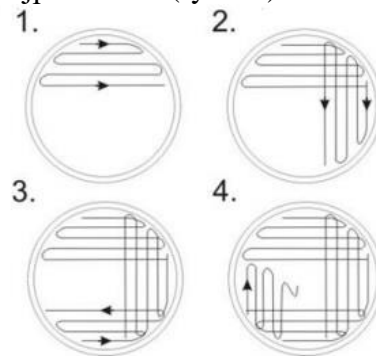
Źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metoda\\_p%5%82ytkowa.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metoda_p%5%82ytkowa.svg)

Rys. 22. Schemat posiewu metodą wgłębną płytkową

### 6.3.6 Prowadzenie kolekcji szczepów

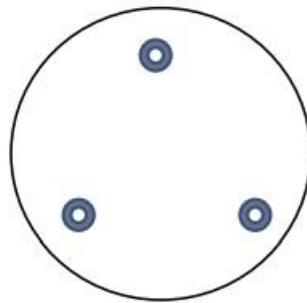
Pojedyncze czyste kultury wyizolowanych drobnoustrojów otrzymano wykonując posiewy redukcyjne (rys. 23) według poniższego schematu. Poszczególne szczepy zostały

ponumerowane kolejnymi cyframi arabskimi. W celu zachowania funkcji życiowych mikroorganizmów posiewy na świeże podłoża wykonywane były średnio co 2 tygodnie. Szczepy grzybów szczepiono trójpunktowo (rys. 24).



Źródło: <http://slideplayer.pl/slide/59717/>

Rys. 23. Schemat wykonania posiewu redukcyjnego

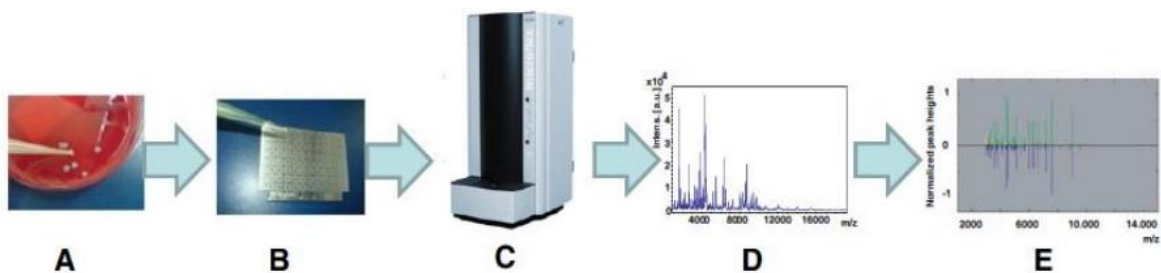


Źródło: opracowanie własne

Rys. 24. Schemat posiewu szczepów grzybów

### 6.3.7 Identyfikacja gatunkowa techniką MALDI-TOF MS

Aby przeprowadzić analizę MALDI TOF (rys. 25), mikroorganizmy umieszcza się na docelowej płytce, gdzie nakłada się je wraz z roztworem matrycy, który krystalizuje z próbką i doprowadza do lizy komórki. Płytkę umieszcza się w instrumencie, w którym laser przekształca składniki bakterii (głównie rybosomalne cząsteczki białka) w jony w fazie gazowej, które są oddzielane i identyfikowane zgodnie z ich stosunkiem masy do ładunku. Spektrometr masowy daje spektralny "odcisk palca", który jest unikalny dla analizowanego mikroorganizmu. Organizm jest następnie identyfikowany przez porównanie jego profilu spektralnego z referencyjną bazą danych. Korelacje pozycji pików i intensywności między widmami eksperymentalnymi i bazami danych są wykorzystywane do generowania wyniku dopasowania. Ten wynik dopasowania jest poziomem pewności, że nieznaną izolację jest reprezentantem kandydującego mikroorganizmu dopasowanego z bazy danych. Widma wzoru masy białka można wykorzystać do identyfikacji bakterii do rodzaju lub gatunku, a nawet na poziomie podgatunku [Santos i in., 2016]. Identyfikacja mikroorganizmów wyizolowanych w czasie badań została przeprowadzona przez Laboratorium Mikrobiologicznym Jagiellońskiego Centrum Innowacji w Krakowie.



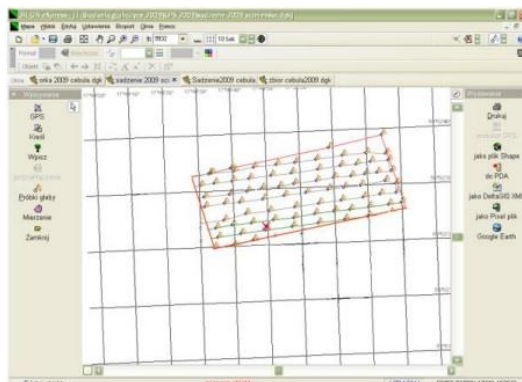
Źródło: Santos i in., 2016

Rys. 25. Procedura MALDI –TOF MS (A) pobranie kolonii, (B) próbki nakładane są na matrycę i suszone na powietrzu, (C) pomiar MALDI-TOF MS, (D) widmo mas specyficzne dla analitu, (E) identyfikacja analitu poprzez automatyczne dopasowanie wygenerowanego widma masowego do widm w bazie danych

## 6.4 Pomiar wybranych parametrów fizycznych gleby

### 6.4.1 Pomiar zwięzłości gleby metodą penetrometryczną oraz wilgotności gleby

Do precyzyjnego wyznaczenia punktów, w których przeprowadzono sondowanie oraz pomiar wilgotności wykorzystano mobilny odbiornik GPS SiRF III wbudowany w palmtop Fujitsu-Siemens. Mikrokomputer wyposażono w aplikację 3R-Map umożliwiającą ustalenie położenia punktów, rejestrowanie przebiegu linii i granic poligonów. Sondowanie wykonano punktowo w 30 metrowych odstępach na powierzchni pola (rys. 26). Wyjątkiem były obszary pola, w przypadku, których istniało uzasadnione podejrzenie wysokiej zmienności zwięzłości, gdzie zagęszczano siatkę punktów pomiarowych. W celu dalszej obróbki przestrzennej, dane pomiarowe przeniesiono do komputera stacjonarnego wyposażonego w program 3R-GIS Expres, gdzie zmieniono ich format na „shp” - bazowy dla programu ArcView 3.3, który pozwolił na wygenerowanie cyfrowych map przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 26. Interfejs programu 3R- GIS eXpres

Pomiar zwięzłości gleby wykonano penetrometrem stożkowym, model Penetrologger Eijkelkamp z sondą ThetaProbe zaprojektowany do pomiaru zwięzłości i wilgotności gleby na gruntach uprawnych wg. normy ASAE (obecnie ASABE). 9 sondowań penetrometrem rozmieszczonych zgodnie z kształtem litery X przypadło na jeden punkt pomiarowy [PN-R-04031] (rys. 20).

Współrzędne wykonywanych pomiarów określano i zapisywano za pomocą wewnętrznego odbiornika GPS, w który wyposażona była obudowa penetrometru. Do pomiarów wykorzystano stożek o średnicy nominalnej 11,28 mm i kącie rozwarcia 30°.

Urządzenie poziomowano przy pomocy zainstalowanej w obudowie poziomiczy zachowując w czasie sondowania tolerancję odchylenia sondy od pionu nie przekraczającą  $3,5^\circ$ . Głębokość mierzono czujnikiem ultradźwiękowym współpracującym z płytką referencyjną. Głębokość sondowania wynosiła 0,8 m przy rejestracji wartości mierzonej zwięzłości profilu glebowego w odstępach co 0,01 m. Pomiary zwięzłości wykonywano ze średnią prędkością wciskania stożka penetrometru wynoszącą  $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Program Penetro Wiever wykorzystano do analizy graficznej i numerycznej (rys. 27).



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 27. Graficzny i numeryczny przebieg zwięzłości gleby przedstawiony za pomocą programu Penetro Wiever

Sondę ThetaProbe będącą częścią składową zestawu Penetrologger Eijkelkamp wykorzystano do pomiaru wilgotności gleby. Dodatkowo metodą suszarkową wykonano kontrolnie pomiar wilgotności gleby w losowo wybranych miejscach pomiarowych. Pomiary zwięzłości i wilgotności zostały dokonane w tych samych miejscach. Aby wyznaczyć profil wilgotnościowy gleby, pomiary wilgotności wykonano na czterech głębokościach tj. 0,05 m, 0,15 m, 0,25 oraz 0,35 m.

#### 6.4.2 Pomiar przewodności elektrycznej gleby metodą konduktometryczną

Pomiary przewodności elektrycznej gleby wykonano przy zastosowaniu konduktometru, w którym cewki nadawcza TX i odbiorcza RX (sprzężone czasowo i częstotliwościowo) umieszczono w takiej samej odległości i orientacji względem powierzchni ziemi (pionowo – HCP, lub poziomo – PRP). W badaniach użyto konduktometru typu CMD-MiniExplorer (rys. 28a) firmy GF Instruments pozwalającego na pomiar przewodności elektrycznej na trzech głębokościach dla każdego zakresu tj. High Depth Range 0,5m; 1,0m; 1,8m oraz Low Depth Range 0,25m; 0,5m; 0,9m. Pomiary przeprowadzono tak, aby linie pomiarowe pomiarów konduktometrycznych pokryły się z punktami pomiarów penetrometrycznych. Ponadto zastosowano komercyjne rozwiązania pozwalające wyznaczyć właściwości gleby na podstawie pomiaru przewodności elektromagnetycznej, jednym z nich jest czujnik Topsoil Mapper austriackiej firmy GEOPROSPECTORS. Czujnik pracuje na zasadzie indukcji elektromagnetycznej w systemie wielocewkowego układu. Złożony układ cewek nadawczych i odbiorczych tworzy bardzo zwartą instalację umieszczoną w szczelnie zamkniętej obudowie. System skanuje glebę do głębokości maksymalnie 1,1 m, z częstotliwością 5 Hz, i prędkością jazdy max.  $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Wraz z mierzonymi danymi rejestrowane współrzędne geograficzne każdego punktu pomiarowego. Zastosowany Topsoil Mapper mierzył przewodność elektryczną gleby jednocześnie na czterech głębokościach profilu glebowego (rys. 28b), częstotliwość zapisu wyników pomiaru biorąc pod uwagę zmienność mierzonej wielkości ustalono na 1 Hz.





*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 28. Konduktometru typu CMD-MiniExplorer

### 6.4.3 Pomiar odczynu chemicznego metodą potencjometryczną

Metody potencjometryczne polegają na pomiarze pH przy pomocy pehametrów posiadających elektrody. Działają one w ten sposób, że dwie elektrody: pomiarowa i porównawcza (referencyjna) zanurzone w roztworze wskazują, w zależności od stężenia jonów wodorowych, odpowiednią różnicę potencjałów. Pomiaru różnicy potencjału, zwanej siłą elektromotoryczną, dokonuje się potencjometrami, które mają oprócz skali wyrażonej w miliwoltach również skalę wyrażoną w jednostkach pH w zakresie 0-14. Najbardziej rozpowszechnioną elektrodą do pomiaru pH jest elektroda szklana zestawiona z elektrodą kalomelową, jako elektrodą porównawczą. Pomiaru pH w glebie dokonuje się w zawieszinie gleby z wodą destylowaną ( $\text{pH H}_2\text{O}$ ) lub zawieszinie gleby z elektrolitem, czyli w roztworze chlorku potasu o stężeniu  $1 \text{ mol/dm}^3$  ( $\text{pH KCl}$ ), ewentualnie w roztworze chlorku wapnia o stężeniu  $0,01 \text{ mol/dm}^3$  ( $\text{pH CaCl}_2$ ). Pomiar pH badanych próbek został wykonany przez Okręgową Stację Chemiczno – Rolniczą w Krakowie, zgodnie z normą PN-ISO 10390:1997 Jakość gleby. Oznaczanie pH.

## 6.5 Oznaczenie zawartości makroelementów w glebie

Próbki gleby zostały poddane badaniom chemicznym mającym na celu oznaczenie zawartości wybranych makroelementów w glebie. W badanych próbkach oznaczono zawartość pięciotlenku difosforu ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), tlenu dipotasu ( $\text{K}_2\text{O}$ ), magnezu (Mg) i jonów azotanowych ( $\text{NO}_3^-$ ). Badania zostały wykonane przez Okręgową Stację Chemiczno – Rolniczą w Krakowie.

### 6.5.1 Oznaczenie zawartości pentatlenku difosforu i azotanów metodą kolorymetryczną

Kolorymetria jest jedną z metod ilościowych, która polega na wyznaczeniu stężenia danej substancji barwnej w roztworze, oparta na porównaniu barwy badanego roztworu w świetle naturalnym z barwami roztworów wzorcowych. Roztworem wzorcowym jest roztwór o dokładnie znanym stężeniu. W analizie wykorzystuje się przyrządy nazywane kolorymetrami, w których zawartość oznaczanej substancji określa się na podstawie porównania natężenia zabarwienia roztworu tej substancji z natężeniem zabarwienia roztworu substancji wzorcowej [Duda i in., 1995; Walewski i in. 1995]. Oznaczenie zawartości pentatlenku fosforu ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) w badanych próbkach zostało wykonane zgodnie z normą PN-R-04023:1996 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego

fosforu w glebach mineralnych, natomiast oznaczenie zawartości azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w badanych próbkach zostało wykonane zgodnie z normą PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby, pobieranie próbek i oznaczanie zawartości jonów azotowych i amonowych w glebach mineralnych.

### 6.5.2 Oznaczenie zawartości tlenku dipotasu metodą fotometrii płomieniowej

Fotometria płomieniowa należy do metod spektrometrii emisyjnej wykorzystującej najniższe energie wzbudzające i w której mierzy się natężenie emisji promieniowania próbki wzbudzonej przez płomień palnika gazowego. W fotometrii płomieniowej aktywacja termiczna następuje wskutek zderzeń termicznych między atomami. Próbka w postaci rozpylonego roztworu wprowadzana jest do płomienia. Następuje odparowanie rozpuszczalnika, a następnie dysocjacja termiczna związków oznaczanych pierwiastków na atomy, które ulegają wzbudzeniu termicznemu w wyniku zderzeń z cząsteczkami i atomami o dużych energiach kinetycznych uzyskanych w wysokiej temperaturze płomienia. Źródłem wzbudzenia jest płomień gazowy [Hermanowicz i in., 1976]. Oznaczenie zawartości tlenku dipotasu ( $\text{K}_2\text{O}$ ) w badanych próbkach zostało wykonane zgodnie z normą PN-R-04022:1996+Az1:2002 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczenie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.

### 6.5.3 Oznaczenie zawartości magnezu techniką atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu (FAAS)

Technika Atomowej Spektroskopii Absorpcyjnej to bardzo czuła, ilościowa metoda analityczna pozwalająca oznaczyć w roztworach wodnych zawartości różnych pierwiastków. Ta technika wykorzystuje absorpcję promieniowania elektromagnetycznego przez atomy, co powoduje przejście elektronu walencyjnego z poziomu podstawowego na poziom wzbudzony. Emisja promieniowania jest związana z przejściem elektronu z poziomu wzbudzonego na poziom podstawowy. Efektem absorpcji i emisji jest powstanie linii widmowych. Pomiar tych linii umożliwia oznaczenie ilości danego pierwiastka w próbce. Miarą zawartości oznaczanego pierwiastka jest wielkość zaabsorbowanego przez niego promieniowania [Zdera, 2022]. Oznaczenie zawartości magnezu (Mg) w badanych próbkach zostało wykonane zgodnie z normą PN-R-04020:1994+Az1:2004 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczenie zawartości przyswajalnego magnezu.

## 6.6 Tworzenie map cyfrowych przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości

Do interpolacji mierzonych wielkości traktowanych, jako zmienne deterministyczne wykorzystano niewymagającą modelowania i najprostszą [Faber, 1998] metodę odwrotnych odległości IDW (*Inverse Distance Weighted*).

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}$$

gdzie:

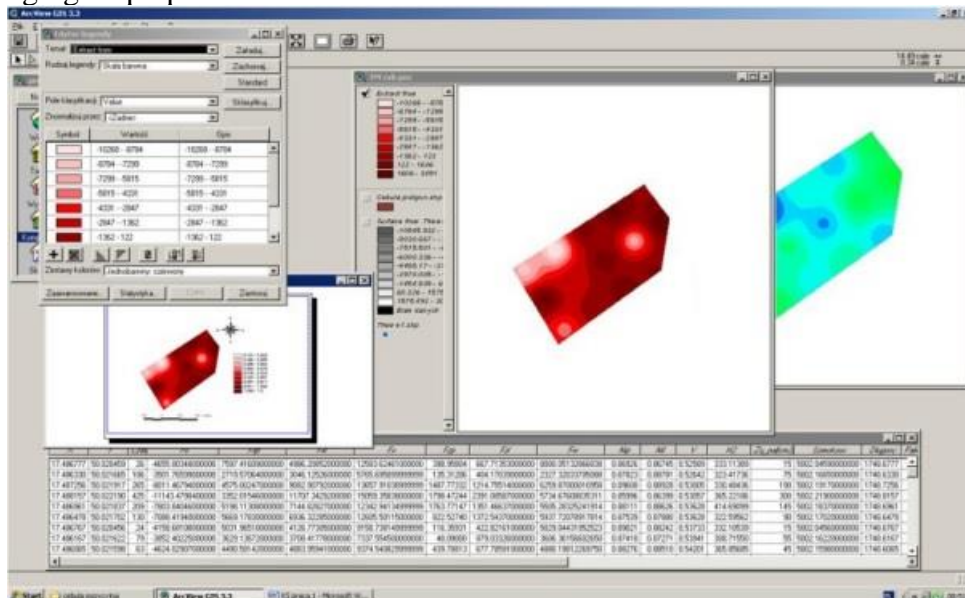
$Z_j$ - wartość cechy  $Z$  estymowanej w punkcie  $j$ ,

$Z_i$  – wartość cechy  $Z$  zmierzona w punkcie  $i$  (jednym z  $n$  punktów danych w otoczeniu),

$h_{ij}$  – efektywna odległość między punktami  $i$  i  $j$ ,

$\beta$  - wykładnik potęgowy – waga odległości.

Atutem wykorzystania takiego podejścia jest możliwość odzwierciedlenia miejscowego zróżnicowania atrybutów interpolowanej powierzchni. W obliczeniach wykorzystuje się tylko pewną ograniczoną liczbę punktów pomiarowych znajdujących się w zadanym otoczeniu punktu interpolacji, dzięki czemu algorytm zyskuje możliwość przetwarzania dużych zbiorów danych [Kusz i in., 2009]. Wykorzystano oprogramowanie ERSI ArcView GIS 3.3 do interpolacji danych punktowych, wizualizacji map wektorowych i rastrowych, wykonania odpowiednich operacji na mapach w postaci logicznych zapytań i wynikających z nich przestrzennych selekcji danych oraz nakładania wzajemnie zależnych danych poszczególnych map. Przy interpolacji wykorzystano rozdzielczość 10m [Faber, 1998c]. Przy sporządzaniu map przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości przyjęto takie same parametry interpolacji - wagę wynoszącą 2, a jako liczbę sąsiadujących punktów przyjęto 12 [Walczykova i in. 2005b]. Oprogramowanie ERSI ArcView GIS 3.3 pozwoliło na zapisywanie sporządzonych map wektorowych w formacie „shp”, co jest istotne w przypadku map operacyjnych będących mapami wynikowymi stosowanymi do precyzyjnego prowadzenia agregatu po polu.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 29. Widok interfejsu programu ArcView GIS

## 6.7 Analiza statystyczna

Analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego Statistica 13 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Normalność rozkładu badanych parametrów analizowano testem Kołmogorova-Smirnova. Do obliczenia różnic między wybranymi wartościami wykorzystano analizę wariancji. Jednorodność wariancji między grupami porównywano testem Levene'a wraz z testem Scheffego.

Zależności między badanymi parametrami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi gleby wyznaczono metodą korelacji liniowej Pearsona. Za istotne uznano prawdopodobieństwo testowe na poziomie  $p < 0,05$  [Sobczyk, 1996]. Jednakże ta metoda stosowana jest do badań zmiennych niezależnych od współrzędnych przestrzennych, co może prowadzić do zbyt dużych uproszczeń. Dlatego by uwzględnić przestrzenny charakter badanych parametrów wykorzystano metodę korelacji przestrzennej jako przykład metody geostatystycznej [Zawadzki, 2005]. Współczynniki korelacji przestrzennej wyznaczono za pomocą pakietu obliczeniowego programu ERSI ArcView GIS 3.3.

Aby uzyskać z góry założoną dokładność wyników wyznaczono niezbędną liczbę powtórzeń pomiaru danego parametru, w obrębie danej próby [Greń 1982]. W przypadku całego wnioszkowania statystycznego poziom istotności wynosił  $\alpha = 0,05$ .



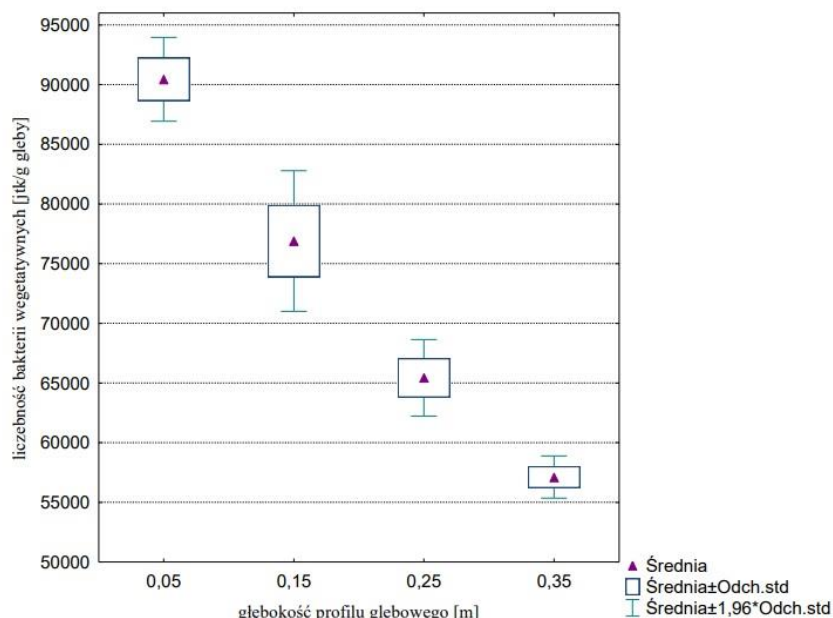
## 7 WYNIKI

### 7.1 Obiekt I

#### 7.1.1 Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby

Na podstawie laboratoryjnych analiz mikrobiologicznych profilu glebowego określono ilościowe występowanie czterech grup mikroorganizmów: bakterii vegetatywnych i spoczynkowych, promieniowców oraz grzybów. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym skład ilościowy poszczególnych grup mikroorganizmów zmniejsza się.

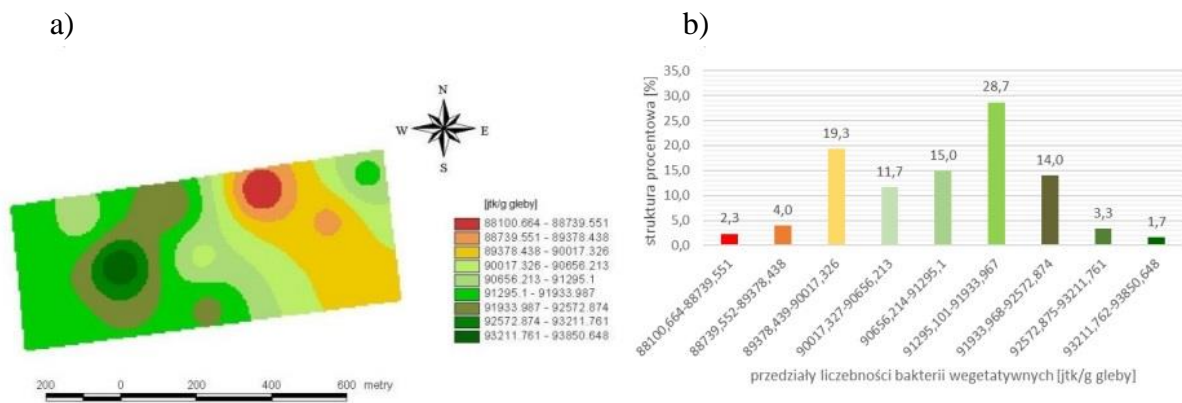
W przypadku bakterii vegetatywnych wyodrębniono cztery grupy jednorodnej liczebności tej grupy w profilu glebowym (rys. 30). Najmniejszą średnią wartość liczebności bakterii vegetatywnych wynoszącą 57 123 jtk/g gleby odnotowano na głębokości 0,35m, natomiast najwyższą na głębokości 0,05m – 90 450 jtk/g gleby. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych mikroorganizmów uzyskane na różnych poziomach głębokości były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowaniu niektórych cech profilu glebowego wpływających na występowanie w glebie badanych drobnoustrojów. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii vegetatywnych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 31-34).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 30. Liczebność bakterii vegetatywnych profilu glebowego pola obiektu I

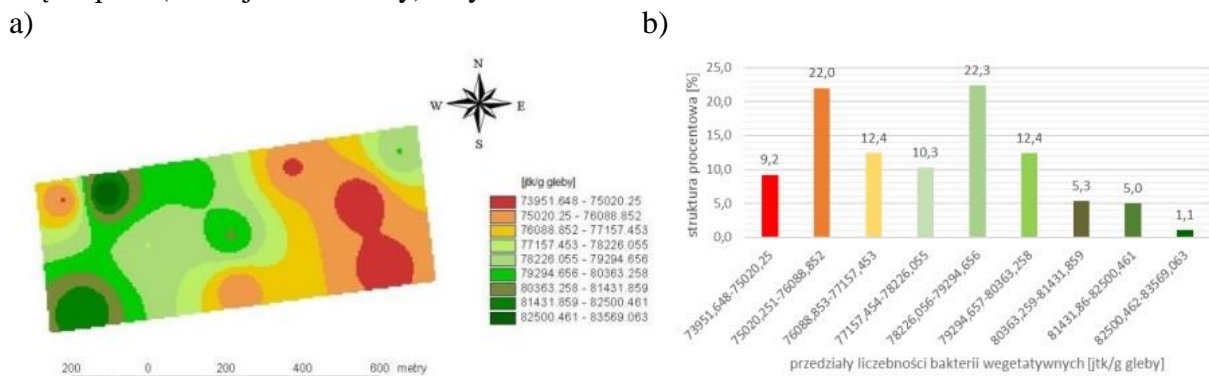
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,05 m (przedział 93 211,762 – 93 850,648 jtk/g gleby) stanowiła zaledwie 1,7%. Nieco większą powierzchnię – 2,3% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii vegetatywnych była najniższa i mieściła się w przedziale 88 100,664 – 88 739,551 jtk/g gleby (rys. 31b). Na terenie obejmującym aż 28,7% pola zaobserwowano wartości liczebności bakterii vegetatywnych mieszczące się w przedziale wartości 91 295,101 – 91 933,967 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany głównie w centralnej i zachodniej części pola (rys. 31a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 31. Występowanie bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii vegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii vegetatywnych

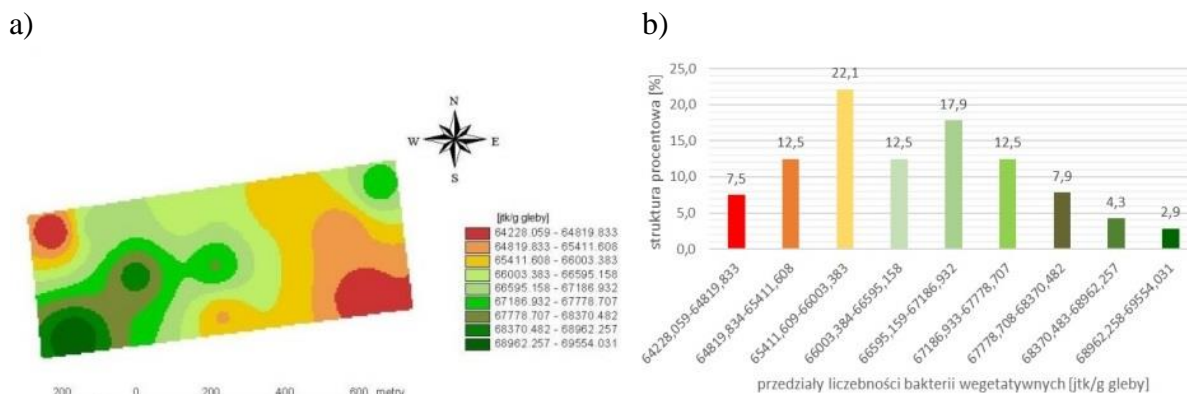
W przypadku liczebności bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m najwyższą liczebność bakterii odnotowano na powierzchni zajmującej 1,1% (przedział wartości 82 500,462 – 83 569,063 jtk/g gleby). Większą powierzchnię (9,2%) zajmowały obszary, na których liczebność bakterii była najniższa. Zbliżoną powierzchnię 22% i 22,3% zajmowały odpowiednio obszary charakteryzujące się liczebnością bakterii vegetatywnych z przedziału 75 020,251 – 76 088,852 jtk/g gleby, znajdujące się we wschodniej części pola (kolor pomarańczowy) oraz obszary charakteryzujące się liczebnością bakterii vegetatywnych z przedziału 78 226,056 – 79 294,656 jtk/g gleby, znajdujące się w centralnej części pola (kolor jasno zielony) – rysunek 32a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 32. Występowanie bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii vegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii vegetatywnych

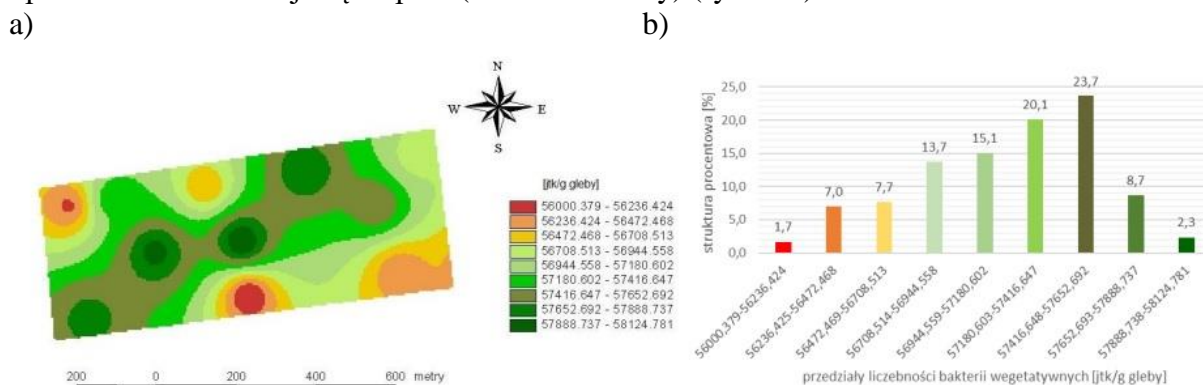
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność bakterii vegetatywnych odnotowano na północno-zachodnim (powierzchnia 2,9%), a najniższą na południowo-wschodnim i północno-zachodnim krańcu pola (powierzchnia 7,5%). Teren zajmujący 22,1% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii vegetatywnych mieszczącą się w przedziale wartości 65 411,609 – 66 003,383 jtk/g gleby. Obszar ten był skonsolidowany w zachodniej części pola (kolor żółty) – rysunek 33a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 33. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

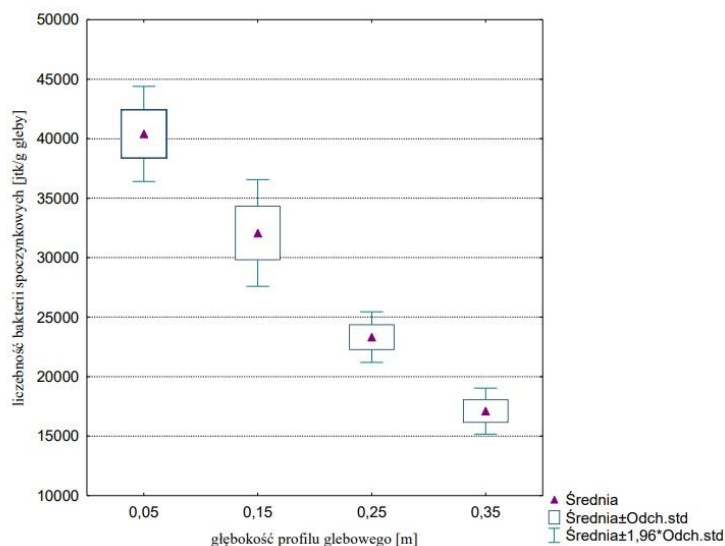
Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii wegetatywnych mieszczącą się w przedziale 57 888,738 – 58 124,781 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 2,3% pola. Najniższą liczebność bakterii wegetatywnych (przedział wartości 56 000,379 – 56 236,424 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej tylko 1,7%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczał się obszar (23,7%) znajdujący się w centralnej i północno-wschodniej części pola (kolor oliwkowy) (rys. 34a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 34. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

W przypadku ilościowego występowania w profilu glebowym bakterii spoczynkowych także wyróżniono cztery grupy jednorodnej liczebności tych mikroorganizmów (rys. 35). Najmniejszą średnią wartość liczebności bakterii spoczynkowych zaobserwowano na głębokości 0,05m, gdzie wyniosła ona 40 402 jtk/g gleby, natomiast najwyższą średnią dla głębokości 0,35m, wynoszącą 17 107 jtk/g gleby. Również w przypadku wartości liczebności uzyskanych dla grupy bakterii spoczynkowych na różnych poziomach głębokości były istotnie różne. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii spoczynkowych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania drobnoustrojów (rys. 36-39).

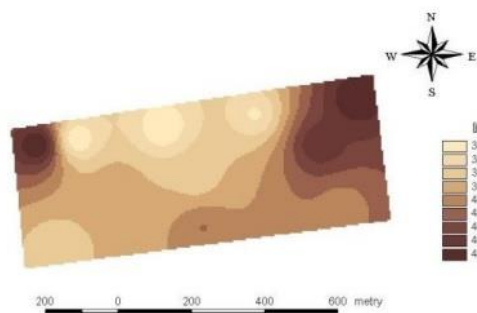


Źródło: opracowanie własne

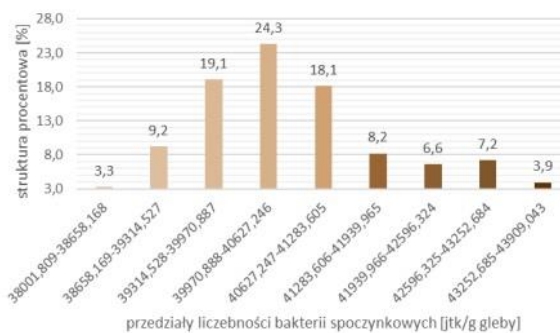
Rys. 35. Liczebność bakterii spoczynkowych profilu glebowego pola obiektu I

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m (przedział wartości 43 252,685 – 43 909,043 jtk/g gleby) stanowiła 3,9% - rys. 36b. Nieco mniejszą powierzchnię – 3,3% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii spoczynkowych była najniższa i mieściła się w przedziale 38 001,809 – 38 658,168 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym 24,3% pola zaobserwowano wartości liczebności bakterii spoczynkowych mieszczące się w przedziale wartości 39 970,888 – 40 627,246 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej i południowo- zachodniej części pola (rys. 36a).

a)



b)

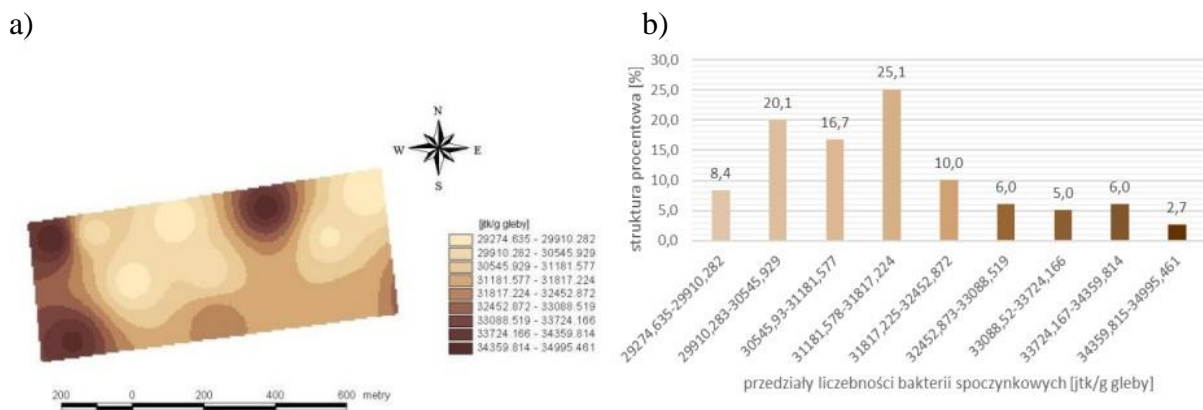


Źródło: opracowanie własne

Rys. 36. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

W przypadku liczebności bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m najwyższą liczebność bakterii podobnie jak na głębokości 0,05m, odnotowano na powierzchni zajmującej tylko 2,7% (przedział wartości 34 359,815 – 34 995,461 jtk/g gleby) – rys 37b. Większą powierzchnię (8,4%) zajmowały obszary, na których liczebność bakterii była najniższa. Powierzchnię 25,1% zajmowały obszary znajdujące się w centralnej i południowej części pola (rys. 37a), na których liczebność bakterii spoczynkowych mieściła się w przedziale wartości 31 181,578 – 31 817,224 jtk/g gleby.

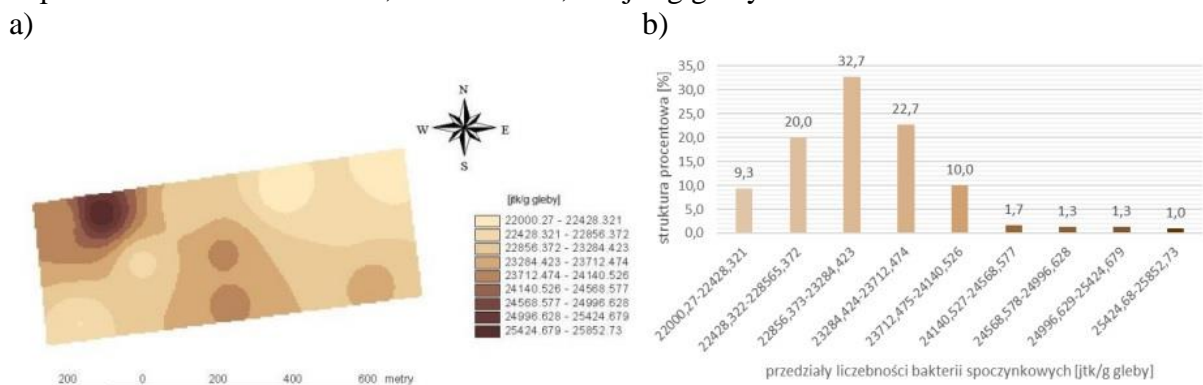




Źródło: opracowanie własne

Rys. 37. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych odnotowano na obszarach skonsolidowanych w północno-zachodniej części pola (powierzchnia 1%), natomiast najniższą na północno-wschodnim i południowo-zachodnim krańcu pola (powierzchnia 9,3%) – rysunek 38b. Teren zajmujący aż 32,7% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale wartości 22 856,373 – 23 284,423 jtk/g gleby.

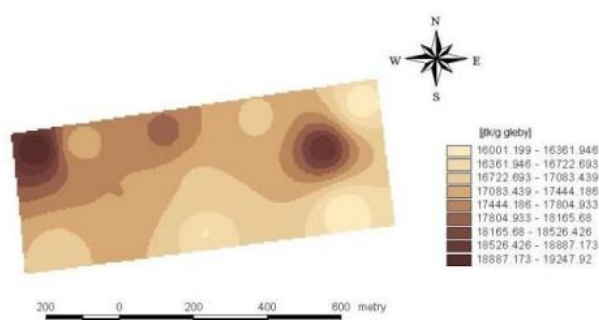


Źródło: opracowanie własne

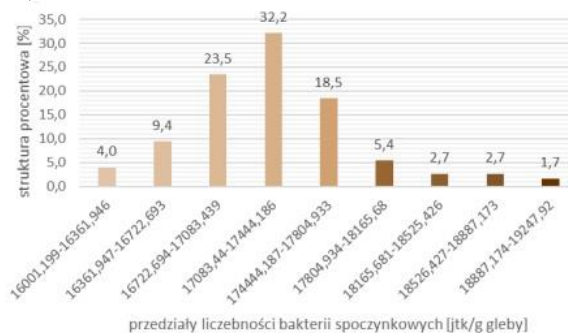
Rys. 38. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale 18 887,174 – 19 247,92 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,7% pola (rys. 39b). Najniższą liczebność bakterii spoczynkowych (przedział wartości 16 001,199 – 16 361,946 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 4%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczał się obszar (32,2%) znajdujący się w centralnej części pola (rys. 39a).

a)



b)



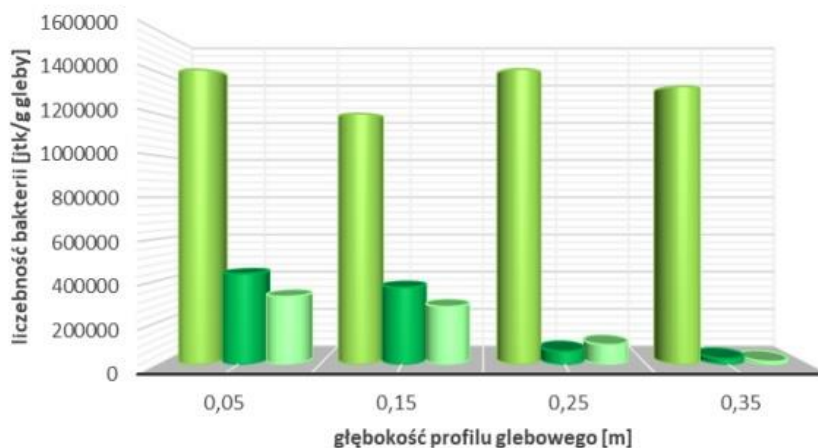
Źródło: opracowanie własne

Rys. 39. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Do identyfikacji zostały wybrane najczęściej izolowane szczepy bakteryjne. W grupie bakterii wegetatywnych, wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus mycoides* (rys. 50)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 51)
3. *Achromobacter denitrificans* (rys. 52)

Liczebność określonych szczepów bakterii wegetatywnych w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 40. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Achromobacter denitrificans*, *Bacillus mycoides* i *Bacillus thuringiensis*. Najliczniej w profilu glebowym niezależnie od głębokości występował szczep *Bacillus mycoides*. Najwyższą wartość liczebności tej bakterii odnotowano na głębokości 0,25m, która wyniosła 1 413 347 jtk/g gleby, co odpowiada 90% liczebności wszystkich wyizolowanych bakterii wegetatywnych w tej warstwie gleby. Natomiast najmniej licznie bytującą bakterią w profilu glebowym pola obiektu I był *Achromobacter denitrificans*. Jego najwyższą liczebność odnotowano na głębokości 0,05m (325 621 jtk/g gleby). Wyjątek stanowi warstwa gleby na głębokości 0,25m, gdzie liczebność *Achromobacter denitrificans* przewyższała liczebność *Bacillus thuringiensis* o 31 408 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

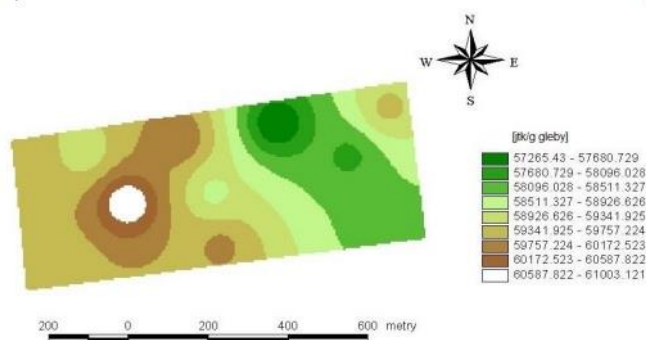
Rys. 40. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii wegetatywnych w profilu glebowym obiektu I

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano trzy gatunki bakterii wegetatywnych: *Bacillus mycooides*, *Bacillus thuringiensis* i *Achromobacter denitryficans*. W przypadku *Bacillus mycooides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości od 60 587,823 do 61 003,121 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2% (rys. 41b). Teren ten znajdował się w zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 41a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 57 265,43 – 57 680,729 jtk/g gleby) obejmowała obszar (również 2%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycooides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (28,8%) – kolor jasno brązowy.

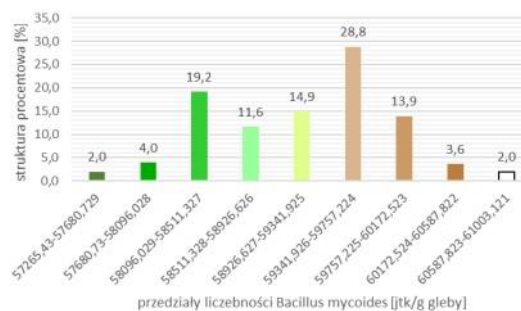
Podobnie jak w przypadku *Bacillus mycooides*, najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 18 641,998 – 18 769,73 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2% (rys. 41d). Teren ten również znajdował się w zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 41c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 17 620,133 – 17 747,866 jtk/g gleby) obejmowała obszar (także 2%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej części pola (28,6%) – kolor brązowy.

Najwyższą liczebnością gatunku *Achromobacter denitryficans* mieszczącą się w przedziale wartości 13 981,943 – 14 077,797 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2%, podobnie jak w przypadku dwóch poprzednich gatunków (rys. 41f). Teren ten również znajdował się w zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 41e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 13 215,1 – 13 310,955 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,3%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Achromobacter denitryficans* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej części pola (28,5%) – kolor brązowy.

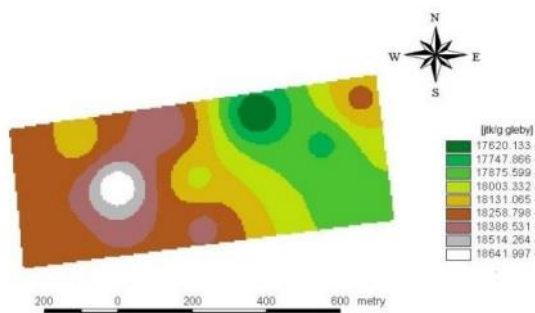
a)



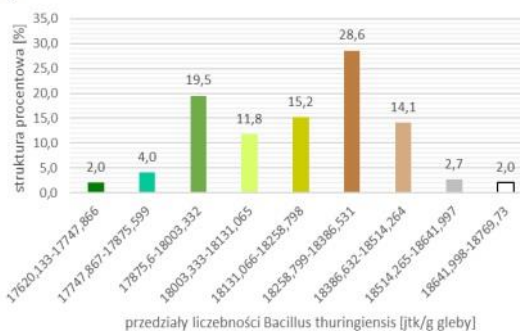
b)



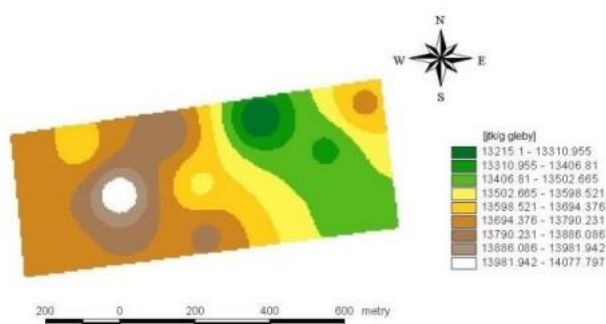
c)



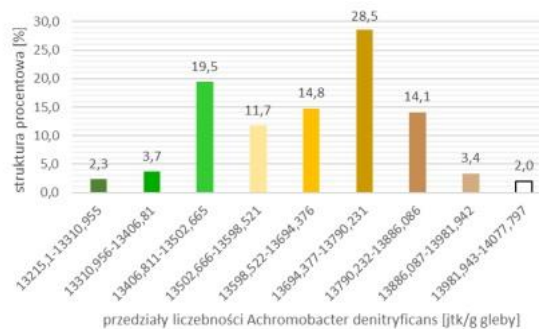
d)



e)



f)



Źródło: opracowanie własne

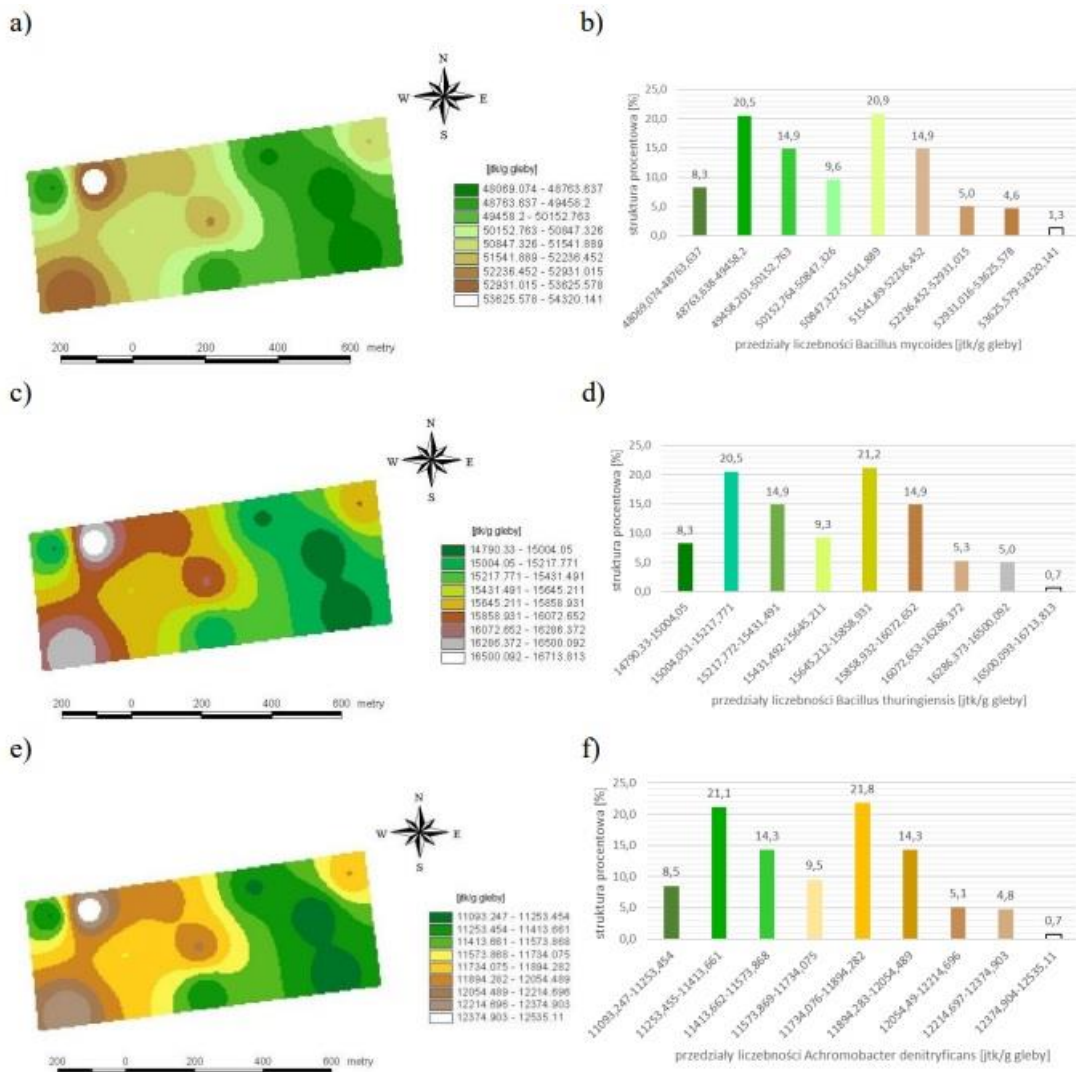
Rys. 41. Występowanie gatunków bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Achromobacter denitrificans*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Achromobacter denitrificans*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują trzy gatunki bakterii vegetatywnych. W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 53 625,579 – 54 320,141 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,3% (rys. 42b). Teren ten znajdował się w północno-zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 42a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 48 069,074 – 48 763,637 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (8,3%) skonsolidowany w południowej i południowo-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w wschodniej (kolor zielony) i centralnej (kolor zielono-żółty) części pola (odpowiednio 20,5% i 20,9%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 16 500,093 – 16 713,813 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 0,7% (rys. 42d). Teren ten również znajdował się w północno-zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 42c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 14 790,33 – 15 004,05 jtk/g gleby) obejmowała obszar (8,3%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (21,2%) – kolor pomarańczowy.

Najwyższą liczebnością gatunku *Achromobacter denitrificans* mieszczącą się w przedziale wartości od 12 374,904 do 12 535,11 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 0,7%, podobnie jak w przypadku poprzedniego gatunku (rys. 42f). Teren ten również znajdował się w północno-zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 42e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 11 093,247 – 11 253,454 jtk/g gleby) obejmowała obszar (8,5%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Achromobacter denitrificans* odznaczały się tereny znajdujące się we wschodniej (kolor zielony) i centralnej (kolor pomarańczowy) części pola (odpowiednio 21,1% i 21,8%).





Źródło: opracowanie własne

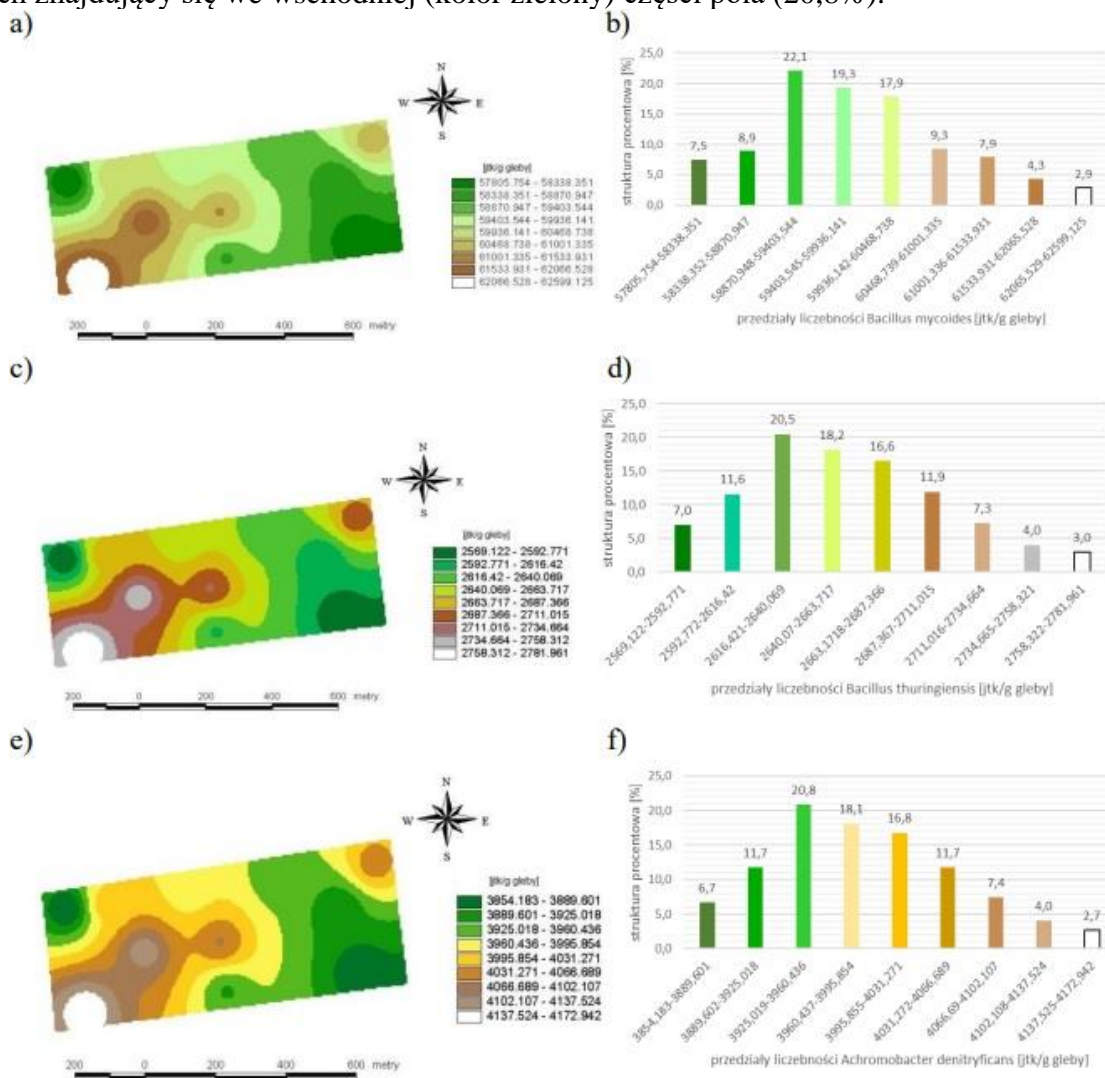
Rys. 42. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Achromobacter denitrificans*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Achromobacter denitrificans*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 62 065,529 – 62 599,125 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2,9% (rys. 43b). Teren ten znajdował się w południowo- zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 43a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 57 805,754 – 58 338,351 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (7,5%) skonsolidowany w północno- zachodniej oraz południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej (kolor zielony) części pola (22,1%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 758,322 – 2 781,961 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3% (rys. 43d). Teren ten również znajdował się w południowo- zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 43c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku

(przedział wartości 2 569,122 – 2 592,771 jtk/g gleby) obejmowała obszar (7%) skonsolidowany północno- zachodniej oraz południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (20,5%) – kolor jasno zielony.

Najwyższą liczebnością gatunku *Achromobacter denitrificans* mieszczącą się w przedziale wartości od 41 37,525 do 41 72,942 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2,7% (rys. 43f). Teren ten również znajdował się w południowo- zachodniej części pola (kolor biały) - rys. 43e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 3 854,183 – 3 889,601 jtk/g gleby) obejmowała obszar (6,7%) skonsolidowany północno- zachodniej oraz południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Achromobacter denitrificans* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej (kolor zielony) części pola (20,8%).



Źródło: opracowanie własne

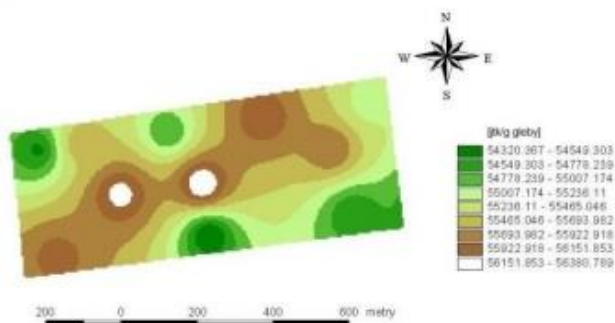
Rys. 43. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycooides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycooides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Achromobacter denitrificans*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Achromobacter denitrificans*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 56 151,854 – 56 380,789 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2,3% (rys. 44b). Teren ten znajdował się w centralnej części pola (kolor biały) - rys. 44a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 54 320,367 – 54 549,303 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (1,7%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej (kolor jasno brązowy) części pola (23,3%).

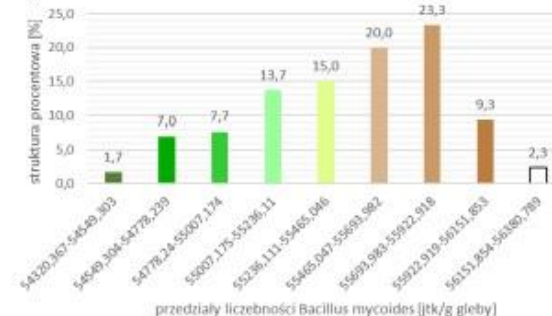
W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 1 158,22 – 1 162,996 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7% (rys. 44d). Teren ten również znajdował się w centralnej części pola (kolor biały) - rys. 44c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 1 120,00 – 1 124,784 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,3%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (23,3%) – kolor jasno brązowy.

Najwyższą liczebnością gatunku *Achromobacter denitrificans* mieszczącą się w przedziale wartości od 578,666 do 580,998 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2,4% (rys. 44f). Teren ten również znajdował się w centralnej części pola (kolor biały) - rys. 44e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 560,004 – 562,336 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,7%) skonsolidowany północno- zachodniej oraz południowej części pola. Znaczną liczebnością *Achromobacter denitrificans* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej (kolor brązowy) części pola (24,3%).

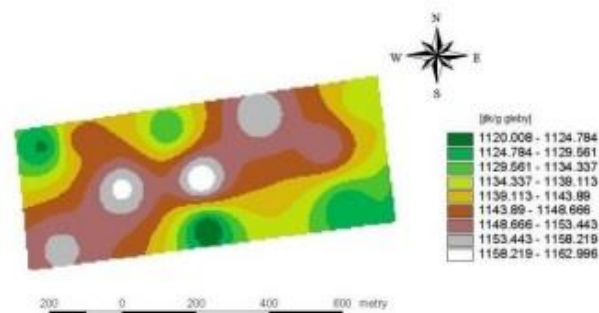
a)



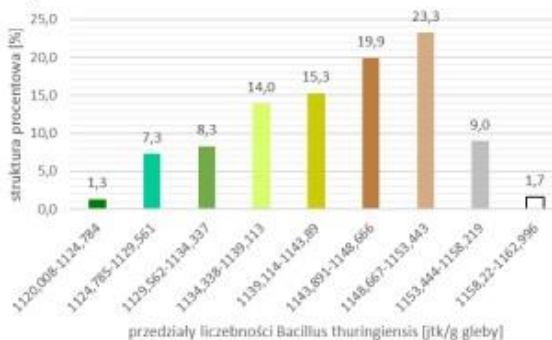
b)



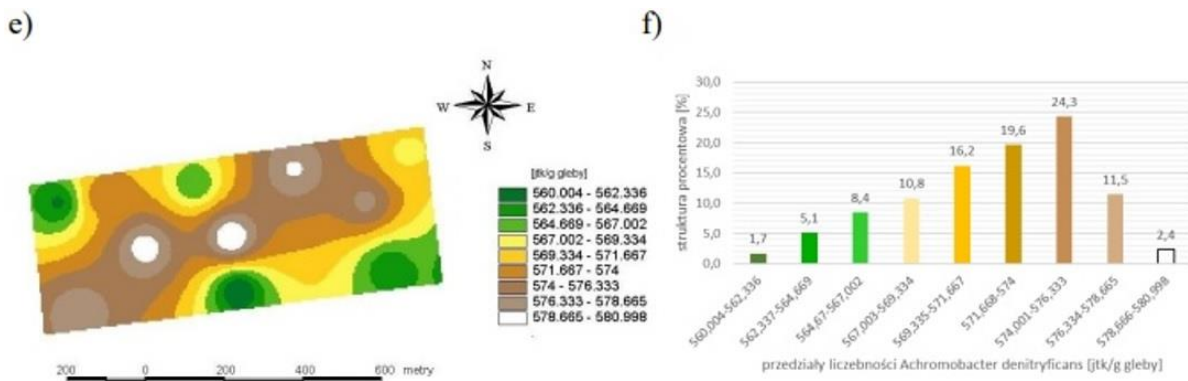
c)



d)







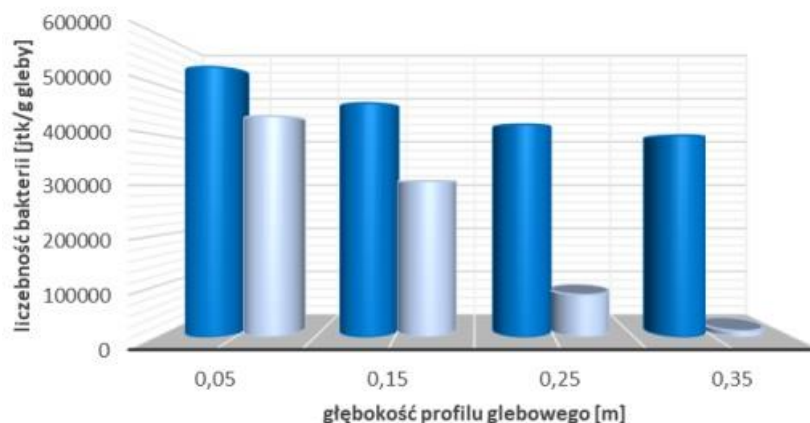
Źródło: opracowanie własne

Rys. 44. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Achromobacter denitrificans*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Achromobacter denitrificans*

W grupie bakterii spoczynkowych, wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus mycoides* (rys. 50)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 51)

Liczebność obu szczepów bakterii spoczynkowych w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 45. W profilu glebowym na wszystkich analizowanych głębokościach stwierdzono obecność obu wyizolowanych szczepów bakterii spoczynkowych *Bacillus mycoides* i *Bacillus thuringiensis*, gdzie najwyższą liczebnością odznaczał się szczep *Bacillus mycoides*. W wierzchniej warstwie gleby odnotowano liczebność *Bacillus mycoides* na poziomie 533 303 jtk/g gleby, a *Bacillus thuringiensis* 436 338 jtk/g gleby. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,35m) liczebność obu szczepów spadła do odpowiednio 398 258 jtk/g gleby i 12 317 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

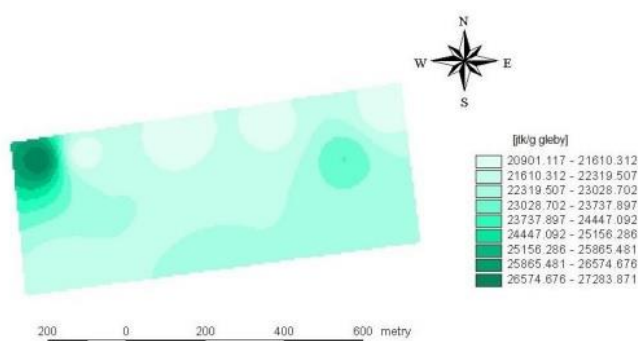
Rys. 45. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii spoczynkowych w profilu glebowym obiektu I

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki bakterii spoczynkowych: *Bacillus mycoides* i *Bacillus thuringiensis*. W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości od 26 574,677 do 27 283,871 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 0,5%

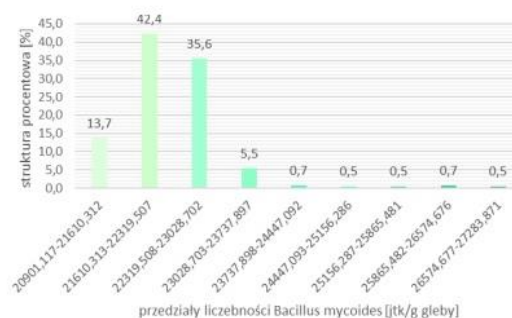
(rys. 46b). Teren ten znajdował się w północno- zachodniej części pola (kolor ciemno zielony) - rys. 46a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 20 901,117 – 21 610,312 jtk/g gleby) obejmowała obszar (13,7%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (42,4%) – kolor jasno niebieski.

Najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 19 464,154 – 19 759,57 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 4% (rys. 46d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i północno- zachodniej części pola (kolor ciemnoróżowy) - rys. 46c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 17 100,814 – 17 396,232 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3,3%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej części pola (24,4%) – kolor różowy.

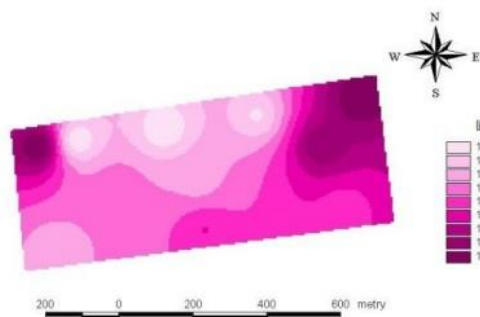
a)



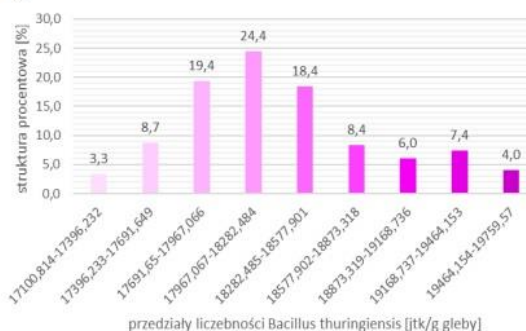
b)



c)



d)

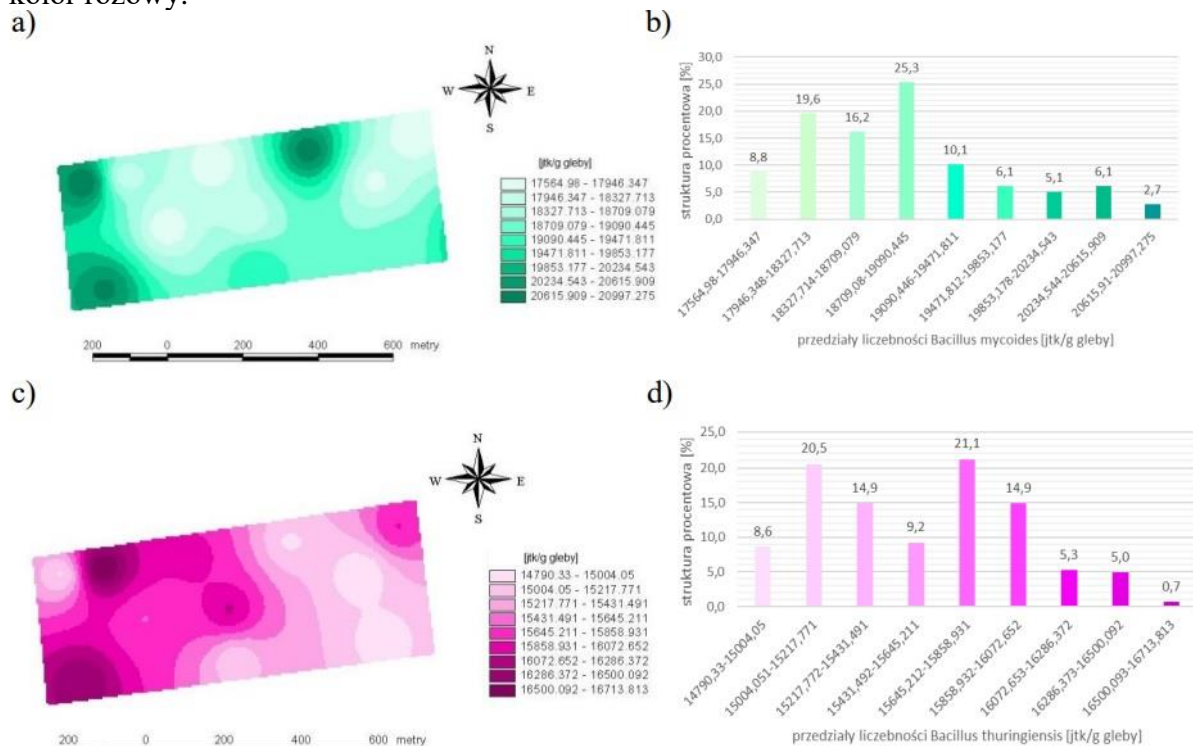


Źródło: opracowanie własne

Rys. 46. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują dwa gatunki bakterii spoczynkowych. W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 20 615,91 – 20 997,275 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,7% (rys. 47b). Teren ten znajdował się w północnej i zachodniej części pola (kolor niebieski) - rys. 47a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 17 564,98 – 17 946,347 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (8,8%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w południowej części pola (25,3%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 16 500,093 – 16 713,813 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 0,7% (rys. 47d). Teren ten również znajdował się w północno- zachodniej części pola (kolor ciemnoróżowy) - rys. 47c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 14 790,33 – 15 004,05 jtk/g gleby) obejmowała obszar (8,6%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (21,1%) – kolor różowy.



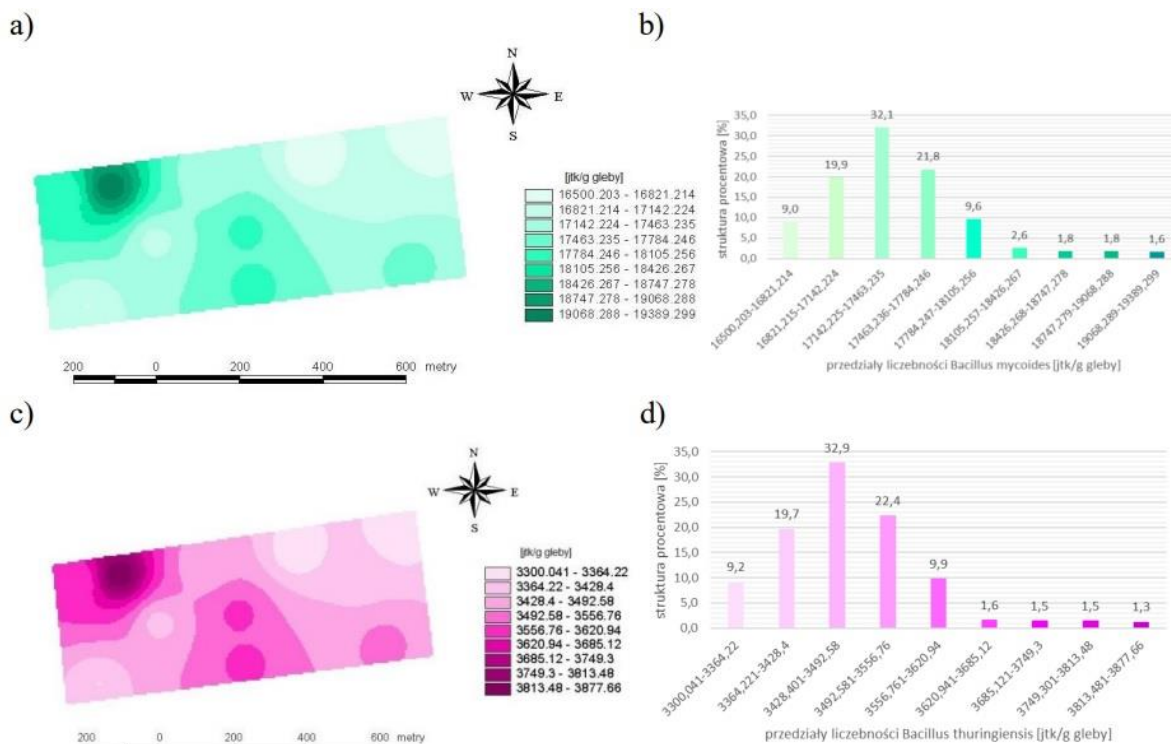
Rys. 47. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

Źródło: opracowanie własne

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 19 068,289 – 19 389,299 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,6% (rys. 48b). Teren ten znajdował się w północno- zachodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 48a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 16 500,203 – 16 821,214 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (9%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej (kolor zielony) części pola (32,1%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 3 813,481 – 3 877,66 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,3% (rys. 48d). Teren ten również znajdował się w południowo- zachodniej części pola (kolor ciemno różowy) - rys. 48c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 300,041 – 3364,22 jtk/g gleby) obejmowała obszar (9,2%) skonsolidowany północno- zachodniej oraz północno- wschodniej części pola. Znaczną

liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (32,9%) – kolor jasno różowy.



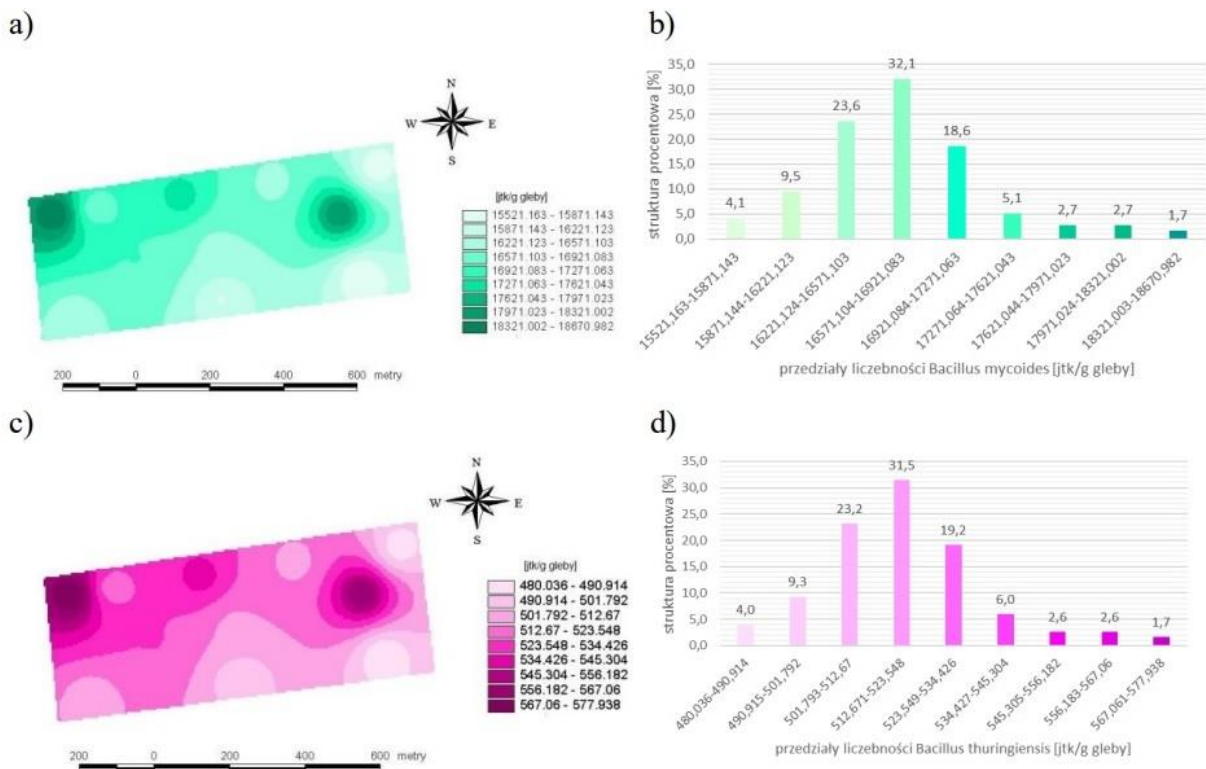
Źródło: opracowanie własne

Rys. 48. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 18 321,003 – 18 670,982 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,7% (rys. 49b). Teren ten znajdował się w zachodniej i północno-wschodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 49a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 15 521,163 – 15 871,143 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (4,1%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej (kolor jasno brązowy) części pola (23,3%).

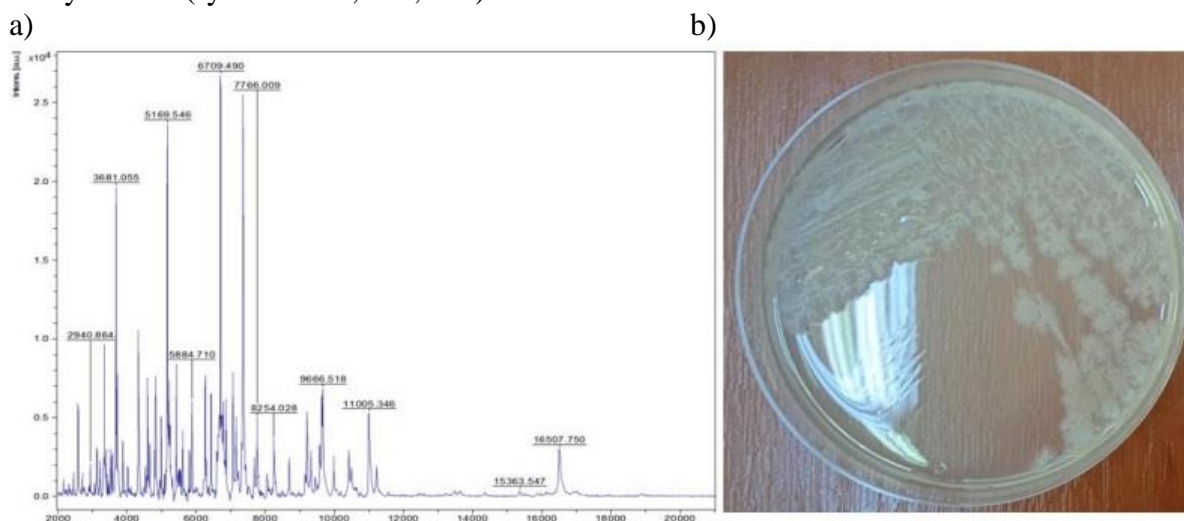
W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 567,061 – 577,938 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7% (rys. 49d). Teren ten również znajdował się w zachodniej i północno-wschodniej części pola (kolor ciemnoróżowy) - rys. 49c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 480,036 – 490,914 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w południowej części pola (31,5%) – kolor różowy.





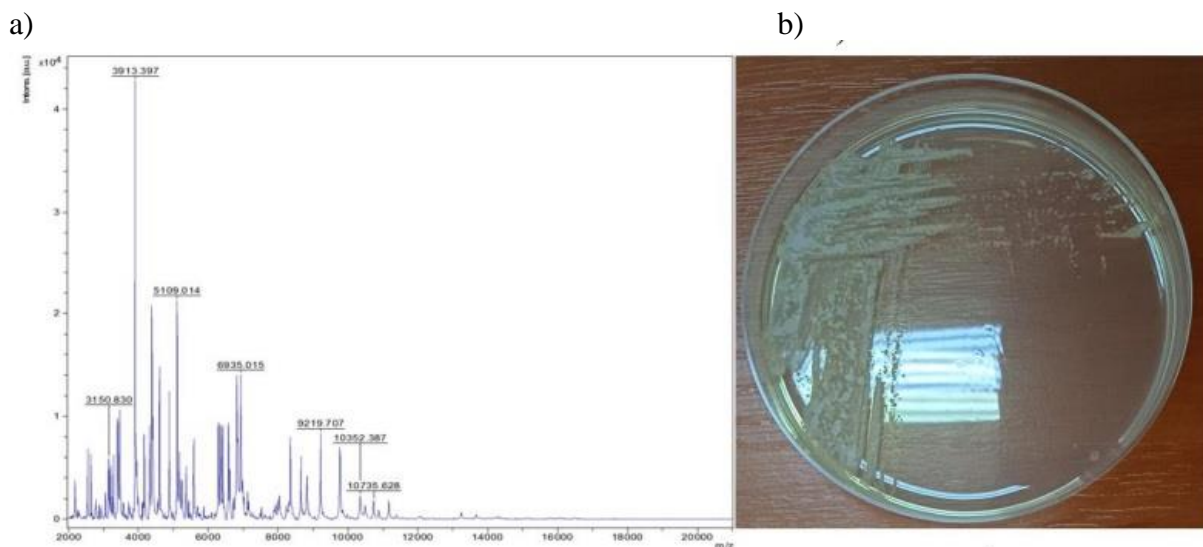
Rys. 49. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

Uzyskane widma masowe wyizolowanych bakterii zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującym się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunek 50a, 51a, 52a).



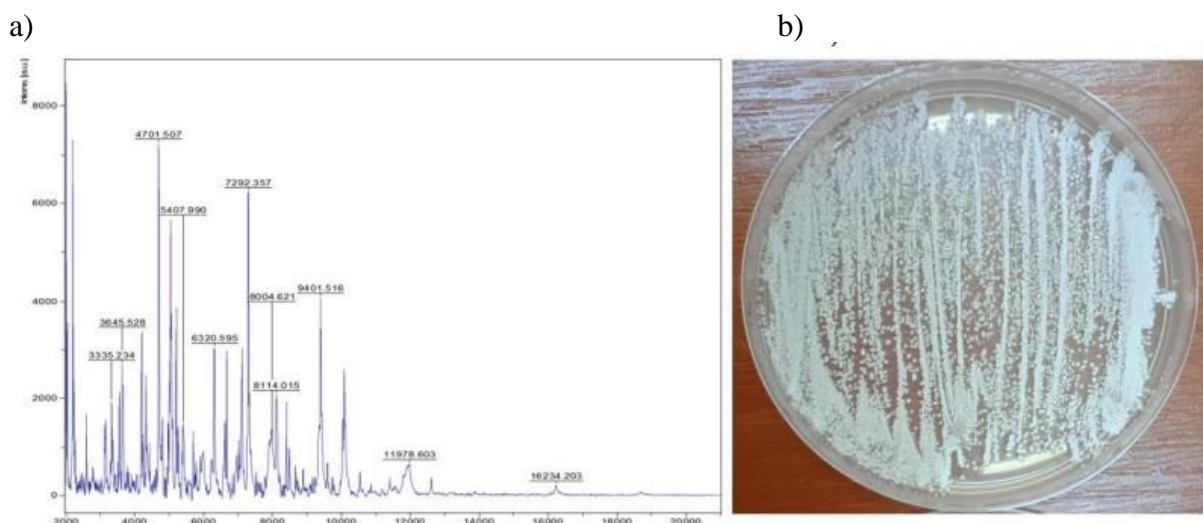
Rys. 50. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus mycoides*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii





Rys. 51. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus thuringiensis*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

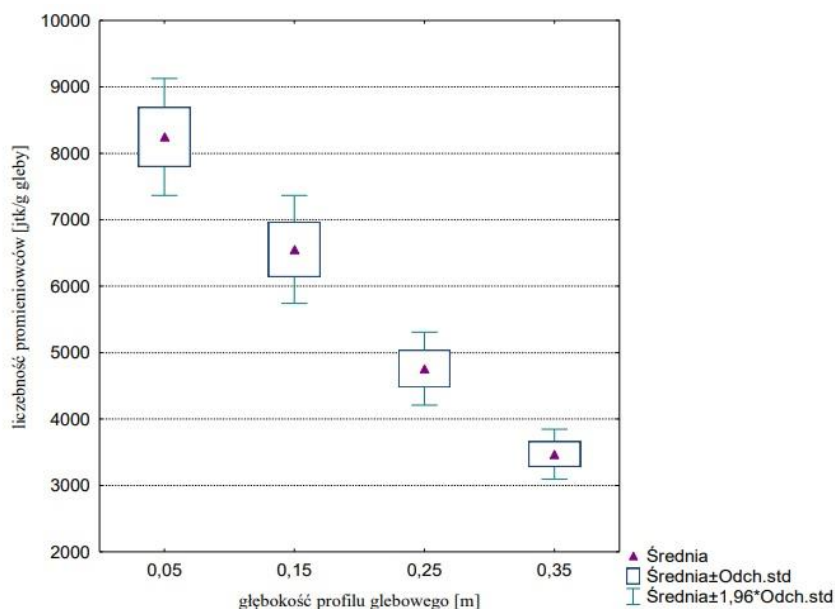
Źródło: opracowanie własne



Rys. 52. Wynik identyfikacji gatunkowej *Achromobacter denitrificans*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Źródło: opracowanie własne

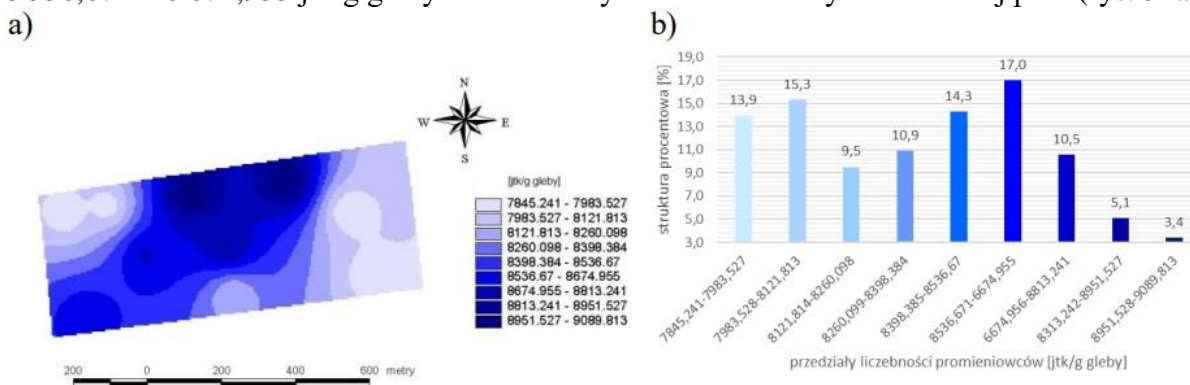
Na rysunku 53 przedstawiono liczebność promieniowców w profilu glebowym. Podobnie jak w przypadku wyżej wymienionych grup mikroorganizmów wyodrębniono cztery grupy jednorodnej wartości liczebności promieniowców, gdzie najniższą średnią wartość liczebności promieniowców uzyskano na głębokości 0,35m a najwyższą na 0,05m. Wyniosły one odpowiednio 3 471 jtk/g gleby i 8 246 jtk/g gleby. Otrzymane wartości również były istotnie różne. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania promieniowców na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 54-57).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 53. Liczebność promieniowców profilu glebowego pola obiektu I

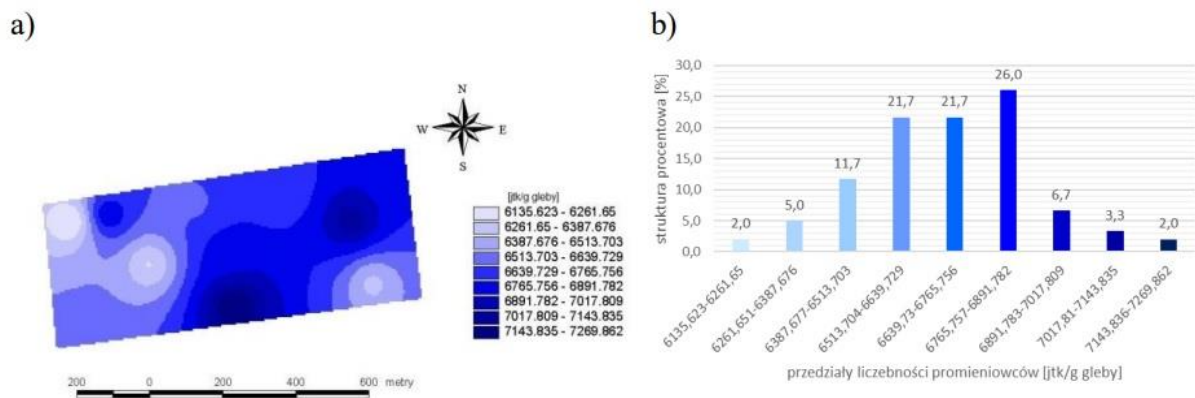
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością promieniowców w glebie na głębokości 0,05m (przedział wartości 8 951,528 – 9 089,813 jtk/g gleby) stanowiła tylko 3,4% (rys. 54b). Czterokrotnie większą powierzchnię – 13,9% stanowiły obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa i mieściła się w przedziale wartości 7 845,241 – 7 983,527 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym 17% pola zaobserwowano wartości liczebność promieniowców mieszczą się w przedziale wartości 8 536,671 – 6 674,955 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej pola (rys. 54a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 54. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

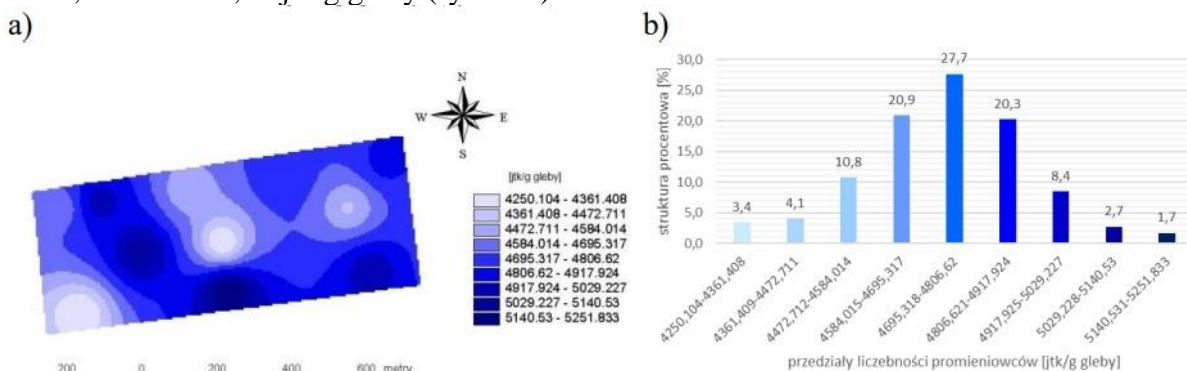
W przypadku liczebności promieniowców w glebie na głębokości 0,15m najwyższą ich liczebność odnotowano na powierzchni zajmującej 2% (przedział wartości 7 143,836 – 7 269,862 jtk/g gleby) – rysunek 55b. Taką samą powierzchnię (2%) zajmowały obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa. Powierzchnię 26% zajmowały obszary znajdujące się w centralnej i wschodniej części pola (rys. 55a), na których liczebność promieniowców mieściła się w przedziale wartości 6 765,757 – 6 891,782 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 55. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

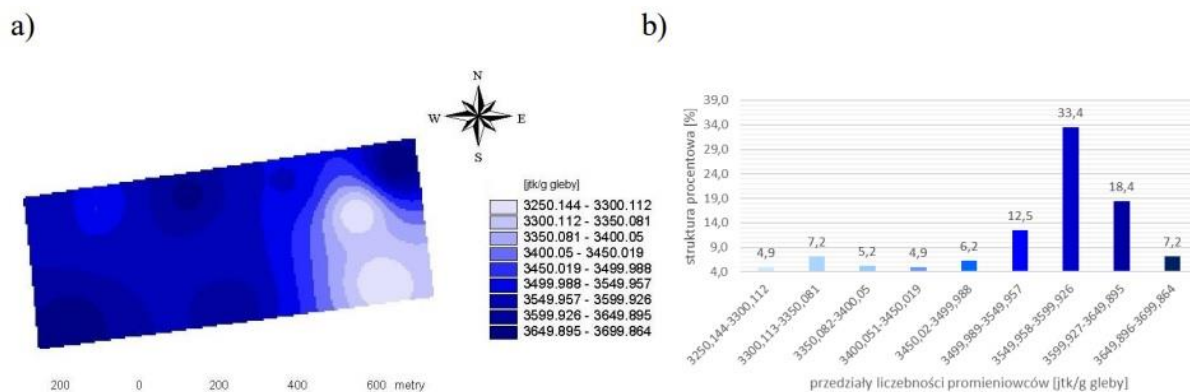
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność promieniowców odnotowano na obszarze znajdującym się głównie w zachodniej części pola (powierzchnia 1,7%) – rysunek 56a, natomiast najniższą na południowo-wschodnim krańcu pola oraz w centralnej jego części (powierzchnia 3,4%). Teren zajmujący 27,7% powierzchni pola obejmował liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale wartości 4 695,318 – 4 806,62 jtk/g gleby (rys. 56b).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 56. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale 3 649,896 – 3 699,864 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 7,2% pola (rys. 57b). Najniższą liczebność promieniowców (przedział wartości 3 250,144 – 3 300,112 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 4,9%. Znaczną liczebnością promieniowców odznaczał się obszar (aż 33,4%) znajdujący się w zachodniej i centralnej części pola (rys. 57a).



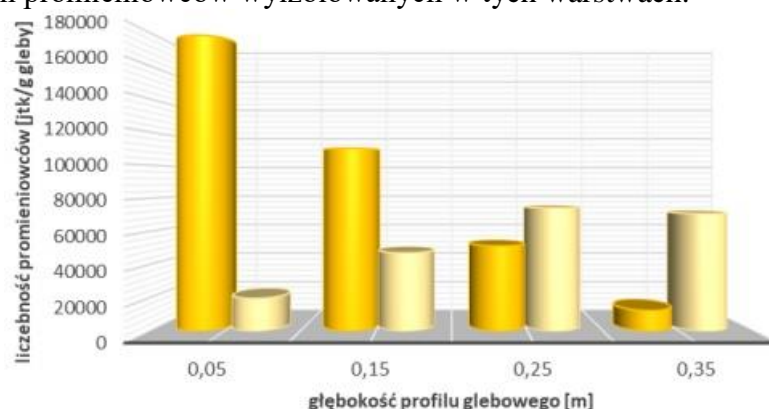
Źródło: opracowanie własne

Rys. 57. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

W grupie promieniowców do identyfikacji zostały wybrane dwa szczepy. Wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Streptomyces tanashiensis* (rys. 63)
2. *Streptomyces venezuelae* (rys. 64)

Liczebność gatunków promieniowców w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona rysunku 58. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Streptomyces tanashiensis* i *Streptomyces venezuelae*. Można zauważyć, że liczebność *Streptomyces tanashiensis* wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego spadała, natomiast liczebność drugiego szczepu - *Streptomyces venezuelae* wzrastała. W wierzchniej warstwie gleby (do 0,15m) liczebność *Streptomyces tanashiensis* przewyższała liczebność *Streptomyces venezuelae* o 158 317 jtk/g gleby na głębokości 0,05m oraz o 62 909 jtk/g gleby na głębokości 0,15m. Natomiast w głębszej warstwie gleby (0,25 – 0,35m) odnotowano przewagę liczebności *Streptomyces venezuelae*. Na głębokości 0,25m i 0,35m wyniosła ona odpowiednio 74 215 jtk/g gleby i 70 805 jtk/g gleby, co odpowiadało odpowiednio 65% i 85% wszystkich promieniowców wyizolowanych w tych warstwach.



Źródło: opracowanie własne

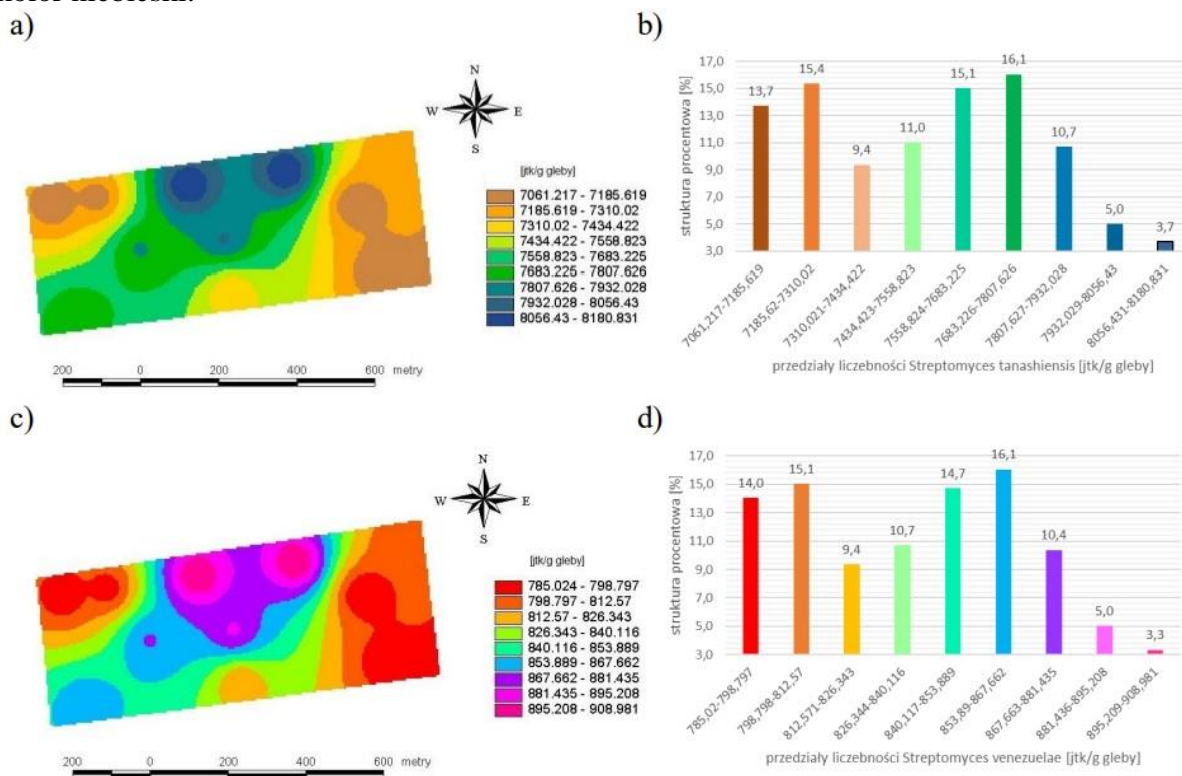
Rys. 58. Liczebność poszczególnych szczepów promieniowców w profilu glebowym obiektu I

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki promieniowców: *Streptomyces tanashiensis* i *Streptomyces venezuelae*. W przypadku *Streptomyces tanashiensis* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości od



8 056,431 do 8 180,831 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,7% (rys. 59b). Teren ten znajdował się w północnej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 59a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 7 061,217 – 7 185,619 jtk/g gleby) obejmowała obszar (13,7%) skonsolidowany w północno- zachodniej i południowo-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (16,1%) – kolor zielony.

Najwyższą liczebnością gatunku *Streptomyces venezuelae* mieszczącą się w przedziale wartości 895,209 – 908,981 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,3% (rys. 59d). Teren ten znajdował się w północnej części pola (kolor czerwony) - rys. 59c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 785,02 – 798,797 jtk/g gleby) obejmowała obszar (14%) skonsolidowany w północno-zachodniej i południowo-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (16,1%) – kolor niebieski.



Źródło: opracowanie własne

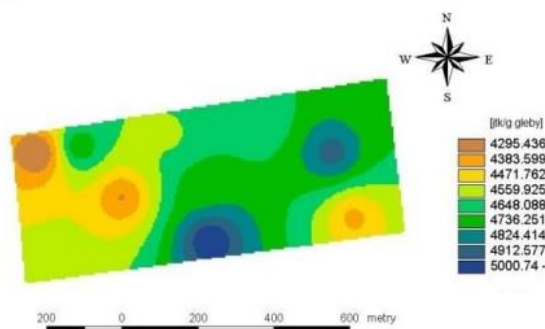
Rys. 59. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują dwa gatunki promieniowców. W przypadku *Streptomyces tanashiensis* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 5 000,741 – 5 088,903 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7% (rys. 60b). Teren ten znajdował się we wschodniej i południowej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 60a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 4 295,436 – 4 383,599 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,7%) skonsolidowany w północno- zachodniej części pola. Znaczną

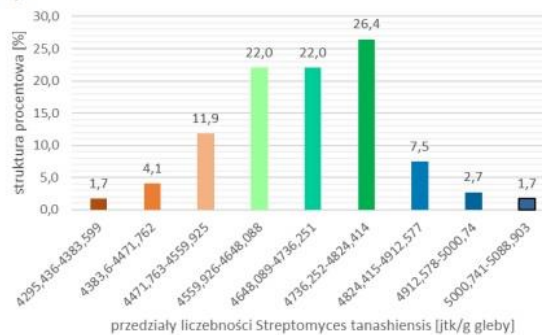
liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczały się tereny znajdujące się w południowej części pola (26,4%).

W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 143,207 – 2 180,958 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,7% (rys. 60d). Teren ten również znajdował się we wschodniej i południowej części pola (kolor ciemnoróżowy) - rys. 60c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 1 841,187 – 1 878,939 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,7%) skonsolidowany w północno- zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (25,8%) – kolor niebieski.

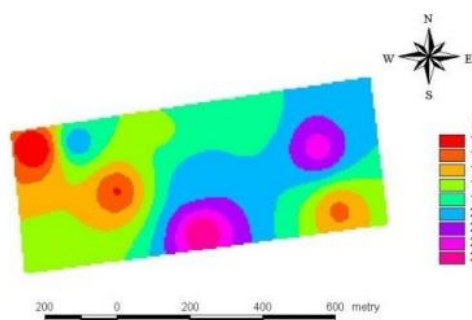
a)



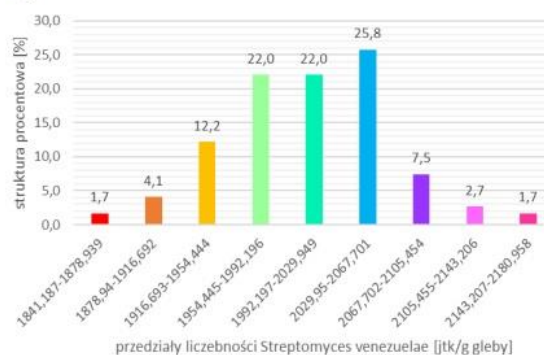
b)



c)



d)



Źródło: opracowanie własne

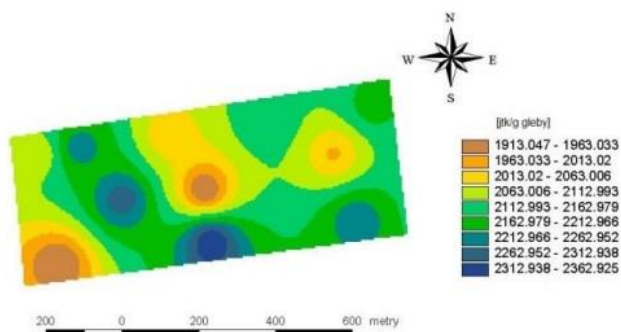
Rys. 60. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Streptomyces tanashiensis* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 312,939 – 2 362,925 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,3% (rys. 61b). Teren ten znajdował się na południowym krańcu pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 61a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 1 913,047 – 1 963,033 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (3,3%) skonsolidowany w południowo- zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej (kolor zielony) części pola (27,3%).

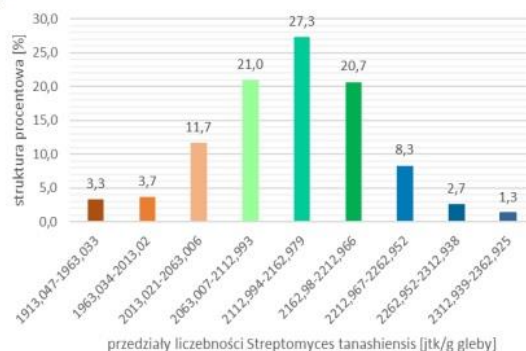
W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 3 341,579 – 3 413,891 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia

zajmująca 1,7% (rys. 61d). Teren ten również znajdował się na południowym krańcu części pola (kolor ciemno różowy) - rys. 61c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 763,068 – 2 835,382 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3,3%) skonsolidowany południowo- zachodniej oraz centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (27,3%) – kolor zielony.

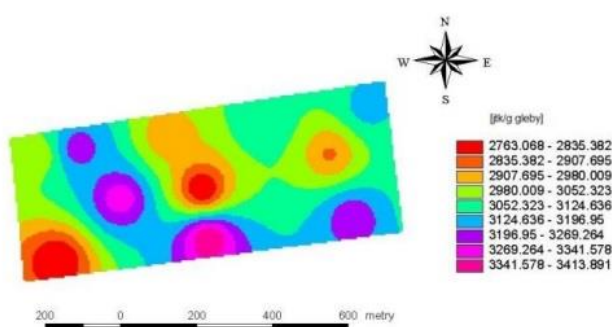
a)



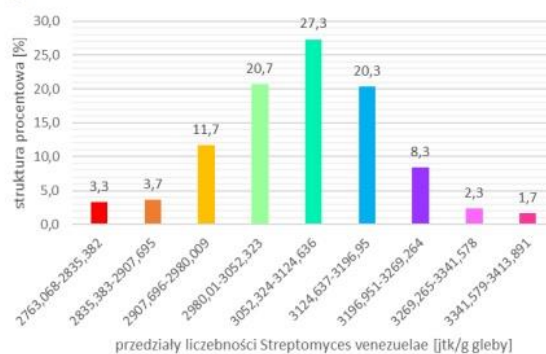
b)



c)



d)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 61. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

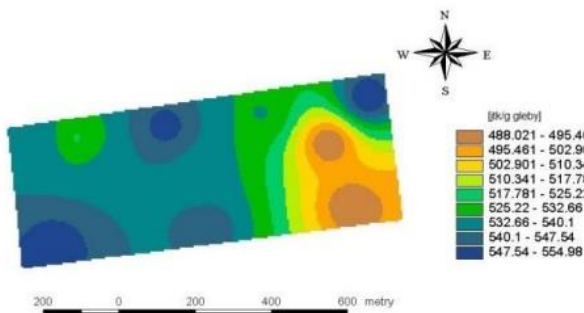
W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Streptomyces tanashiensis* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 547,541 – 554,98 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 7,1% (rys. 62b). Teren ten znajdował się południowo-zachodniej i północno-wschodniej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 62a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 488,021 – 495,461 jtk/g gleby) obejmowała obszar (5,2%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej (kolor jasno niebieski) części pola (33,8%).

W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 3102,467 – 3144,884 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 6,8% (rys. 62d). Teren ten również znajdował się na północnym krańcu i wschodniej części pola (kolor ciemno różowy) - rys. 62c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział 2 763,122 – 2 805,54 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,9%) skonsolidowany wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces*

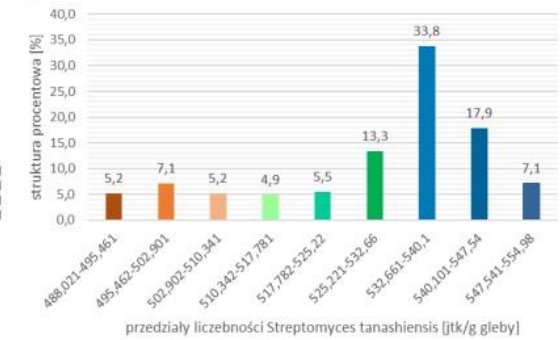


*venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (33,8%) – kolor niebieski.

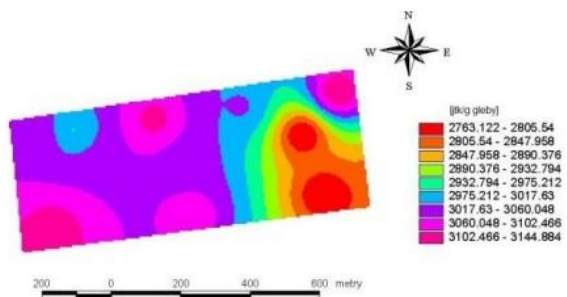
a)



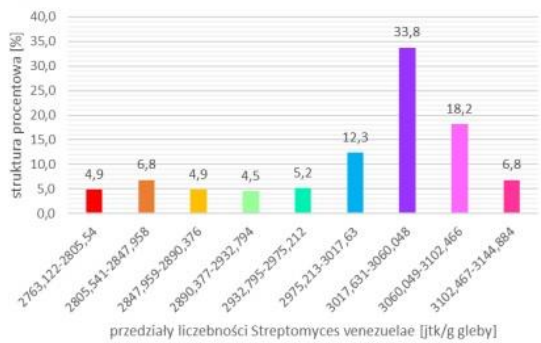
b)



c)



d)

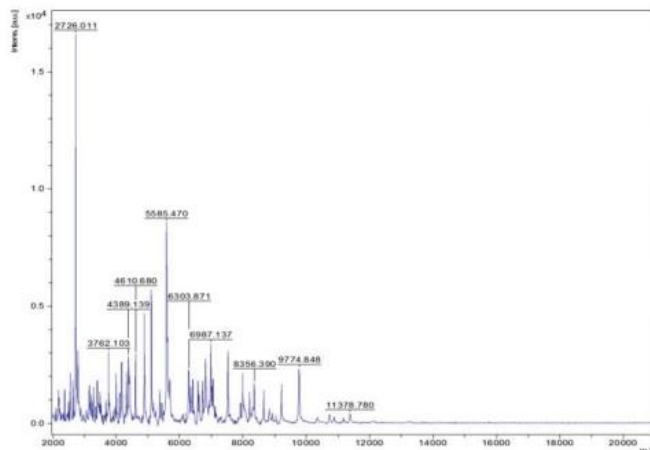


Źródło: opracowanie własne

Rys. 62. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Bruker (rysunek 63a, 64a).

a)

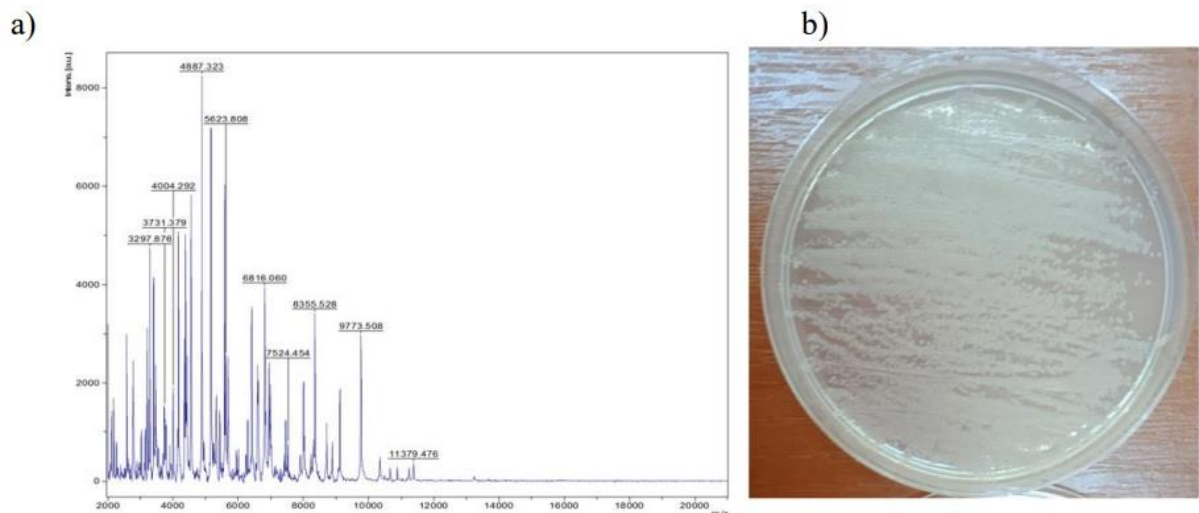


b)



Źródło: opracowanie własne

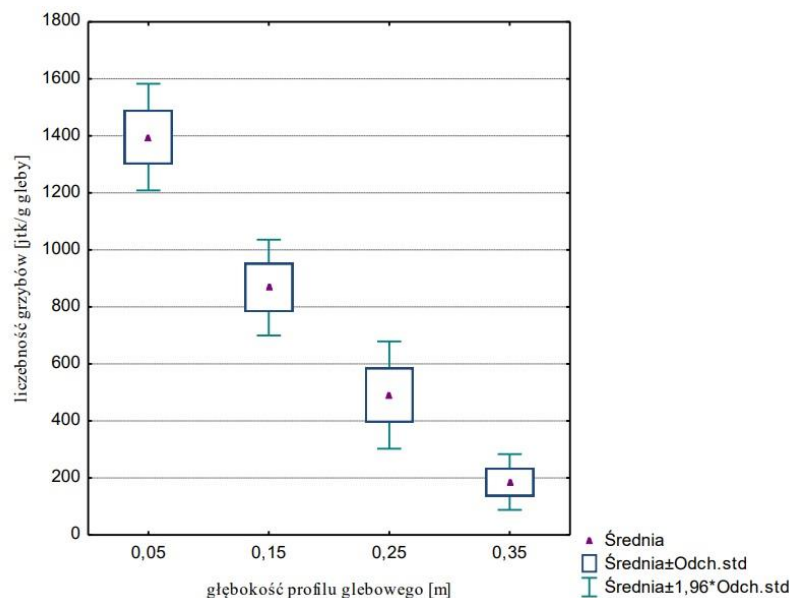
Rys. 63. Wynik identyfikacji gatunkowej *Streptomyces tanashiensis*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne

Rys. 64. Wynik identyfikacji gatunkowej *Streptomyces venezuelae*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Na rysunku 65 zilustrowano liczebność grzybów na poszczególnych głębokościach profilu glebowego. Uzyskano cztery grupy jednorodnej liczebności tej grupy w profilu glebowym. Najmniejszą średnią wartość liczebności grzybów wynoszącą 186 jtk/g gleby odnotowano na głębokości 0,35m, natomiast najwyższą dla głębokości 0,05m – 1 396 jtk/g gleby. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych mikroorganizmów uzyskane na różnych poziomach głębokości były istotnie różne. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania grzybów na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 66-69).



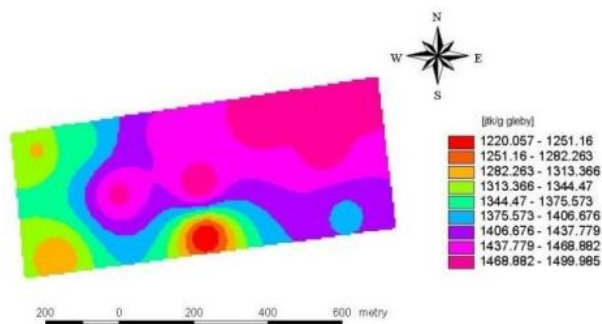
Źródło: opracowanie własne

Rys. 65. Liczebność grzybów profilu glebowego pola obiektu I

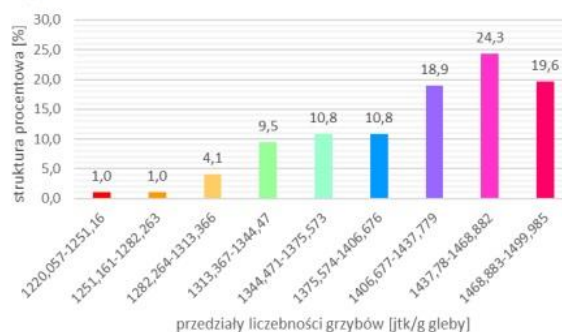
W profilu glebowym na głębokości 0,05m najwyższą liczebnością grzybów mieszczącą się w przedziale wartości od 1 468,883 do 1 499,985 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 19,6% (rys. 66b). Teren ten znajdował się w północno-wschodniej części pola (rys. 66a). Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością

grzybów (przedział 1 220,057 – 1 251,16 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczna liczebnością odznaczał się teren znajdujący się w centralnej oraz północno-wschodniej części pola (24,3%).

a)



b)

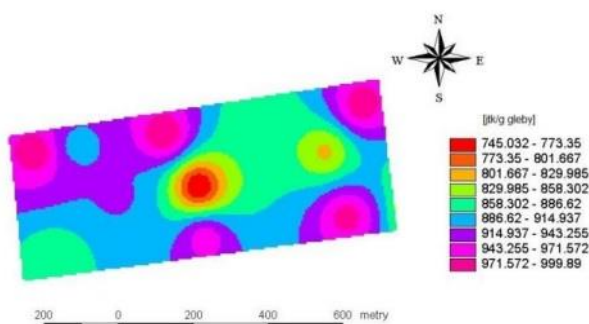


Źródło: opracowanie własne

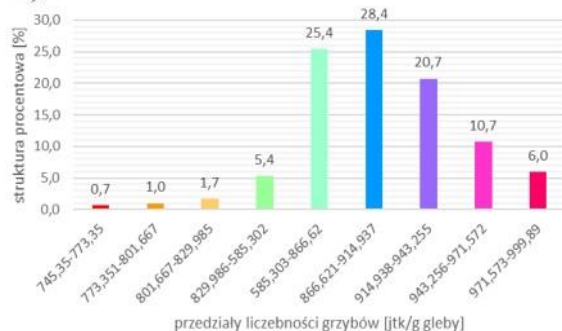
Rys. 66. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Na głębokości 0,15m powierzchnia charakteryzująca się największą liczebnością grzybów (przedział 971,573- 999,89 jtk/g gleby) obejmowała zaledwie 6% (rys. 67b). Obszar był umiejscowiony na północnym i południowym krańcu pola (rys. 67a). Najniższą liczebność grzybów odnotowano na terenie zajmującym tylko 0,7%, na którym wartość liczebności mieściła się w przedziale wartości od 745,35 do 773,35 jtk/g gleby.

a)



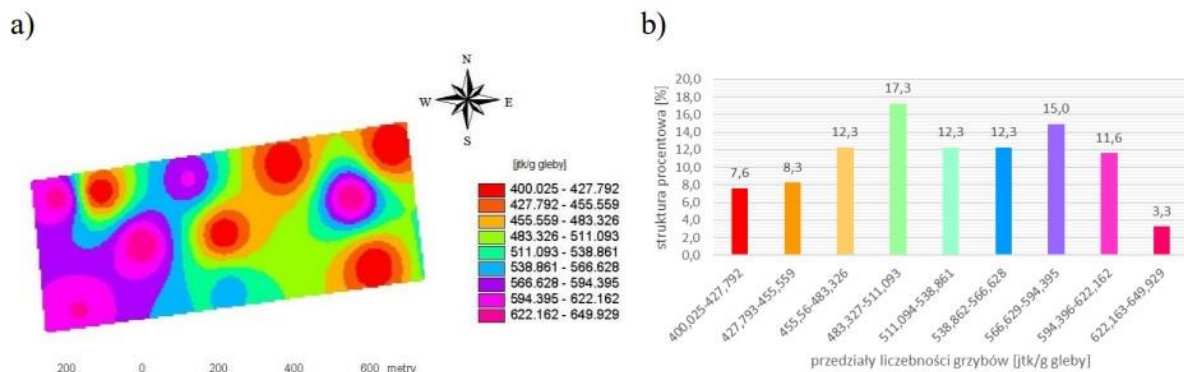
b)



Źródło: opracowanie własne

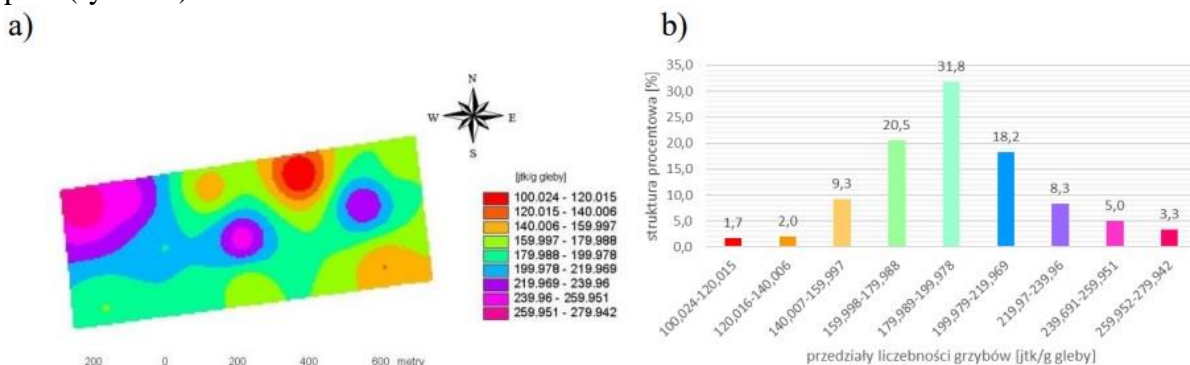
Rys. 67. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność grzybów odnotowano na obszarze skonsolidowanym głównie we wschodniej części pola (powierzchnia 3,3%), natomiast najniższą głównie w zachodniej części pola (powierzchnia 7,6%) – rysunek 68b. Teren zajmujący 17,3% powierzchni pola obejmował liczebność grzybów mieszczącą się w przedziale wartości 483,327 -511,093 jtk/g gleby (rys. 68a).



Rys. 68. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością grzybów w glebie na głębokości 0,35m (przedział 259,952 – 279,942 jtk/g gleby) stanowiła 3,3% (rys. 69b). Mniejszą powierzchnię – 1,7% stanowiły obszary, na których liczebność grzybów była najniższa i mieściła się w przedziale 100,024 – 120,015 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym aż 31,8% pola zaobserwowano wartości liczebności grzybów mieszczące się w przedziale wartości 179,989 – 199,978 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej części pola (rys. 69a).



Rys. 69. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

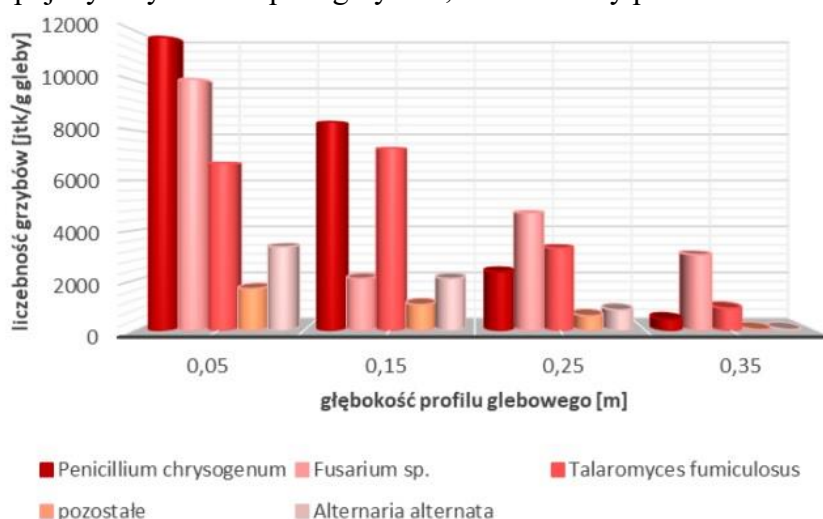
Wśród grupy grzybów do identyfikacji zostały wybrane cztery szczepy, które zostały zidentyfikowane jako:

1. *Alternaria alternata* (rys. 75)
2. *Fusarium sp.* (rys. 76)
3. *Penicillium chrysogenum* (rys. 77)
4. *Talaromyces funiculosus* (rys. 78)

Liczebność wyizolowanych szczepów grzybów w poszczególnych warstwach profilu glebowego została przedstawiona na rysunku 70. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Alternaria alternata*, *Fusarium sp.*, *Penicillium chrysogenum* i *Talaromyces funiculosus*. Do głębokości 0,15m najliczniej występującym grzybem był *Penicillium chrysogenum*. Najwyższą wartość jego liczebności odnotowano na głębokości 0,05m, która wyniosła 11 726 jtk/g gleby, co



stanowiło 35% wszystkich grzybów wyizolowanych w tej warstwie. Natomiast w warstwie gleby na głębokości 0,25 – 0,35m najliczniej występującym grzybem był *Fusarium sp.*, którego liczebność osiągnęła wartość 4 710 jtk/g gleby na głębokości 0,25m. Odnotowano także obecność pojedynczych szczepów grzybów, które zostały przedstawione jako pozostałe.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 70. Liczebność poszczególnych szczepów grzybów w profilu glebowym obiektu I

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano cztery gatunki grzybów: *Alternaria alternata*, *Fusarium sp.*, *Penicillium chrysogenum* i *Talaromyces funiculosus*. W przypadku *Alternaria alternata* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 146,889 – 149,999 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 20,9% (rys. 71b). Teren ten znajdował się w centralnej i północno- wschodniej części pola (kolor granatowy) - rys. 71a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 122,066 – 125,116 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,7%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Alternaria alternata* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (24,2%) – kolor ciemno niebieski.

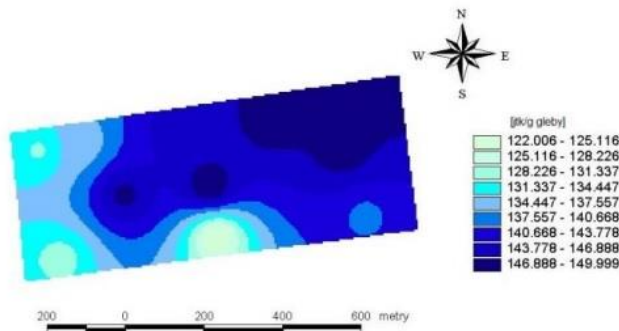
*Fusarium sp.* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 440,666 – 449,996 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 20,2% (rys. 71d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 71c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 366,07 – 375,348 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Fusarium sp.* odznaczał się teren znajdujący się w północno- wschodniej części pola (24,2%) – kolor niebieski.

Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 514,11 – 524,995 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 20%, (rys. 71f). Teren ten znajdował się w centralnej i północno- wschodniej części pola - rys. 71e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 427,02 – 437,906 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,3%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej i północno- wschodniej części pola (20%).

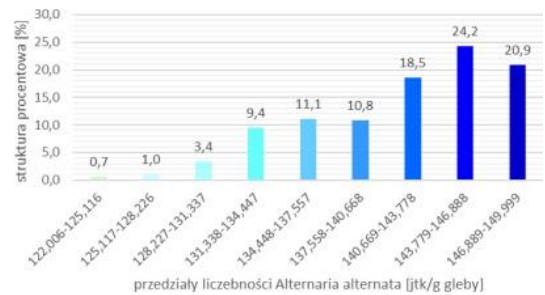
*Talaromyces funiculosus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 293,777 – 299,997 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 19,2% (rys. 71h). Teren ten znajdował się w centralnej i północno- wschodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 71g. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 244,011 – 250,232 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,3%)

skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Talaromyces funiculosus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej i północno-wschodniej części pola (24,6%).

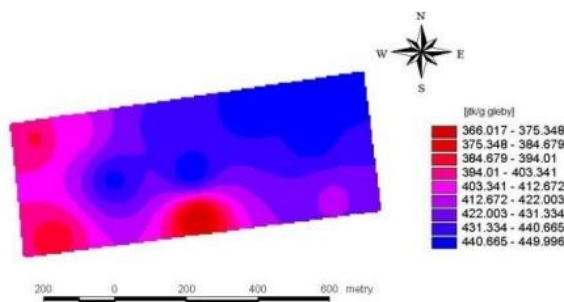
a)



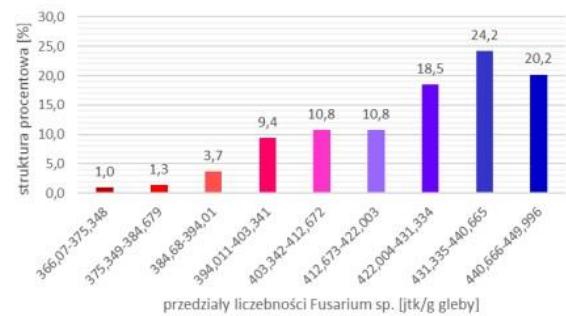
b)



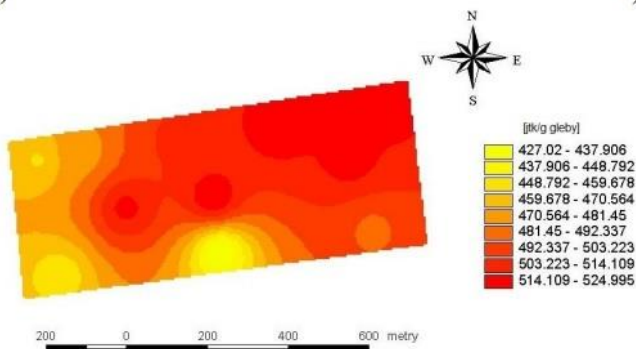
c)



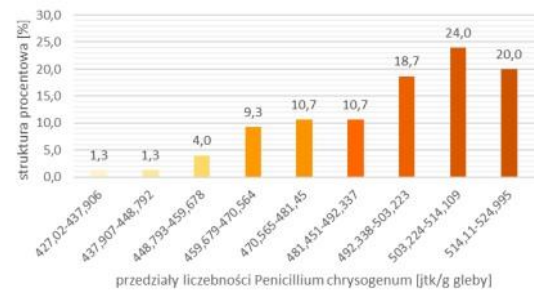
d)



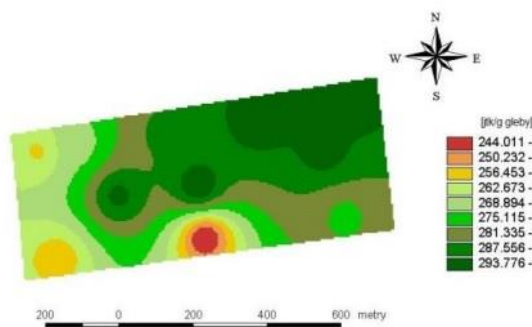
e)



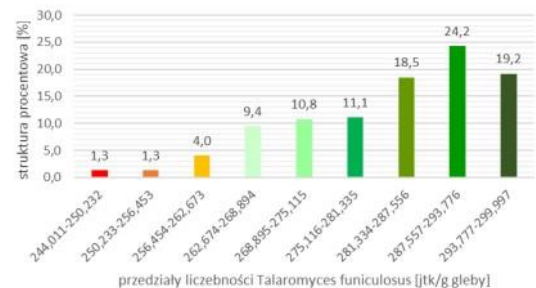
f)



g)



h)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 71. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Alternaria alternata*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Alternaria alternata*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Fusarium sp.*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Fusarium sp.*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*; g) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Talaromyces funiculosus*; h) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Talaromyces funiculosus*.

przedziałów występowania *Fusarium sp.*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*; g) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Talaromyces funiculosus*; h) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Talaromyces funiculosus*

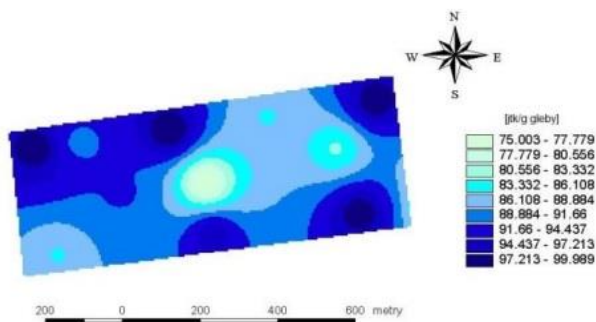
W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występuje cztery gatunki grzybów. W przypadku *Alternaria alternata* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 97,214 – 99,989 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 6,7% (rys. 72b). Teren ten znajdował się w północnej i wschodniej części pola (kolor granatowy) - rys. 72a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 75,003 – 77,779 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,8%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Alternaria alternata* odznaczał się teren znajdujący się w północno-zachodniej i wschodniej części pola (aż 35,6%).

*Fusarium sp.* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 97,214 – 99,989 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 6% (rys. 72d). Teren ten znajdował się w północnej i wschodniej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 72c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 75,003 – 77,779 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Fusarium sp.* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (28,2%).

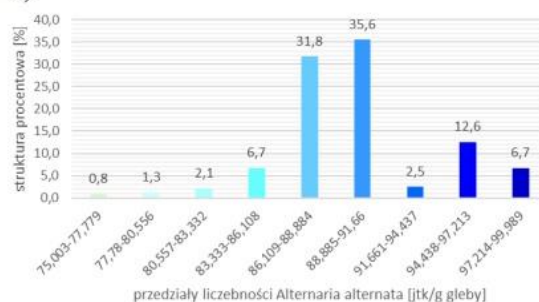
Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 308,63 – 399,956 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 5,4%, (rys. 72f). Teren ten znajdował się w północnej i wschodniej części pola - rys. 72e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 298,013 – 309,34 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (28,6%).

*Talaromyces funiculosus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 340,079 – 349,962 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 6,1% (rys. 72h). Teren ten znajdował się w północnej i wschodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 72g. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 261,011 – 270,895 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,7%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Talaromyces funiculosus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (28,7%).

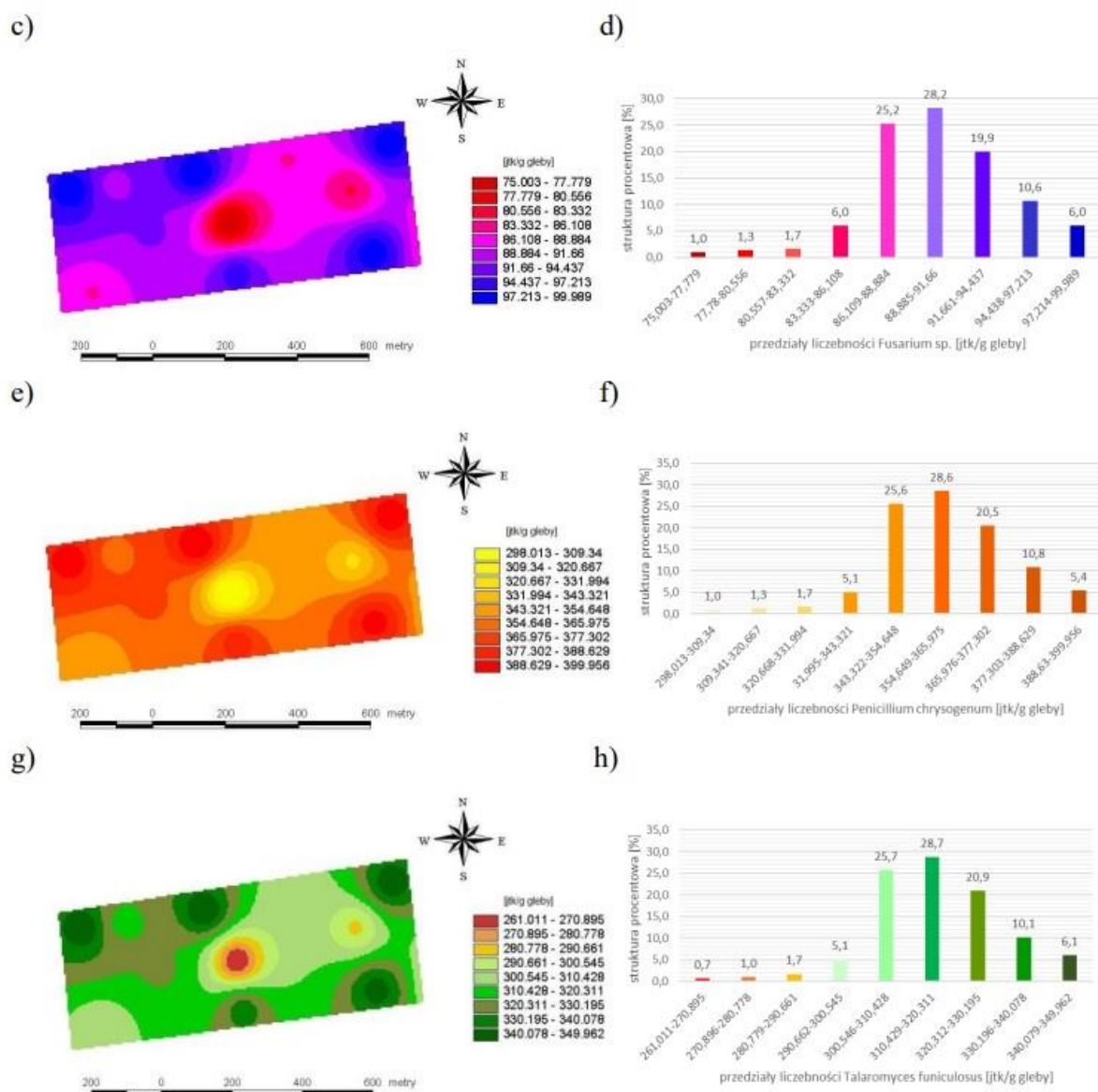
a)



b)







Rys. 72. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Alternaria alternata*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Alternaria alternata*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Fusarium sp.*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Fusarium sp.*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*; g) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Talaromyces funiculosus*; h) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Talaromyces funiculosus*

Źródło: opracowanie własne

W profilu glebowym na głębokości 0,25 m gatunek *Alternaria alternata* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 43,997 – 45,995 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,7% (rys. 73b). Teren ten znajdował się w centralnej i zachodniej części pola (kolor granatowy) - rys. 73a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 28,002 – 30,001 jtk/g gleby) obejmowała obszar (8%) skonsolidowany we wschodniej i północnej części pola.

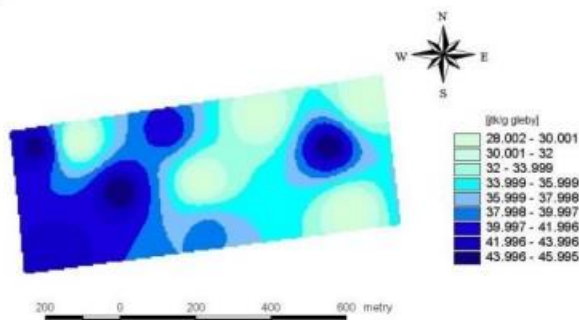
Znaczną liczebnością *Alternaria alternata* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (17,3%).

*Fusarium sp.* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 248,866 – 259,972 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 3,3% (rys. 73d). Teren ten znajdował się w centralnej i wschodniej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 73c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 160,01 – 171,117 jtk/g gleby) obejmowała obszar (7,7%) skonsolidowany we wschodniej i północnej części pola. Znaczną liczebnością *Fusarium sp.* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (17,3%).

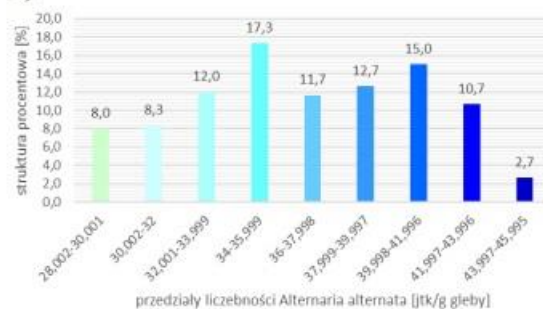
Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 124,443 – 129,986 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,3%, (rys. 73f). Teren ten znajdował się w centralnej i wschodniej części pola - rys. 73e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 80,005 – 85,558 jtk/g gleby) obejmowała obszar (7,3%) skonsolidowany we wschodniej i północnej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (17,2%).

*Talaromyces funiculosus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 174,206 – 181,98 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,6% (rys. 73h). Teren ten znajdował się we wschodniej i zachodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 73g. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 112,007 – 119,782 jtk/g gleby) obejmowała obszar (7,9%) skonsolidowany we wschodniej i północnej części pola. Znaczną liczebnością *Talaromyces funiculosus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (18,6%).

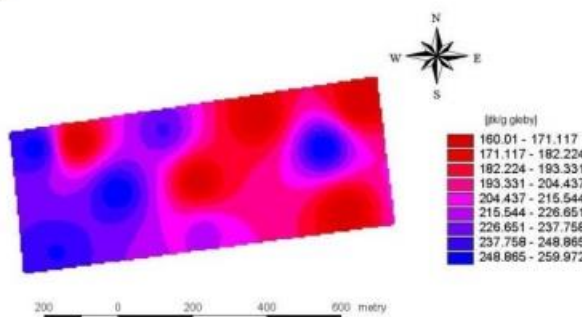
a)



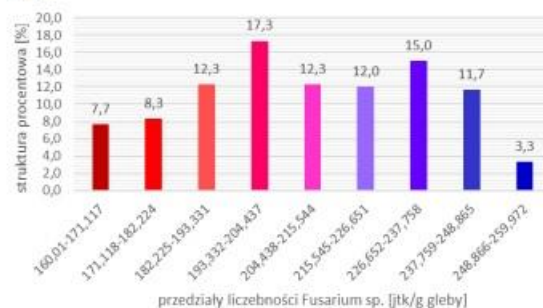
b)

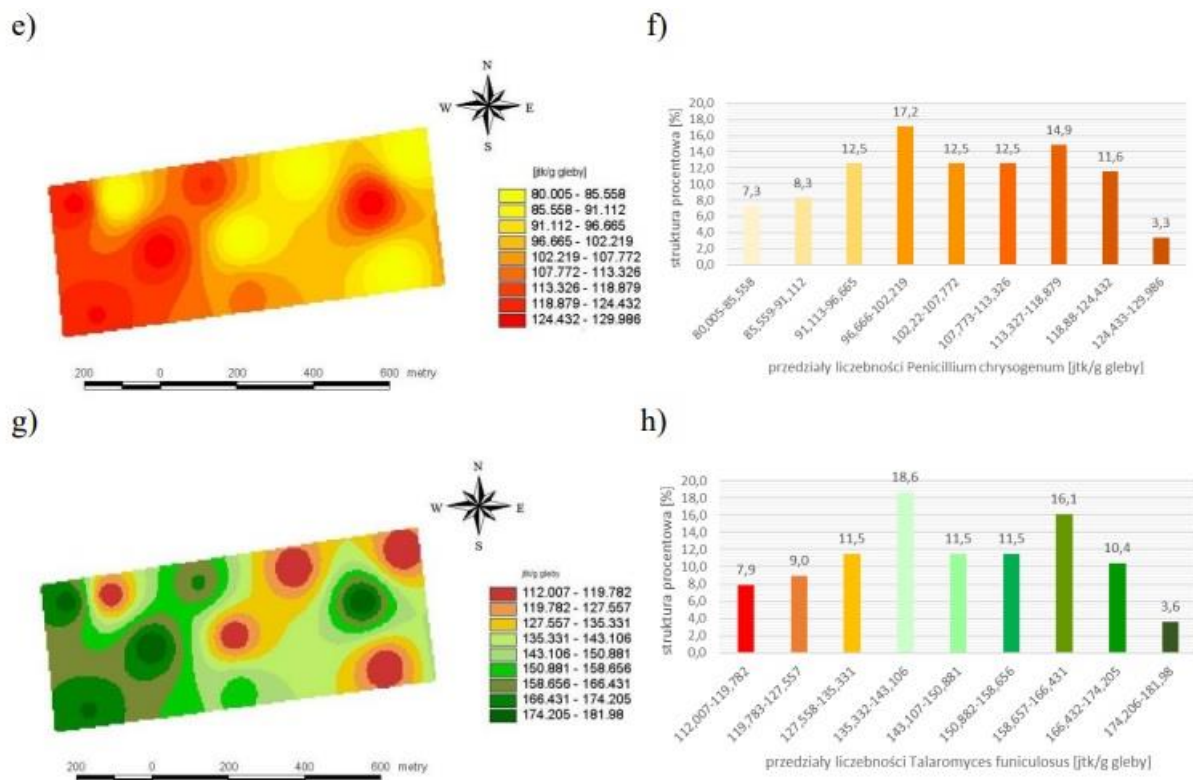


c)



d)





Źródło: opracowanie własne

Rys. 73. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Alternaria alternata*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Alternaria alternata*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Fusarium sp.*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Fusarium sp.*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*; g) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Talaromyces funiculosus*; h) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Talaromyces funiculosus*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Alternaria alternata* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2,779 – 3 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 8,6% (rys. 74b). Teren ten znajdował się w centralnej i zachodniej części pola (kolor granatowy) - rys. 74a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 – 1,223 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,4%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Alternaria alternata* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (aż 42,1%).

*Fusarium sp.* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 176,412 – 189,961 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,4% (rys. 74d). Teren ten znajdował się w zachodniej części pola (kolor ciemnoniebieski) - rys. 74c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 68,016 – 81,566 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,7%) skonsolidowany głównie w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Fusarium sp.* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (aż 32,2%).

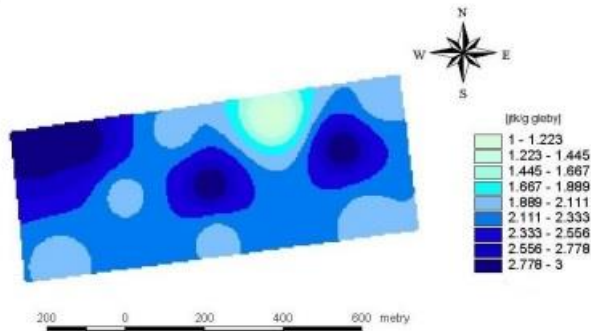
Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 25,996 – 27,994 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 4% (rys. 74f). Teren ten znajdował się w centralnej i zachodniej części pola - rys. 74e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości



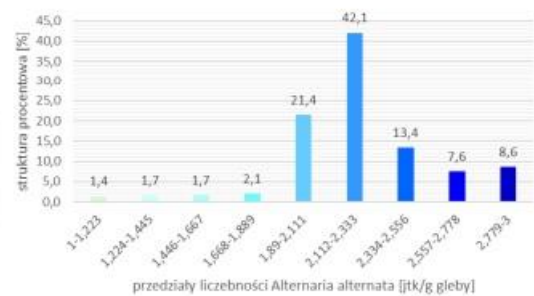
10,002 – 12,002 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,4%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (aż 41,6%).

*Talaromyces funiculosus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 52 – 55,988 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,4% (rys. 74h). Teren ten znajdował się w centralnej i zachodniej części pola (kolor ciemnozielony) - rys. 74g. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 20,005 – 24,003 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,7%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Talaromyces funiculosus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (aż 31,9%).

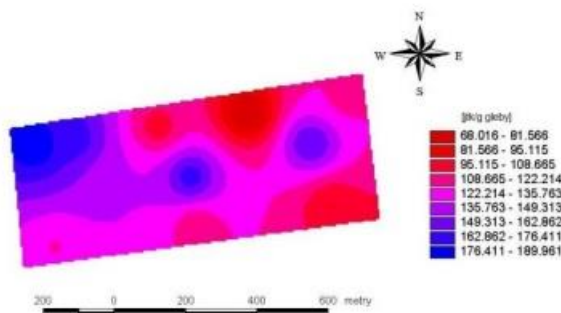
a)



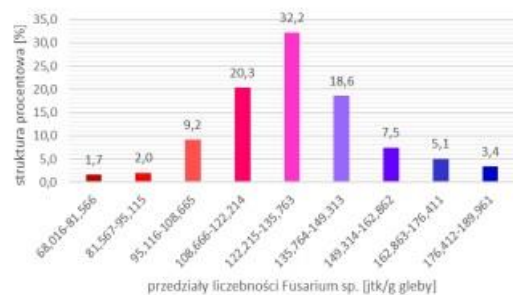
b)



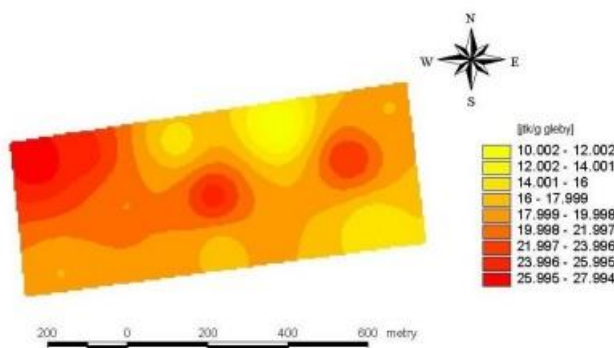
c)



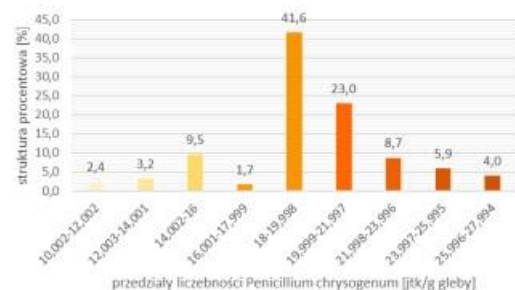
d)

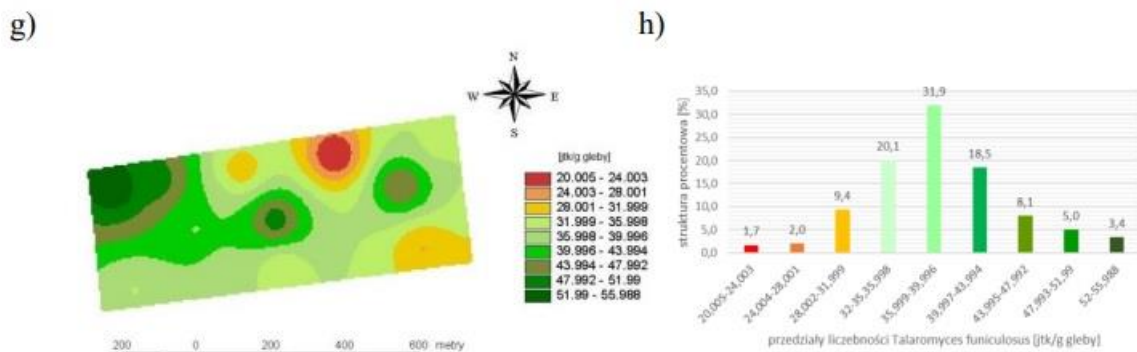


e)



f)

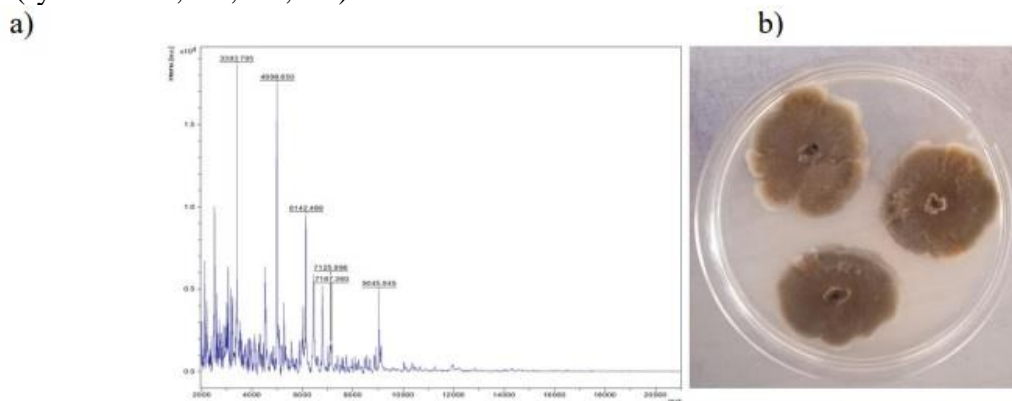




Źródło: opracowanie własne

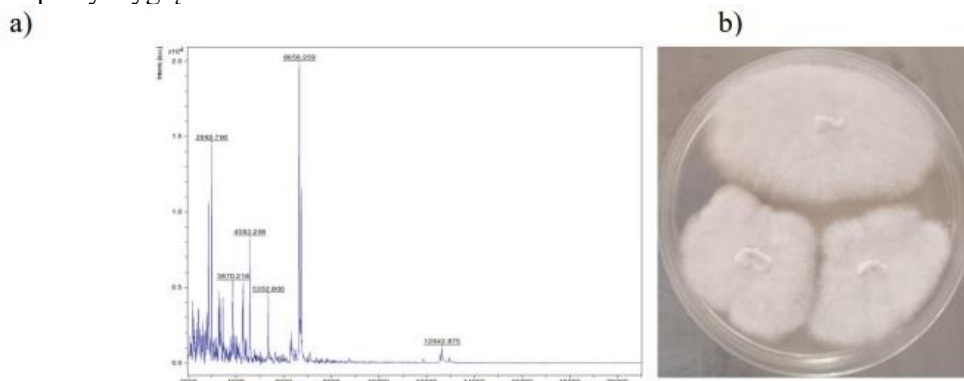
Rys. 74. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Alternaria alternata*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Alternaria alternata*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Fusarium sp.*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Fusarium sp.*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*; g) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Talaromyces funiculosus*; h) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Talaromyces funiculosus*

Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunki 75a,76a,77a,78a).



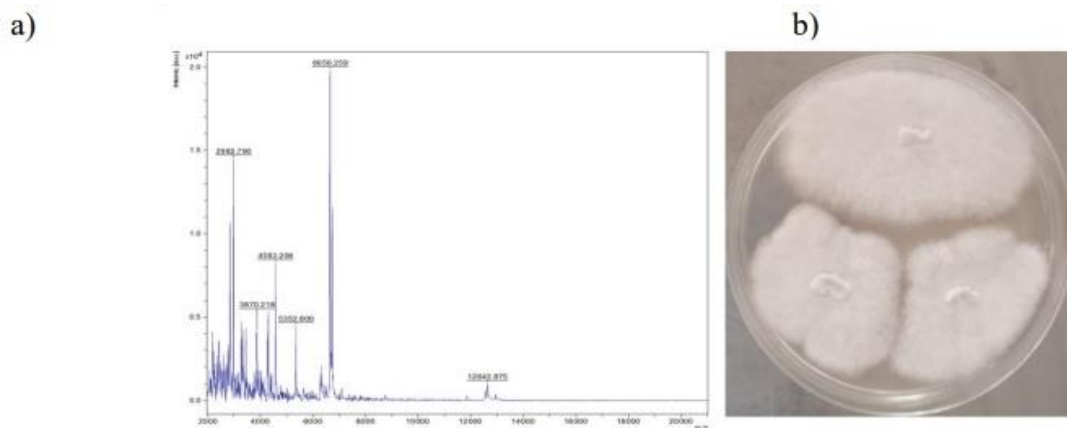
Źródło: opracowanie własne

Rys. 75. Wynik identyfikacji gatunkowej *Alternaria alternata*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



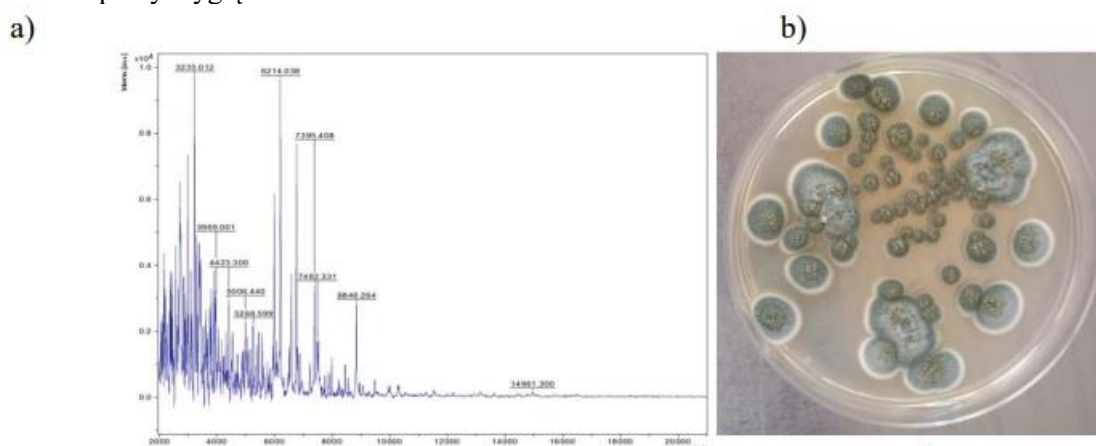
Źródło: opracowanie własne

Rys. 76. Wynik identyfikacji gatunkowej *Fusarium sp.*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne

Rys. 77. Wynik identyfikacji gatunkowej *Penicillium chrysogenum*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

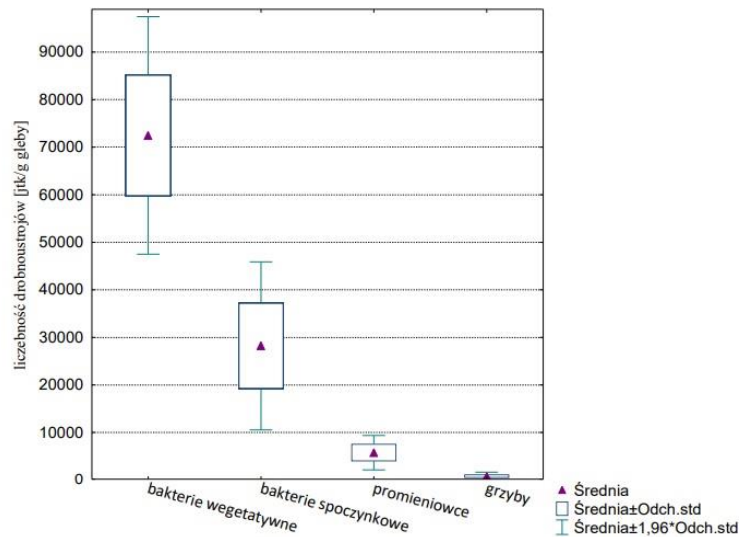


Źródło: opracowanie własne

Rys. 78. Wynik identyfikacji gatunkowej *Talaromyces funiculosus*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Dla poszczególnych grup badanych mikroorganizmów wyróżniono cztery grupy jednorodne wartości liczebności (rys. 79). Porównując liczebność badanych grup drobnoustrojów między sobą w skali całego analizowanego profilu glebowego, zauważono, że najwyższą średnią liczebność odnotowano dla bakterii vegetatywnych, która wyniosła 72 476,9 jtk/g gleby natomiast najmniejszą wartością średniej liczebności odznaczały się grzyby – 735,1 jtk/g gleby. Dla pozostałych grup mikroorganizmów otrzymano średnie wartości liczebności wynoszące 28 225,3 jtk/g gleby dla bakterii spoczynkowych oraz 5 756,7 jtk/g gleby dla promieniowców. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym między sobą były istotnie różne.



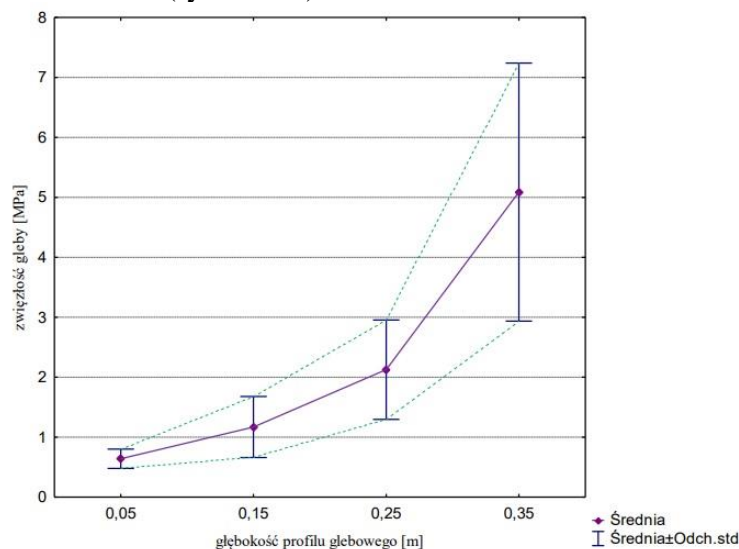


Źródło: opracowanie własne

Rys. 79. Liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów profilu glebowego pola obiektu I

### 7.1.2 Charakterystyka parametrów fizycznych gleby

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, wzrastała zwięzłość gleby. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości zwięzłości gleby wyniósł 0,87 MPa, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 43%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach zwięzłości było znacznie wyższe, a współczynniki zmienności wartości zwięzłości gleby w analizowanej warstwie profilu glebowego nie przekraczały 42%. Największy przyrost wartości zwięzłości gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniósł 6,44 MPa, przy współczynniku zmienności 25% (0,05m) i 42% (0,35m). Na rysunku 80 przedstawiono zwięzłość gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zwięzłości gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 81-84).

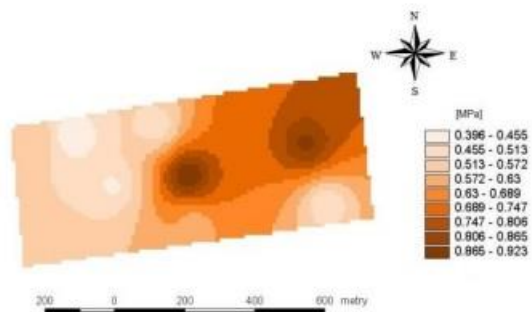


Źródło: opracowanie własne

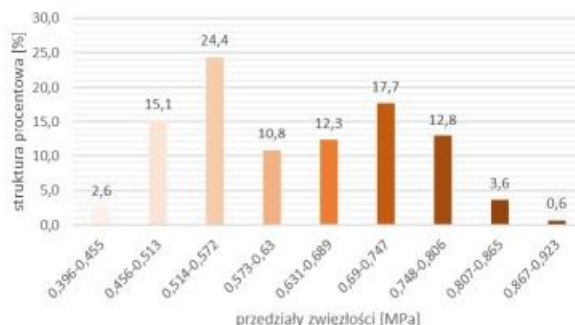
Rys. 80. Zwięzłość gleby pola obiektu I wyznaczona metodą penetrometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością zwięzłości gleby na głębokości 0,05m (przedział wartości 0,867 – 0,923 MPa) stanowiła zaledwie 0,6% (rys. 81b). Nieco większą powierzchnię – 2,6% stanowiły obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 0,396 – 0,455 MPa. Na terenie obejmującym 24,4% pola zaobserwowano wartości zwięzłości gleby mieszczące się w przedziale wartości 0,514-0,572 MPa. Teren ten obejmował zachodnią część pola (rys. 81a).

a)



b)

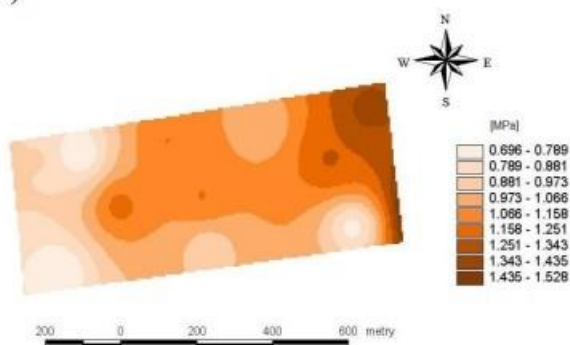


Źródło: opracowanie własne

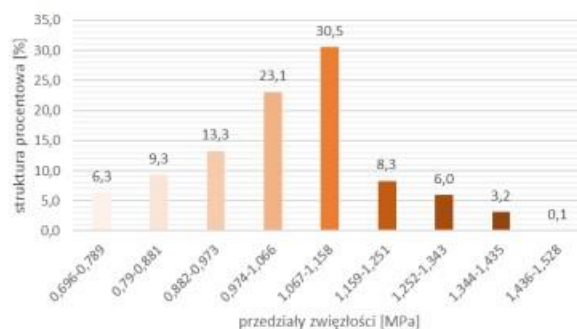
Rys. 81. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróznicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

W przypadku wartości zwięzłości gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość zwięzłości gleby mieszczącą się w przedziale wartości 1,436 – 1,528 MPa odnotowano na powierzchni zajmującej zaledwie 0,1% (rys. 82b). Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najniższe (przedział wartości 0,696 – 0,789 MPa). Wartościami zwięzłości gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 1,067 – 1,158 MPa charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 30,5%, znajdująca się w centralnej części pola (rys. 82a).

a)



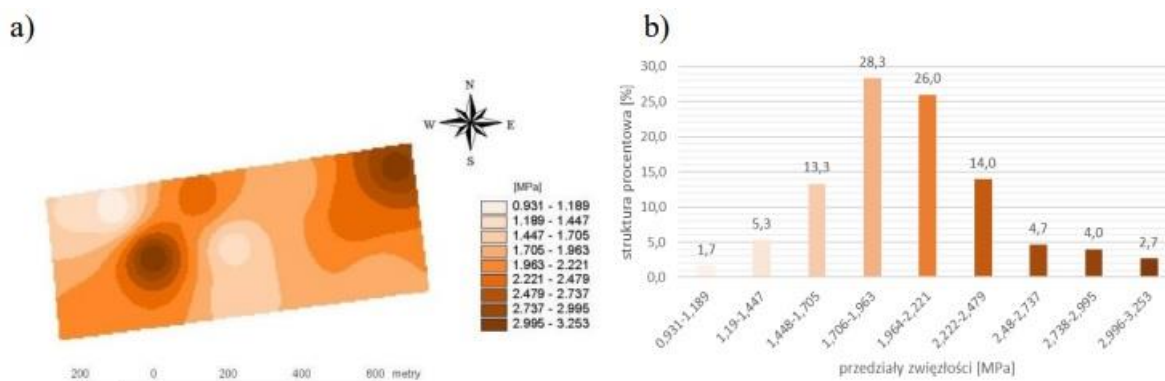
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 82. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróznicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

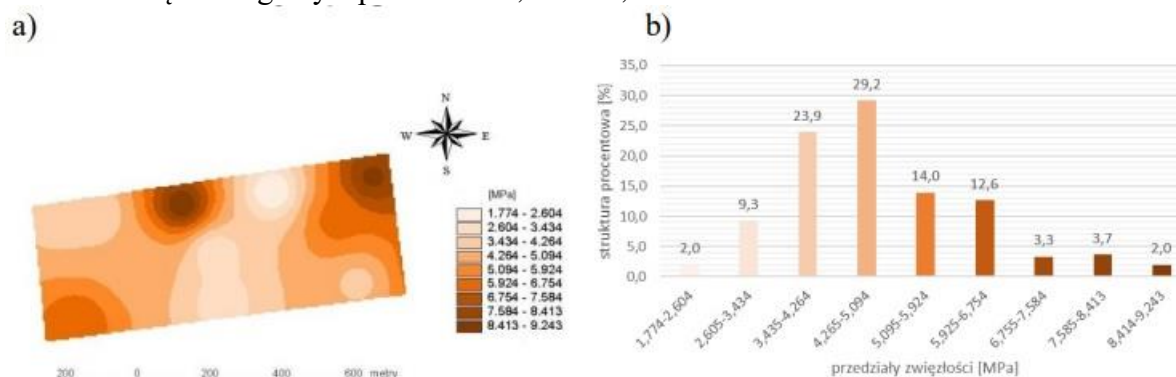
Najwyższe wartości zwięzłości mieszczące się w przedziale wartości 2,996 – 3,253 MPa (stanowiące 2,7% powierzchni), występowały sporadycznie na obszarze znajdującym się w północno-wschodniej i zachodniej części pola (rys. 83a) w warstwie gleby obejmującej głębokość 0,25m. Natomiast powierzchnie o najniższych wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane głównie w północno-zachodniej i centralnej części pola (rys. 83b). 28,3% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 1,706 – 1,963 MPa.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 83. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

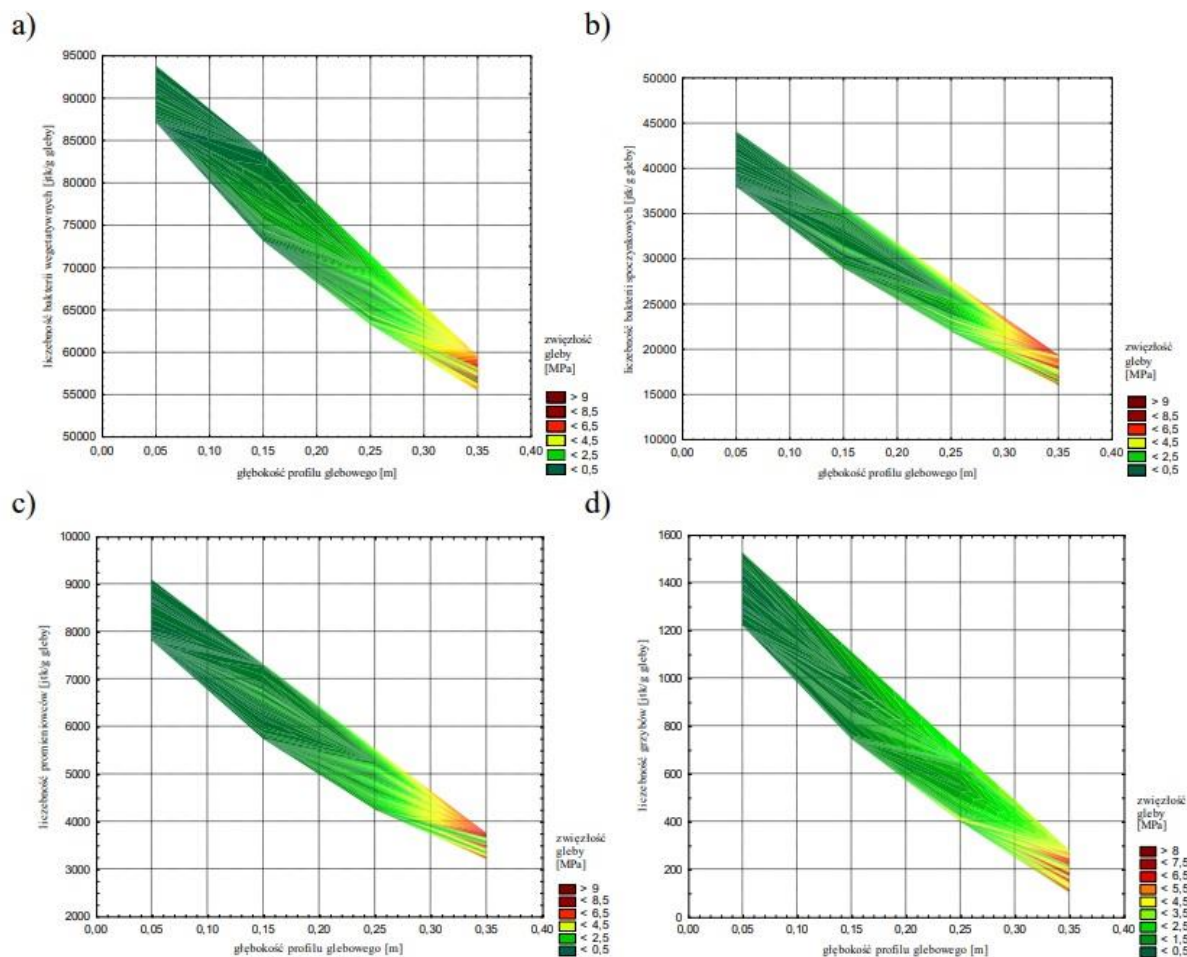
Natomiast na głębokości 0,35m najwyższe wartości zwięzłości gleby, mieszające się w przedziale wartości 8,414 – 9,243 MPa (stanowiące 2% powierzchni), występowały sporadycznie na obszarze znajdującym się w północnej części pola (rys. 84a). Powierzchnie o najniższych średnich wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane głównie w centralnej części pola. 29,2% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 4,265 – 5,094 MPa.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 84. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Zaobserwowano istnienie związku między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że zwięzłość gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Przy niskich wartościach zwięzłości gleby (do 2,5 MPa – kolor ciemnozielony przechodzący w zielony) odnotowano wysoką liczebność wszystkich badanych grup mikroorganizmów: bakterii wegetatywnych i spoczynkowych (rys. 85a i 85b), promieniowców (rys. 85c) oraz grzybów (rys. 85d). Drastyczny spadek liczebności mikroorganizmów spostrzeżono w profilu glebowym poniżej 0,3 m głębokości, gdzie odnotowano zwięzłość gleby powyżej wartości 8,5 MPa (kolor brązowy). Ponadto w przypadku bakterii spoczynkowych i promieniowców stwierdzono wyraźny obszar koloru czerwonego (zwięzłość gleby powyżej 6,5 MPa), gdzie liczebność bakterii spoczynkowych spada z 25 tys. jtk/g gleby do 20 tys. jtk/g gleby, a liczebność promieniowców z 4,5 tys. jtk/g gleby do 3 750 jtk/g gleby. Relacja między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 85.

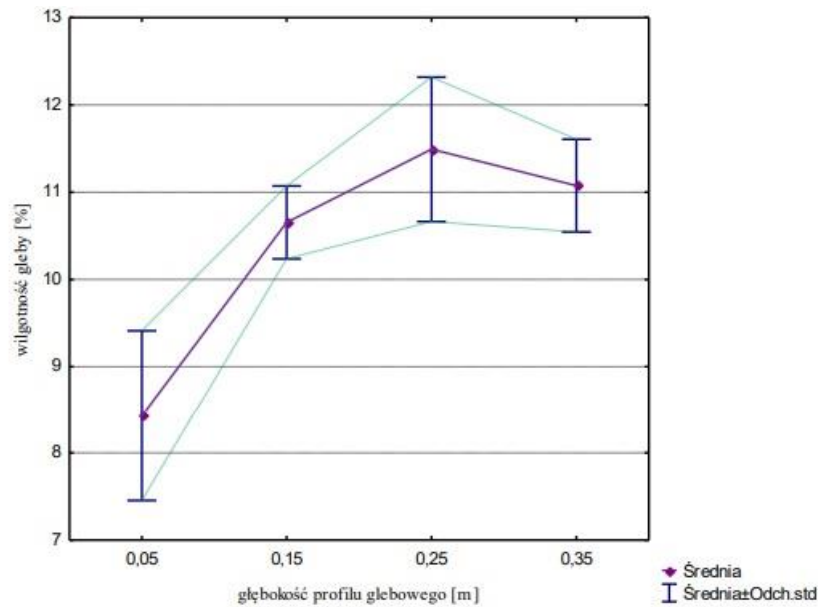


Źródło: opracowanie własne

Rys. 85. Wpływ głębokości i wilgotności gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego do 0,25m, wzrastała także wartość wilgotności gleby. W głębszych warstwach gleby odnotowano spadek wartości wilgotności gleby. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości wilgotności gleby wyniósł 2,21%, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 12%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) wartość wilgotności nieco spadła (o 0,84%), a współczynniki zmienności wartości wilgotności gleby w analizowanej warstwie profilu glebowego nie przekraczały 7%. Największą różnicę w wartościach wilgotności gleby, w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego uzyskano w warstwie gleby 0,05 – 0,25m, która wyniosła 3,06%, przy dość niskich współczynnikach zmienności wynoszących odpowiednio 12% i 7%. Na rysunku 86 przedstawiono wilgotność gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu wilgotności gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 87-90).



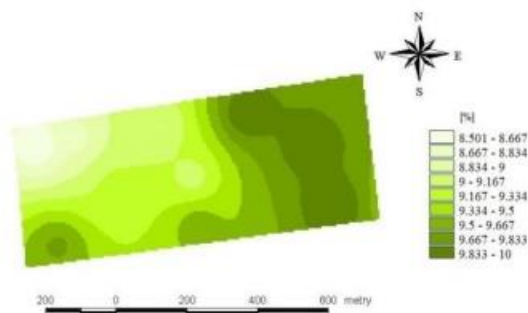


Źródło: opracowanie własne

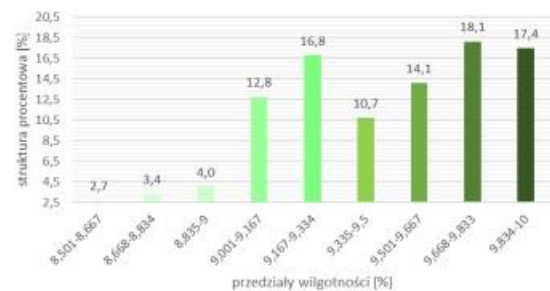
Rys. 86. Wilgotność gleby pola obiektu I wyznaczona metodą suszarkową

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością wilgotności gleby na głębokości 0,05m (przedział 9,834 – 10%) stanowiła aż 17,4% (rys. 87b). Znacznie mniejszą powierzchnię – 2,7% stanowiły obszary (północno-zachodnia część pola – rys. 87a), na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 8,501 – 8,667%. Na terenie obejmującym 18,1% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 9,668 – 9,833%, które znajdowały się we wschodniej części pola.

a)



b)

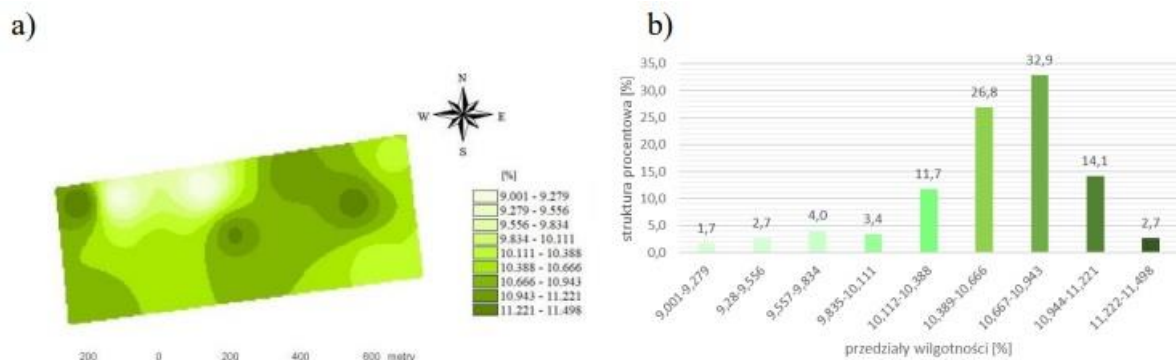


Źródło: opracowanie własne

Rys. 87. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 11,222 – 11,498% odnotowano na powierzchni zajmującej 2,7% (rys. 88b). Nieco mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 9,001 – 9,279%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 10,667 – 10,943% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 32,9%, która znajdowała się w centralnej i zachodniej części pola – rys 88a.

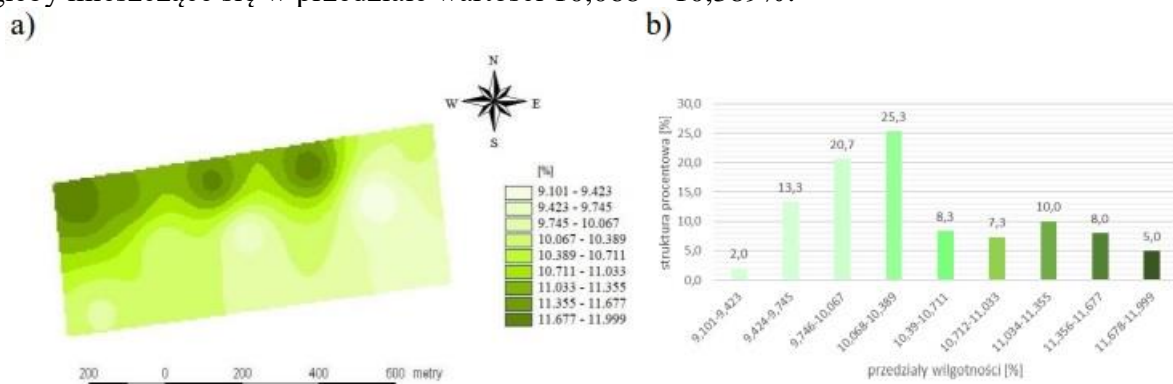




Źródło: opracowanie własne

Rys. 88. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

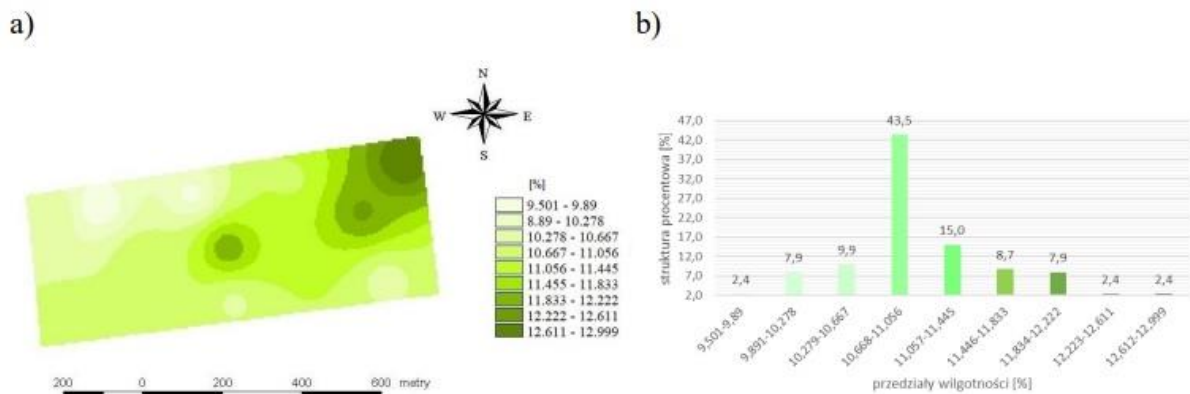
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością wilgotności gleby na głębokości 0,25m (przedział 11,678 – 11,999%) stanowiła 5% (rys. 89b), która znajdowała się w północnej części pola (rys. 89a). Nieco mniejszą powierzchnię – 2% stanowiły obszary, na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 9,101 – 9,423%. Na terenie obejmującym 25,3% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 10,068 – 10,389%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 89. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

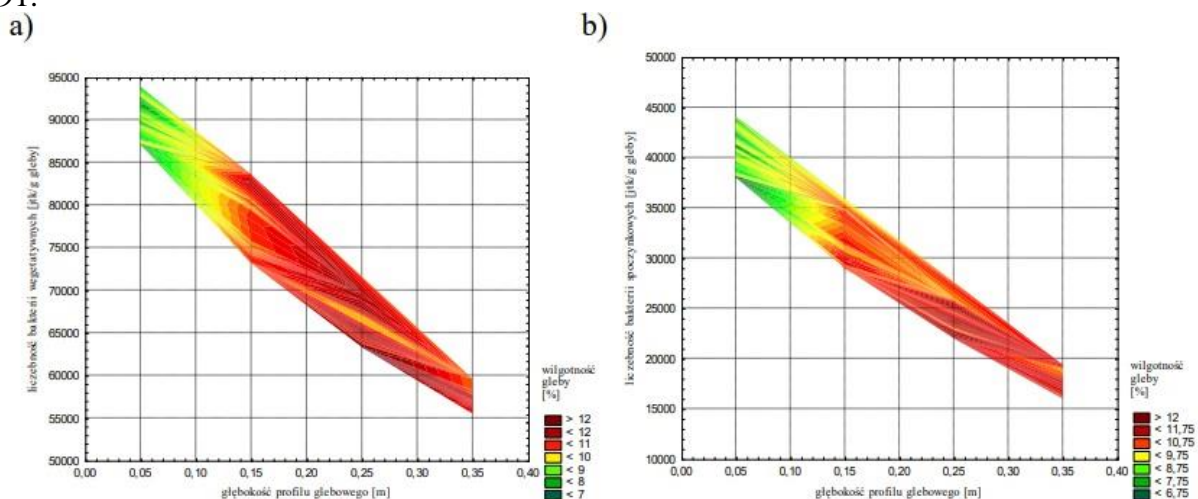
W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 12,612 – 12,999% odnotowano na powierzchni zajmującej 2,4% (rys. 90b). Taką samą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 9,501 – 9,89%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 10,668 – 11,056% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 43,5% i obejmowała centralną część pola.

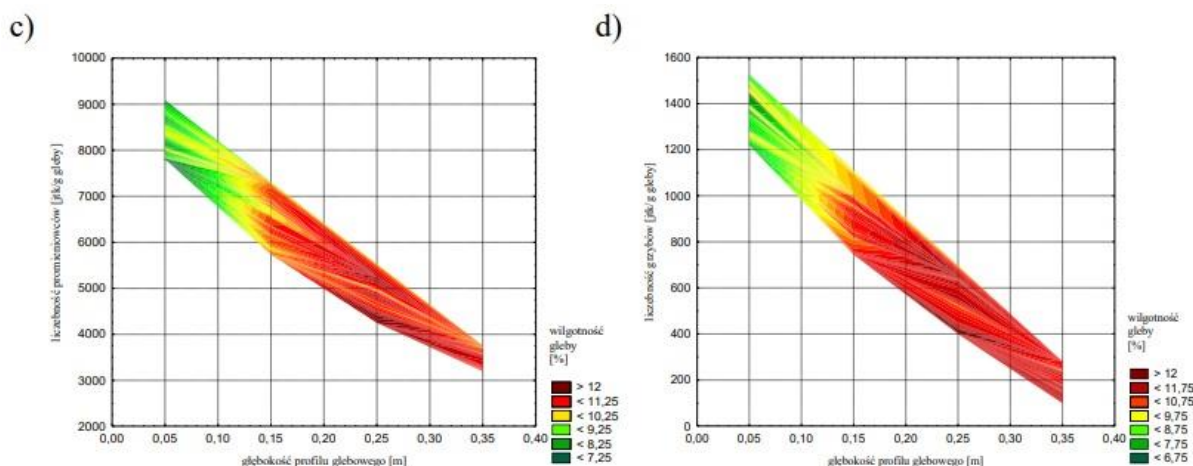


Źródło: opracowanie własne

Rys. 90. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

Zaobserwowano istnienie związku między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że wilgotność gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Można zauważyć, że najwyższe wartości wilgotności gleby utrzymują się w przedziale głębokości 0,15 – 0,25m (kolor czerwony przechodzący w brązowy), gdzie liczebność bakterii wegetatywnych przyjmuje wartości z przedziału 63 - 83 tys. jtk/g gleby (rys. 91a), liczebność bakterii spoczynkowych 22 - 26 tys. jtk/g gleby (rys. 91b), promieniowców 4 500 – 5 250 jtk/g gleby (ry. 91c) i grzybów 400 – 650 jtk/g gleby (rys.91d). Powyżej 0,1m głębokości profilu gleby wartość wilgotności przyjmuje wartości poniżej 9% (kolor zielony), gdzie odnotowano najwyższą liczebność wszystkich badanych grup drobnoustrojów. Relacja między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 91.

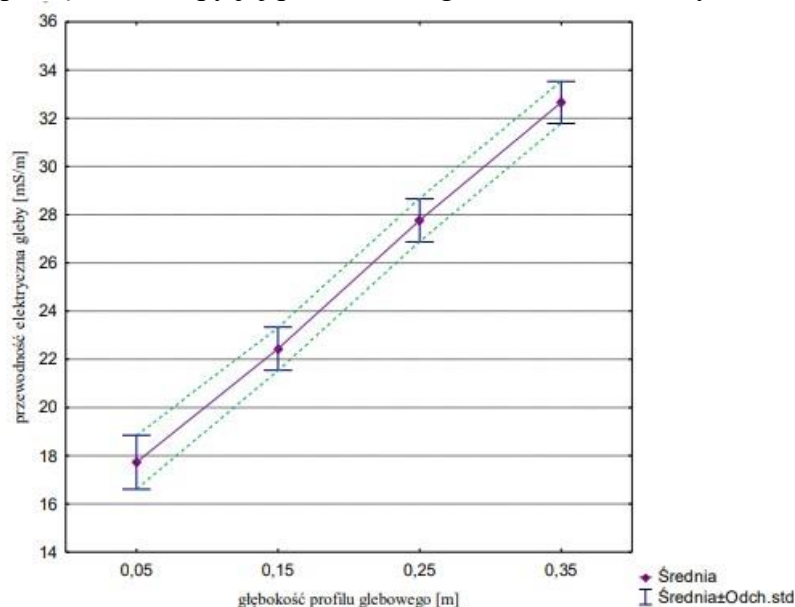




Źródło: opracowanie własne

Rys. 91. Wpływ głębokości i wilgotności gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

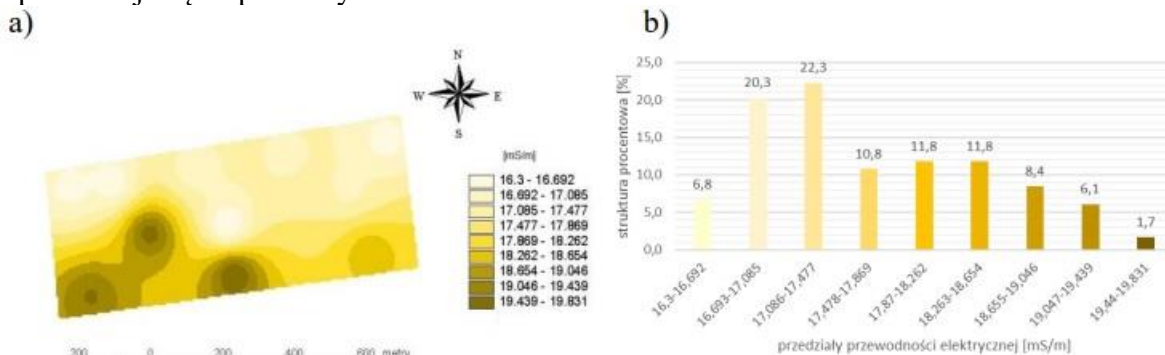
Przewodność elektryczna gleby została przedstawiona na rysunku 92. Stwierdzono, że podobnie jak w przypadku zwięzłości i wilgotności gleby - wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, przewodność elektryczna gleby również wzrastała. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości przewodności elektrycznej gleby wyniósł 4,7 mS/m, przy niskich współczynnikach zmienności nie przekraczających 6%. W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach zwięzłości było nieco wyższe - współczynniki zmienności wartości przewodności elektrycznej gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekraczały 4%. Najwyższą różnicę w przewodności elektrycznej gleby zaobserwowano między wartościami uzyskanymi w warstwie znajdującej się na 0,05m a 0,35m i wyniosła ona 15 mS/m. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu przewodności elektrycznej gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 93-96).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 92. Przewodność elektryczna gleby pola obiektu I wyznaczona metodą konduktometryczną

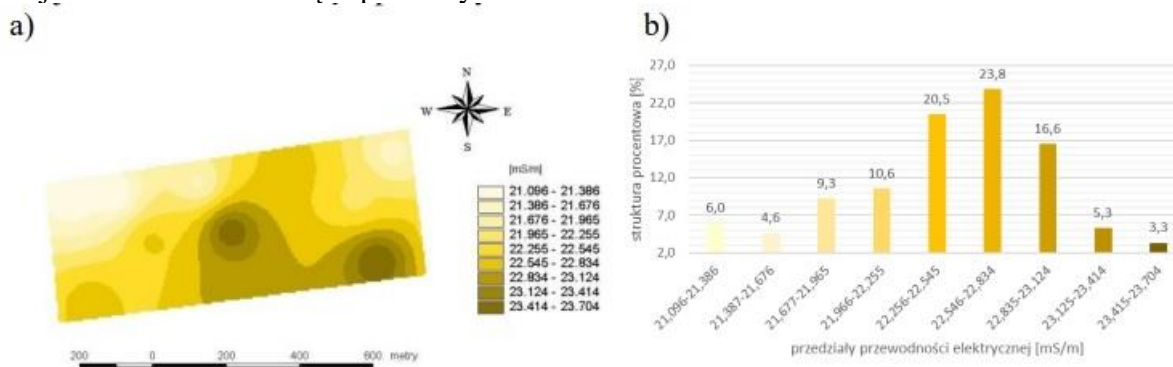
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,05m (przedział 19,44 – 19,831 mS/m) stanowiła zaledwie 1,7% (rys. 94b). Nieco większą powierzchnię – 6,8% stanowiły obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 16,3 – 16,692 mS/m. Obszary te były usytuowane w południowej części pola - rys. 93a. Na terenie obejmującym 22,3% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 17,086 – 17,477 mS/m. Teren ten znajdował się w północnej części pola – rys 93a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 93. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 23,415 – 23,704 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej 3,3% (rys. 94b). Nieco większą powierzchnię (6%) zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najniższe (przedział wartości 21,096 – 21,386 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 22,546 – 22,834 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 23,8%. Obszar ten obejmował zachodnią część pola – rys. 94a.



Źródło: opracowanie własne

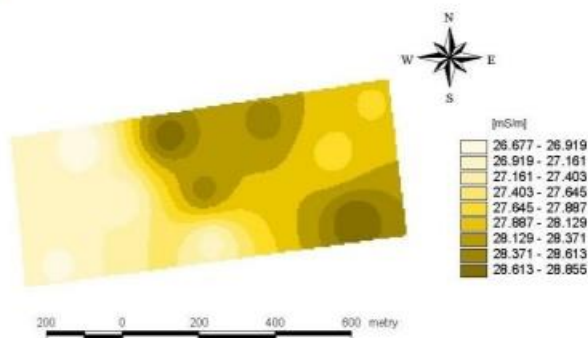
Rys. 94. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,25m (przedział 28,614 – 28,855 mS/m) stanowiła 4% (rys. 95b). Taką samą powierzchnię obejmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 26,677 – 26,919 mS/m. Na

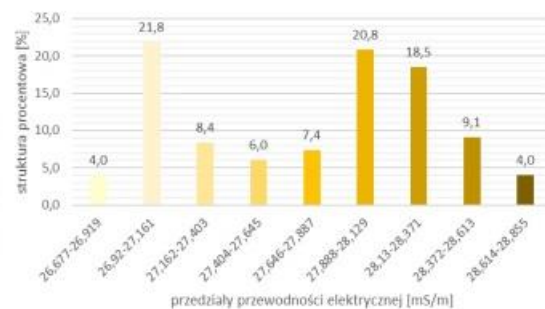


terenie obejmującym 21,8% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 26,92 – 27,161 mS/m. Ten obszar znajdował się w zachodniej części pola – rys. 95a.

a)



b)

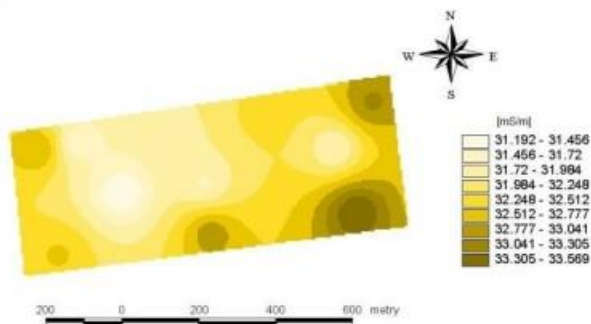


Źródło: opracowanie własne

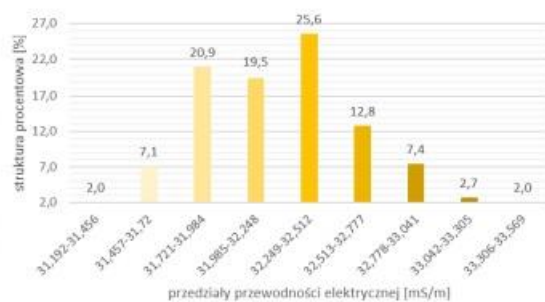
Rys. 95. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 33,306 – 33,569 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej 2% (rys. 96b). Taką samą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej były najniższe (przedział wartości 31,192 – 31,456 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 32,219 – 32,512 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 25,6%, znajdująca się w centralnej części pola – rys. 96a.

a)



b)



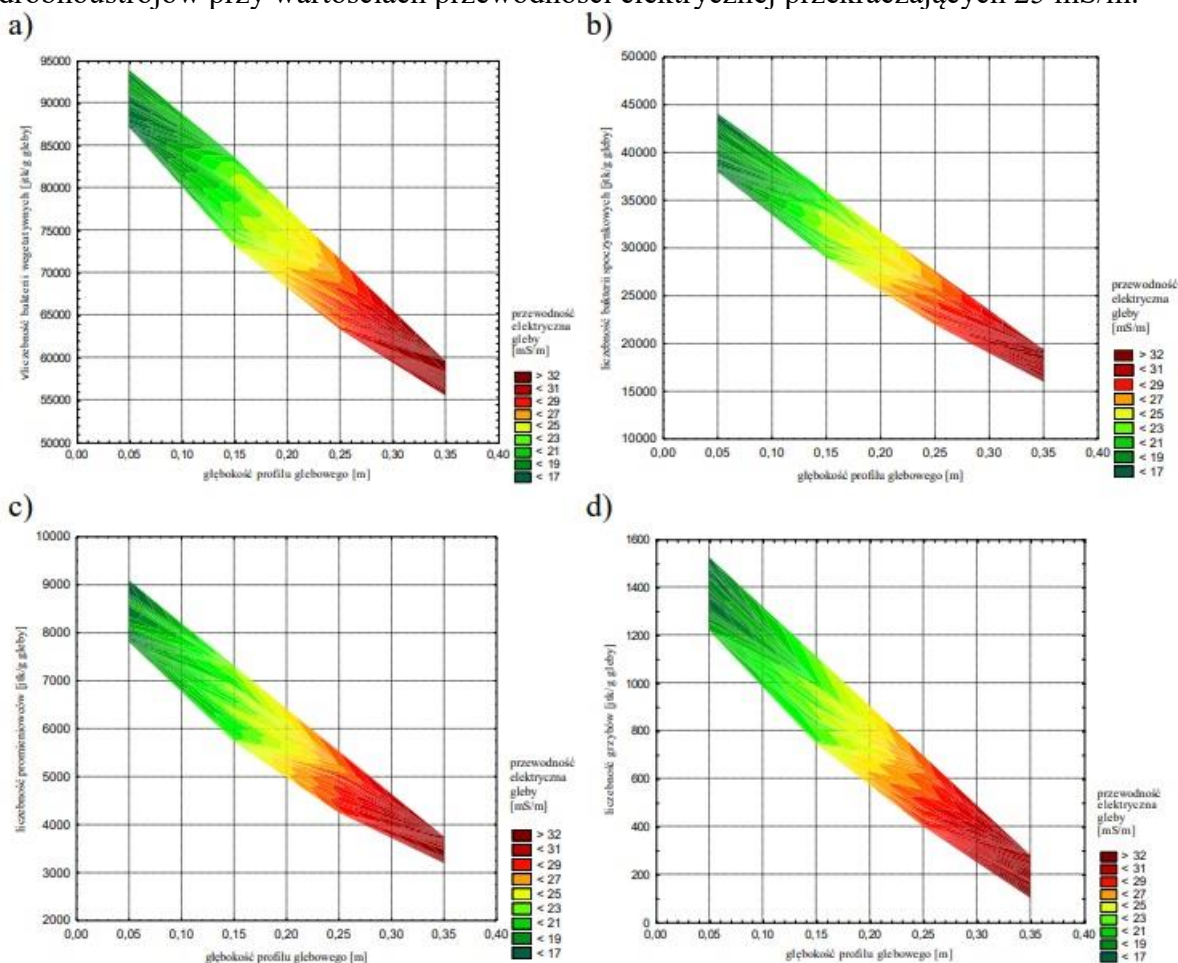
Źródło: opracowanie własne

Rys. 96. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

Na rysunku 97 przedstawiono związek między przewodnością elektryczną i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Podobnie jak w przypadku relacji między zwięzłością i wilgotnością gleby a liczebnością mikroorganizmów, zaobserwowano, że przewodność elektryczna gleby wpływa na przestrzenny rozkład badanych grup drobnoustrojów w profilu glebowym. Wraz ze wzrostem głębokości wartości przewodności elektrycznej rosną natomiast wartości liczebności wszystkich badanych grup mikroorganizmów spadają. Do głębokości 0,15m odnotowano wartości przewodności elektrycznej nie wyższe niż 25 mS/m, przy których liczebność



mikroorganizmów osiągnęła wysokie wartości (obszar koloru zielonego przechodzącego w żółty). Stwierdzono liczebność bakterii wegetatywnych powyżej 73 tys. jtk/g gleby (rys. 97a), bakterii spoczynkowych powyżej 28 tys. jtk/g gleby (rys. 97b), promieniowców powyżej 5 tys. jtk/g gleby (rys. 97c) a grzybów powyżej 600 jtk/g gleby (rys. 97d). Powyżej głębokości 0,25m stwierdzono drastyczny spadek liczebności wszystkich badanych grup drobnoustrojów przy wartościach przewodności elektrycznej przekraczających 25 mS/m.

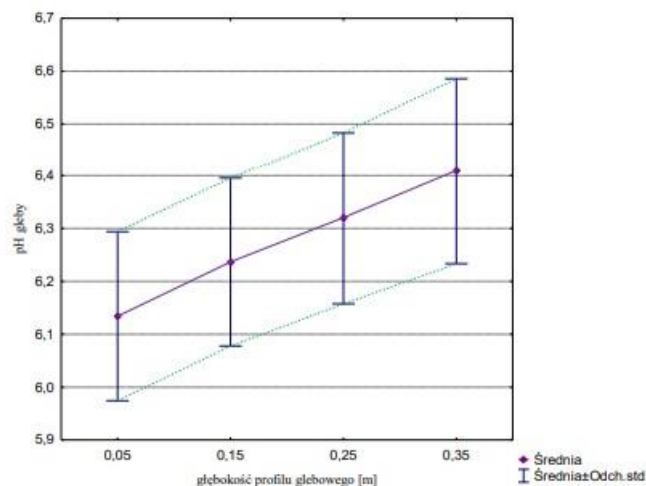


Źródło: opracowanie własne

Rys. 97. Wpływ głębokości i przewodności elektrycznej gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

### 7.1.3 Charakterystyka parametrów chemicznych gleby

Na rysunku 98 przedstawiono odczyn chemiczny gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, pH gleby także wzrastało. W warstwie gleby do 0,15m przyrost wartości pH gleby wyniósł 0,11, przy niskich wartościach współczynników zmienności, nie przekraczających 3%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m - 0,35m) zróżnicowanie w wartościach odczynu chemicznego gleby było nieco wyższe (0,19), a współczynniki zmienności wartości pH gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego również nie przekraczały 3%. Największy przyrost wartości pH gleby w badanych profilu glebowym wyniósł 0,3. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu odczynu chemicznego gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 99-102).

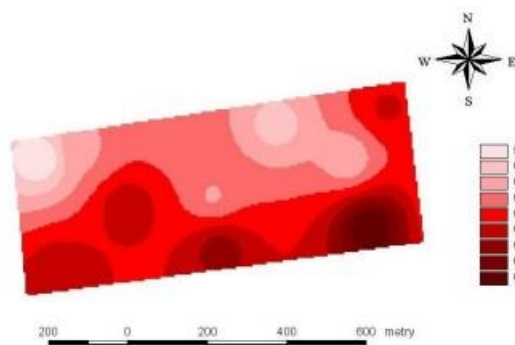


Źródło: opracowanie własne

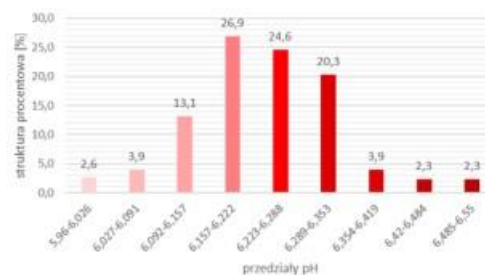
Rys. 98. Odczyn chemiczny gleby pola obiektu I wyznaczona metodą potencjometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością pH gleby na głębokości 0,05m (przedział 6,485 – 6,55) stanowiła 2,3% (rys. 99b). Nieco większą powierzchnię – 2,6% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 5,96 – 6,026. Na terenie obejmującym 26,9% pola zaobserwowano wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 6,157 – 6,222. Teren ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 99a.

a)



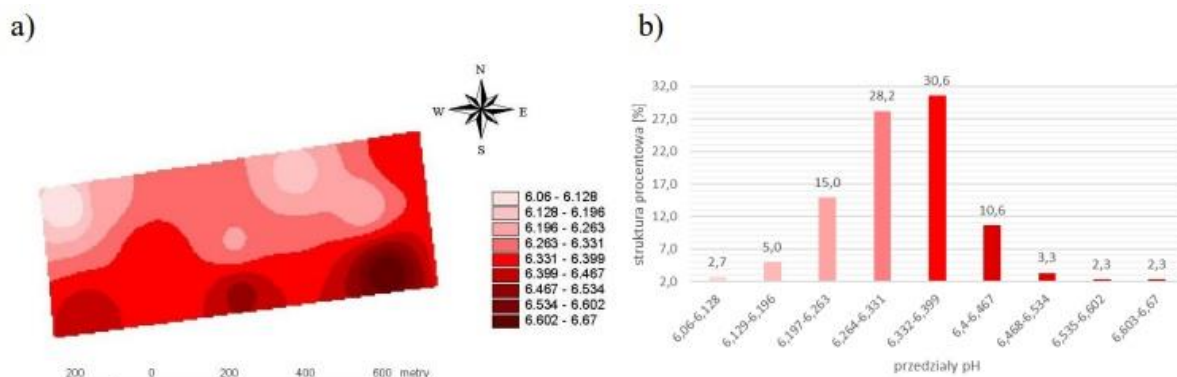
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 99. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie pH gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów pH gleby

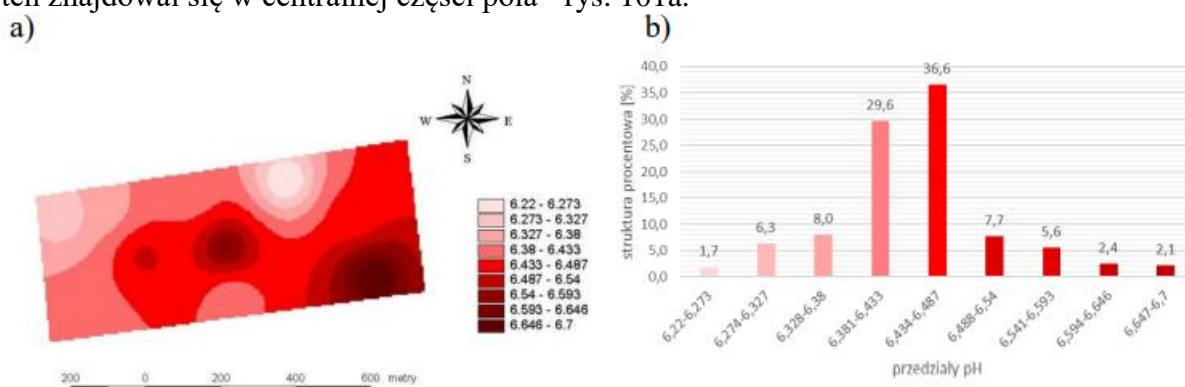
W przypadku wartości odczynu chemicznego gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 6,603 – 6,67 odnotowano na powierzchni zajmującej 2,3% (rys. 100b). Nieco większą powierzchnię (2,7%) zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 6,06 – 6,128). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 6,332 – 6,399 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 30,6%, znajdująca się w południowej części pola.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 100. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie pH gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów pH gleby

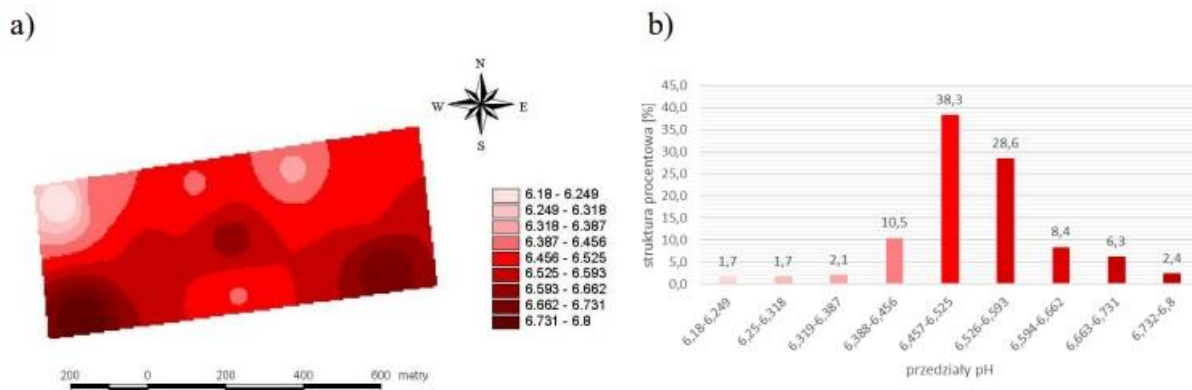
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością pH gleby na głębokości 0,25m (przedział wartości 6,647 – 6,7) stanowiła 2,1% (rys. 101b). Nieco mniejszą powierzchnię – 1,7% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale wartości 6,22 – 6,273. Na terenie obejmującym aż 36,6% pola zaobserwowano wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 6,434 – 6,487. Teren ten znajdował się w centralnej części pola - rys. 101a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 101. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie pH gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów pH gleby

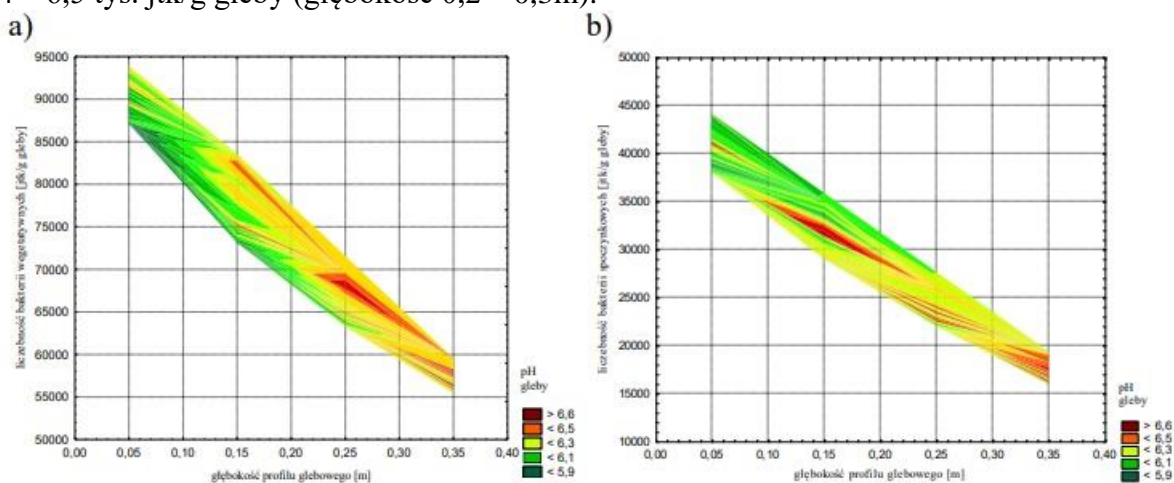
W przypadku wartości pH gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 6,732 – 6,8 odnotowano na powierzchni zajmującej 2,4% (rys. 102b). Nieco mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 6,18 – 6,249). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 6,457 – 6,525 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 38,3%, znajdująca się w centralnej części pola – rys. 102a.



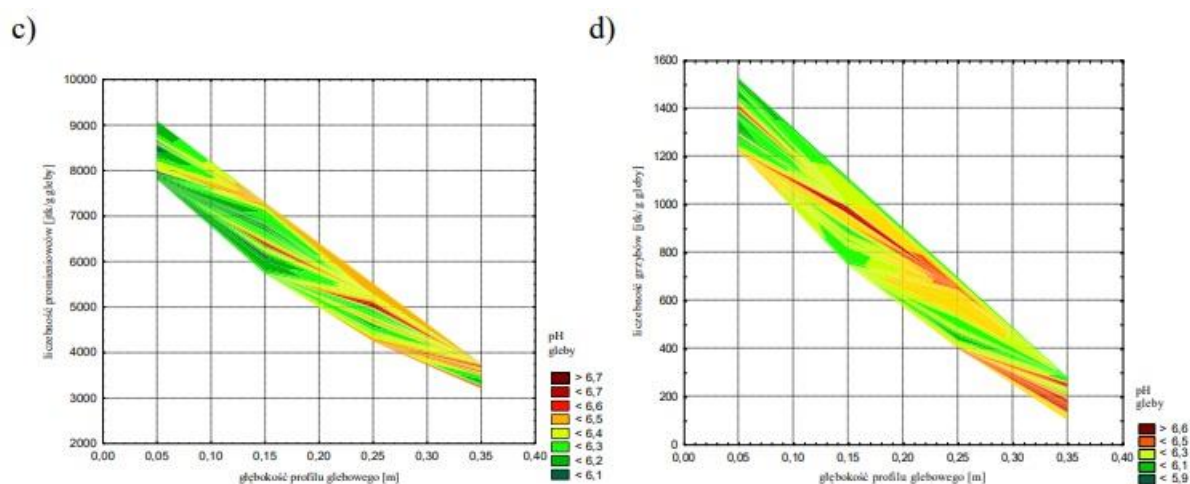
Źródło: opracowanie własne

Rys. 102. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie pH gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów pH gleby

Związek między odczynem chemicznym i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego został zilustrowany na rysunku 103. Zaobserwowano, że pH gleby oddziałuje na rozwój drobnoustrojów w glebie. Przy zarejestrowanych najwyższych wartościach pH gleby (powyżej 6,5) odnotowano wysokie wartości liczebności wszystkich badanych mikroorganizmów (obszary koloru czerwonego). Liczebność bakterii wegetatywnych osiągnęła wartości między 60 a 83 tys. jtk/g gleby w warstwie profilu glebowego na głębokości 0,15 – 0,35m (rys. 103a), natomiast w przypadku bakterii spoczynkowych (rys. 103b) można wyróżnić dwa obszary o najwyższej wartości pH, gdzie liczebność tej grupy przyjęła wartości 27 - 35 tys. jtk/g gleby (głębokość 0,1 - 0,25m) oraz 17 – 20 tys. jtk/g gleby (głębokość 0,3 - 0,35m). Również dla grupy promieniowców (rys. 103c) i grzybów (rys. 103d) można wyodrębnić dwa obszary, gdzie ich liczebność była wysoka. W wierzchniej warstwie profilu glebowego (do 0,15m) zarejestrowano wartości pH poniżej 6,1 (kolor zielony), gdzie uzyskano najwyższą liczebności zarówno bakterii wegetatywnych jak i spoczynkowych oraz grzybów. W przypadku promieniowców można wyróżnić dwa wyraźne obszary koloru zielonego (pH poniżej 6,3), w których liczebność tych mikroorganizmów była wysoka – 6,5 – 9 tys. jtk/g gleby (głębokość do 0,2m) oraz 4 – 6,5 tys. jtk/g gleby (głębokość 0,2 – 0,3m).



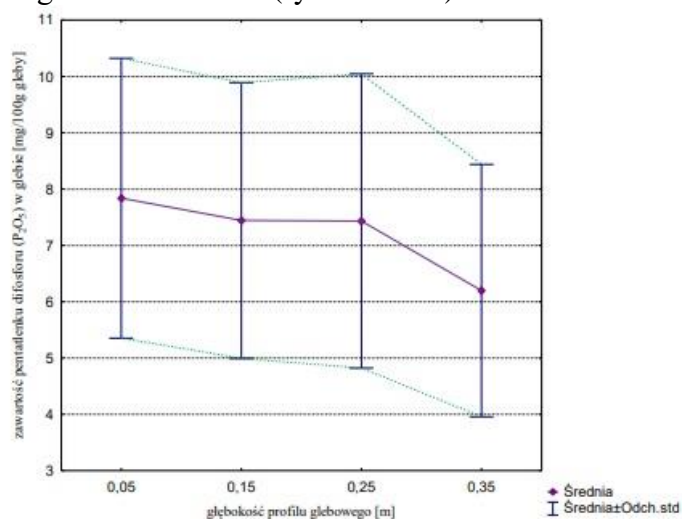




Źródło: opracowanie własne

Rys. 103. Wpływ głębokości i pH gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

Na rysunku 104 została zilustrowana zawartość pentatlenku difosforu w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, zawartość pentatlenku difosforu w glebie zmniejsza się. Największy spadek zawartości pentatlenku difosforu w badanym przedziale głębokości profilu glebowego wyniósł 1,88 mg  $P_2O_5/100g$  gleby. W warstwie gleby na głębokości 0,15 - 0,25m odnotowano incydentalny wzrost zawartości pentatlenku difosforu o 0,14 mg  $P_2O_5/100g$  gleby przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 35%. Wyraźny spadek zawartości pentatlenku difosforu zaobserwowano w wierzchniej (0,05 – 0,15m) oraz najgłębszej (0,25 - 0,35m) warstwie gleby. Zarejestrowano spadki zawartości badanego związku chemicznego odpowiednio o 0,42 mg  $P_2O_5/100g$  gleby i 1,61 mg  $P_2O_5/100g$  gleby, przy dość wysokich współczynnikach zmienności – 32% i 33% dla wierzchniej warstwy oraz 35% i 36% dla głębszej warstwy gleby. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości w glebie pentatlenku difosforu na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 105-108).

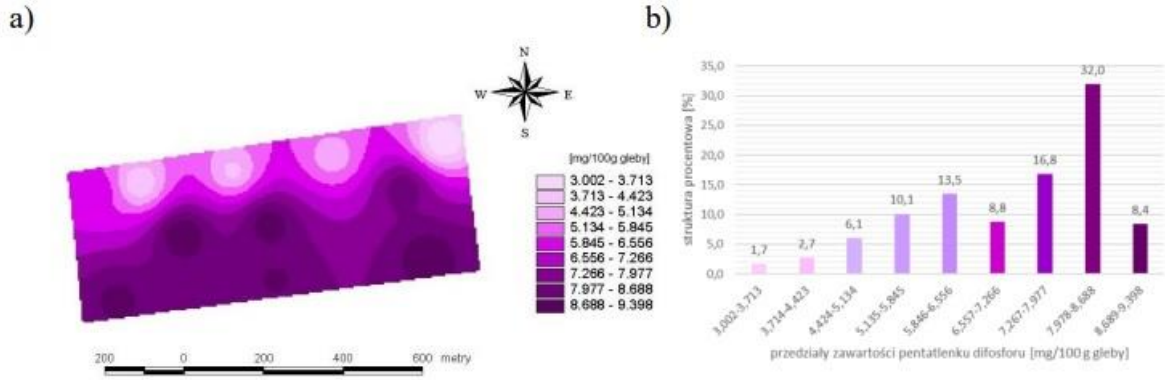


Źródło: opracowanie własne

Rys. 104. Zawartość pentatlenku difosforu w glebie pola obiektu I wyznaczona metodą kolorymetryczną



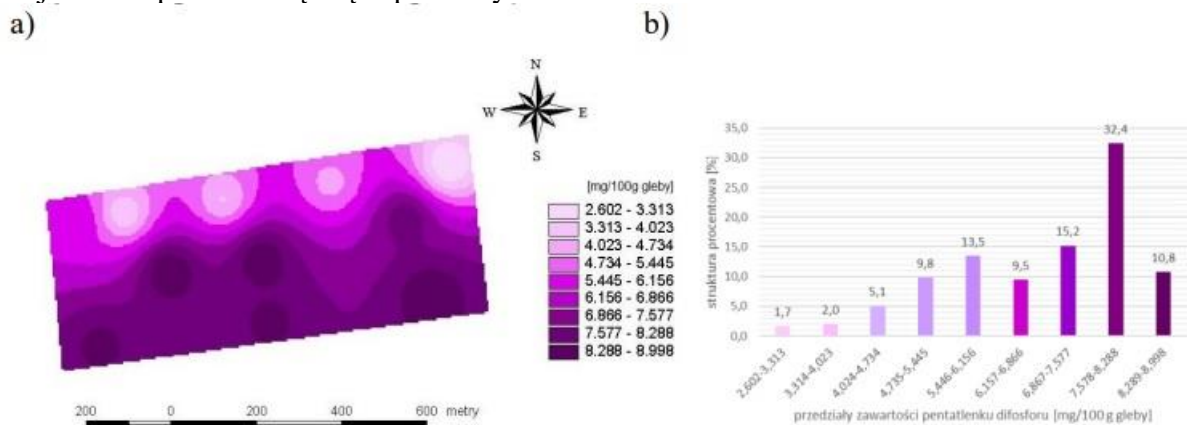
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością zawartości pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 8,689 -9,398 mg/100g gleby) stanowiła 8,4% (rys. 105b). Znacznie mniejszą powierzchnię – 1,7% stanowiły obszary, na których wartości zawartości pentatlenku difosforu w glebie były najmniejsze i mieściły się w przedziale 3,002 – 3,713 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 32% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,978 – 8,688 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w południowej części pola – rys. 105a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 105. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu w glebie

W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15 m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 8,289 – 8,998 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 10,8% (rys. 106b). Znacznie mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie były najniższe (przedział wartości 2,602 – 3,313 mg/100g gleby). Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,578 – 8,288 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 32,4%, która obejmowała południową część pola – rys. 106a.

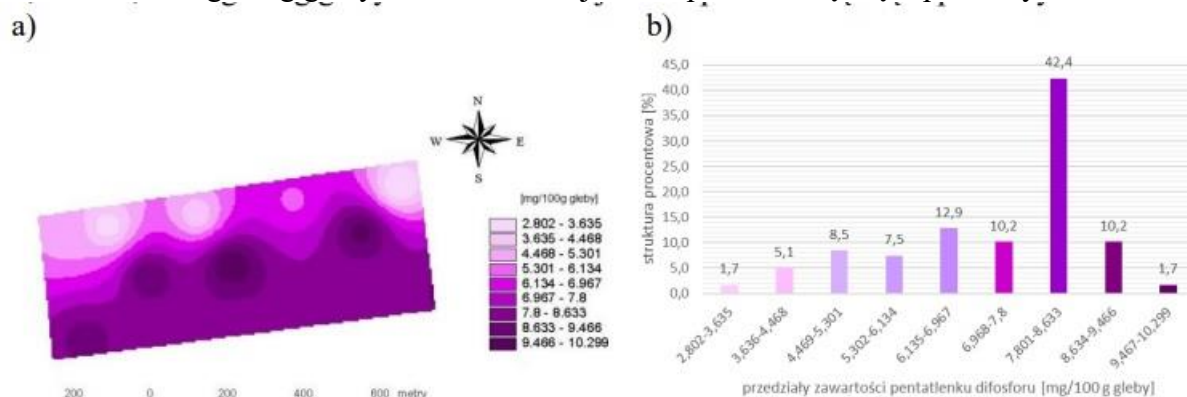


Źródło: opracowanie własne

Rys. 106. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu w glebie

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 9,467 – 10,299 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie

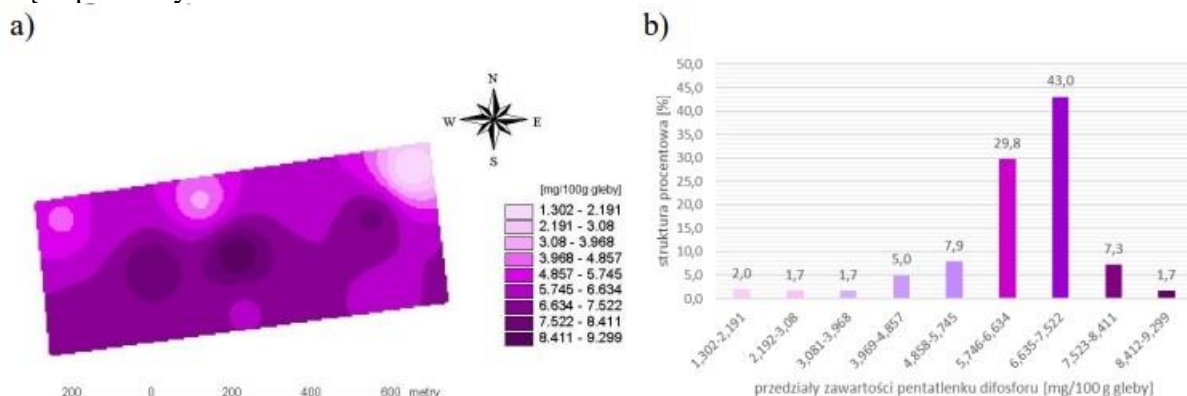
1,7% (rys. 107b). Taka samą powierzchnię – 1,7% stanowiły obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 2,802 – 3,635 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 42,4% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,801 – 8,633 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował południową część pola – rys. 107a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 107. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu w glebie

W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 8,412 – 9,299 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,7% (rys. 108b). Nieco większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najniższa (przedział wartości 1,302 – 2,191 mg/100g gleby). Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 6,635 – 7,522 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 43%. Teren ten obejmował centralną część pola – rys. 108a.

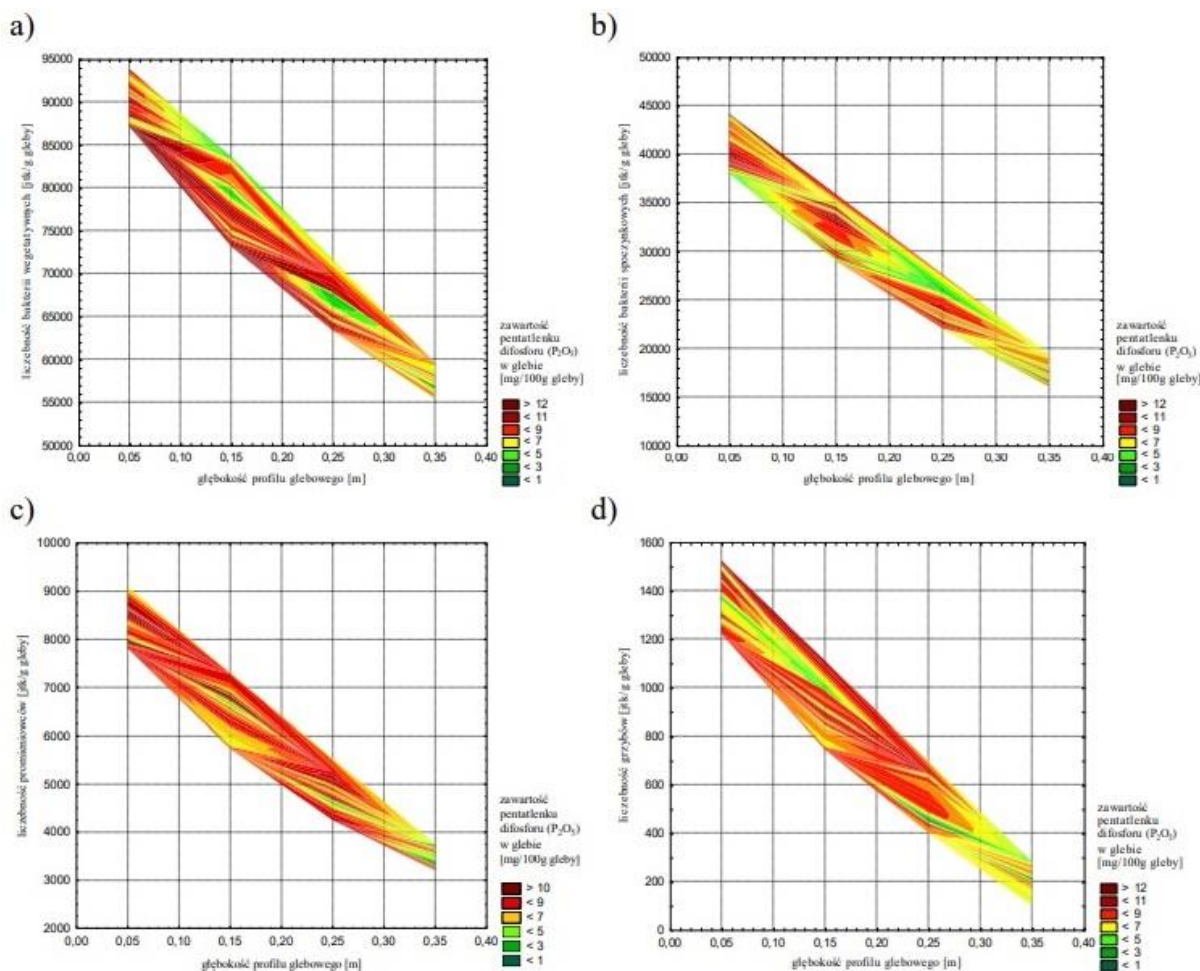


Źródło: opracowanie własne

Rys. 108. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu w glebie

Zaobserwowano utrzymywanie się wysokiej zawartości pentatlenku difosforu, przy której liczebność wszystkich badanych mikroorganizmów w profilu glebowym uległa zmniejszeniu. W warstwie do głębokości 0,3m odnotowano zawartość pentatlenku difosforu powyżej 7 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g gleby (kolor czerwony przechodzący w brąz), gdzie liczebność bakterii vegetatywnych (rys. 109a) spadła do 62 tys. jtk/g gleby, promieniowców (rys. 109c)

do 4,5 tys. jtk/g gleby i grzybów (rys. 109d) do 400 jtk/g gleby. Ponadto można wyróżnić obszary (kolor zielony) na głębokości 0,15m i 0,25m, gdzie zawartość pentatlenku difosforu utrzymuje się poniżej 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g gleby, a liczebność bakterii wegetatywnych przyjmuje odpowiednio wartości 80 i 63 tys. jtk/g gleby, promieniowców 6,5 i 4,5 tys. jtk/g gleby oraz grzybów 1 000 i 500 jtk/g gleby. W przypadku bakterii spoczynkowych (rys. 109b), ich liczebność spada do 37 tys. jtk/g gleby na głębokości do 0,1 m, do 30 tys. jtk/g gleby na głębokości do 0,2m oraz do 20 tys. jtk/g gleby na głębokości do 0,3m, przy zawartości pentatlenku difosforu powyżej 7 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g gleby (obszary koloru czerwony przechodzącego w brązowy). Relacja między zawartością pentatlenku difosforu i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 109.

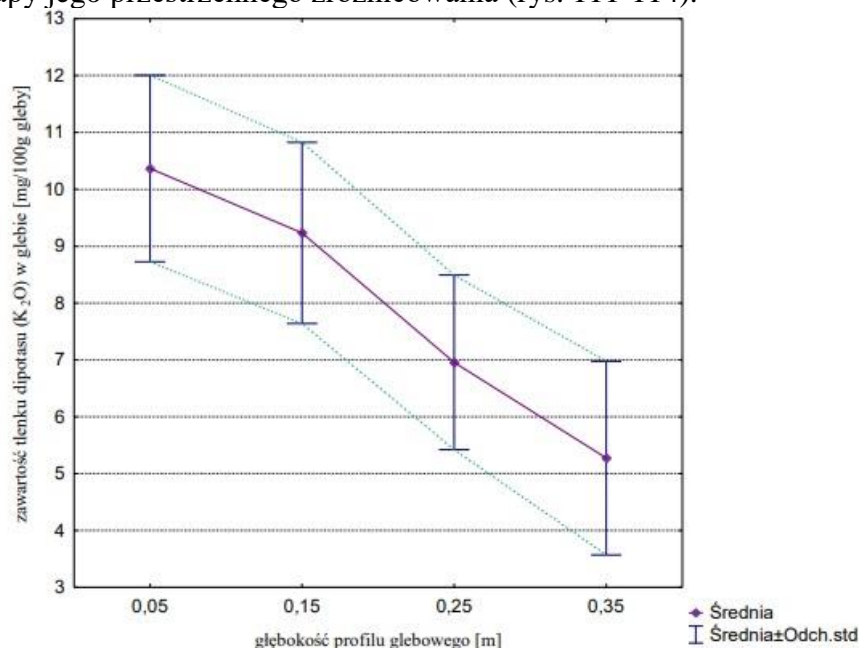


Źródło: opracowanie własne

Rys. 109. Wpływ głębokości i dostępności pentatlenku difosforu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

Zawartość tlenu dipotasu w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m została przedstawiona na rysunku 110. Zaobserwowano, że zawartość tlenu dipotasu w glebie zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W wierzchniej warstwie gleby (0,05 – 0,15m) odnotowano spadek zawartości tlenu dipotasu o 1,2 mg K<sub>2</sub>O/100g gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 17%. Natomiast w najgłębszej warstwie gleby (0,25 – 0,35m) stwierdzono nieco większy spadek zawartości tlenu dipotasu (o 1,52 mg K<sub>2</sub>O/100g gleby), przy współczynnikach zmienności wynoszących odpowiednio 22% i 32%. Największy spadek zawartości tlenu dipotasu

w profilu glebowego wyniósł 5,02 mg K<sub>2</sub>O/100g gleby. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości w glebie tlenku dipotasu na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 111-114).

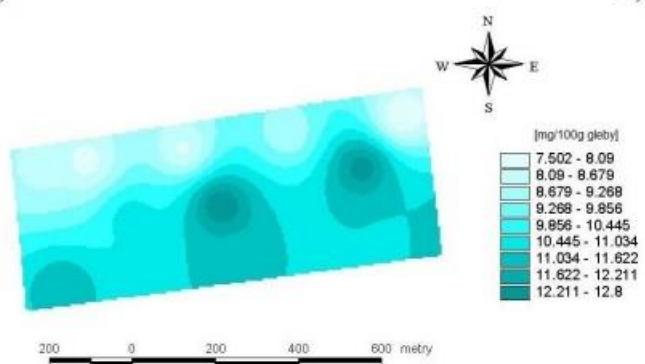


Źródło: opracowanie własne

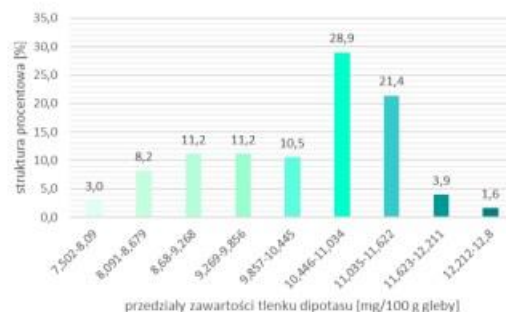
Rys. 110. Zawartość tlenku dipotasu w glebie pola obiektu I wyznaczona metodą fotometrii płomieniowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenku dipotasu na głębokości 0,05m (przedział 12,212 – 12,8 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 1,6% (rys. 111b). Nieco większą powierzchnię – 3% stanowiły obszary, na których zawartość tlenku dipotasu była najmniejsza i mieściła się w przedziale 7,502 – 8,09 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 28,9% pola zaobserwowano zawartość tlenku dipotasu mieszczącą się w przedziale wartości 10,446 – 11,034 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 111a.

a)



b)



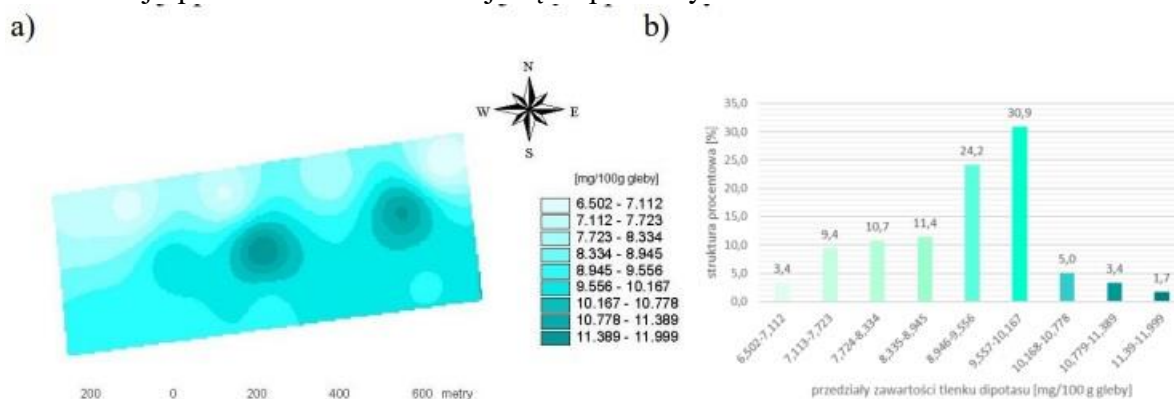
Źródło: opracowanie własne

Rys. 111. Zawartość w glebie tlenku dipotasu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenku dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenku dipotasu w glebie

W przypadku zawartości tlenku dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość tlenku dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale 11,39 – 11,999 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,7% (rys. 112b).



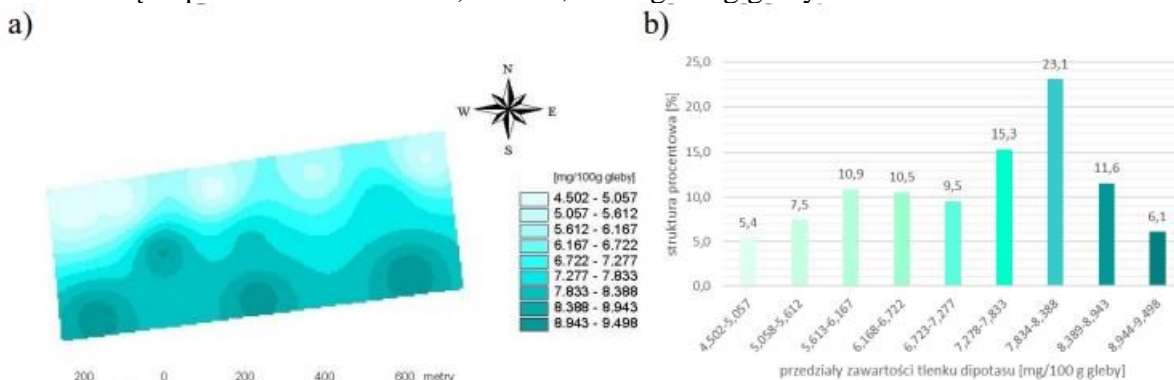
Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 6,502 – 7,112 mg/100g gleby). Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszcząca się w przedziale wartości 9,557 – 10,167 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 30,9%. Teren ten znajdował się w centralnej i południowo- wschodniej części pola – rys. 112a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 112. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenu dipotasu w glebie na głębokości 0,25m (przedział wartości 8,944 – 9,498 mg/100g gleby) stanowiła 6,1% (rys. 113b). Nieco mniejszą powierzchnię – 5,4% stanowiły obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 4,502 – 5,057 mg/100g gleby – obszar ten obejmował północną część pola- rys. 113a. Na terenie obejmującym 23,1% pola zaobserwowano zawartość tlenu dipotasu w glebie mieściła się w przedziale wartości 7,834 – 8,338 mg/100g gleby.



Źródło: opracowanie własne

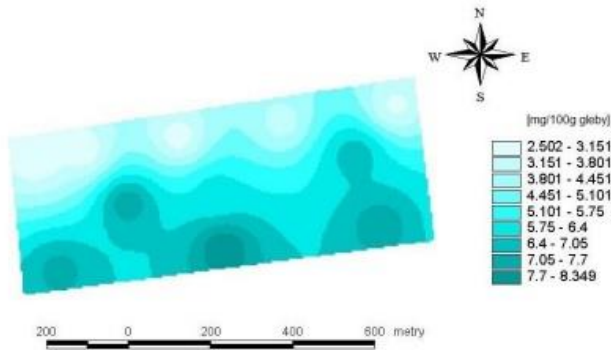
Rys. 113. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

W przypadku zawartości tlenu dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszcząca się w przedziale 7,701 – 8,349 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,7% (rys. 114b). Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 2,502 – 3,151 mg/100g gleby). Teren ten znajdował się w północnej części pola – rys. 114a. Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszcząca się

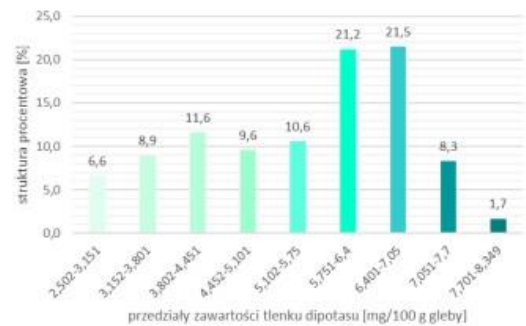


w przedziale wartości 6,401 – 7,05 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 21,5%.

a)



b)

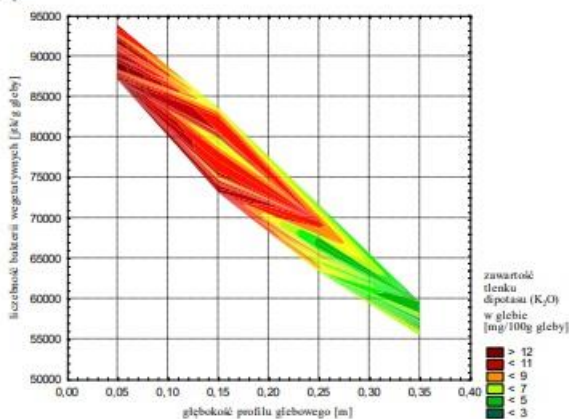


Źródło: opracowanie własne

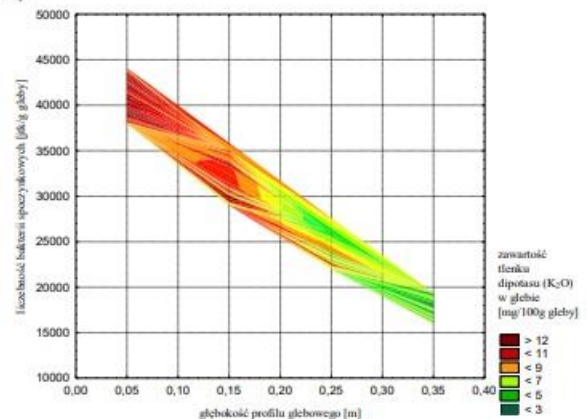
Rys. 114. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

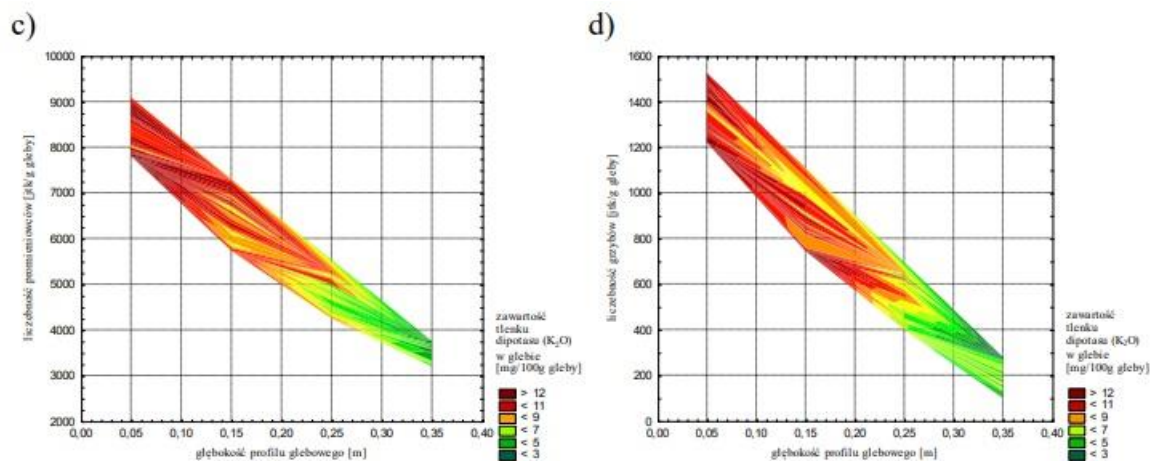
Związek między zawartością tlenu dipotasu i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego został przedstawiony na rysunku 115. Zaobserwowano utrzymywanie się wysokiej zawartości tlenu dipotasu do głębokości 0,25m w profilu glebowym, przy której liczebność wszystkich badanych mikroorganizmów w profilu glebowym spadła. Przy zawartości tlenu dipotasu powyżej 7 mg  $K_2O/100g$  gleby (kolor czerwony przechodzący w brąz), liczebność bakterii wegetatywnych (rys. 115a) spadła do 65 tys. jtk/g gleby, promieniowców (rys. 115c) do 5 tys. jtk/g gleby i grzybów (rys. 116d) do 500 jtk/g gleby. W przypadku bakterii spoczynkowych (rys. 115b) można zauważyć trzy obszary koloru czerwonego (zawartość tlenu dipotasu między 9 a 11 mg  $K_2O/100g$  gleby) na głębokościach 0,1 m, 0,15 m oraz 0,25m, gdzie liczebność tych bakterii spada odpowiednio do 37 tys. jtk/g gleby, 30 tys. jtk/g gleby i 22 tys. jtk/g gleby. Poniżej głębokości 0,25m w profilu glebowym liczebność wszystkich badanych grup mikroorganizmów utrzymuje się na niskim poziomie przy zawartości tlenu dipotasu poniżej 7 mg  $K_2O/100g$  gleby (obszaru koloru zielonego).

a)



b)

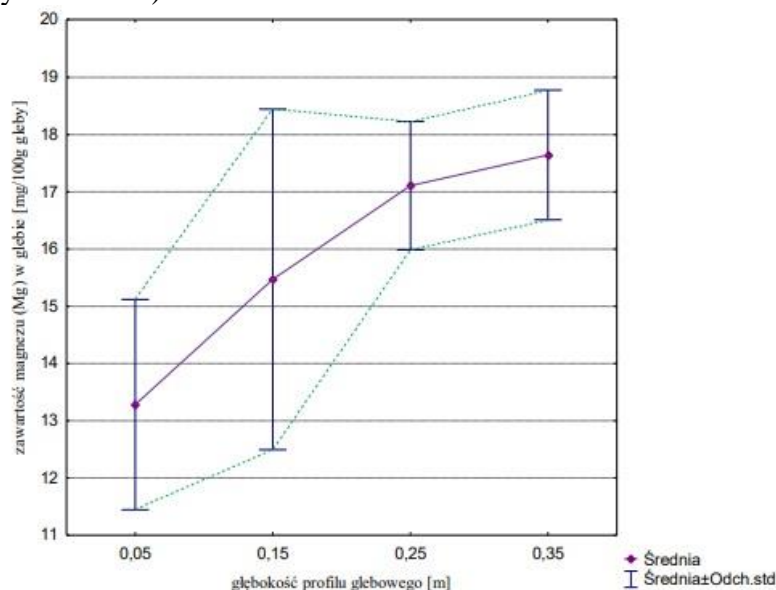




Źródło: opracowanie własne

Rys. 115. Wpływ głębokości i dostępności tlenu dipotasu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniocców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

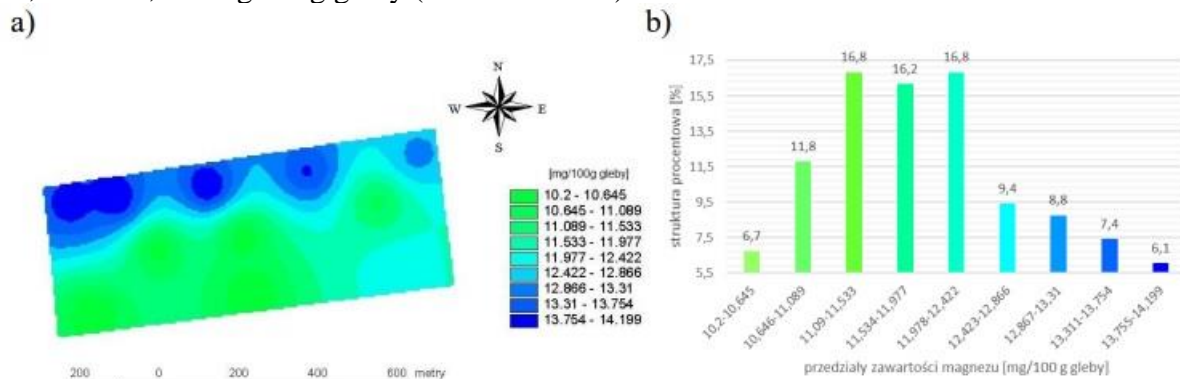
Na rysunku 116 została przedstawiona zawartość magnezu na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m w profilu glebowym. Stwierdzono, że zawartość magnezu w glebie wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego wzrasta. Największy wzrost zawartości magnezu w analizowanym przedziale głębokości profilu glebowego wyniósł 3,66 mg Mg/100g gleby przy niskich współczynnikach zmienności – 14% (0,05 m) i 6% (0,35 m). W wierzchniej warstwie gleby do głębokości 0,15m odnotowano wzrost zawartości magnezu o 3,32 mg Mg/100g gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 19%. W najgłębszej warstwie gleby (0,25 – 0,35m) stwierdzono znacznie mniejszy wzrost zawartości magnezu (o 0,55 mg Mg/100g gleby), przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 7%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości w glebie magnezu na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 117-120).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 116. Zawartość magnezu w glebie pola obiektu I wyznaczona metodą techniki atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu (FAAS)

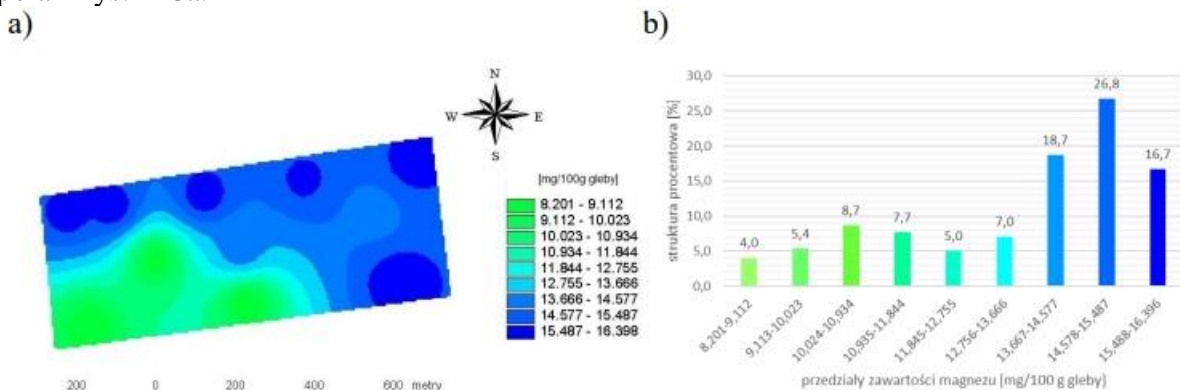
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 13,755 – 14,199 mg/100g gleby) stanowiła 6,1% (rys. 117b). Nieco większą powierzchnię – 6,7% stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 10,2 – 10,645 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w północnej i północno-zachodniej części pola – rys. 117a. Na terenach obejmujących 16,8% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziałach wartości 11,09 – 11,533 mg/100g gleby (kolor zielony) oraz 11,978 – 12,422 mg/100g gleby (kolor niebieski).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 117. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu w glebie

W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 15,488 – 16,396 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 16,7% (rys. 118b). Znacznie mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 8,201 – 9,112 mg/10g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 14,578 – 15,487 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 26,8%. Obszar ten znajdował się we wschodniej i północnej części pola – rys. 118a.

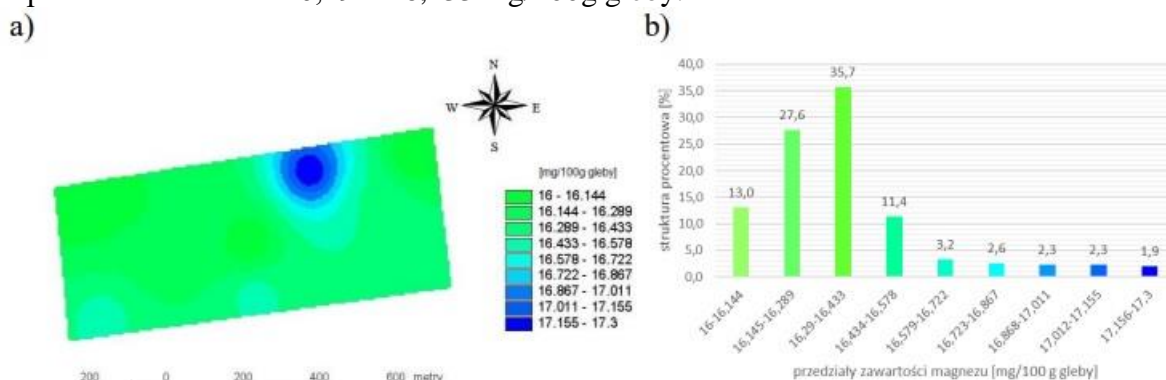


Źródło: opracowanie własne

Rys. 118. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu w glebie

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 17,156 – 17,3 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 1,9% (rys. 119b). Obszar ten obejmował północno- wschodnia część pola – rys. 119a. Znacznie

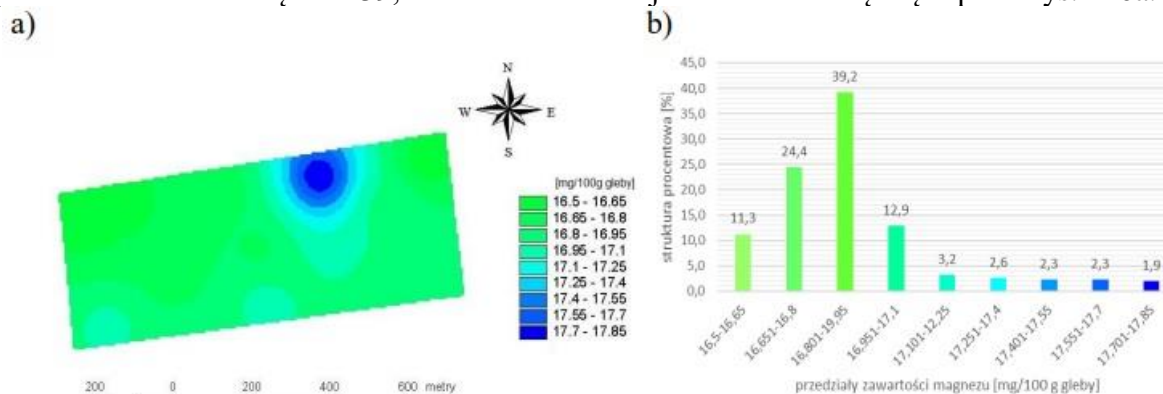
większą powierzchnię – 13% stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 16 – 16,144 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 35,7% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 16,29 – 16,433 mg/100g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 119. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu w glebie

W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 17,701 – 17,85 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,9% (rys. 120b). Znacznie większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 16,5 – 16,65 mg/100g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 16,801 – 19,95 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 39,2%. Obszar ten obejmował centralną część pola- rys. 120a.



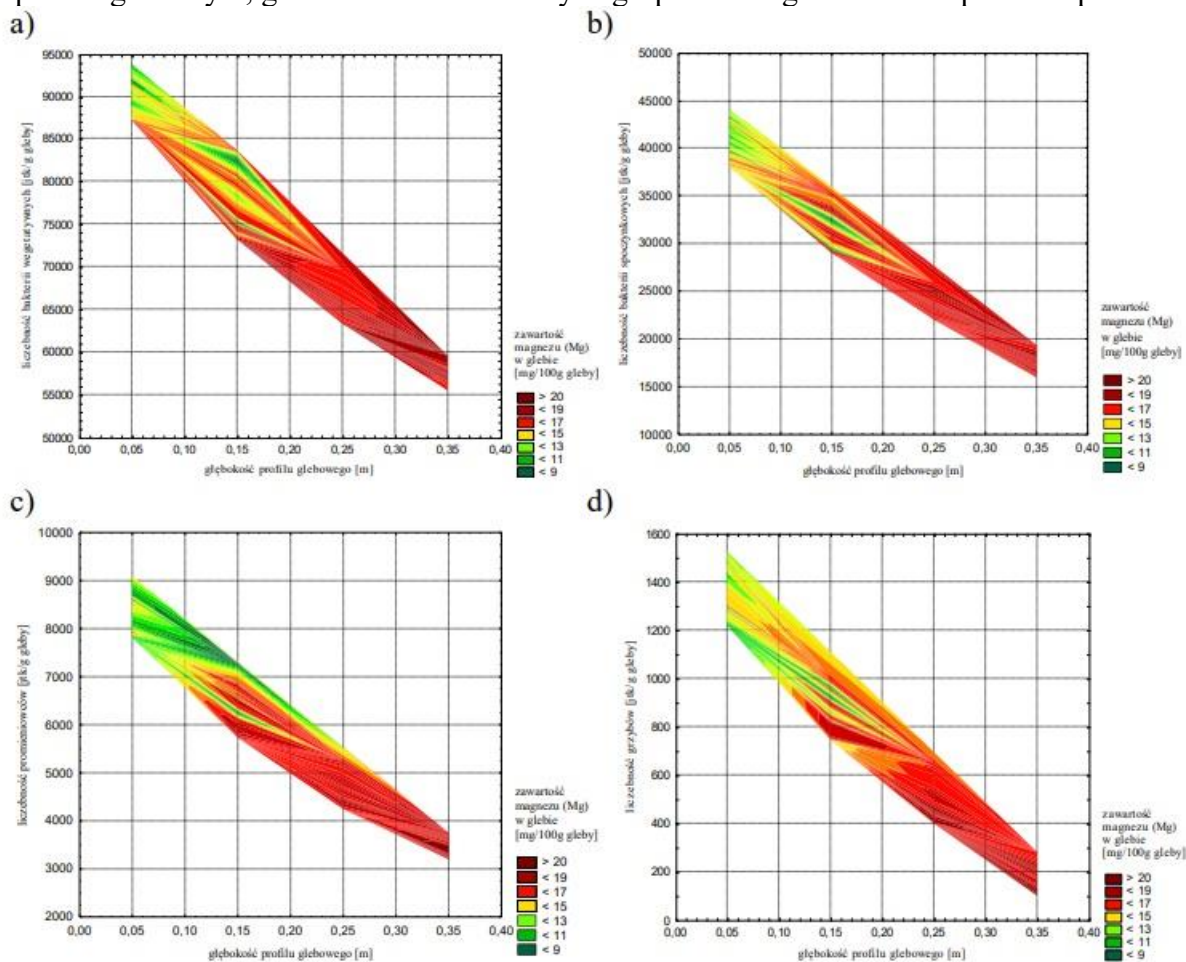
Źródło: opracowanie własne

Rys. 120. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu w glebie

Na rysunku 121 została zilustrowana relacja między dostępnością magnezu w glebie i liczebnością poszczególnych grup mikroorganizmów, a głębokością profilu glebowego. Przy zawartości magnezu poniżej 15 mg Mg/100g gleby (kolor żółty przechodzący w pomarańczowy) do głębokości 0,15m, liczebność bakterii vegetatywnych (rys. 121a) i spoczynkowych (rys. 121b) spadła odpowiednio do 85 i 35 tys. jtk/g gleby, a grzybów (rys. 121d) do 1 050 jtk/g gleby. W przypadku promieniowców (rys. 121c) do tej samej głębokości, liczebność tych drobnoustrojów spadła do 7 250 jtk/g gleby przy zawartości



magnezu nie przekraczającej 13 mg Mg/100g gleby (obszar koloru zielonego). Zaobserwowano utrzymywanie się wysokiej zawartości magnezu powyżej głębokości 0,15m w profilu glebowym, gdzie liczebność badanych grup mikroorganizmów stopniowo spadała.

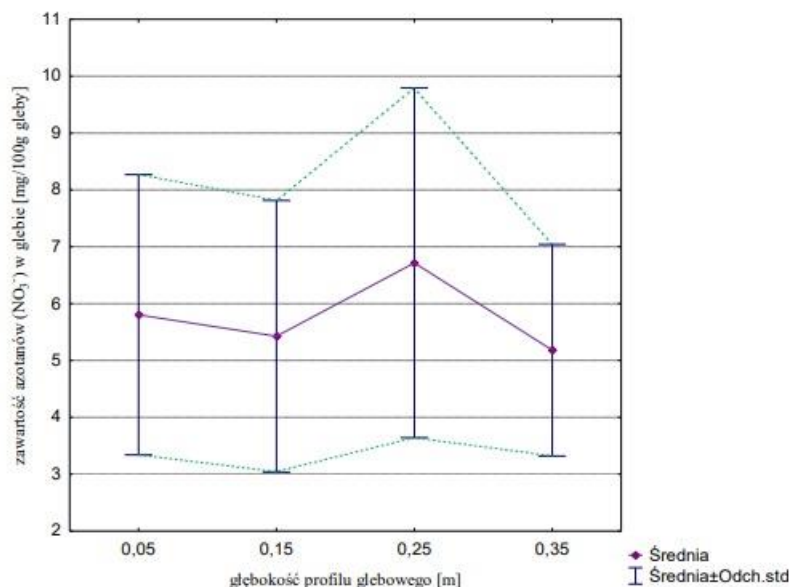


Źródło: opracowanie własne

Rys. 121. Wpływ głębokości i dostępności magnezu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

Zawartość azotanów w glebie została przedstawiona na rysunku 122. Wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, odnotowano spadek zawartości azotanów. Największy spadek wartości zawartości azotanów w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,25m i 0,35m i wyniósł 1,54 mg Mg/100g gleby, przy dość wysokich współczynnikach zmienności nieprzekraczających 46%. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek wartości azotanów wyniósł 0,37 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, przy wysokich współczynnikach zmienności - 42% (0,05m) i 44% (0,15m). W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) stwierdzono spadek zawartości azotanów o 1,29 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości w glebie azotanów na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 123-126).





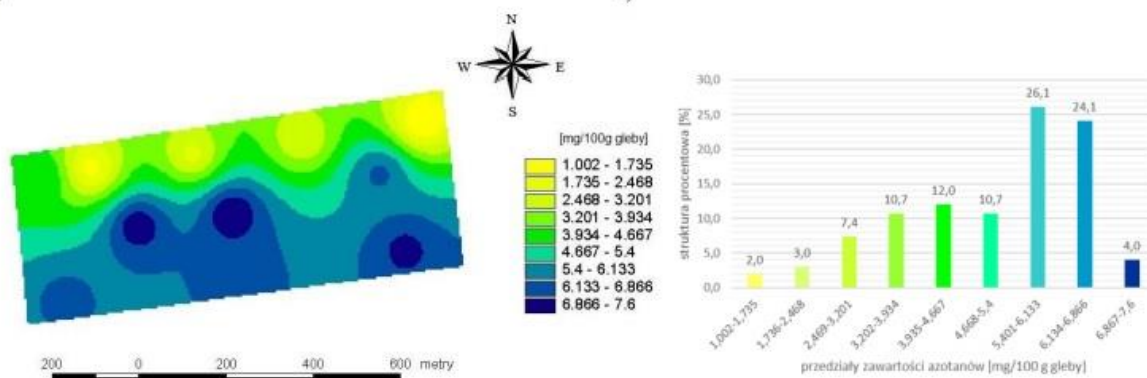
Źródło: opracowanie własne

Rys. 122. Zawartość azotanów w glebie pola obiektu I wyznaczona metodą kolorymetrii przepływowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,05m (przedział 6,867 – 7,6 mg/100g gleby) stanowiła 4% (rys. 123b). Dwukrotnie mniejszą powierzchnię – 2% stanowiły obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 1,002 – 1,735 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 26,1% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 5,401 – 6,133 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 123a.

a)

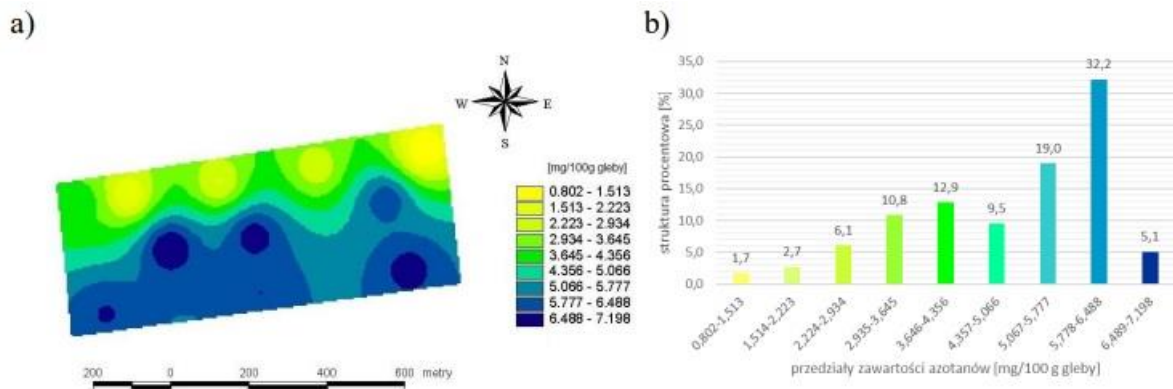
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 123. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwiążności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwiążności gleby

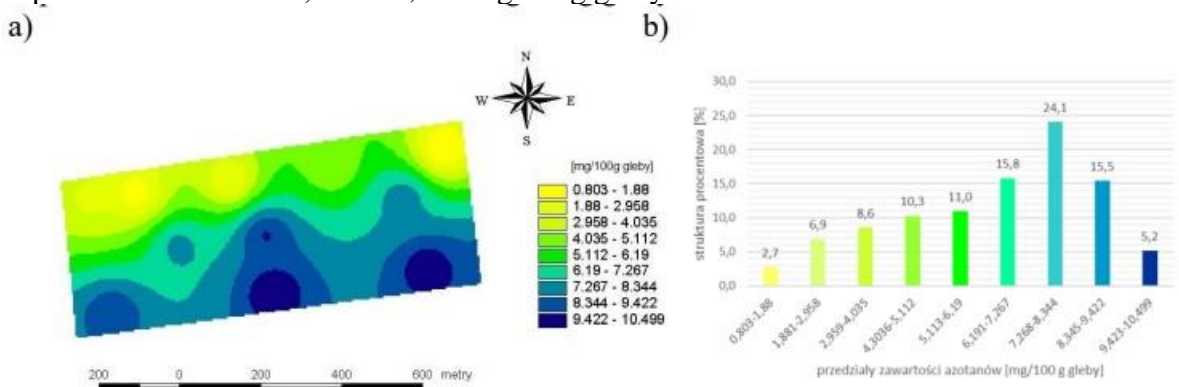
W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartością azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 6,489 – 7,198 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 5,1% (rys. 124b). Trzykrotnie mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 0,802 – 1,513 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 5,778 – 6,488 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 32,2%. Teren ten obejmował centralną część pola – rys. 124a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 124. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie związłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów związłości gleby

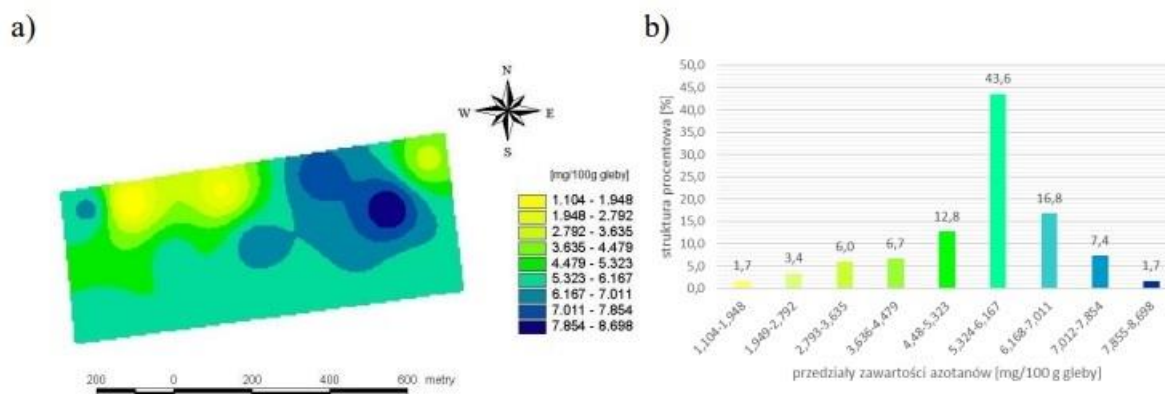
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,25m (przedział 9,423 – 10,499 mg/100g gleby) stanowiła 5,2% (rys. 125b). Nieco mniejszą powierzchnię – 2,7% stanowiły obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 0,803 – 1,88 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował północno-zachodnią i północno-wschodnią część pola – rys. 125a. Na terenie obejmującym 24,1% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,268 – 8,344 mg/100g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 125. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie związłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów związłości gleby

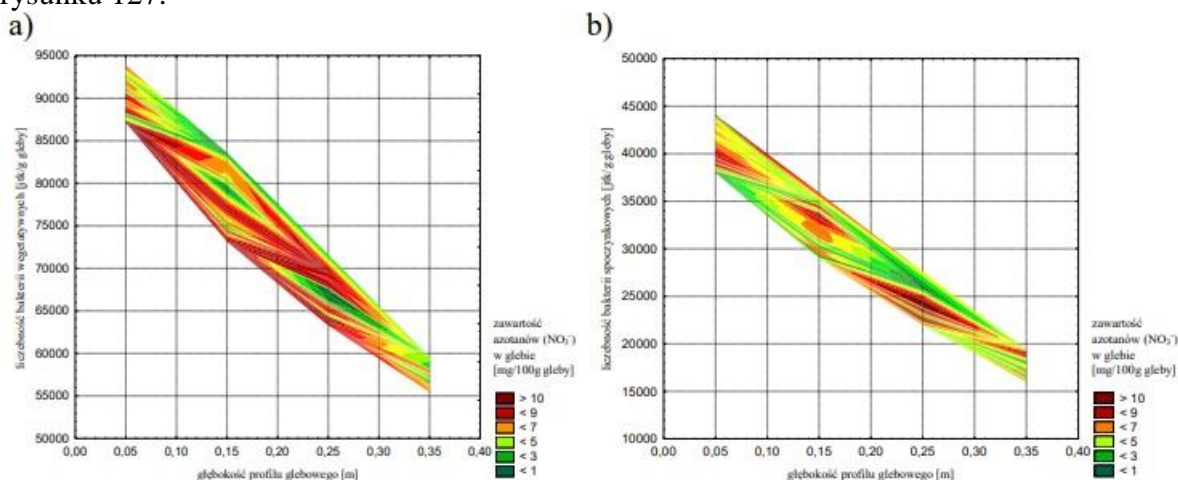
W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 7,855 – 8,698 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,7% (rys. 126b). Taką samą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 1,104 – 1,948 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 5,324 – 6,167 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 43,6%. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 126a.

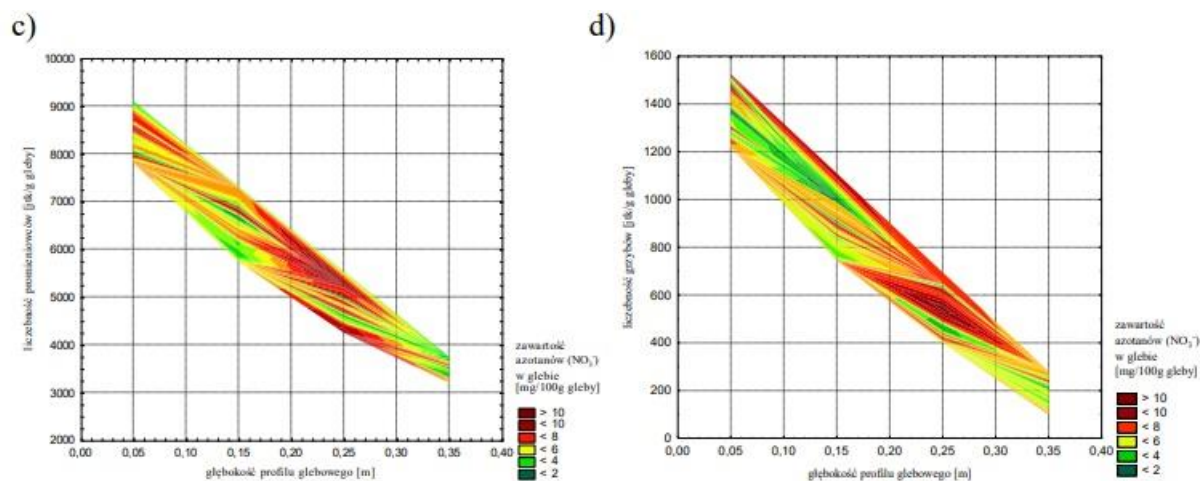


Źródło: opracowanie własne

Rys. 126. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie związłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów związłości gleby

Zawartość w glebie azotanów wpływa na liczebność mikroorganizmów w glebie. Stwierdzono, że zawartość azotanów powyżej 7 mg  $\text{NO}_3^-/100\text{g}$  gleby (kolor brązowy przechodzący w czerwony) przekłada się na liczebność bakterii vegetatywnych (rys. 127a) powyżej 65 tys. jtk/g gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości 0,05 – 0,3m, natomiast liczebność bakterii spoczynkowych (rys. 127b) powyżej 34 tys. jtk/g gleby (na głębokości 0,15m) i 25 tys. jtk/g gleby (na głębokości 0,25m). Zawartość azotanów powyżej 6 mg  $\text{NO}_3^-/100\text{g}$  gleby na głębokości 0,15 – 0,3m prowadzi do spadku liczebności w przypadku grupy promieniowców (rys. 127c) z 7 tys. jtk/g gleby do 4 250 jtk/g gleby i grzybów z 1 100 do 500 jtk/g gleby (rys. 127d). Obszary (kolor zielony) niskiej zawartości azotanów (poniżej 5 mg  $\text{NO}_3^-/100\text{g}$  gleby) można zaobserwować w profilu glebowym na głębokości 0,15m gdzie odnotowano liczebność bakterii vegetatywnych wynoszącą 80 tys. jtk/g gleby, promieniowców 6 750 jtk/g gleby i grzybów 1 000 jtk/g gleby. Natomiast w przypadku bakterii spoczynkowych liczebność wynosząca 27 tys. jtk/g gleby została stwierdzona w profilu glebowym na głębokości 0,25 m. Relacja między głębokością i zawartością azotanów w glebie a liczebnością drobnoustrojów została przedstawiona na rysunku 127.



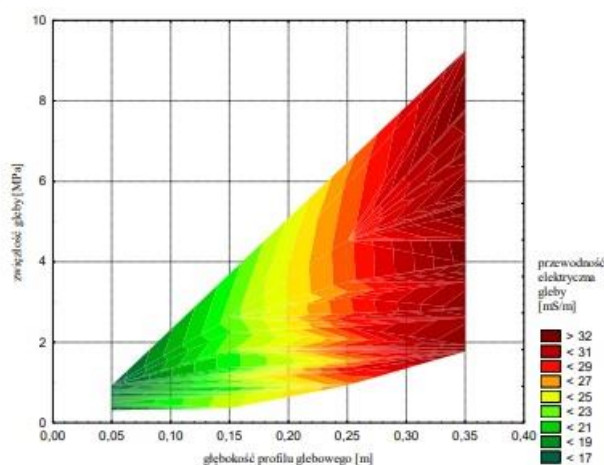


Źródło: opracowanie własne

Rys. 127. Wpływ głębokości i zawartości azotanów glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu I

#### 7.1.4 Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby

Na rysunku 128 została zwizualizowana relacja między zwięzłością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,17m wartości zwięzłości gleby utrzymują się poniżej 4,25 MPa, natomiast przewodność elektryczna w tym obszarze przyjmuje wartości poniżej 23 mS/m (kolor zielony). W głębszych warstwach gleby (powyżej 0,25m) zarówno zwięzłość gleby jak i jej przewodność przyjmują najwyższe wartości (kolor czerwony przechodzący w brązowy). Zwięzłość gleby przyjmuje wartości z zakresu 1 – 9,25 MPa, a przewodność elektryczna gleby mieści się w przedziale 27 - 31 mS/m. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście zwięzłości gleby o 1 MPa odnotowano wzrost przewodności elektrycznej o 2 mS/m.



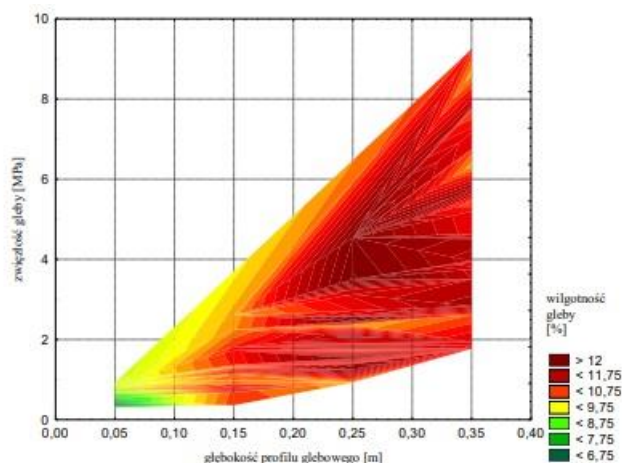
Źródło: opracowanie własne

Rys. 128. Relacja pomiędzy zwięzłością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

Na rysunku 129 została przedstawiona relacja między zwięzłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że poniżej głębokości 0,1m wartości zwięzłości gleby utrzymują się powyżej 1 MPa, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości powyżej 10,75 % (kolor czerwony przechodzący w brązowy), przy czym



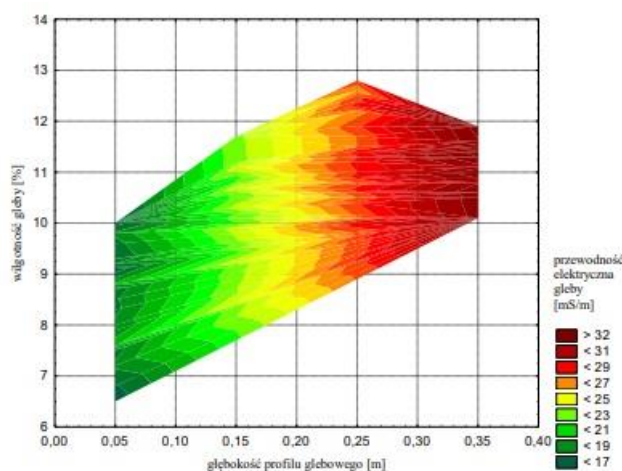
najwyższe wartości wilgotności gleby można zaobserwować na głębokości 0,25m – zwięźłość gleby w tym obszarze przyjmuje wartości do 4 MPa (kolor brązowy). W wierzchnich warstwach gleby (do 0,1m) zwięźłość gleby przyjmuje wartości z zakresu 0,25 – 2,25 MPa, a wilgotność gleby przyjmuje wartości poniżej 9,75%. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście zwięźłości gleby o 1 MPa odnotowano wzrost wilgotności gleby o 1 %.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 129. Relacja pomiędzy zwięźłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

Na rysunku 130 została przedstawiona relacja między wilgotnością gleby a jej przewodnością elektryczną i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,15m wartości wilgotności gleby przyjmują wartości poniżej 9,75%, natomiast przewodność elektryczna gleby w tym obszarze przyjmuje wartości poniżej 23 mS/m (kolor zielony). Najwyższe wartości przewodności elektrycznej (powyżej 27 mS/m) charakteryzują profil glebowy poniżej głębokości 0,25 m, gdzie wilgotność gleby przyjmuje wartości z przedziału 9 – 12,5% (kolor czerwony przechodzący w brązowy). Do głębokości 0,15m przy wzroście wilgotności gleby o 1% odnotowano wzrost przewodności elektrycznej gleby o 2 mS/m.



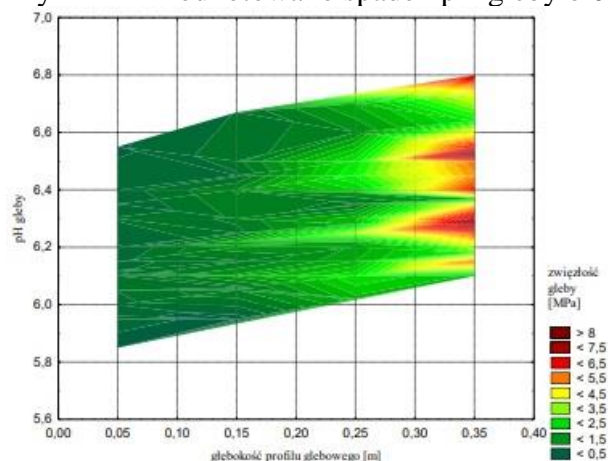
Źródło: opracowanie własne

Rys. 130. Relacja pomiędzy wilgotnością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

Na rysunku 131 została przedstawiona relacja między zwięźłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że przy wzroście wartości zwięźłości gleby odnotowano wzrost wartości pH wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego.



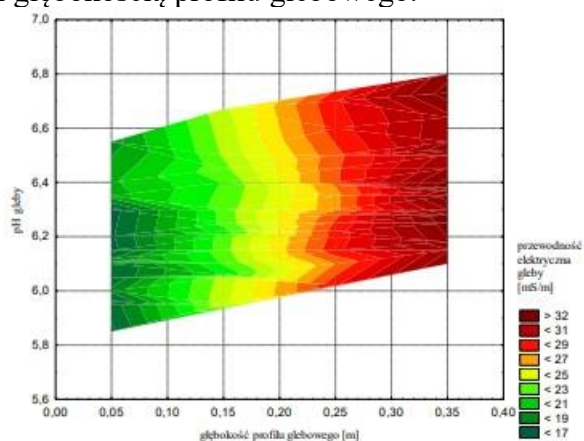
W analizowanym przedziale głębokości do 0,25 m pH gleby wzrasta z 5,9 do 6,7, a zwięzłość gleby utrzymuje się poniżej 3,5 MPa (kolor zielony). Można zauważyć, że poniżej głębokości 0,25 m można wyróżnić kilka obszarów (kolor żółty przechodzący w brązowy), gdzie zwięzłość gleby przyjmuje wartości z zakresu 3,5 – 8 MPa przy pH przyjmującym wartości 6,15 oraz 6,3 – 6,6 i 6,8. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście zwięzłości gleby o 1 MPa odnotowano spadek pH gleby o 0,2.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 131. Relacja pomiędzy zwięzłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

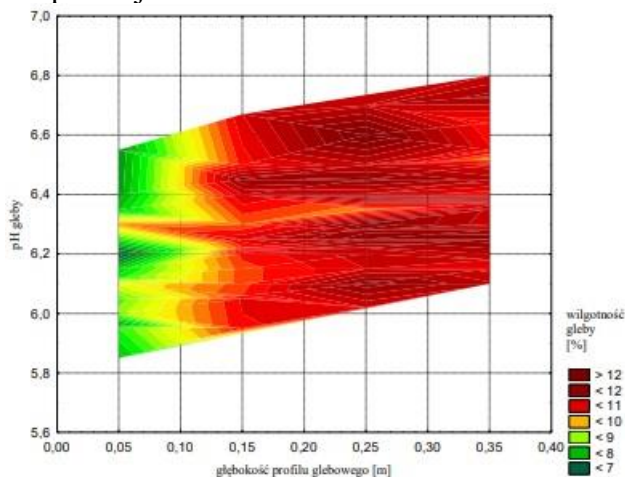
W przypadku relacji pomiędzy przewodnością elektryczną i pH gleby a głębokością profilu glebowego, zaobserwowano, że przy wyższych wartościach przewodności elektrycznej gleby zaobserwowano wyższe wartości pH wraz ze większą głębokością profilu glebowego. Do głębokości 0,12m przewodność elektryczna utrzymuje się na poziomie poniżej 25 mS/m przy wartości pH z zakresu 5,9 – 6,7 (obszar koloru ciemno zielonego przechodzącego w żółty). W głębszych warstwach gleby przewodność elektryczna osiąga najwyższe wartości (25 – 32 mS/m), a pH gleby mieści się w zakresie 6 - 6,8 (obszar czerwony przechodzący w brązowy). W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej gleby o 2 mS/m odnotowano wzrost pH gleby o 0,2. Na rysunku 132 została przedstawiona relacja między przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 132. Relacja pomiędzy przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

Na rysunku 133 została przedstawiona relacja między pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że poniżej głębokości 0,1m wartości odczynu chemicznego gleby utrzymują się poniżej 6,8, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości powyżej 10% (kolor czerwony przechodzący w brązowy), przy czym najwyższe wartości wilgotności gleby można zaobserwować na głębokości 0,25m – pH gleby w tym obszarze przyjmuje wartości z zakresu 6,1 – 6,6 (kolor brązowy). W wierzchnich warstwach gleby (do 0,1 m) pH gleby przyjmuje wartości z zakresu 5,9 – 6,6, a wilgotność gleby przyjmuje wartości poniżej 9%.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 133. Relacja pomiędzy pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu I

### 7.1.5 Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby

W celu określenia wzajemnych zależności między poszczególnymi badanymi parametrami przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Otrzymane wyniki analizy były istotne statystycznie. Macierz korelacji poszczególnych czynników została przedstawiona w tabeli 10. Uzyskane wartości współczynników korelacji przyjęły wartości zarówno ujemne jak i dodatnie.

Stwierdzono istotny związek zwięzłości, przewodności elektrycznej i odczynu chemicznego gleby oraz zawartości w glebie magnezu (Mg) na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych, spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami zwięzłości, przewodności elektrycznej i odczynu chemicznego gleby oraz zawartości w glebie magnezu (Mg). Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji przewodności elektrycznej gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartość -0,97. Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji odczynu chemicznego gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z przedziału (-0,66) – (-0,69).

Stwierdzono również istotny związek głębokości na liczebność badanych mikroorganizmów, wilgotność oraz zawartość w glebie pentatlenku difosforu i tlenu dipotasu. Tak jak poprzednio wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów, wilgotność oraz zawartość w glebie pentatlenku difosforu i tlenu dipotasu wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji

głębokości profilu glebowego i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartość -0,98.

Ujemną korelację zaobserwowano także dla relacji między zwięzłością i przewodnością gleby a jej wilgotnością oraz zawartości w glebie tlenu dipotasu. Współczynnik korelacji uzyskany dla relacji zwięzłości gleby i jej wilgotności, przyjął wartość -0,59, a dla relacji przewodności elektrycznej gleby i jej wilgotności -0,47.

Stwierdzono istotny związek wilgotności oraz zawartości w glebie tlenu dipotasu z liczebnością w glebie bakterii wegetatywnych, spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były dodatnie, co świadczy o wzroście liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami wilgotności oraz zawartości w glebie tlenu dipotasu. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji zawartości w glebie tlenu dipotasu i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z przedziału 0,74 – 0,76. Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji wilgotności gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z przedziału 0,35 – 0,41.

Tabela 10. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a liczebnością badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	<i>głębokość</i> [m]	<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	<i>zwięzłość</i> [MPa]	<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	<i>pH</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> [mg/100g gleby]
<i>głębokość</i> [m]	XXX												
<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	XXX											
<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	0,97*	XXX										
<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	0,97*	0,96*	XXX									
<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	0,97*	0,96*	0,96*	XXX								
<i>zwięzłość</i> [MPa]	0,77*	-0,73*	-0,73*	-0,73*	- 0,72*	XXX							
<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	0,99*	-0,97*	-0,97*	-0,97*	- 0,97*	0,76*	XXX						
<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	-0,46*	0,36*	0,41*	0,41*	0,35*	-0,59*	-0,47*	XXX					
<i>pH</i>	0,53*	-0,49*	-0,54*	-0,51*	- 0,50*	0,45*	0,54*	-0,26*	XXX				
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	-0,22*	0,17	0,23*	0,20*	0,21*	-0,22*	-0,19	0,17	-0,08	XXX			
<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	-0,77*	0,74*	0,76*	0,75*	0,75*	-0,61*	-0,75*	0,40*	- 0,33*	0,62*	XXX		
<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	0,65*	-0,69*	-0,66*	-0,67*	- 0,68*	0,44*	0,63*	-0,16	0,04	-0,23*	-0,60*	XXX	
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> [mg/100g gleby]	-0,03	-0,03	0,03	0,01	0,01	-0,13	0,01	0,11	-0,01	0,87*	0,45*	-0,07	XXX

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

### 7.1.6 Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów

Aby określić wpływ badanych parametrów chemicznych i fizycznych na występowanie poszczególnych gatunków drobnoustrojów występujących w profilu glebowym przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Stwierdzono istotny związek między wszystkimi parametrami fizycznymi oraz większością parametrów chemicznych na bytowanie poszczególnych gatunków mikroorganizmów w profilu glebowym. Zasobność gleby w azotany nie wpływała istotnie na różnorodność gatunkową drobnoustrojów. Zaobserwowano, że bez względu na grupę mikroorganizmów, do których należą wyizolowane gatunki, najwyższe współczynniki korelacji odnotowano dla przewodności elektrycznej, które przyjęły wartości powyżej 0,9 dla większości gatunków. Wyjątek stanowiły gatunki *Bacillus mycoides* (bakterie spoczynkowe) oraz *Fusarium sp.* (grzyby), których współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,85 i -0,64. Warto zauważyć, że wartości współczynników korelacji między przewodnością elektryczną gleby a liczebnością poszczególnych gatunków przyjmują wartości ujemne, co świadczy o spadku liczebności tych drobnoustrojów na obszarach pola charakteryzujących się wysoką przewodnością elektryczną. Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji odnotowano pomiędzy wartościami pH a liczebnością poszczególnych gatunków bakterii vegetatywnych, promieniowców i grzybów oraz między zasobnością gleby w pentatlenek difosforu a liczebnością gatunków z grupy bakterii spoczynkowych. Wartości współczynników korelacji między liczebnością gatunków bakterii vegetatywnych a pH gleby przyjęły wartości z zakresu (-0,49) – (-0,51), między liczebnością gatunków promieniowców a pH gleby przyjęły wartości (-0,52) dla *Streptomyces tanashiensis* oraz 0,5 dla *Streptomyces venezuelae* oraz między liczebnością gatunków grzybów a pH gleby przyjęły wartości z zakresu (-0,36) – (-0,51). W przypadku współczynników korelacji między pH gleby a liczebnością gatunków bakterii spoczynkowych mieściły się w zakresie 0,21–0,22. Wartości współczynników korelacji między poszczególnymi parametrami fizykochemicznymi gleby a liczebnością poszczególnych gatunków drobnoustrojów przedstawia tabela 11.



Tabela 11. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a różnorodnością gatunkową badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	Bakterie spoczynkowe		Bakterie wegetatywne			Promieniowce		Grzyby				
	<i>Bacillus mycoides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Achromobacter denitrificans</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus mycoides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Streptomyces tanashiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Streptomyces venezuelae</i> [jtk/g gleby]	<i>Alternaria alternata</i> [jtk/g gleby]	<i>Fusarium sp.</i> [jtk/g gleby]	<i>Penicillium chrysogenum</i> [jtk/g gleby]	<i>Talaromyces fumiculosus</i> [jtk/g gleby]	<i>Trichophyton rubrum</i> [jtk/g gleby]
<b>zwięzłość [MPa]</b>	-0,59*	-0,72*	-0,75*	-0,01	-0,69*	-0,73*	0,60*	-0,73*	-0,41*	-0,71*	-0,76*	-0,75*
<b>przewodność elektryczna [mS/m]</b>	-0,85*	-0,97*	-0,97*	-0,02	-0,94*	-0,97*	0,90*	-0,98*	-0,64*	-0,97*	-0,90*	-0,98*
<b>wilgotność gleby [%]</b>	0,21*	0,39*	0,51*	-0,33*	0,42*	0,36*	-0,13	0,38*	-0,15	0,39*	0,67*	0,42*
<b>pH</b>	-0,52*	-0,53*	-0,51*	0,06	-0,49*	-0,52*	0,50*	-0,51*	-0,36*	-0,50*	-0,44*	-0,51*
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [mg/100g gleby]</b>	0,22*	0,21*	0,19	-0,04	0,17	0,21*	-0,17	0,20*	0,15	0,19	0,20	0,22*
<b>K<sub>2</sub>O [mg/100g gleby]</b>	0,64*	0,77*	0,77*	-0,10	0,75*	0,76*	-0,70*	0,76*	0,45*	0,76*	0,73*	0,76*
<b>Mg [mg/100g gleby]</b>	-0,61*	-0,66*	-0,64*	-0,12	-0,64*	-0,67*	0,64*	-0,67*	-0,52*	-0,67*	-0,58*	-0,66*
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [mg/100g gleby]</b>	0,06	-0,01	-0,02	0,05	-0,06	0,01	0,04	0,00	0,08	-0,02	0,00	0,03

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

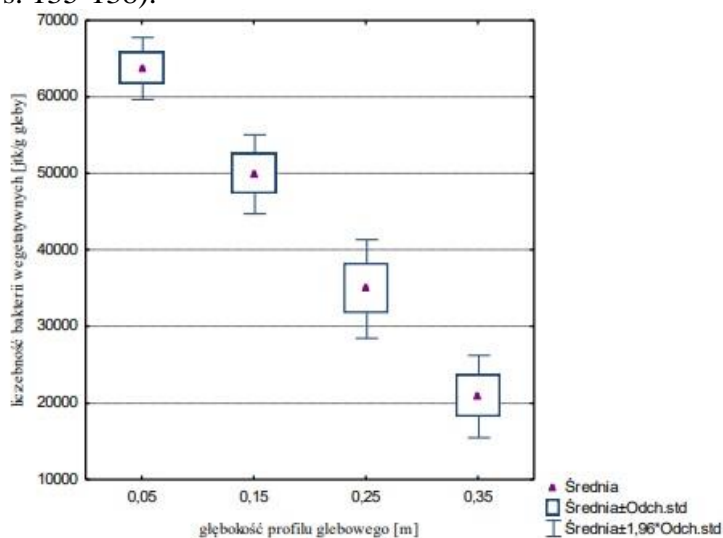
Źródło: opracowanie własne

## 7.2 Obiekt II

### 7.2.1 Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby

Na podstawie wyników laboratoryjnych analiz mikrobiologicznych profilu glebowego określono ilościowe występowanie czterech grup mikroorganizmów: bakterii wegetatywnych i spoczynkowych, promieniowców oraz grzybów. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów zmniejsza się.

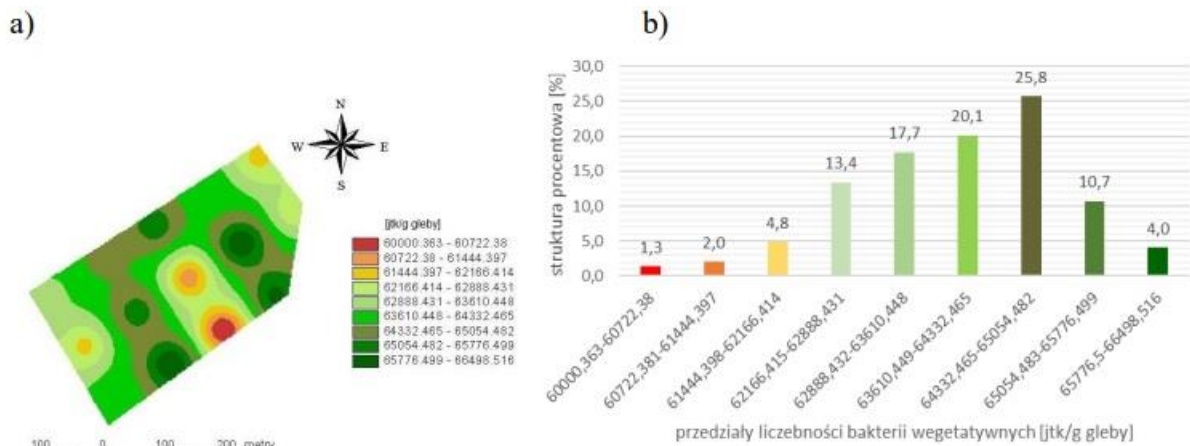
Liczebność bakterii wegetatywnych w profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 134. Wyróżniono cztery grupy jednorodnej liczebności tych bakterii w profilu glebowym. Najmniejszą średnią wartość liczebności bakterii wegetatywnych wynoszącą 47 535,7 jtk/g gleby odnotowano na głębokości 0,35m, natomiast najwyższą średnią dla głębokości 0,05m – 63 821,4 jtk/g gleby. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych mikroorganizmów uzyskane na różnych poziomach głębokości były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowaniu niektórych cech profilu glebowego wpływających na występowanie w glebie badanych drobnoustrojów. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii wegetatywnych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 135-138).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 134. Liczebność bakterii wegetatywnych profilu glebowego pola obiektu II

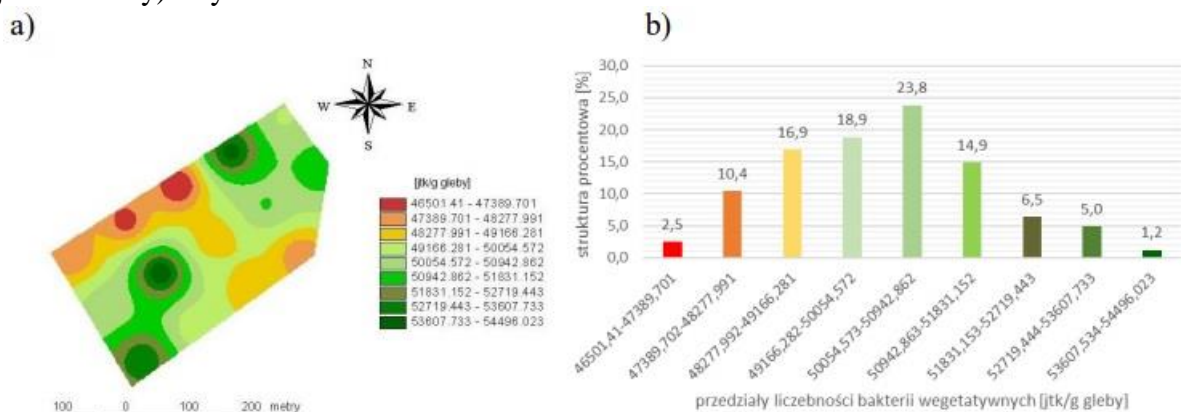
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m (przedział 65 776,5 – 66 498,516 jtk/g gleby) stanowiła 4%. Nieco mniejszą powierzchnię – 1,3% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii wegetatywnych była najniższa i mieściła się w przedziale 60 000,363 – 60 722,38 jtk/g gleby (rys. 135b). Na terenie obejmującym aż 25,8% pola zaobserwowano wartości liczebności bakterii wegetatywnych mieszczące się w przedziale wartości 64 332,465 – 65 054,482 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany głównie w centralnej części pola (rys. 135a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 135. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

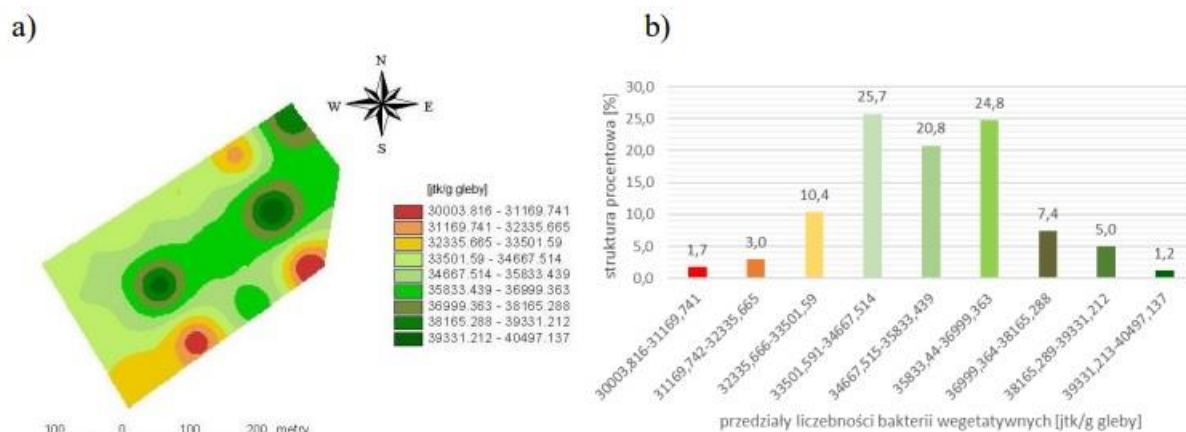
W przypadku liczebności bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m najwyższą liczebność bakterii odnotowano na powierzchni zajmującej 1,2% (przedział wartości 53 607,534 – 54 496,023 jtk/g gleby). Większą powierzchnię (2,5%) zajmowały obszary, na których liczebność bakterii była najniższa. Powierzchnię zajmującą 23,8% zajmowały obszary charakteryzujące się liczebnością bakterii wegetatywnych z przedziału 50 054,573 – 50 942,862 jtk/g gleby, znajdujące się we wschodniej części pola (kolor jasnozielony) – rysunek 136a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 136. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

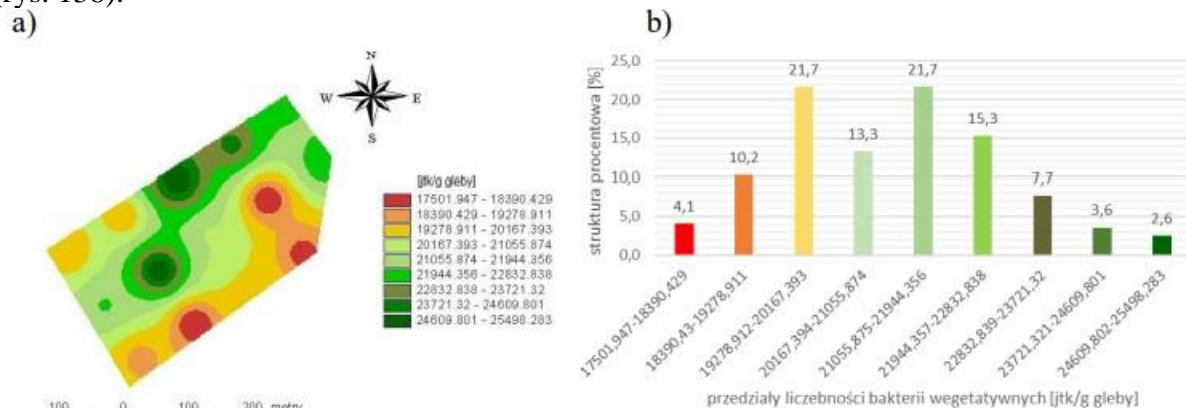
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność bakterii wegetatywnych odnotowano głównie w centralnej części pola (powierzchnia 1,2%), a najniższą w południowo- wschodniej części pola (powierzchnia 1,7%). Teren zajmujący 25,7% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii wegetatywnych mieszczącą się w przedziale wartości 33 501,591 – 34 667,514 jtk/g gleby. Obszar ten był skonsolidowany również w centralnej części pola (kolor jasno zielony) – rysunek 137a.



Rys. 137. Występowanie bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii vegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii vegetatywnych

Źródło: opracowanie własne

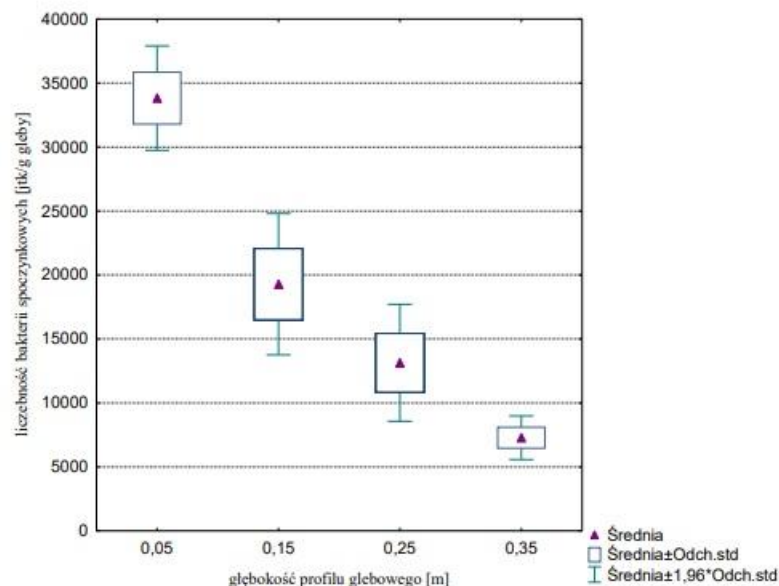
Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii vegetatywnych mieszczącą się w przedziale 24 609,802 – 25 498,283 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 2,6% pola. Najniższą liczebność bakterii vegetatywnych (przedział wartości 17 501,947 – 18 390,429 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 4,1%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczały się obszary (21,7%) znajdujące się głównie w południowo-wschodniej części pola (kolor żółty) oraz w centralnej części pola (kolor jasno zielony) (rys. 138).



Rys. 138. Występowanie bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii vegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii vegetatywnych

Źródło: opracowanie własne

Również w przypadku ilościowego występowania w profilu glebowym bakterii spoczynkowych wyróżniono cztery grupy jednorodnej liczebności tych mikroorganizmów (rys. 139). Najniższą średnią wartość liczebności bakterii spoczynkowych zaobserwowano na głębokości 0,35m, gdzie wyniosła ona 25 857,1 jtk/g gleby, natomiast najwyższą średnią dla głębokości 0,05m, wynoszącą 36 500 jtk/g gleby. Również w przypadku wartości liczebności uzyskanych dla grupy bakterii spoczynkowych na różnych poziomach głębokości były istotnie różne. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii spoczynkowych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 140-143).

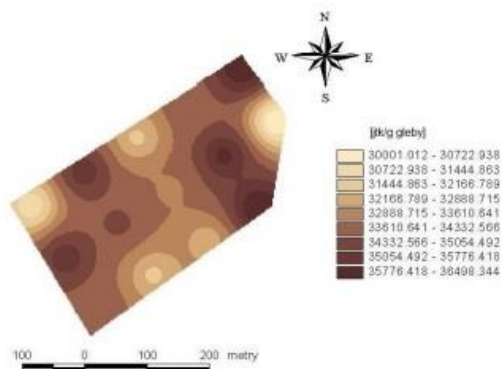


Źródło: opracowanie własne

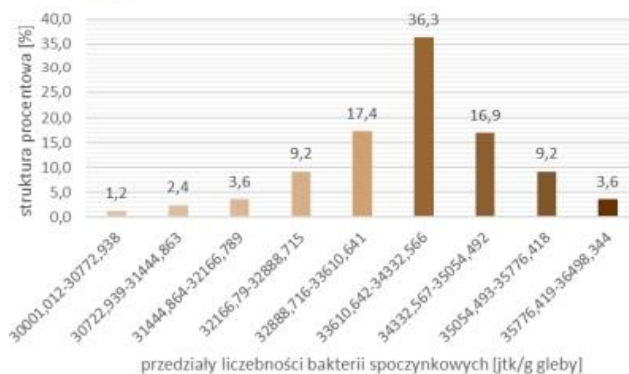
Rys. 139. Liczebność bakterii spoczynkowych profilu glebowego pola obiektu II

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m (przedział 35 776,419 – 36 498,314 jtk/g gleby) stanowiła 3,6% - rys. 140b. Trzykrotnie mniejszą powierzchnię stanowiły obszary, na których liczebność bakterii spoczynkowych była najniższa i mieściła się w przedziale 30 001,012 – 30 772,938 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym aż 36,3% pola zaobserwowano wartości liczebność bakterii spoczynkowych mieszczące się w przedziale wartości 33 610,642 – 34 332,566 jtk/g gleby (rys. 140a).

a)



b)



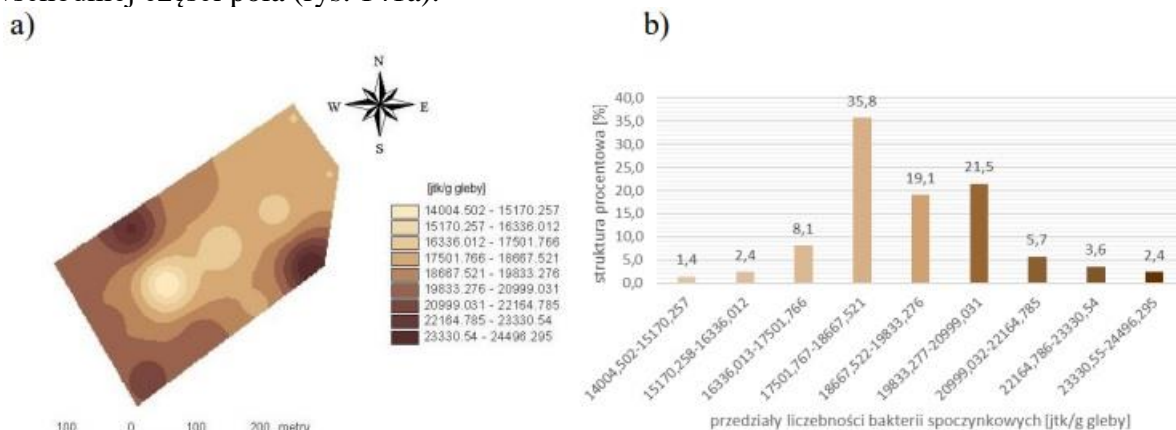
Źródło: opracowanie własne

Rys. 140. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m (przedział 23 330,55 – 24 496,295 jtk/g gleby) stanowiła 2,4% - rys. 141b. Nieco mniejszą powierzchnię – 1,4% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii spoczynkowych była najniższa i mieściła się w przedziale 14 004,502 – 15 170,257 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym aż 35,8% pola zaobserwowano wartości liczebność bakterii spoczynkowych mieszczące się w przedziale wartości



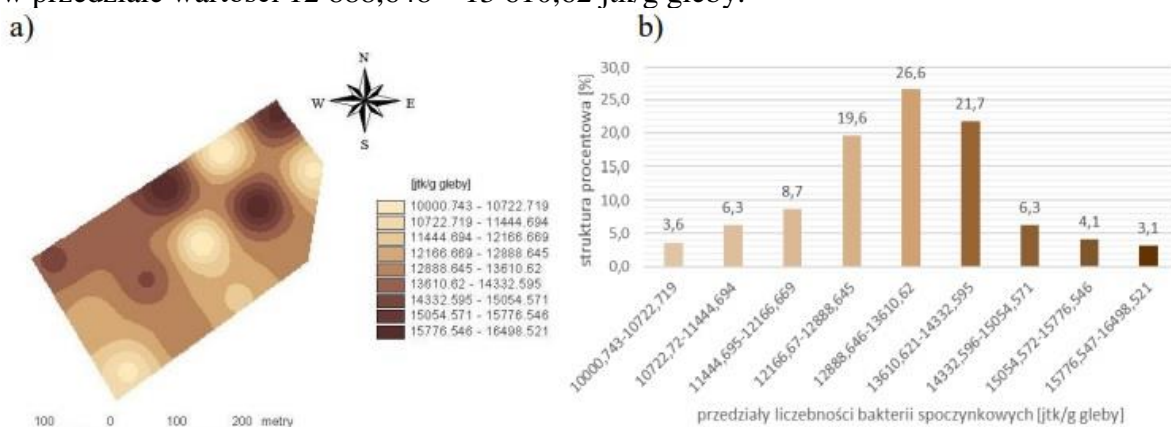
17 501,767 – 18 667,521 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej i północno-wschodniej części pola (rys. 141a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 141. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

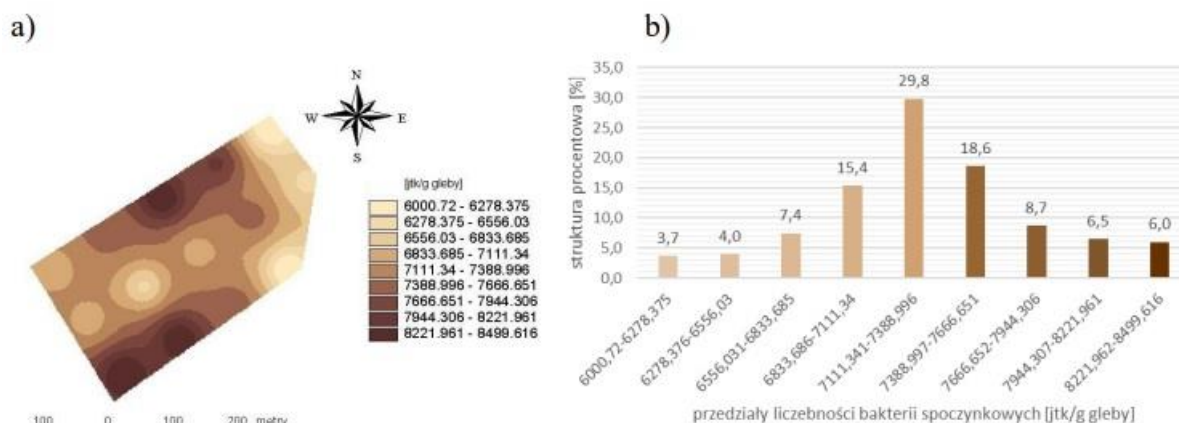
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m, na obszarach skonsolidowanych w północno-wschodniej części pola odnotowano zarówno najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych na powierzchni stanowiącej 3,1%, jak i najniższą liczebność tej grupy zajmującą 9,3% powierzchni pola – rysunek 142a. Teren zajmujący 26,6% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale wartości 12 888,648 – 13 610,62 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 142. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale 8 221,962 – 8 499,616 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 6% pola (rys. 143b). Najniższą liczebność bakterii spoczynkowych (przedział wartości 6 000,72 – 6 278,375 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 3,7%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczał się obszar (29,8%) znajdujący się w centralnej części pola (rys. 143a).



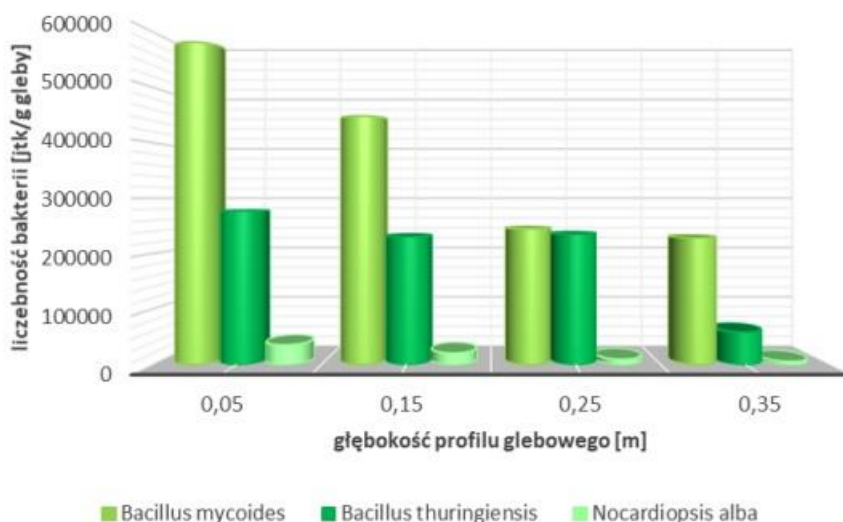
Źródło: opracowanie własne

Rys. 143. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Do identyfikacji zostały wybrane szczepy bakteryjne najczęściej izolowane. Wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus mycoides* (rys. 154)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 155)
3. *Nocardiopsis alba* (rys. 156)

Liczebność określonych szczepów bakterii wegetatywnych w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 144. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Bacillus mycoides*, *Bacillus thuringiensis* i *Nocardiopsis alba*. Należy zauważyć, że liczebność tych bakterii malała wraz ze wzrostem głębokości, przy czym najliczniej występującą bakteria była *Bacillus mycoides*. W wierzchniej warstwie odnotowano jej liczebność na poziomie 580 775 jtk/g gleby, a w najgłębszej 228 930 jtk/g gleby. Gatunkiem charakteryzującym się najniższą liczebnością był *Nocardiopsis alba*, którego liczebność w analizowanym profilu glebowym nie przekroczyła 4%.



Źródło: opracowanie własne

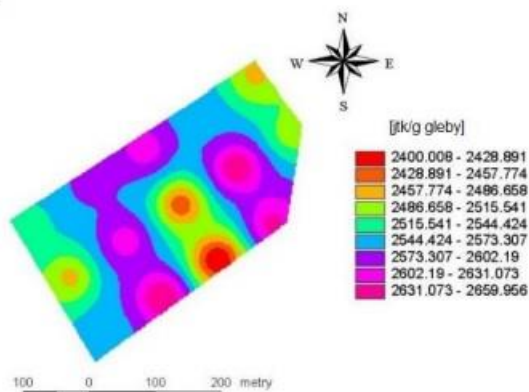
Rys. 144. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii wegetatywnych w profilu glebowym obiektu II

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano trzy gatunki bakterii wegetatywnych: *Bacillus mycoides*, *Bacillus thuringiensis* i *Nocardiosis alba*. Najwyższą liczebnością gatunku *Nocardiosis alba* mieszczącą się w przedziale wartości 2 631,073 – 2 659,956 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 4,5% (rys. 145b). Teren ten znajdował się w południowo- wschodniej i zachodniej części pola - rys. 145a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 400,008 – 2 428,891 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,3%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Nocardiosis alba* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (30,5%).

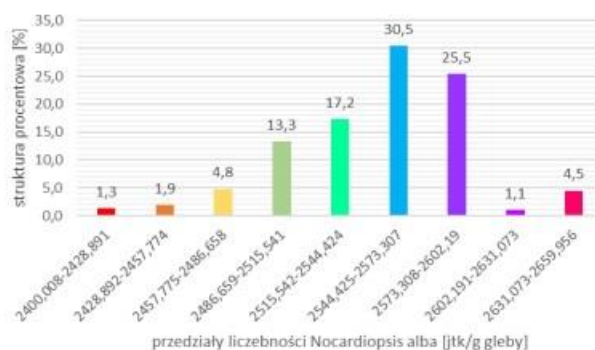
W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 42 754,936 – 43 224,285 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,9% (rys. 145d). Teren ten znajdował się w południowo- wschodniej i zachodniej części pola - rys. 145c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 39 000,137 – 39 469,487 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,9%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 20 390,817 – 20 614,66 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,7% (rys. 145f). Teren ten znajdował się w południowo- wschodniej i zachodniej części pola - rys. 145e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 18 600,064 – 18 823,908 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (28%).

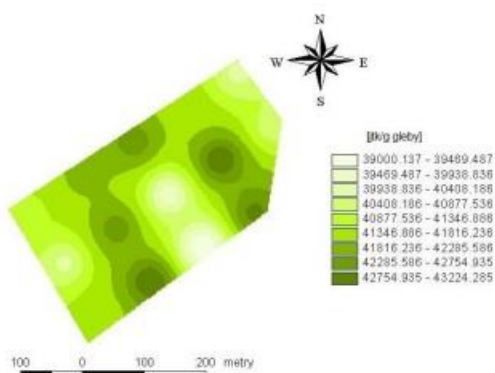
a)



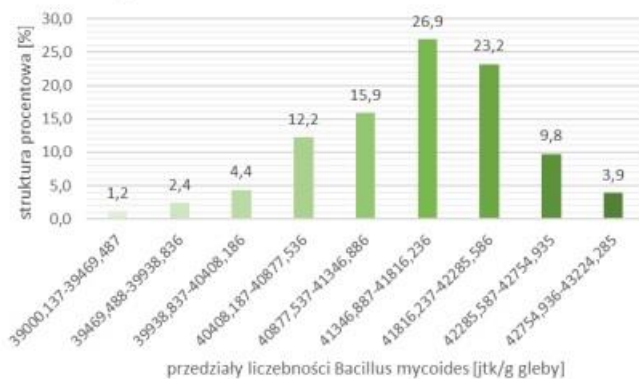
b)

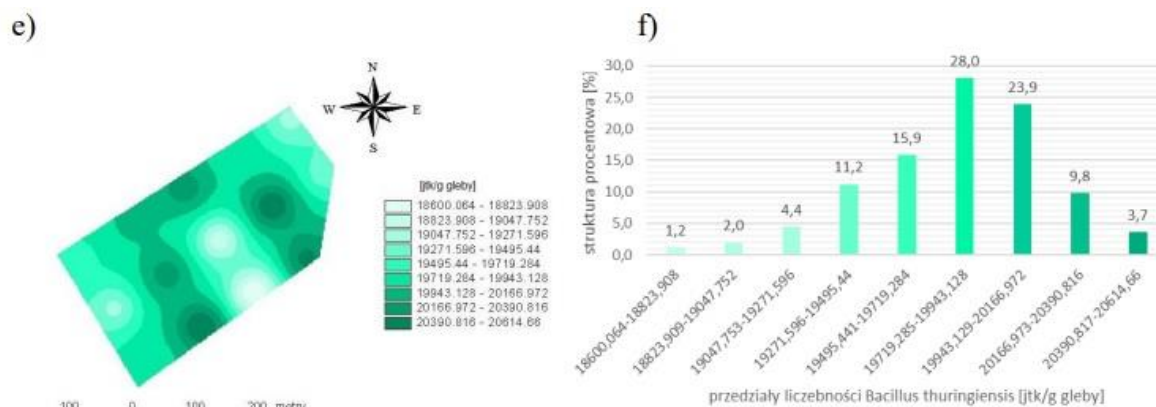


c)



d)





Źródło: opracowanie własne

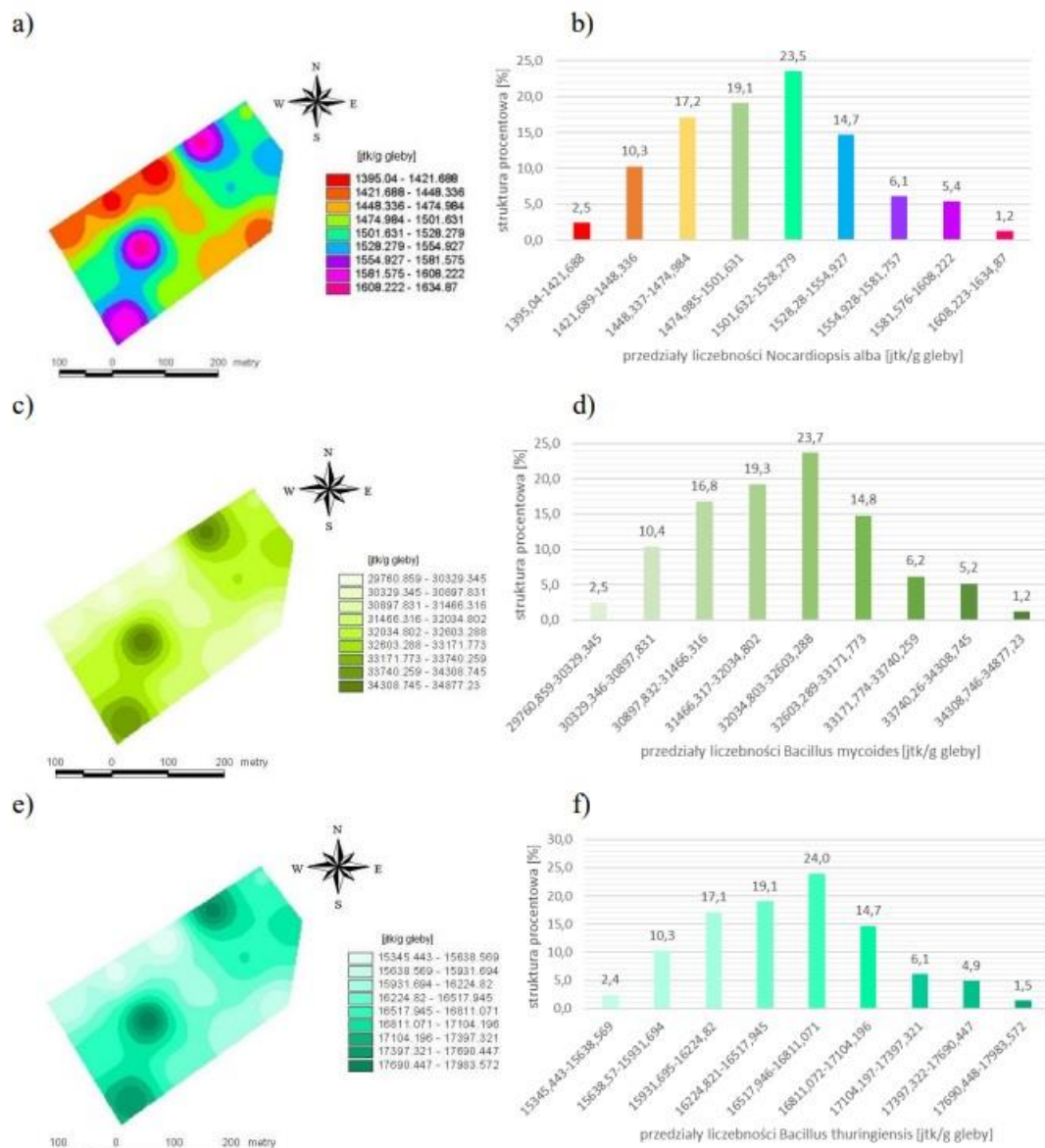
Rys. 145. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05 m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Nocardioopsis alba*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Nocardioopsis alba*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują trzy gatunki bakterii wegetatywnych. Najwyższą liczebnością gatunku *Nocardioopsis alba* mieszczącą się w przedziale wartości 1 608,223 – 1 634,87 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,2% (rys. 146b). Teren ten również znajdował się w północno-zachodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 146a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 395,04 – 1 421,688 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,5%) skonsolidowany w północno-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Nocardioopsis alba* odznaczał się teren znajdujący się w południowej i północnej części pola (23,5%).

W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 34 308,746 – 34 877,23 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7% (rys. 146b). Teren ten znajdował się w północno-zachodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 146c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 29 760,859 – 30 329,345 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,5%) skonsolidowany w północno-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w południowej i północnej części pola (23,7%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 17 690,448 – 17 983,572 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 146f). Teren ten również znajdował się w północno-zachodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 146e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 15 345,443 – 15 638,569 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,4%) skonsolidowany w północno-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w południowej i północnej części pola (24%).





Źródło: opracowanie własne

Rys. 146. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Nocardioopsis alba*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Nocardioopsis alba*

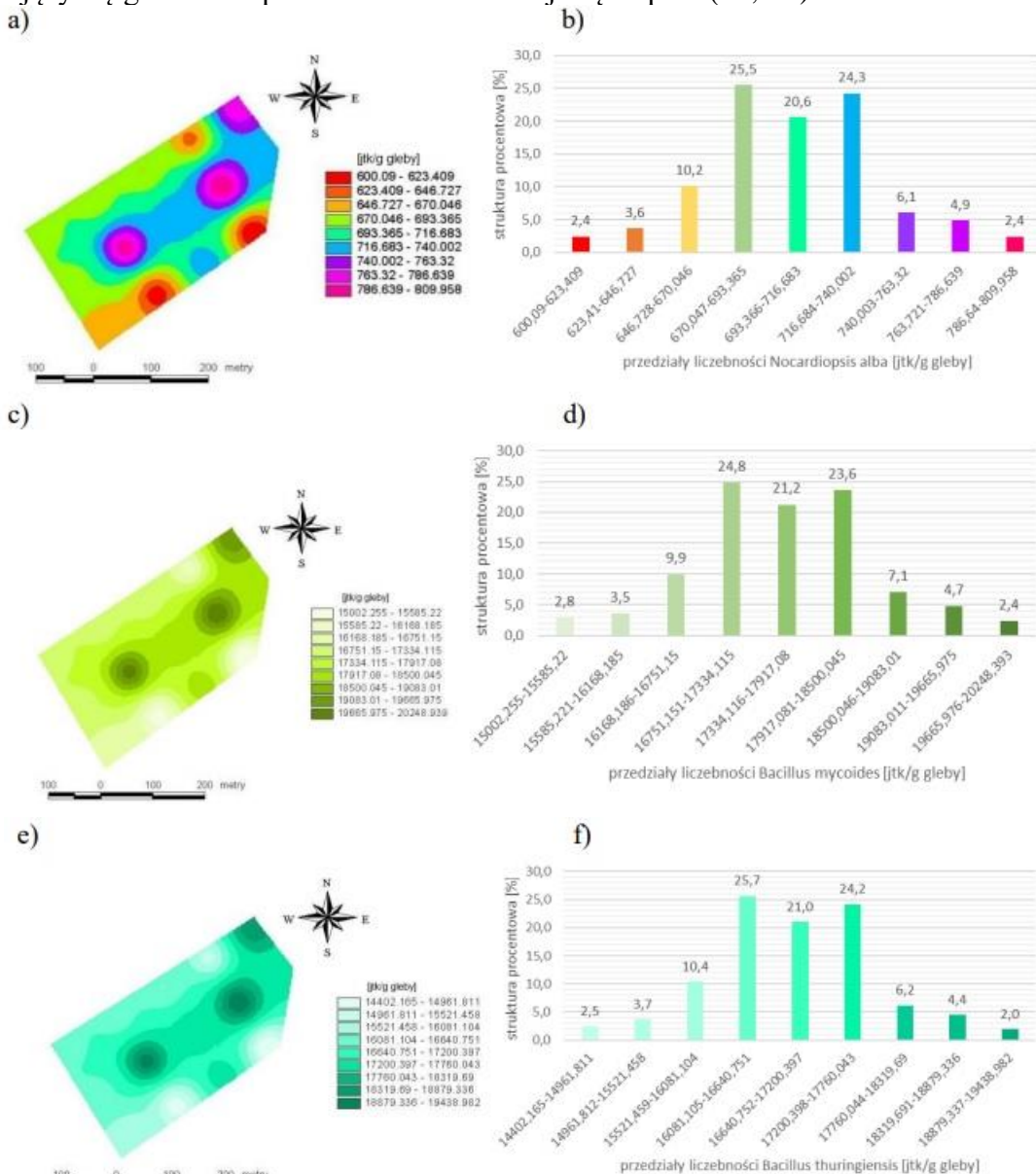
W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Nocardioopsis alba*, najwyższą liczebnością gatunku mieszczącą się w przedziale wartości 786,64 – 809,958 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 147b). Teren ten również znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 147a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 600,09 – 623,409 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,4%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Nocardioopsis alba* odznaczał się teren znajdujący się w południowo-zachodniej części pola (25,5%).

*Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 19 665,976 – 20 248,393 jtk/g gleby charakteryzowała się



powierzchnia zajmująca zaledwie 2,4% (rys. 147d). Teren ten znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 147c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 15 002,255 – 15 585,22 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,8%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w południowo-zachodniej części pola (24,8%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 18 879,337 – 19 438,982 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2% (rys. 147f). Teren ten również znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 147e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 14 402,165 – 14 961,811 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,5%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w południowo-zachodniej części pola (25,7%).



Źródło: opracowanie własne

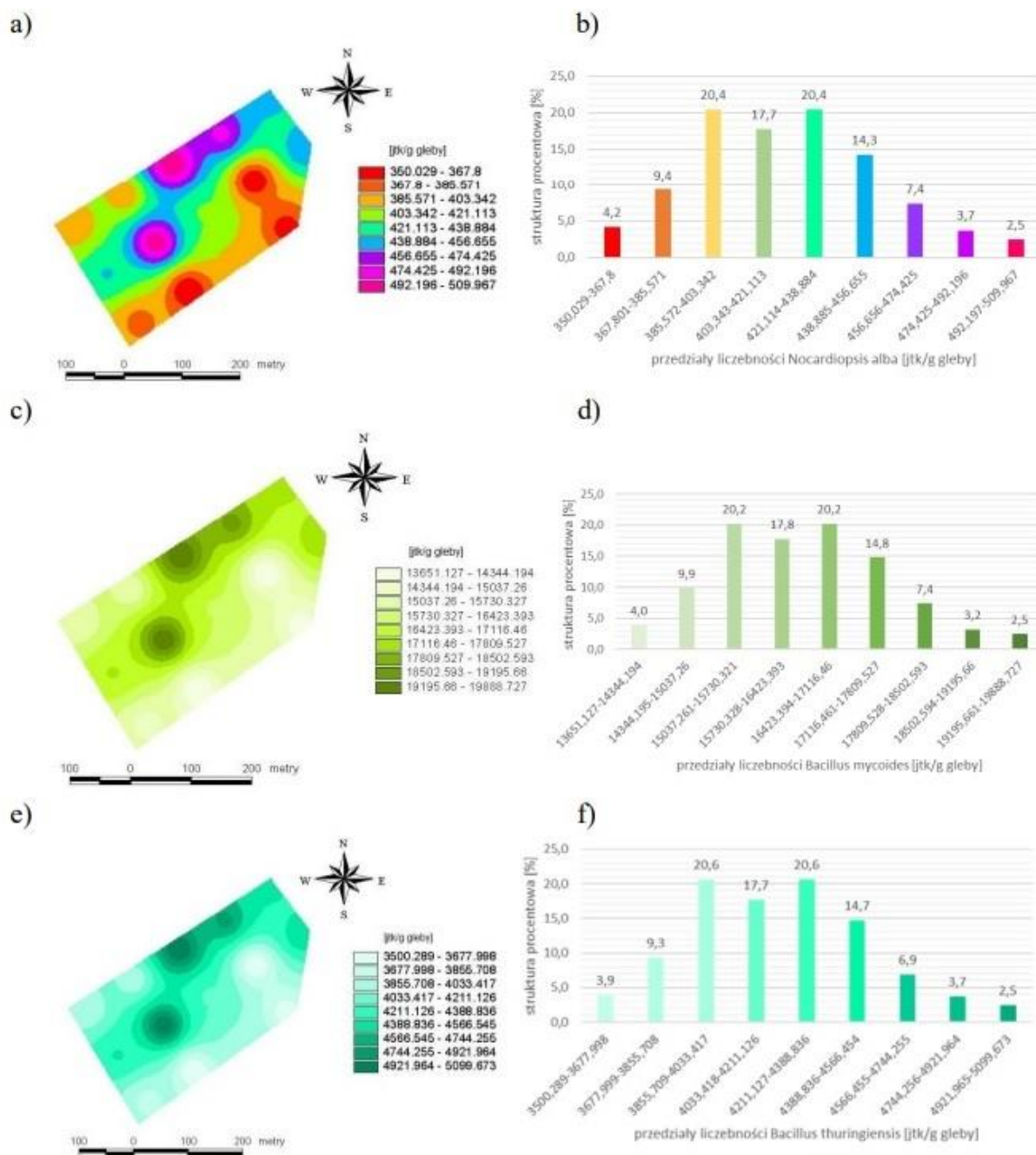
Rys. 147. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów

występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Nocardiopsis alba*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Nocardiopsis alba*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Nocardiopsis alba*, najwyższą liczebnością gatunku mieszczącą się w przedziale wartości 492,197 – 509,967 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,5% (rys. 148b). Teren ten również znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 148a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 350,029 – 367,8 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,2%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Nocardiopsis alba* odznaczał się teren znajdujący się w południowo-zachodniej centralnej części pola (łącznie 40,8%).

*Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 19 195,661 – 19 888,727 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,5% (rys. 148d). Teren ten znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 148c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 13 651,127 – 14 344,194 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (4%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w południowo-zachodniej centralnej części pola (łącznie 40,4%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 4 921,965 – 5 099,673 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,5% (rys. 148f). Teren ten znajdował się w północnej i centralnej części pola - rys. 148e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 3 500,289 – 3 677,998 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3,9%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w południowo-zachodniej centralnej części pola (łącznie 41,2%).



Źródło: opracowanie własne

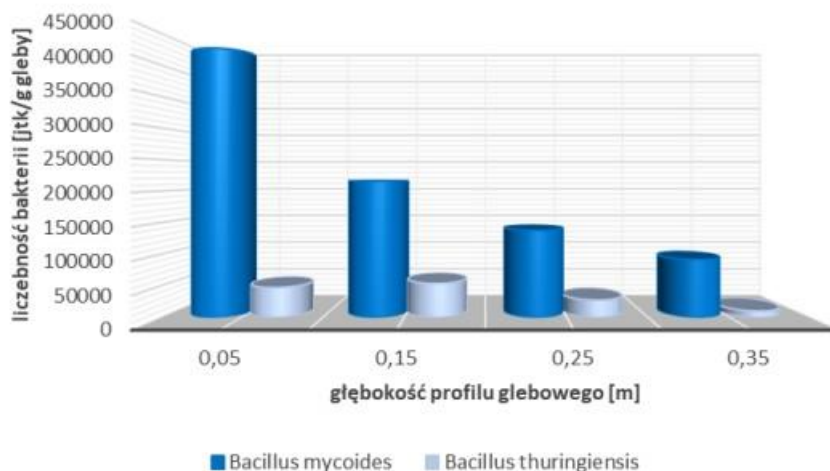
Rys. 148. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Nocardioopsis alba*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Nocardioopsis alba*

Natomiast w grupie bakterii spoczynkowych, wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus mycoides* (rys. 154)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 155)

Liczebność określonych szczepów bakterii spoczynkowych w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 149. W profilu glebowym na

wszystkich analizowanych głębokościach stwierdzono obecność obu wyizolowanych szczepów bakterii spoczynkowych *Bacillus mycoides* i *Bacillus thuringiensis*, gdzie najwyższą liczebnością odznaczał się szczep *Bacillus mycoides*. W wierzchniej warstwie gleby odnotowano liczebność *Bacillus mycoides* na poziomie 426 150 jtk/g gleby, a *Bacillus thuringiensis* 47 350 jtk/g gleby. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,35m) liczebność obu szczepów spadła do odpowiednio 91 800 jtk/g gleby i 10 200 jtk/g gleby.



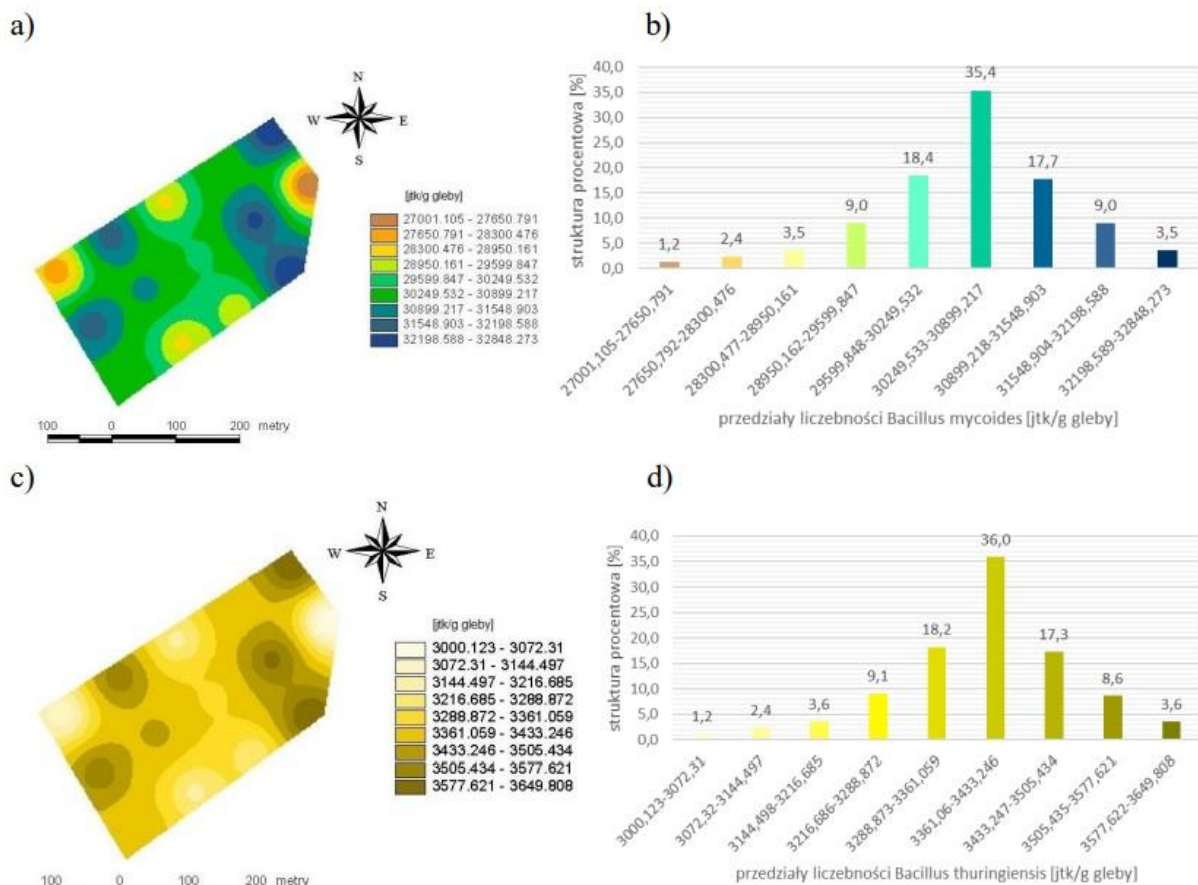
Źródło: opracowanie własne

Rys. 149. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii spoczynkowych w profilu glebowym obiektu II

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki bakterii spoczynkowych: *Bacillus mycoides* i *Bacillus thuringiensis*. W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 32 198,589 – 32 848,273 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,5% (rys. 101b). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej części pola - rys. 150a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 27 001,105 – 27 650,791 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (aż 35,4%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 3 577,622 – 3 649,808 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,6% (rys. 150d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 150c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 3 000,123 – 3 072,31 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w południowo- wschodniej i południowo-zachodniej części pola (aż 36%).





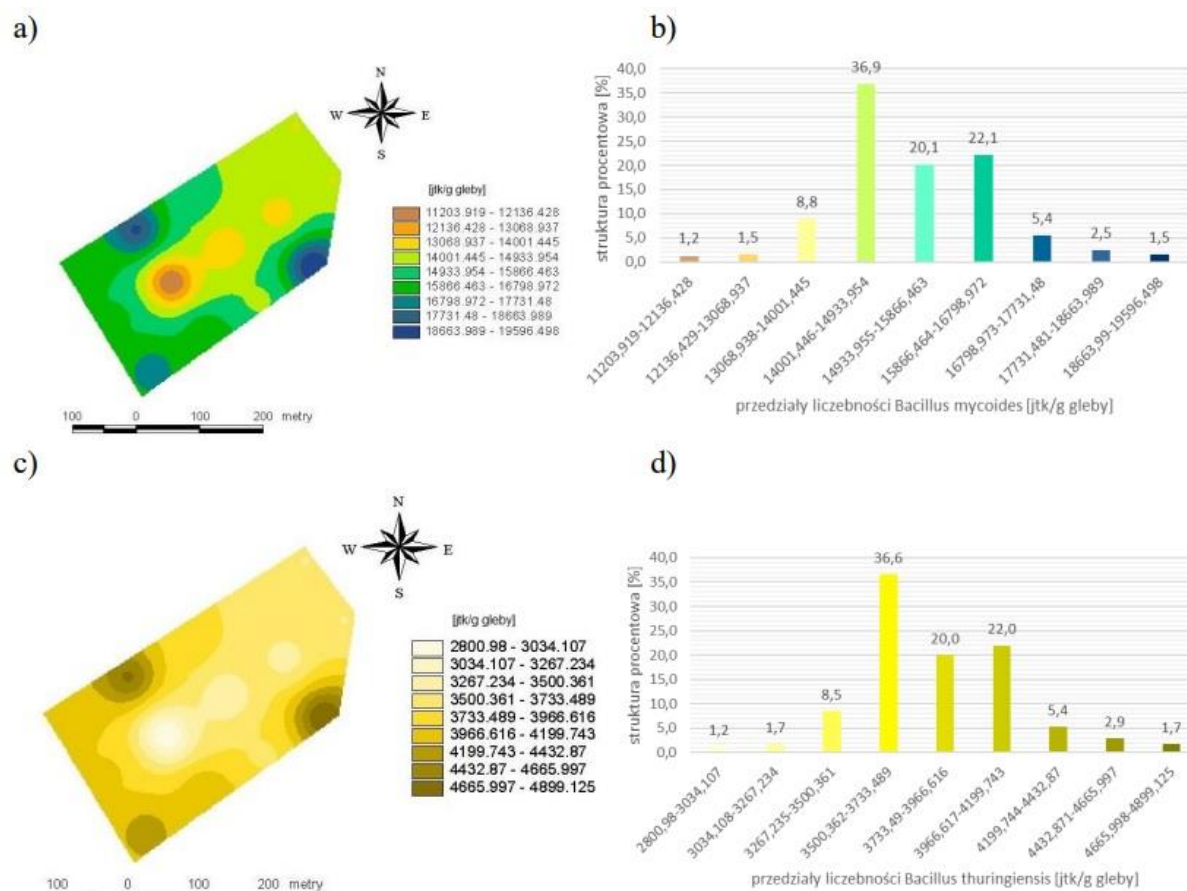
Źródło: opracowanie własne

Rys. 150. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują trzy gatunki bakterii wegetatywnych. W przypadku *Bacillus mycoides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 18 663,99 – 19 596,498 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5 % (rys. 151b). Teren ten znajdował się w południowej i południowo-zachodniej części pola - rys. 151a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 11 203,919 – 12 136,428 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (1,2%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w północno- wschodniej i centralnej części pola (aż 36,9%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 4 665,998 – 4 899,125 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7% (rys. 151d). Teren ten również znajdował się w południowej i południowo-zachodniej części pola - rys. 151c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 800,98 – 3 034,107 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w północno- wschodniej i centralnej części pola (aż 36,6%).



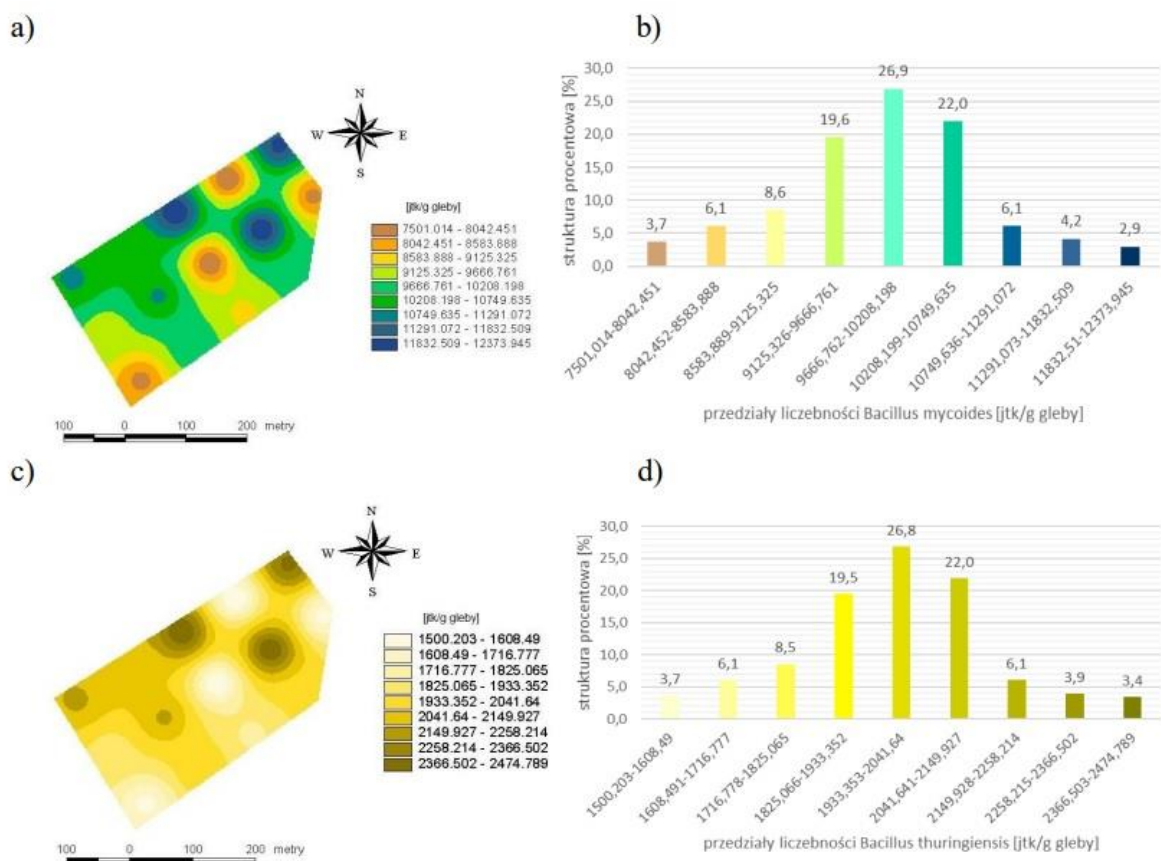


Źródło: opracowanie własne

Rys. 151. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 11 832,51 – 12 373,945 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,9% (rys. 152b). Teren ten znajdował się w północnej części pola - rys. 152a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 7 501,014 – 8 042,451 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (3,7%) skonsolidowany w północnej i południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,9%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 366,503 – 2 474,789 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,4% (rys. 152d). Teren ten również znajdował się w północnej części pola - rys. 152c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 500,203 – 1 608,49 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3,7%) skonsolidowany w północnej i południowej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,8%).

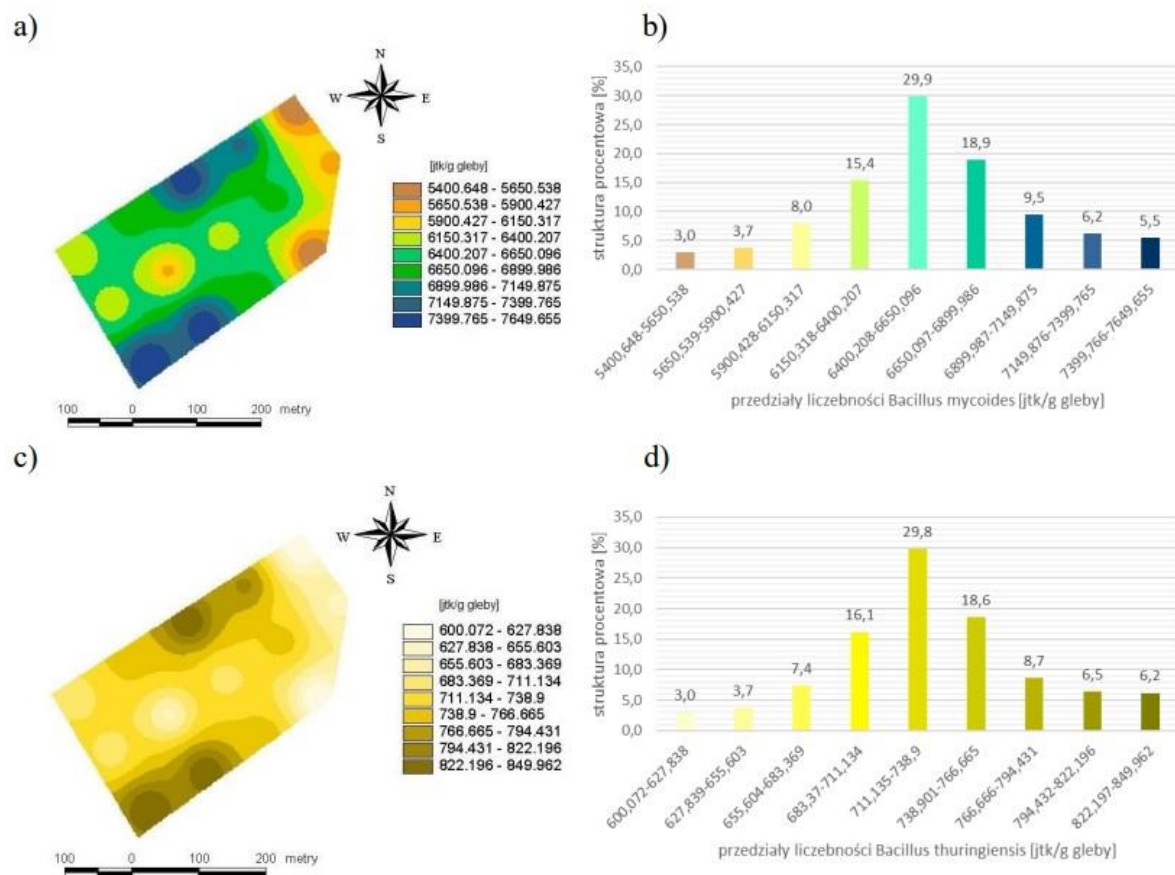


Źródło: opracowanie własne

Rys. 152. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Bacillus mycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 7 399,766 – 7 649,655 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 5,5% (rys. 153b). Teren ten znajdował się w południowo-wschodniej i północno-zachodniej części pola - rys. 153a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 5 400,648 – 5 650,538 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (3%) skonsolidowany w północno-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus mycoides* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej części pola (29,9%).

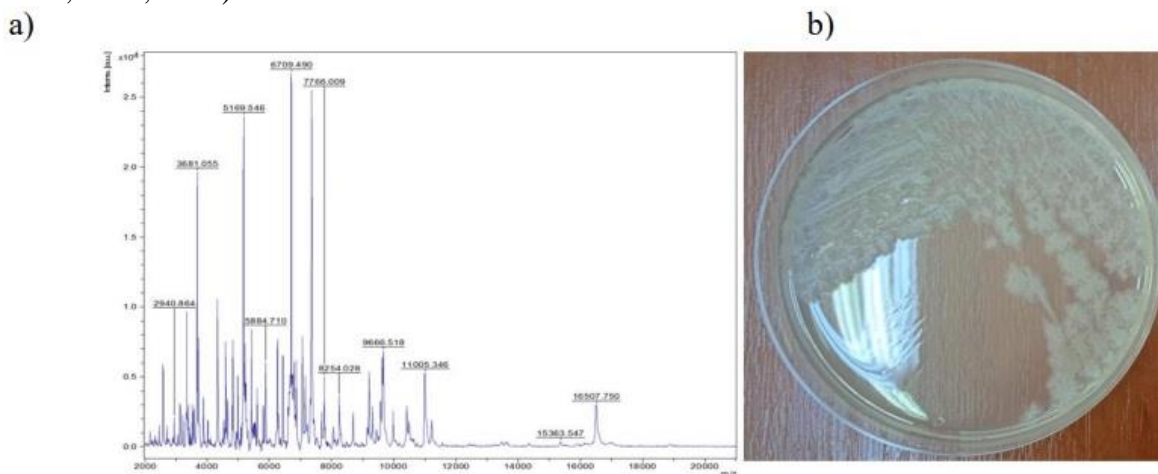
W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 822,197 – 849,962 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 6,2% (rys. 153d). Teren ten również znajdował się w południowo-wschodniej i północno-zachodniej części pola - rys. 153c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 600,197 – 627,838 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3%) skonsolidowany w północno-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (29,8%).



Źródło: opracowanie własne

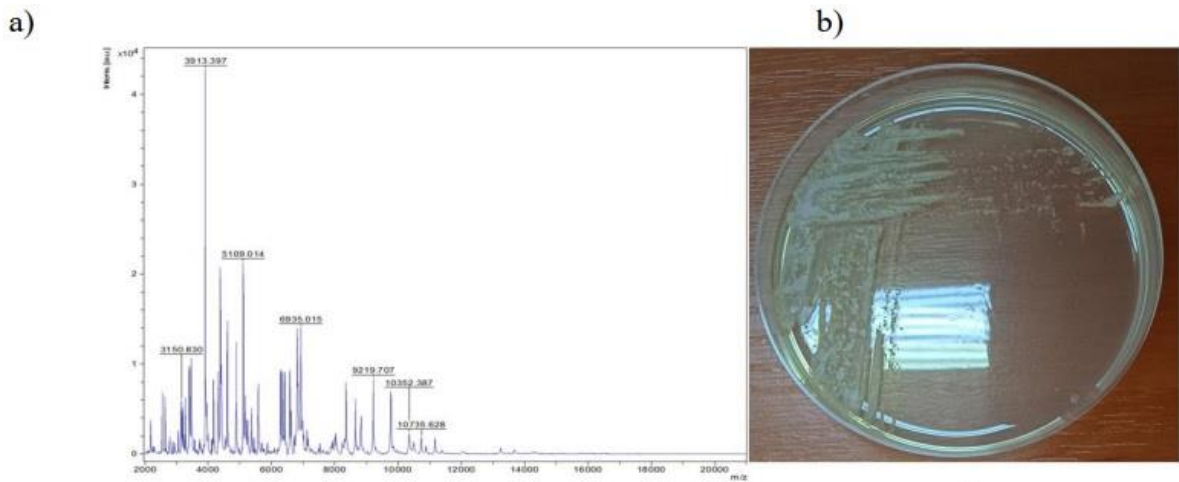
Rys. 153. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,35 m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus mycoides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus mycoides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

Uzyskane widmo masowe zostało porównane z widmem masowym o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującym się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunki 154a, 155a, 156a).



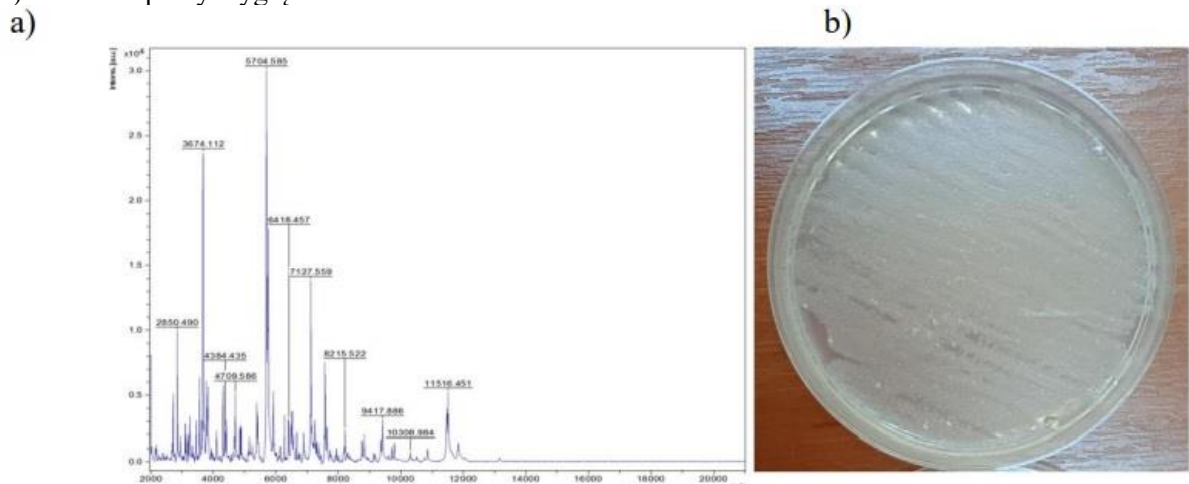
Źródło: opracowanie własne

Rys. 154. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus mycoides*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne

Rys. 155. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus thuringiensis*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

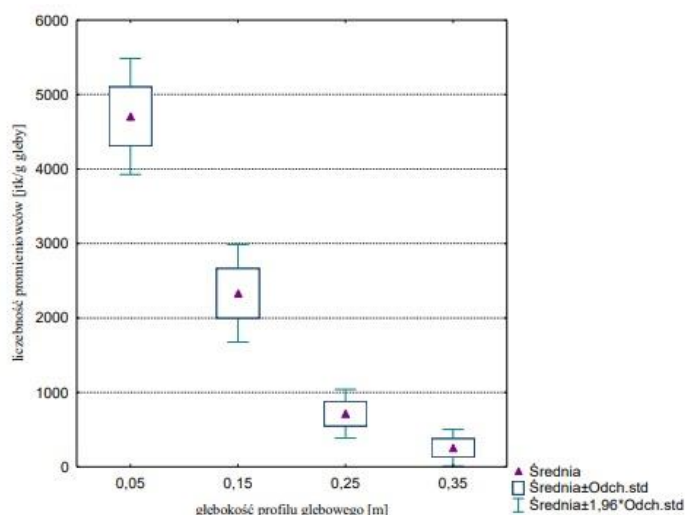


Źródło: opracowanie własne

Rys. 156. Wynik identyfikacji gatunkowej *Nocardiosis alba*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Na rysunku 157 została zilustrowana liczebność promieniowców na poszczególnych poziomach profilu glebowego. Podobnie jak w przypadku bakterii wegetatywnych i spoczynkowych wyróżniono cztery grupy jednorodnie prezentujące liczebność promieniowców. Najniższą średnią wartość liczebności promieniowców uzyskano na głębokości 0,35m a najwyższą na 0,05m. Wyniosły one odpowiednio 3 635,7 jtk/g gleby i 7 635,7 jtk/g gleby. Uzyskane wartości liczebności promieniowców były istotnie różne na poszczególnych poziomach profilu glebowego. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania promieniowców na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 158-161).

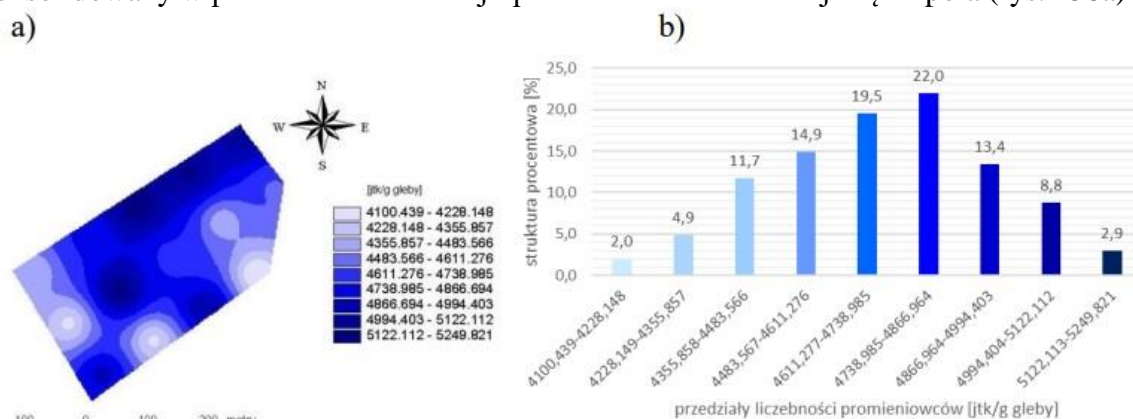




Źródło: opracowanie własne

Rys. 157. Liczebność promieniowców profilu glebowego pola obiektu II

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością promieniowców w glebie na głębokości 0,05m (przedział 5 122,113 – 5 249,821 jtk/g gleby) stanowiła 2,9% (rys. 158b). Nieco mniejszą powierzchnię – 2% stanowiły obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa i mieściła się w przedziale 4 100,439 – 4 228,148 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym 22% pola zaobserwowano wartości liczebność promieniowców mieszczą się w przedziale wartości 4 738,985 – 4 866,964 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w północno- zachodniej i południowo- wschodniej części pola (rys. 158a)

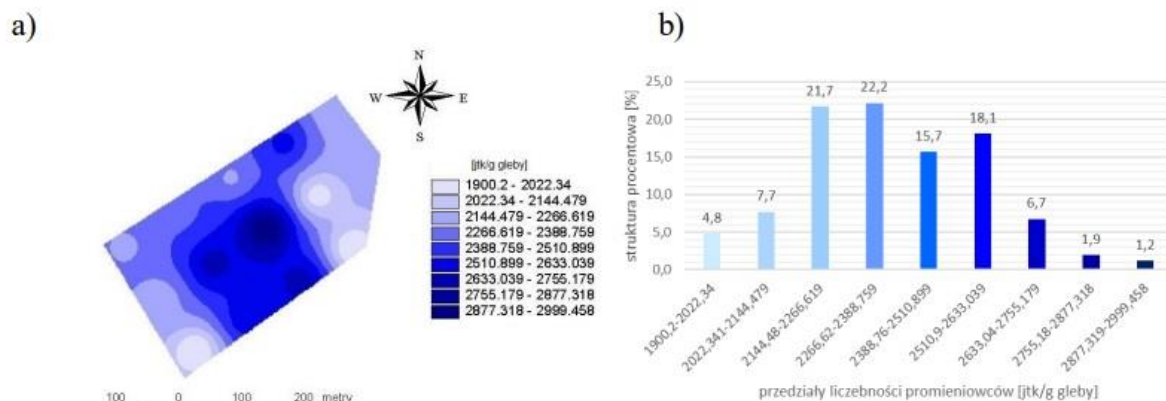


Źródło: opracowanie własne

Rys. 158. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

W przypadku liczebności promieniowców w glebie na głębokości 0,15m najwyższą ich liczebność odnotowano na powierzchni zajmującej 1,2% (przedział wartości 2 877,319 – 2 999,458 jtk/g gleby) – rysunek 159b. Czterokrotnie większą powierzchnię (4,8%) zajmowały obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa. Powierzchnię 22,2% zajmowały obszary znajdujące się w północno-wschodniej i południowo- zachodniej części pola (rys. 159a), na których liczebność promieniowców mieściła się w przedziale wartości 2 266,62 – 2 388,759 jtk/g gleby.

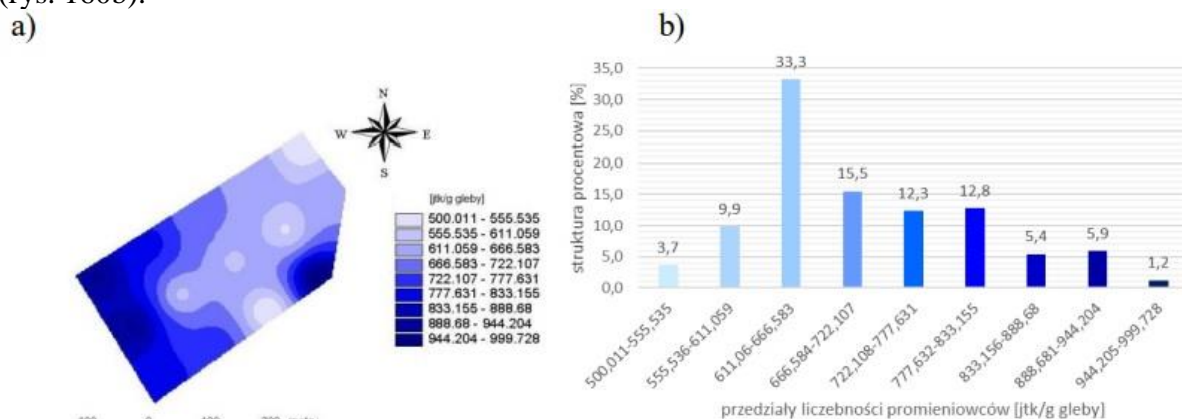




Źródło: opracowanie własne

Rys. 159. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

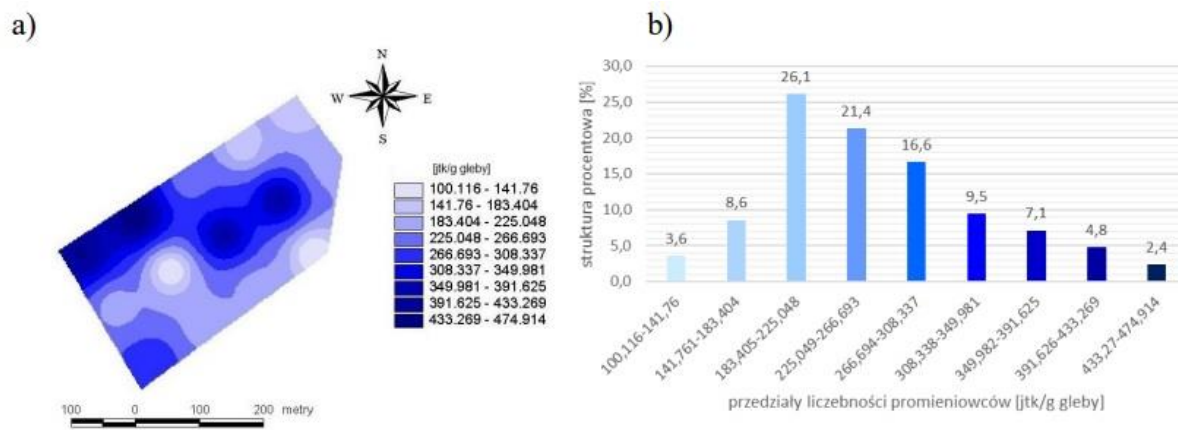
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność promieniowców odnotowano na obszarze znajdującym się głównie a południowym krańcu pola (powierzchnia 1,2%) – rysunek 160a, natomiast najniższą w centralnej jego części (powierzchnia 3,7%). Teren zajmujący aż 33,3% powierzchni pola obejmował liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale wartości 611,06 – 666,583 jtk/g gleby (rys. 160b).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 160. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

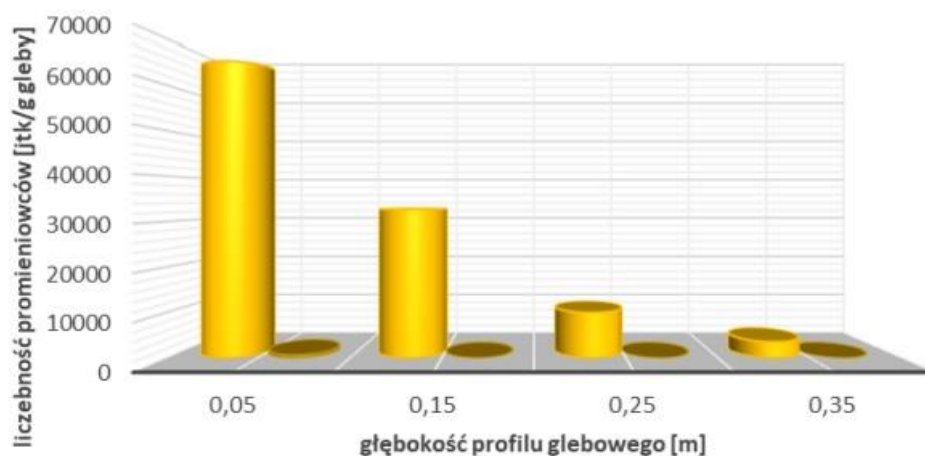
Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale 433,27 – 474,914 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 2,4% pola (rys. 161b). Najniższą liczebność promieniowców (przedział wartości 100,116 – 141,76 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 3,6%. Znaczną liczebnością promieniowców odznaczał się obszar (26,1%) znajdujący się w południowo- zachodniej części pola (rys. 161a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 161. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

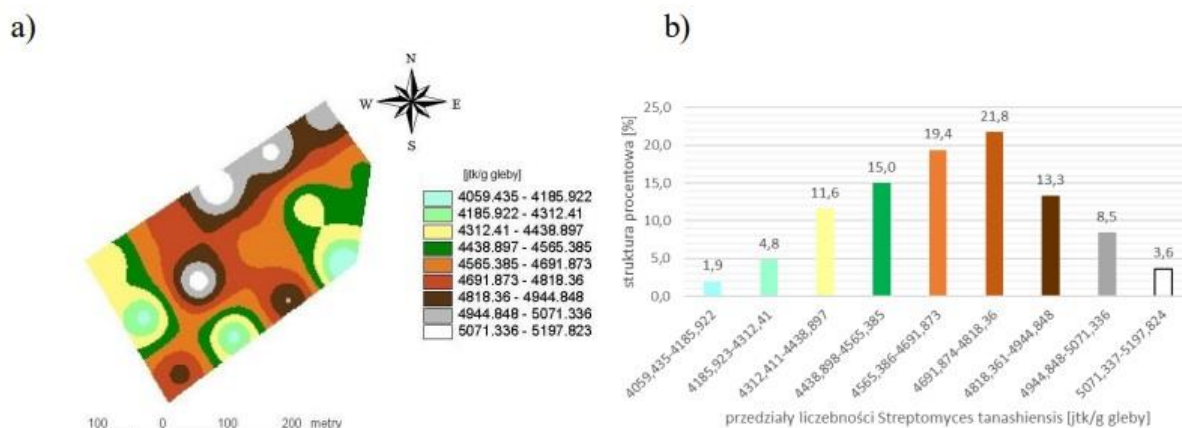
W grupie promieniowców do identyfikacji został wybrany jeden szczep, który został zidentyfikowany jako *Streptomyces tanashiensis* (rys. 167). Liczebność poszczególnych szczepów promieniowców w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 162. W wierzchniej warstwie gleby oprócz szczepu *Streptomyces tanashiensis*, odnotowano obecność innych szczepów, co miało charakter incydentalny. Ich liczebność stanowiła 1% wszystkich promieniowców wyizolowanych w tej warstwie. W warstwie na głębokości 0,15 – 0,35m liczebność *Streptomyces tanashiensis* spadła z 32 650 jtk/g gleby do 3565 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 162. Liczebność *Streptomyces tanashiensis* w profilu glebowym obiektu II

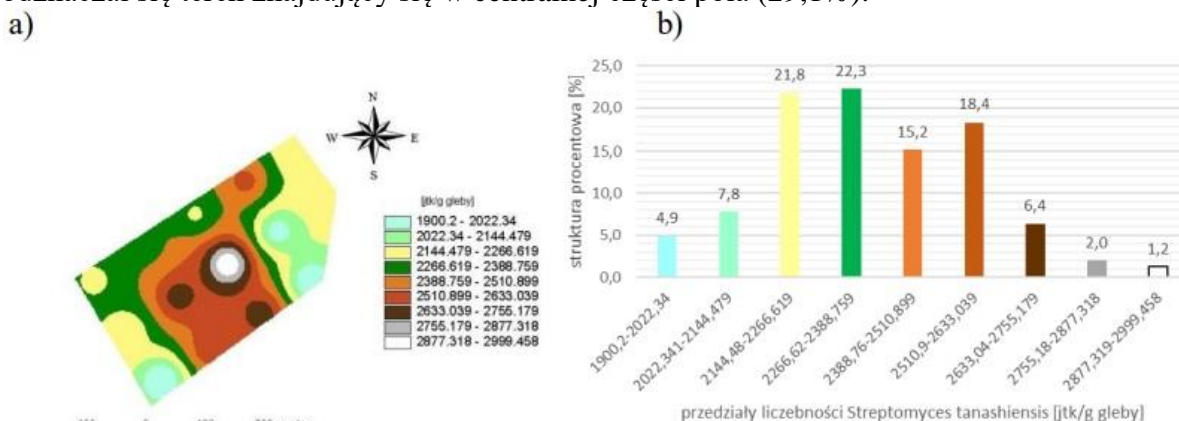
W profilu glebowym na głębokości 0,05m, najwyższą liczebnością gatunku *Streptomyces tanashiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 5 071,337 – 5 197,824 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,6% (rys. 163b). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i centralnej części pola - rys. 163a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 4 059,435 – 4 185,922 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,9%) skonsolidowany w południowej i południowo-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (21,8%).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 163. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*

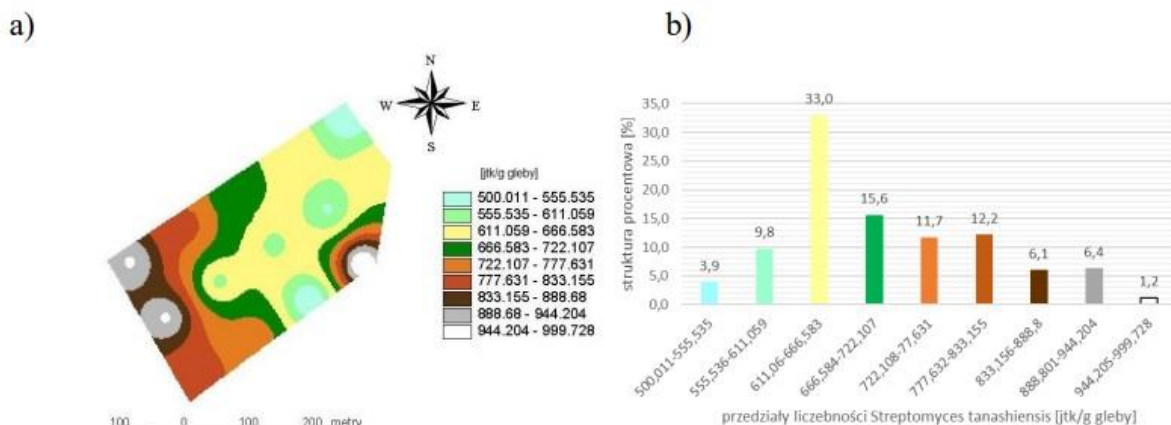
W profilu glebowym na głębokości 0,15m *Streptomyces tanashiensis* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 877,319 – 2 999,458 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,2% (rys. 164d). Teren ten znajdował się w centralnej części pola - rys. 164c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 900,2 – 2 022,34 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,9%) skonsolidowany w południowej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (29,1%).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 164. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*

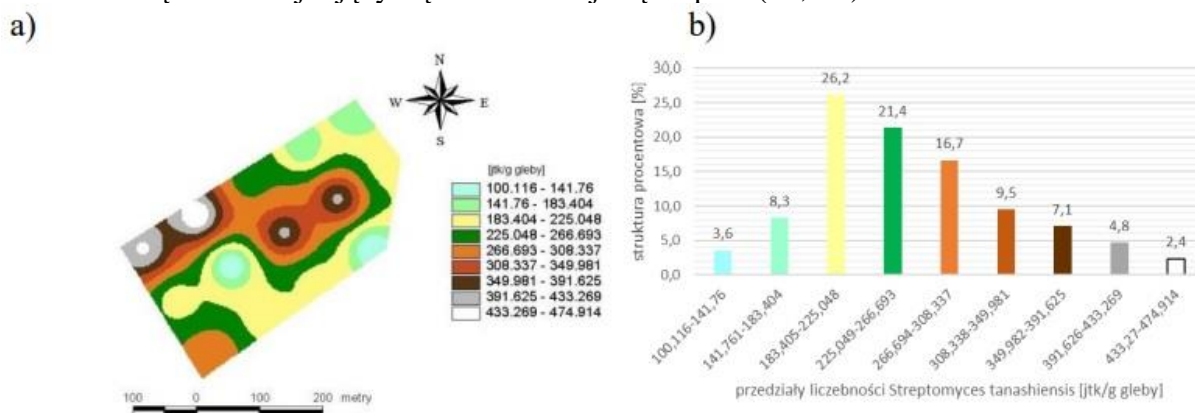
W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Streptomyces tanashiensis* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 944,205 – 999,728 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,2% (rys. 165b). Teren ten znajdował się w południowej i południowo- zachodniej części pola - rys. 165a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 500,011 – 555,535 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (3,9%) skonsolidowany w północnej i południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (33%).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 165. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Streptomyces tanashiensis* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 433,27 – 474,914 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 166b). Teren ten znajdował się we wschodniej części pola - rys. 166a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 100,116 – 141,76 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (3,6%) skonsolidowany w centralnej i południowej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces tanashiensis* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,2%).

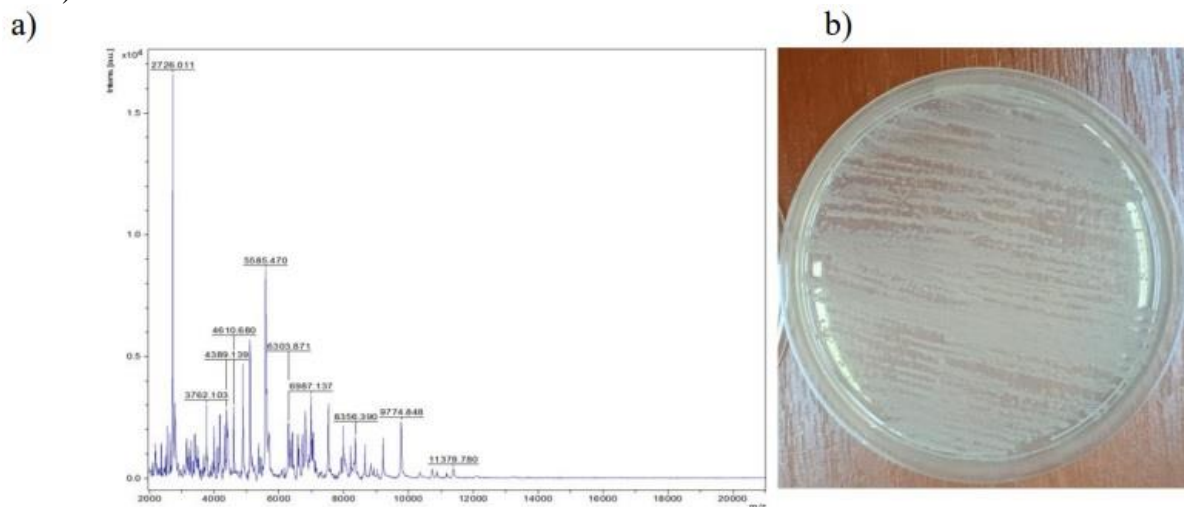


Źródło: opracowanie własne

Rys. 166. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces tanashiensis*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces tanashiensis*



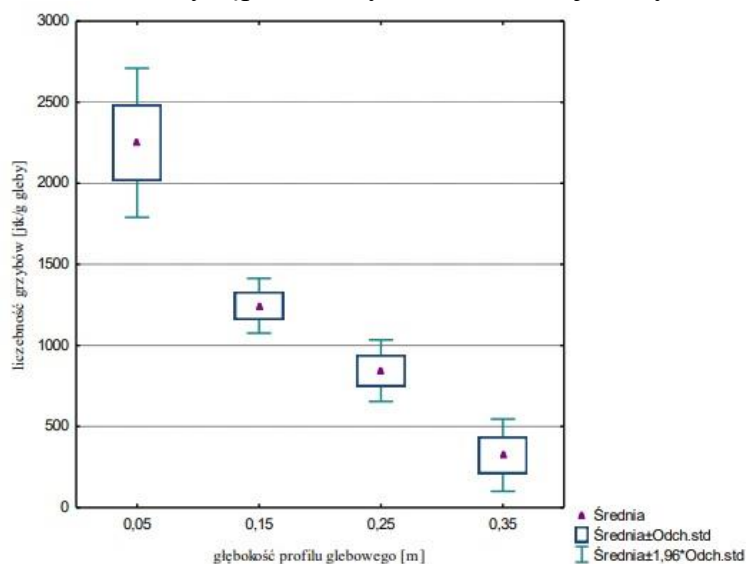
Uzyskane widmo masowe zostało porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunek 167a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 167. Wynik identyfikacji gatunkowej *Streptomyces tanashiensis*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Liczebność grzybów w profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 168. Wyróżniono cztery grupy jednorodnej liczebności tych drobnoustrojów w profilu glebowym. Najniższą średnią wartość liczebności grzybów wynoszącą 323,2 jtk/g gleby odnotowano na głębokości 0,35m, natomiast najwyższą średnią dla głębokości 0,05m – 2 250 jtk/g gleby. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych mikroorganizmów uzyskane na różnych poziomach głębokości były istotnie różne. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania grzybów na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 169-172).



Źródło: opracowanie własne

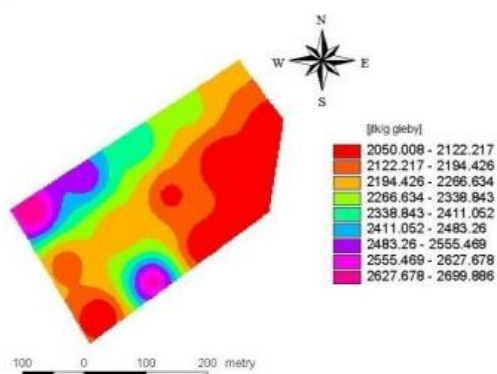
Rys. 168. Liczebność grzybów profilu glebowego pola obiektu II

W profilu glebowym na głębokości 0,05m najwyższą liczebnością grzybów mieszczącą się w przedziale wartości od 2 627,679 do 2 699,886 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 2,2% (rys. 169b). Teren ten znajdował się w południowo-

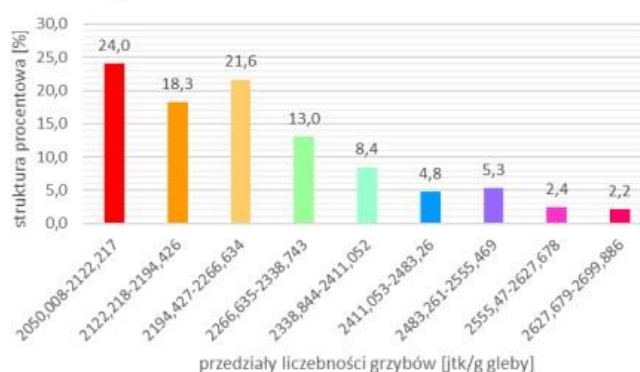


zachodniej części pola (rys. 169a). Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością grzybów (przedział 2 050,008 – 2 122,217 jtk/g gleby) obejmowała obszar aż 24% skonsolidowany w południowej części pola.

a)



b)

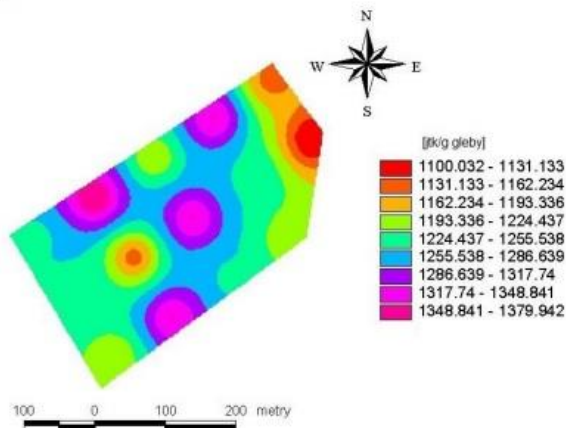


Źródło: opracowanie własne

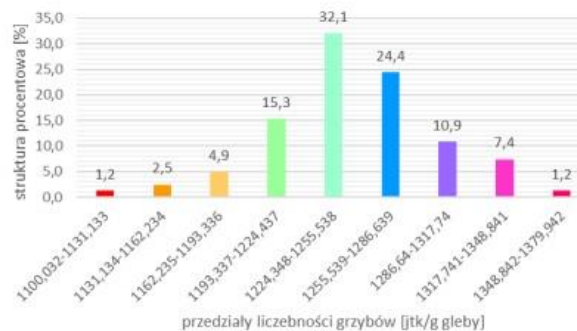
Rys. 169. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróznicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Na głębokości 0,15m powierzchnia charakteryzująca się największą liczebnością grzybów (przedział 1348,842 – 1379,942 jtk/g gleby) obejmowała zaledwie 1,2% (rys. 170b). Obszary były umiejscowione centralnej części pola (rys. 170a). Najniższą liczebność grzybów odnotowano na terenie zajmującym również 1,2%, na którym wartość liczebności mieściła się w przedziale wartości od 1 100,032 do 1 131,133 jtk/g gleby. Powierzchnia charakteryzująca się liczebnością grzybów z zakresu 1 224,348 – 1 255,538 jtk/g gleby obejmowała aż 32,1%.

a)



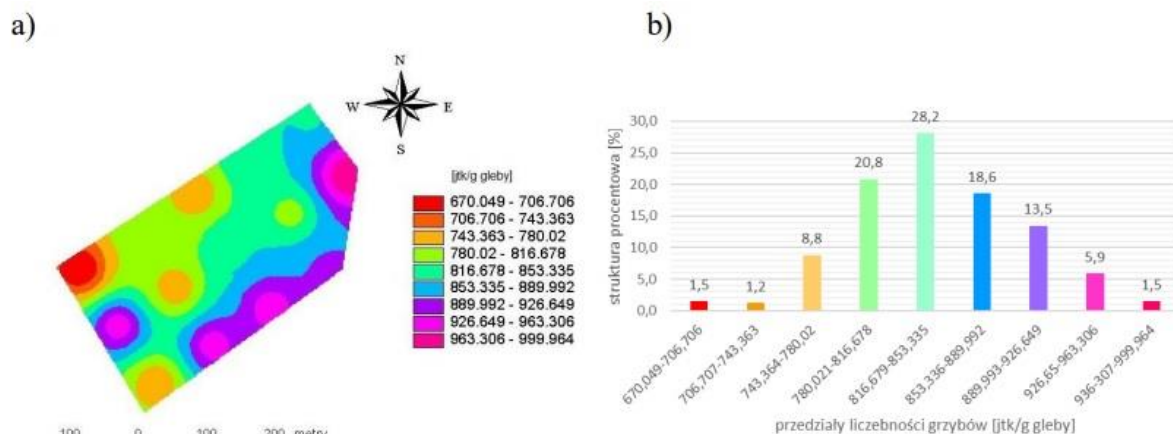
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 170. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróznicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

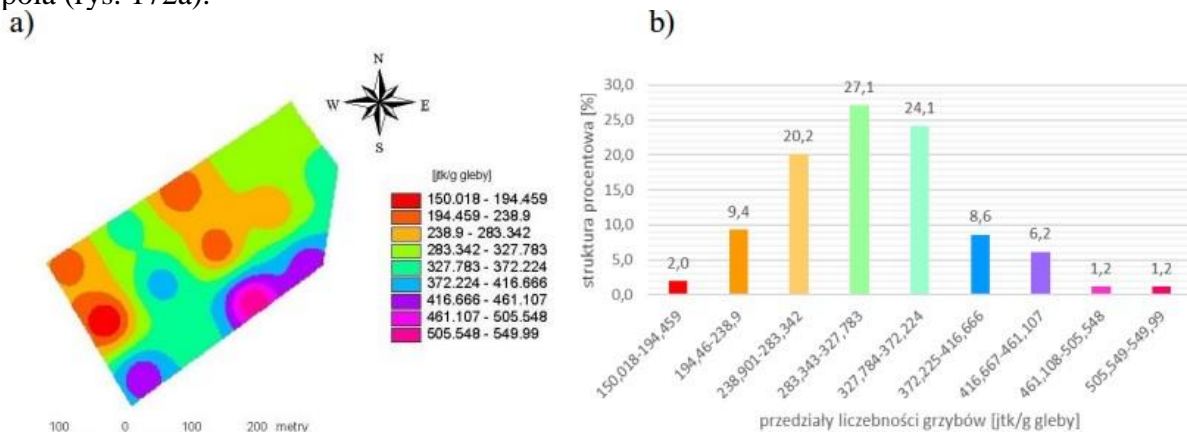
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność grzybów odnotowano na obszarze skonsolidowanym głównie w południowo- wschodniej części pola (powierzchnia 1,5%), natomiast najniższą głównie na zachodnim krańcu pola (powierzchnia również 1,5%) – rysunek 171b. Teren zajmujący 28,2% powierzchni pola obejmował liczebność grzybów mieszczącą się w przedziale wartości 816,679 – 853,335 jtk/g gleby (rys. 171a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 171. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością grzybów w glebie na głębokości 0,35m (przedział 505,549 – 549,99 jtk/g gleby) stanowiła 1,2% (rys. 172b). Nieco większą powierzchnię – 2% stanowiły obszary, na których liczebność grzybów była najniższa i mieściła się w przedziale 150,018 – 194,459 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym 27,1% pola zaobserwowano wartości liczebności grzybów mieszczące się w przedziale wartości 283,343 – 327,783 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w północno- zachodniej części pola (rys. 172a).



Źródło: opracowanie własne

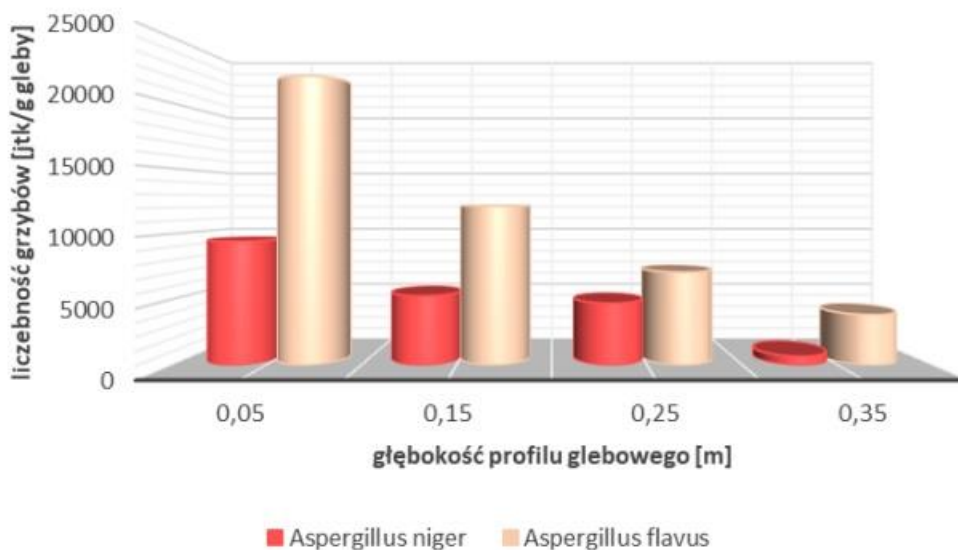
Rys. 172. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Wśród grupy grzybów do identyfikacji zostały wybrane dwa szczepy, które zostały zidentyfikowane jako:

1. *Aspergillus flavus* (rys. 178)
2. *Aspergillus niger* (rys. 179)

Liczebność wyizolowanych szczepów grzybów w poszczególnych warstwach profilu glebowego została przedstawiona na rysunku 173. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność tylko dwóch gatunków – *Aspergillus flavus* i *Aspergillus niger*, przy czym najliczniej występującym był *Aspergillus flavus*. Można zauważyć, że liczebność obu gatunków wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego spadała. W warstwie na głębokości 0,05m *Aspergillus flavus* osiągnął liczebność

na poziomie 22 050 jtk/g gleby, a *Aspergillus niger* 9 450 jtk/g gleby. Natomiast w najgłębszej warstwie liczebność *Aspergillus flavus* przyjęła wartość 45 129 jtk/g gleby, a *Aspergillus niger* 679 jtk/g gleby.



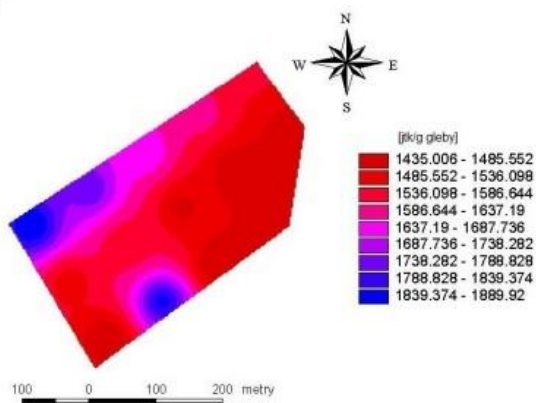
Źródło: opracowanie własne

Rys. 173. Liczebność poszczególnych szczepów grzybów w profilu glebowym obiektu II

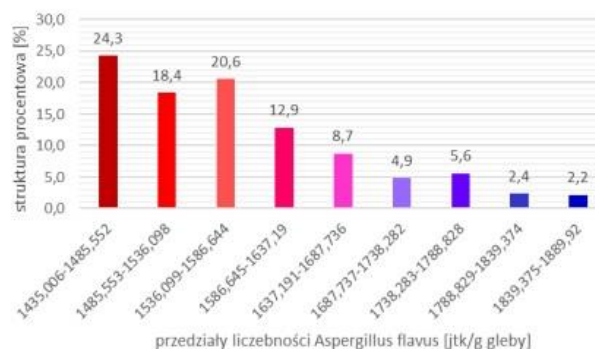
W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki grzybów: *Aspergillus flavus* i *Aspergillus niger*. W przypadku *Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 1 839,375 – 1 889,92 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,2% (rys. 174b). Teren ten znajdował się w południowej i południowo-zachodniej części pola - rys. 174a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 435,006 – 1 485,552 jtk/g gleby) obejmowała obszar (24,3%) skonsolidowany w południowo- wschodniej części pola.

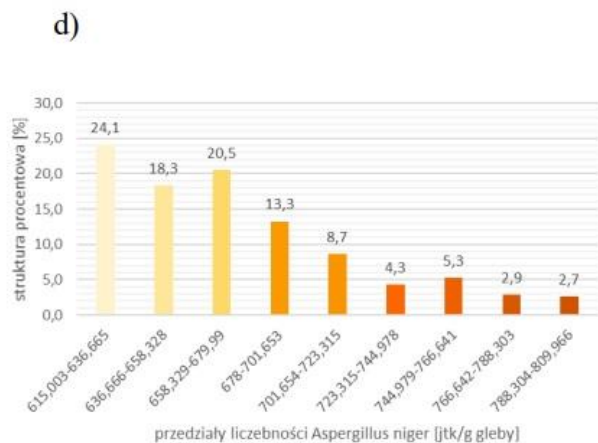
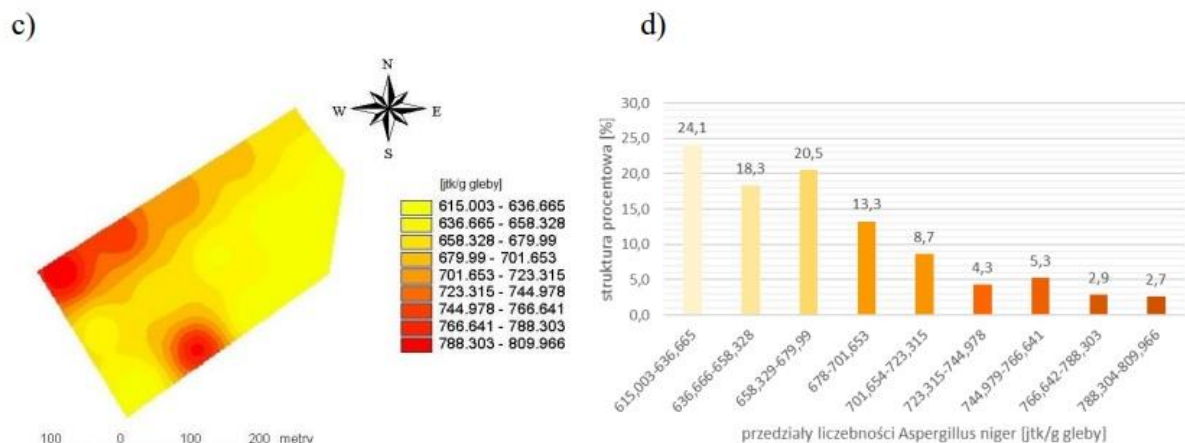
*Aspergillus niger* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 788,304 – 809,966 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,7% (rys. 174d). Teren ten znajdował się w południowej i południowo-zachodniej części pola - rys. 174c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 615,003 – 636,665 jtk/g gleby) obejmowała obszar (24,1%) skonsolidowany w południowo- wschodniej części pola.

a)



b)



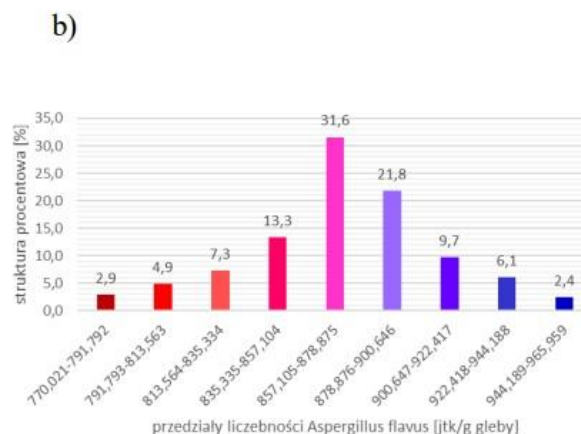
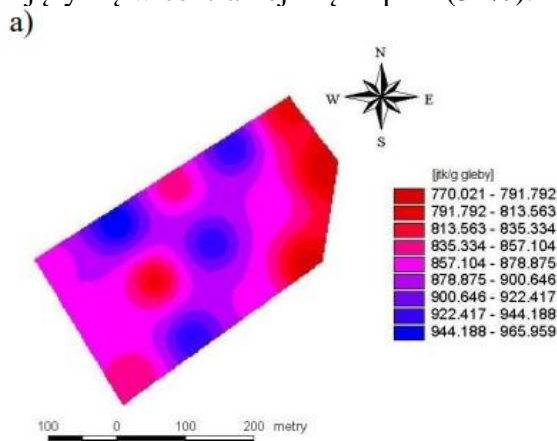


Źródło: opracowanie własne

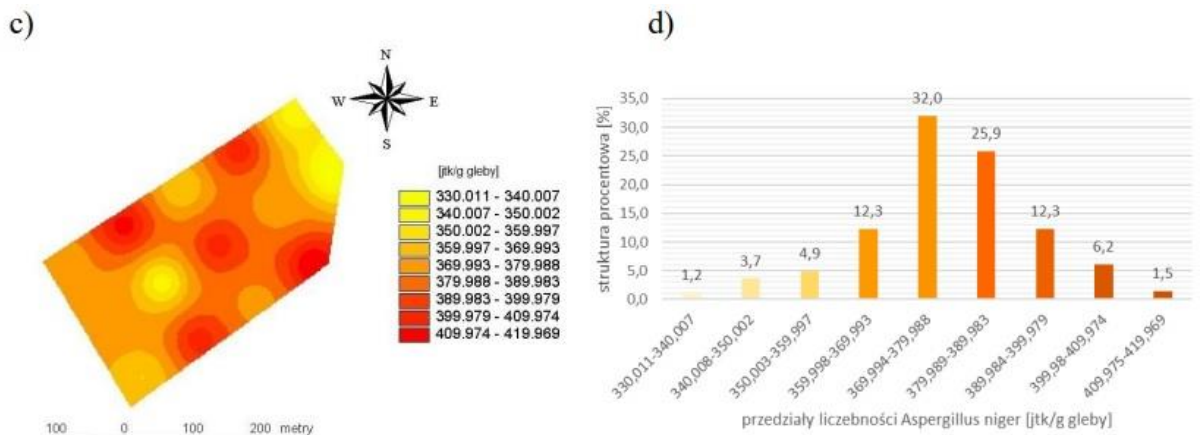
Rys. 174. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus niger*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus niger*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują dwa gatunki grzybów. W przypadku *Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 944,189 – 965,959 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 175b). Teren ten znajdował się w centralnej części pola - rys. 175a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 770,021 – 791,792 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,5%) skonsolidowany w północnej i centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (aż 31,6%).

*Aspergillus niger* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 409,975 – 419,969 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 175d). Teren ten znajdował się w centralnej części pola - rys. 175c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 330,011 – 340,007 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,2%) skonsolidowany głównie w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus niger* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (32%).





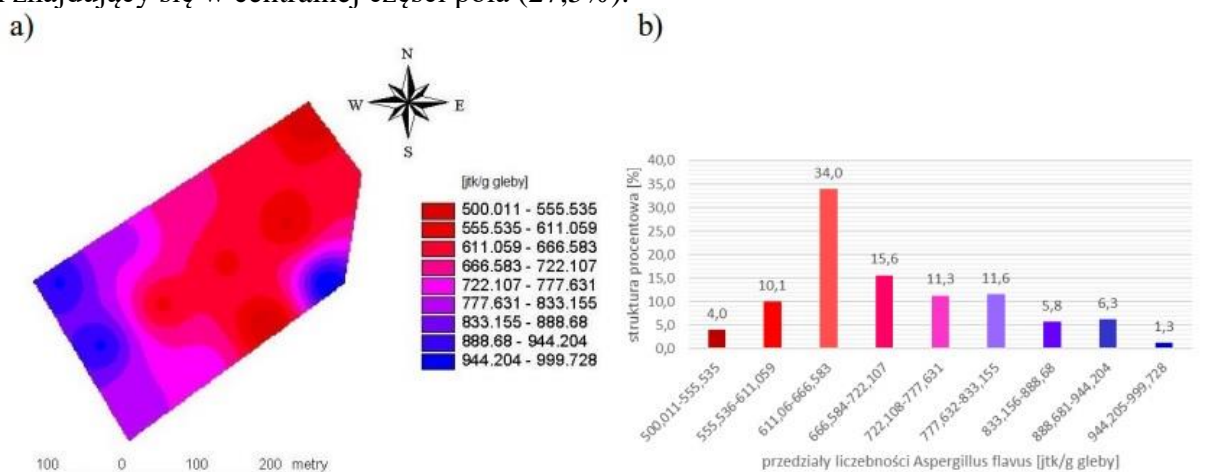


Źródło: opracowanie własne

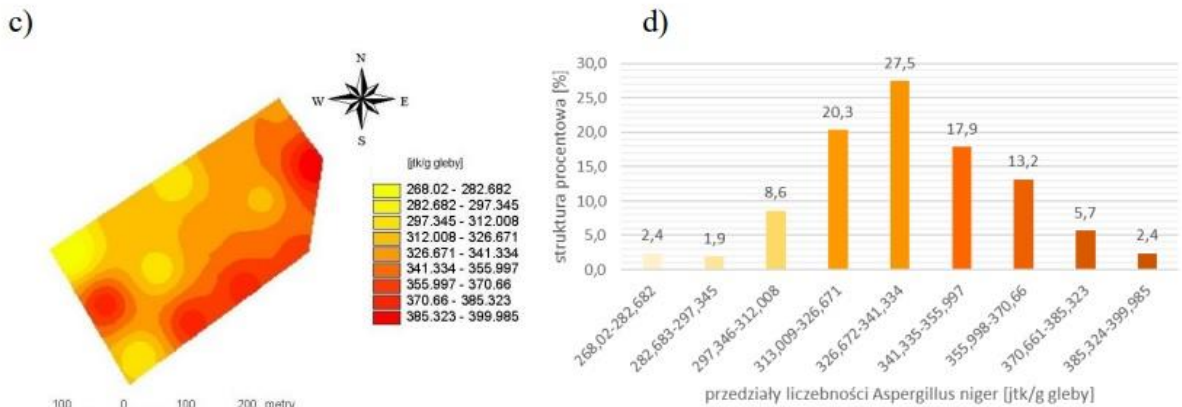
Rys. 175. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus niger*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus niger*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 944,205 – 999,728 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,3% (rys. 176b). Teren ten znajdował się w południowej i wschodniej części pola - rys. 176a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 500,011- 555,535 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4%) skonsolidowany w północnej i centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej i północnej części pola (aż 34%).

*Aspergillus niger* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 385,324 – 399,985 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 176d). Teren ten znajdował się w południowo-wschodniej i północnej części pola - rys. 176c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 268,02 – 282,682 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,4%) skonsolidowany w zachodniej i południowej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus niger* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (27,5%).





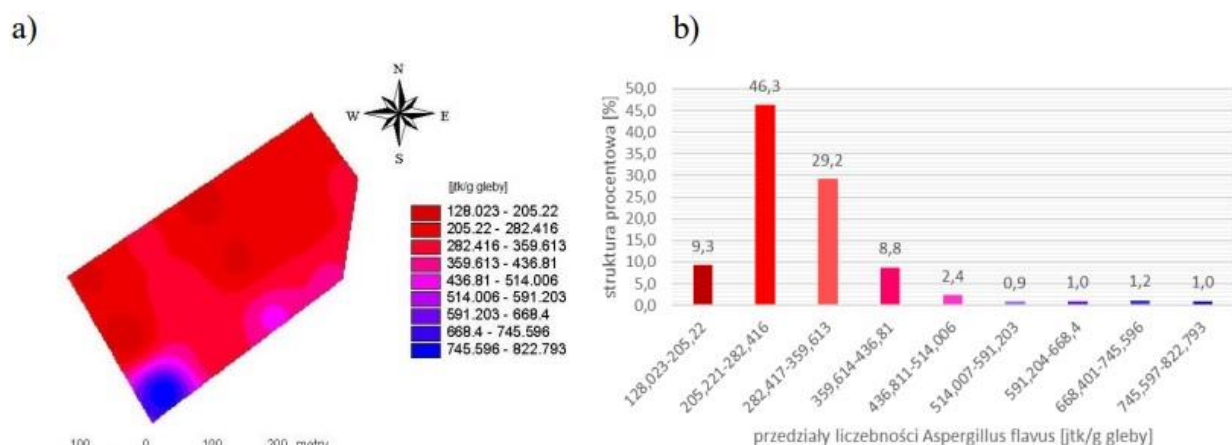


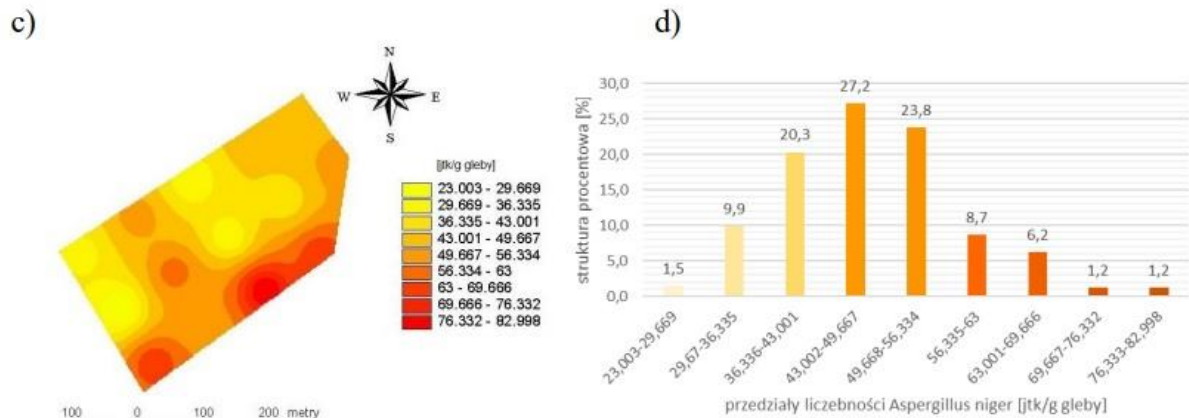
Źródło: opracowanie własne

Rys. 176. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus niger*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus niger*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 745,597 – 822,793 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1% (rys. 177b). Teren ten znajdował się w południowej części pola - rys. 178a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 128,023 – 205,22 jtk/g gleby) obejmowała obszar (9,3%) skonsolidowany w centralnej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej i wschodniej części pola (46,3%).

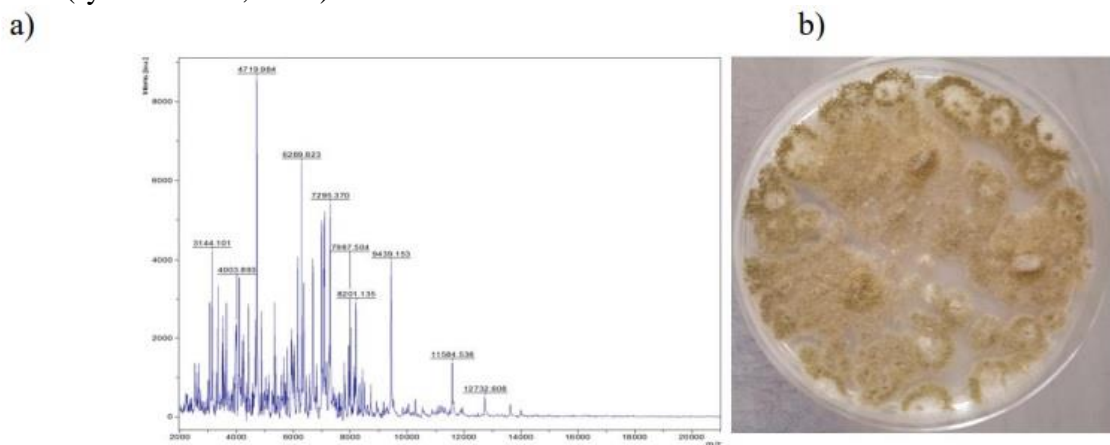
*Aspergillus niger* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 76,333 – 82,998 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,2% (rys. 177d). Teren ten znajdował się w południowej części pola - rys. 177c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 23,003 – 26,669 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,5%) skonsolidowany w centralnej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus niger* odznaczał się teren znajdujący się w południowej części pola (27,2%).



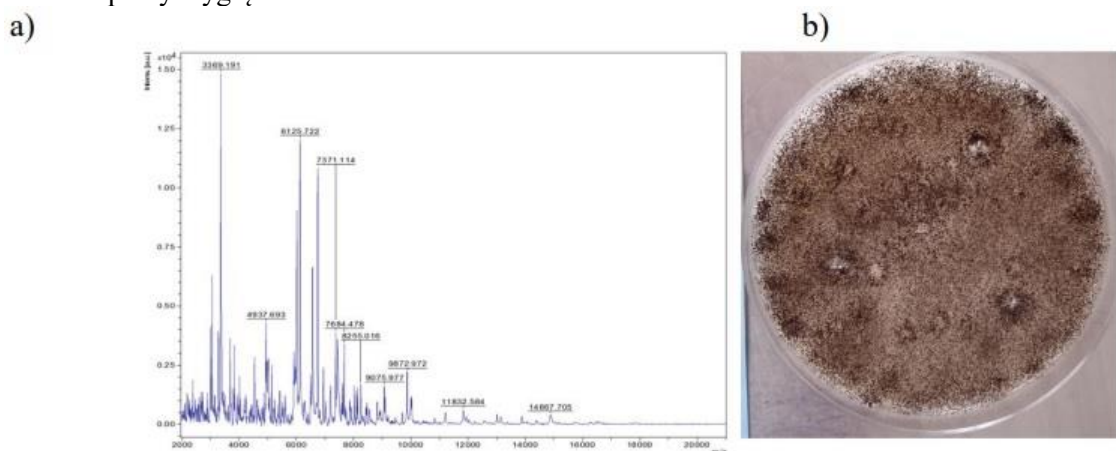


Źródło: opracowanie własne  
 Rys. 177. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus niger*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus niger*

Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunki 178a, 179a).

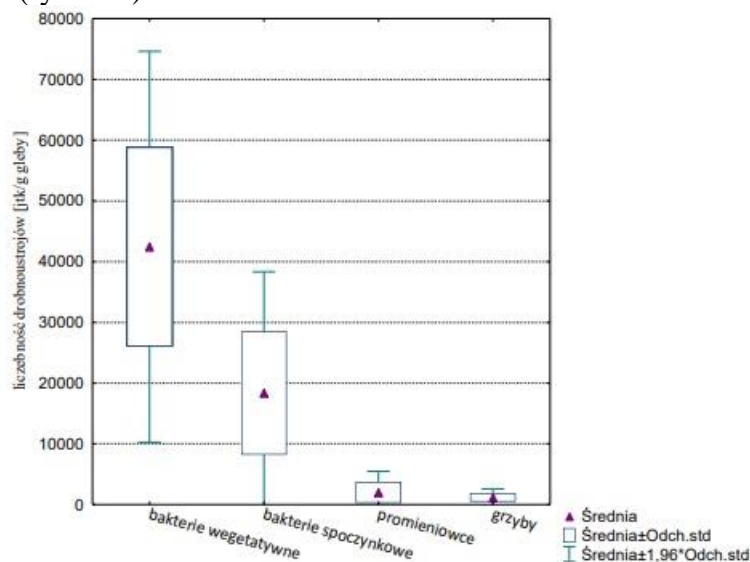


Źródło: opracowanie własne  
 Rys. 178. Wynik identyfikacji gatunkowej *Aspergillus flavus*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne  
 Rys. 179. Wynik identyfikacji gatunkowej *Aspergillus niger*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Porównując liczebność badanych grup drobnoustrojów między sobą w skali całego analizowanego profilu glebowego, zauważono, że najwyższą średnią liczebność odnotowano dla bakterii vegetatywnych, która wyniosła 18 383,9 jtk/g gleby natomiast najmniejszą wartością średniej liczebności odznaczały się grzyby – 1 165,6 jtk/g gleby. Dla pozostałych grup mikroorganizmów otrzymano średnie wartości liczebności wynoszące 42 446,4 jtk/g gleby dla bakterii spoczynkowych oraz 2 002,1 jtk/g gleby dla promieniowców. Na podstawie uzyskanych wyników wyodrębniono cztery grupy jednorodnej liczebności badanych grup mikroorganizmów (rys. 180).

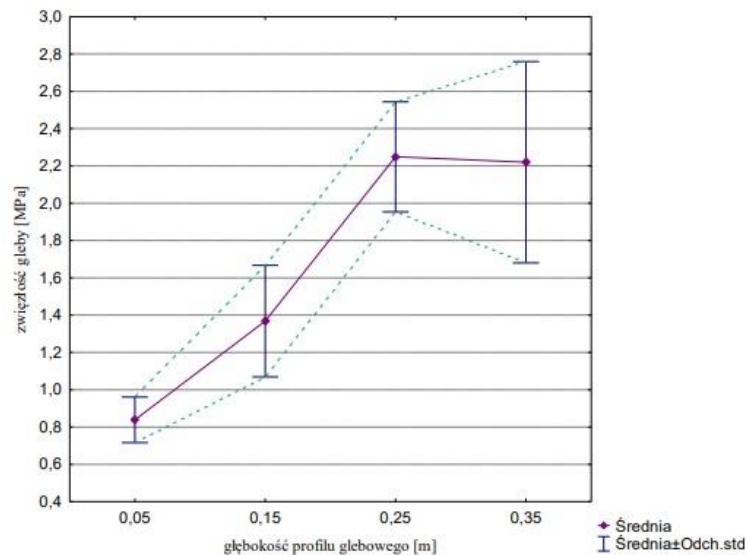


Źródło: opracowanie własne

Rys. 180. Liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów profilu glebowego pola obiektu II

## 7.2.2 Charakterystyka parametrów fizycznych gleby

Na rysunek 181 została przedstawiona zwięzłość gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, zwięzłość gleby również wzrastała. Największy przyrost wartości zwięzłości w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniósł 1,41 MPa, przy współczynnikach zmienności 15% (0,05m) i 13% (0,25m). W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości zwięzłości gleby wyniósł 0,53 MPa, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 22%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach zwięzłości było nieco wyższe, a współczynniki zmienności wartości zwięzłości gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekraczały 22%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zwięzłości gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 182-185).

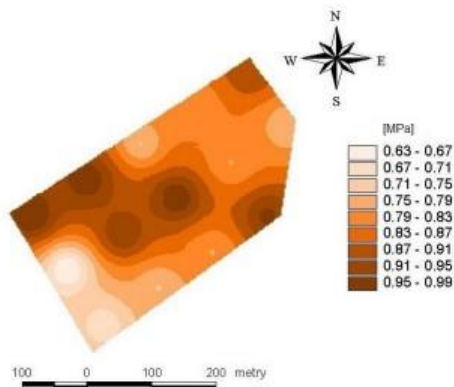


Źródło: opracowanie własne

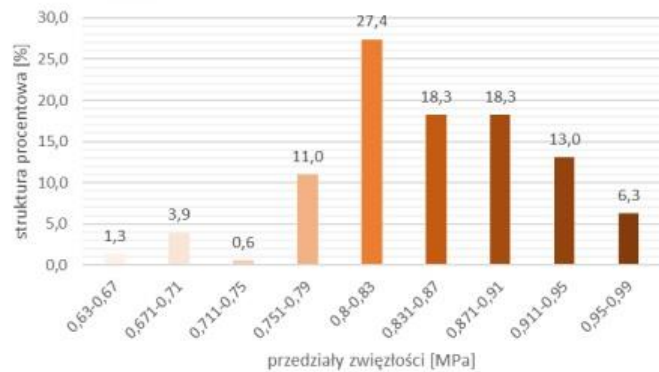
Rys. 181. Zwięzłość gleby pola obiektu II wyznaczona metodą penetrometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością zwięzłości gleby na głębokości 0,05m (przedział 0,95 – 0,99 MPa) stanowiła zaledwie 6,3% (rys. 182b). Mniejszą powierzchnię – 1,3% stanowiły obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 0,63- 0,67 MPa. Na terenie obejmującym 27,4% pola zaobserwowano wartości zwięzłości gleby mieszczące się w przedziale wartości 0,8 – 0,83 MPa. Teren ten obejmował głównie centralną część pola (rys. 182a).

a)



b)

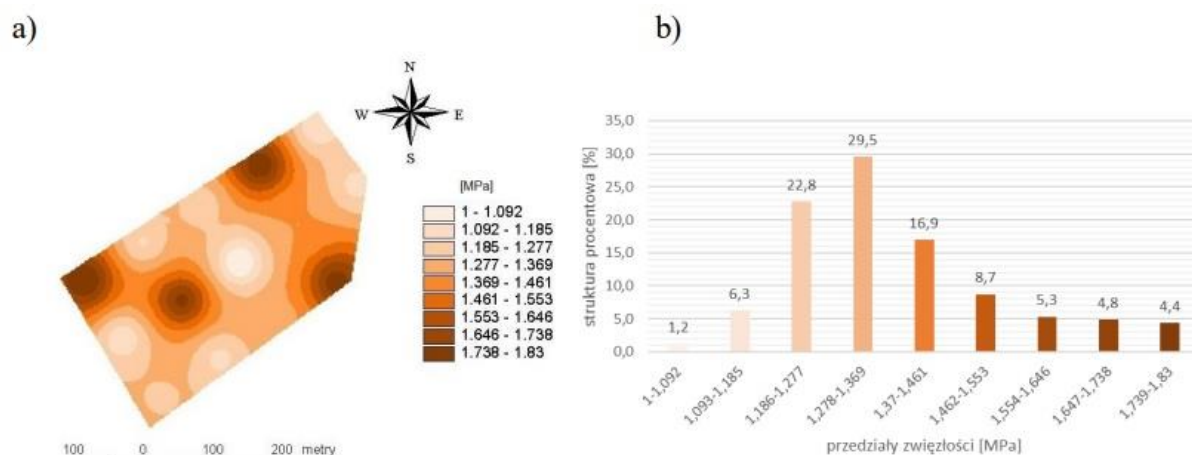


Źródło: opracowanie własne

Rys. 182. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

W przypadku wartości zwięzłości gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość zwięzłości gleby mieszczącą się w przedziale 1,739 – 1,83 MPa odnotowano na powierzchni zajmującej 4,4% (rys. 183b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najniższe (przedział wartości 1 – 1,092MPa). Wartościami zwięzłości gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 1,278 – 1,369 MPa charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 29,5%, znajdująca się w centralnej części pola (rys. 183a).

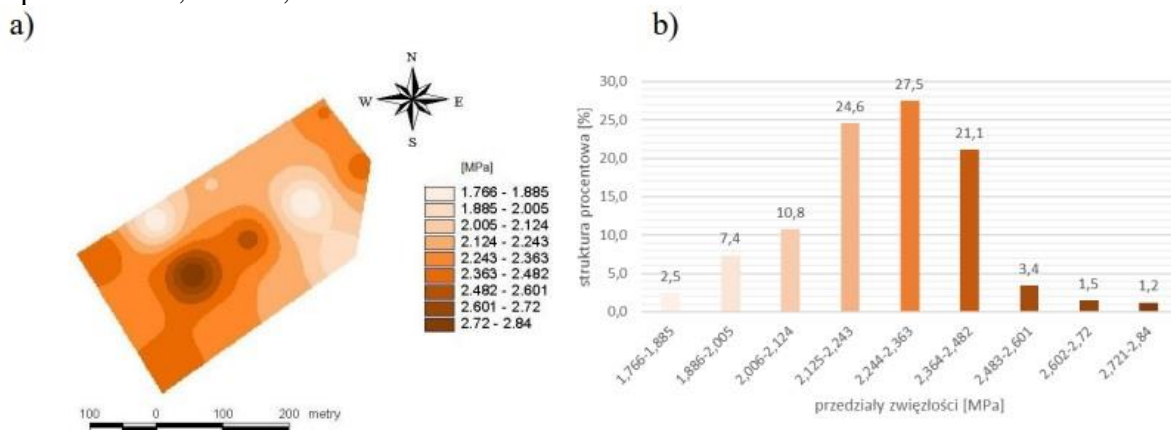




Źródło: opracowanie własne

Rys. 183. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Najwyższe wartości zwięzłości gleby mieszające się w przedziale wartości 2,721 – 2,84 MPa (stanowiące 1,2% powierzchni), występowały sporadycznie na obszarze znajdującym się w centralnej części pola (rys. 184a) w warstwie gleby obejmującej głębokość 0,25m. Natomiast powierzchnie o najniższych wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane głównie w południowo-wschodniej części pola (rys. 184b). 27,5% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 2,244 – 2,363 MPa.

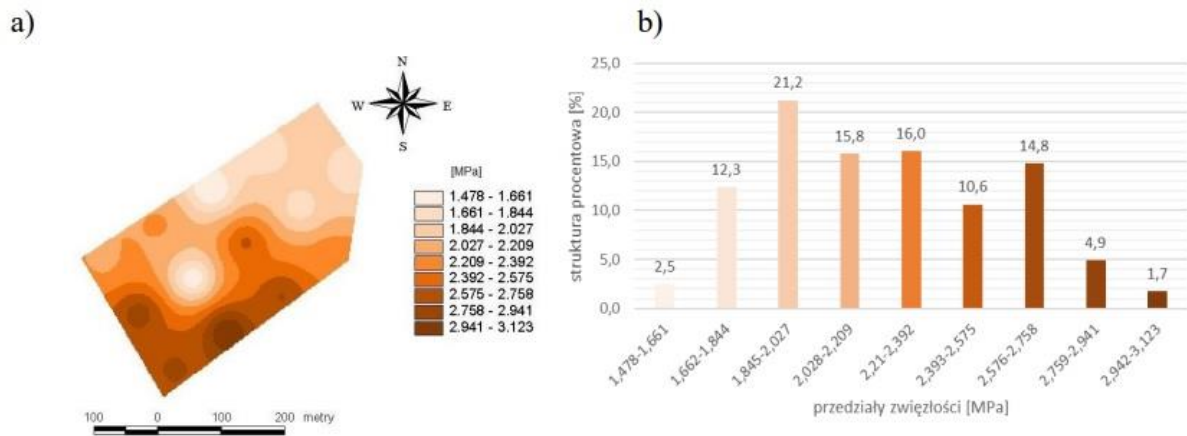


Źródło: opracowanie własne

Rys. 184. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Natomiast na głębokości 0,35m najwyższe wartości zwięzłości gleby, mieszające się w przedziale wartości 2,942 – 3,123 MPa (stanowiące 1,7% powierzchni), występowały sporadycznie na obszarze znajdującym się w południowej części pola (rys. 185a). Powierzchnie o najniższych średnich wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane głównie w północnej części pola. 21,2% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 1,845 – 2,027 MPa.

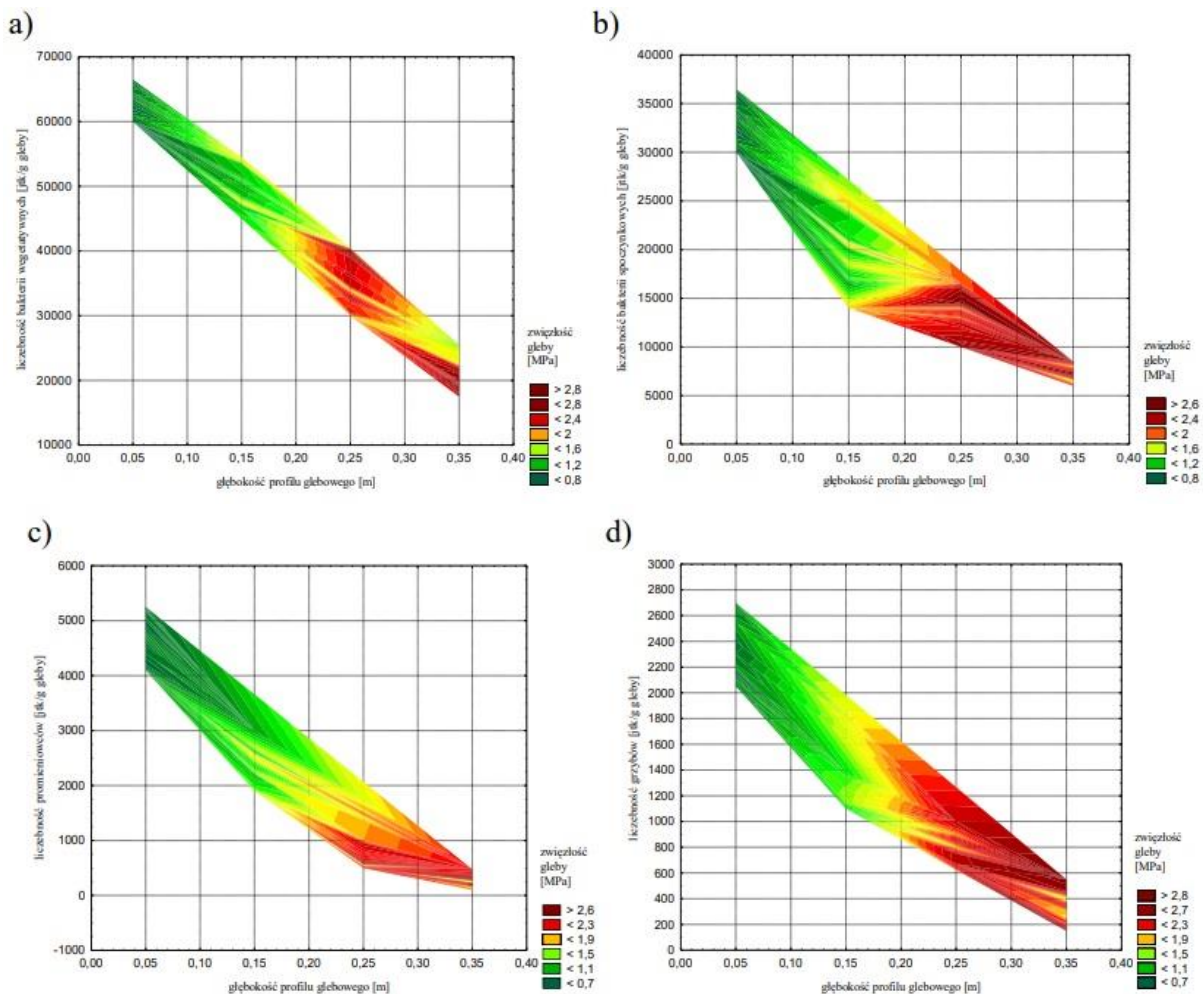




*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 185. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

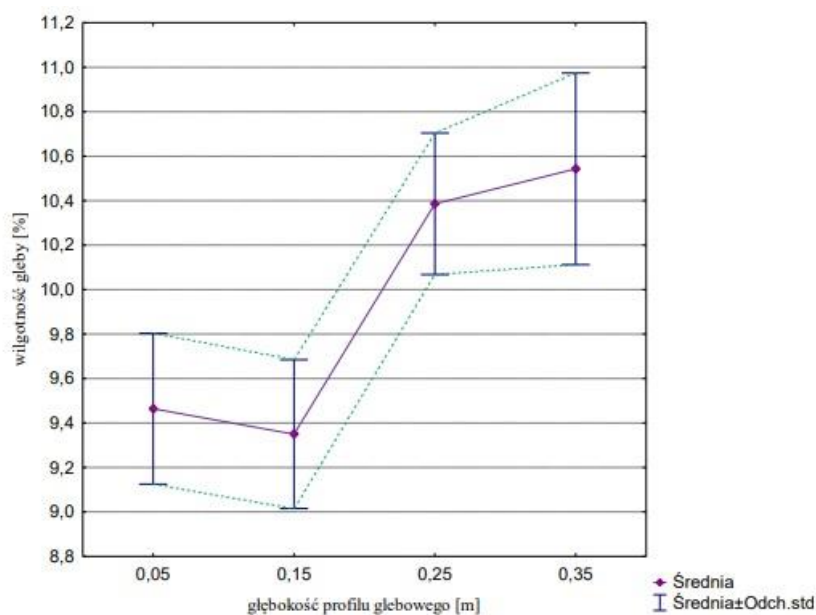
Zaobserwowano związek między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że zwięzłość gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Przy wysokich wartościach zwięzłości gleby (do 2 MPa – kolor czerwony) odnotowano spadek liczebności bakterii wegetatywnych (rys. 186a) z 45 do 17,5 tys. jtk/g gleby i bakterii spoczynkowych (rys. 186b) z 20 tys. jtk/g gleby do 700 jtk/g gleby w przedziale głębokości 0,2 - 0,35m profilu glebowego. W tym samym zakresie głębokości liczebność promieniowców (rys. 186c) spadła z 2 tys. jtk/g gleby do 20 jtk/g gleby przy wartości zwięzłości gleby powyżej 1,9 MPa, a liczebność grzybów (rys. 186d) spadła z 1,6 tys. jtk/g gleby do 100 jtk/g gleby przy wartości zwięzłości gleby powyżej 1,5 MPa. Wysoką liczebność wszystkich badanych grup drobnoustrojów odnotowano przy wartości zwięzłości gleby poniżej 1,5 MPa do głębokości 0,2m. Relacja między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 186.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 186. Wpływ głębokości i zwężności gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii węglastychwyczych; b) bakterii węglastych; c) promieniowców; d) grzybow w profilu glebowym pola obiektu II

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, wzrastała także wartość wilgotności gleby. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek wartości wilgotności gleby wyniósł 0,1%, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 4%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) wartość wilgotności wzrosła (o 1,04%). Zaobserwowano niewielki wysoki wzrost wartości wilgotności gleby w warstwie na głębokości 0,25 – 0,35m, który wyniósł 0,15% (współczynniki zmienności nie przekroczyły 4%). Największą różnicę w wartościach wilgotności gleby, w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego uzyskano w warstwie gleby 0,15 – 0,35m, która wyniosła 1,19%, przy dość niskich współczynnikach zmienności nie przekraczających 4%. Na rysunku 187 została przedstawiona wilgotność gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zwężności gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 189-192).

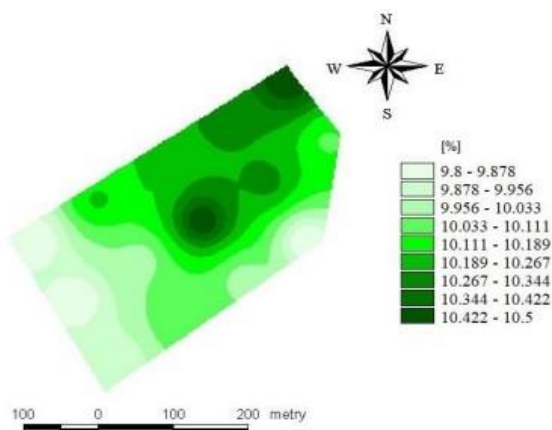


Źródło: opracowanie własne

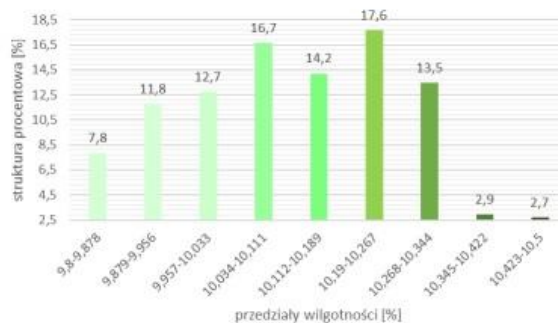
Rys. 187. Wilgotność gleby pola obiektu II wyznaczona metodą suszarkową

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością wilgotności gleby na głębokości 0,05m (przedział 10,423 – 10,5%) stanowiła 2,7% (rys. 188b). Trzykrotnie większą powierzchnię stanowiły obszary (południowo-zachodnia część pola – rys. 188a), na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 9,8 – 9,878%. Na terenie obejmującym 17,6% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 10,19 – 10,267%, które znajdowały się w centralnej części pola.

a)



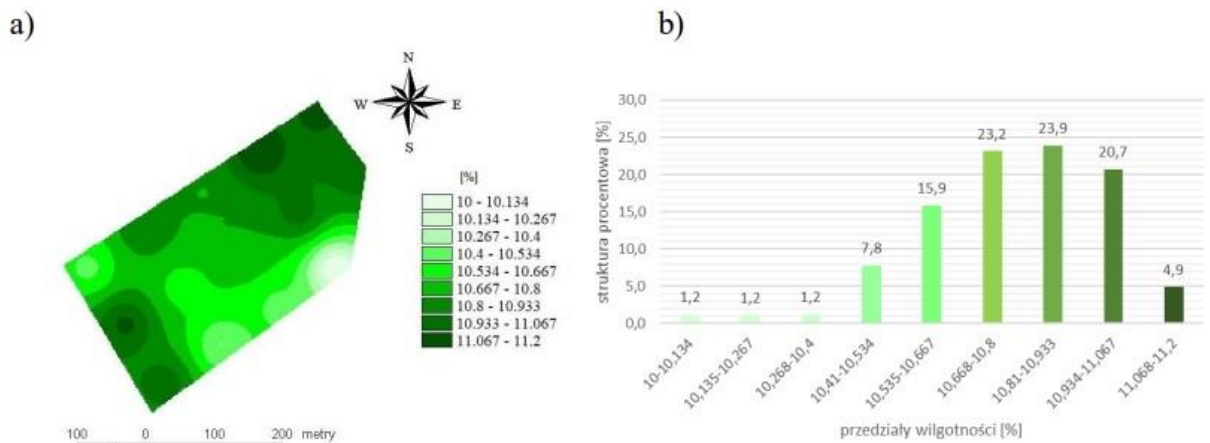
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 188. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

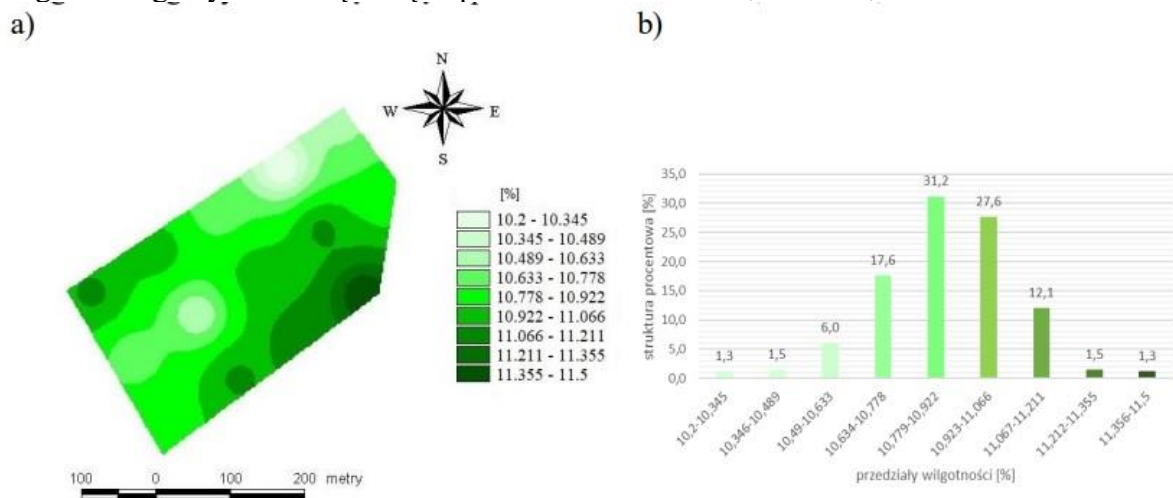
W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 11,068 – 11,2% odnotowano na powierzchni zajmującej 4,9% (rys. 189b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 10 – 10,134%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 10,81 – 10,933% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 23,9%, która znajdowała się głównie w północnej części pola – rys. 189a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 189. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

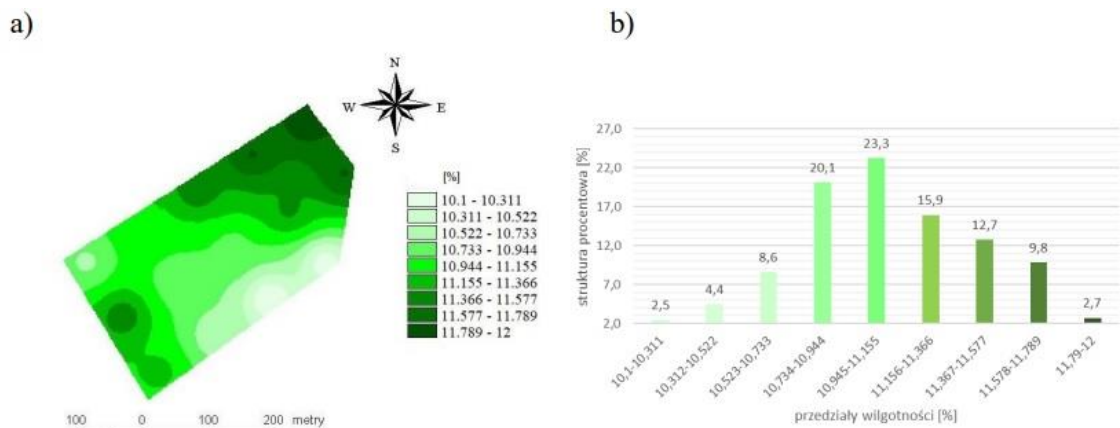
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością wilgotności gleby na głębokości 0,25 m (przedział 11,356 – 11,5%) stanowiła 1,3% (rys. 190b), która znajdowała się w południowej części pola (rys. 190a). Taką samą powierzchnię stanowiły obszary, na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 10,2 – 10,345%. Na terenie obejmującym aż 31,2% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 10,779 – 10,922%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 190. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 11,79 - 12% odnotowano na powierzchni zajmującej 2,7% (rys. 191b). Nieco mniejszą powierzchnię (2,5%) zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 10,1 – 10,311%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 10,945 – 11,155% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 23,3% i obejmowała centralną i południowo- zachodnią część pola.

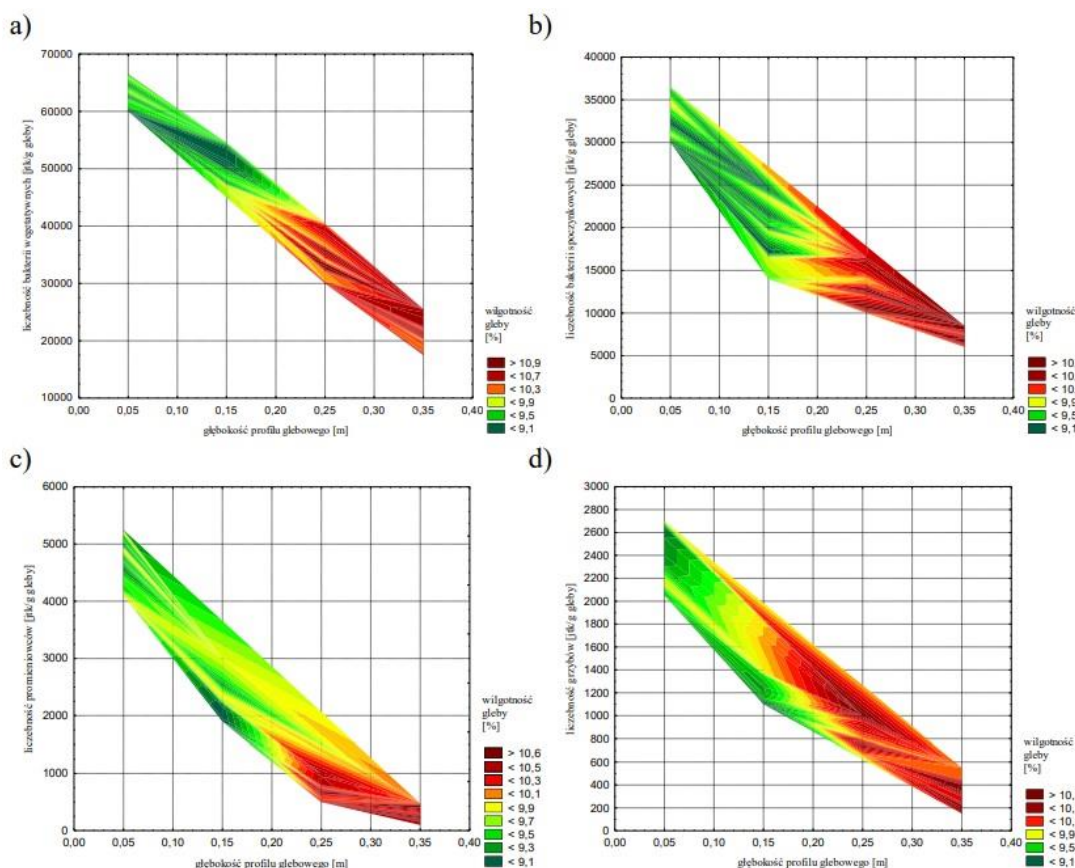


Źródło: opracowanie własne

Rys. 191. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35 m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

Zaobserwowano istnienie związku między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że wilgotność gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Można zauważyć, że najniższe wartości wilgotności gleby (poniżej 9,5%) utrzymują się do głębokości 0,15m (kolor zielony), gdzie liczebność bakterii wegetatywnych przyjmuje wartości z przedziału 45 – 67,5 tys. jtk/g gleby, liczebność bakterii spoczynkowych 12,5 - 37 tys. jtk/g gleby, promieniowców 2 – 5,1 tys. jtk/g gleby i grzybów 1,1 – 2,7 tys. jtk/g gleby. Poniżej 0,15m wartość wilgotności przyjmuje wartości powyżej 10,3% (kolor czerwony przechodzący w brązowy), gdzie odnotowano najniższą liczebność wszystkich badanych grup drobnoustrojów. Relacja między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 192.

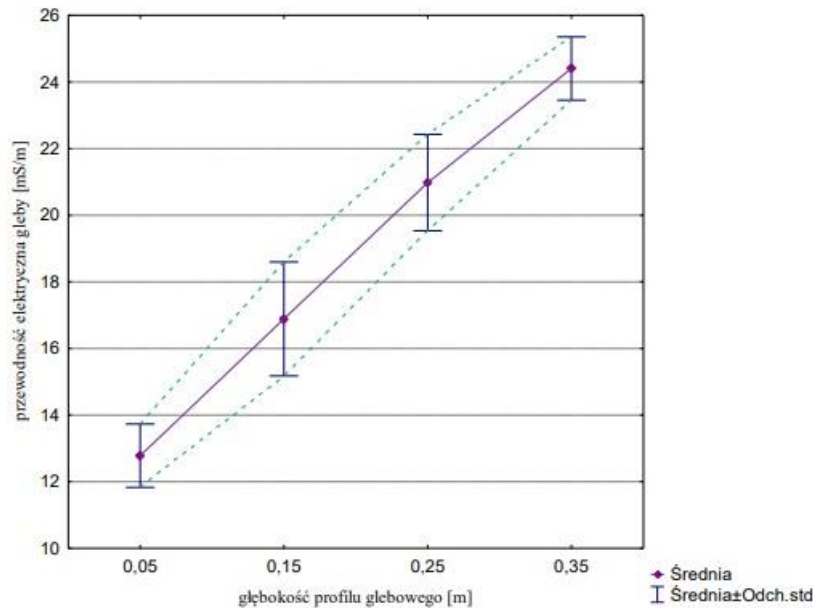




Źródło: opracowanie własne

Rys. 192. Wpływ głębokości i wilgotności gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

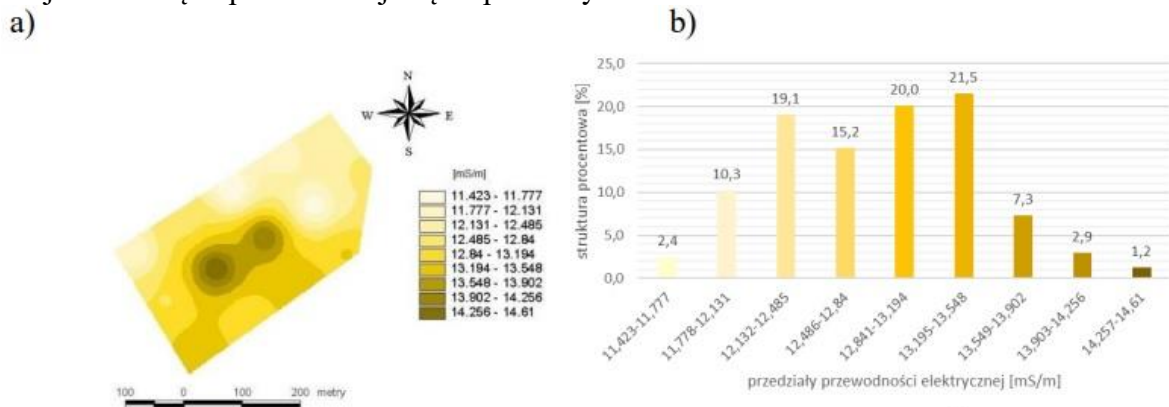
Przewodność elektryczna gleby została przedstawiona na rysunku 193. Stwierdzono, że podobnie jak w przypadku zwięzłości i wilgotności gleby - wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, przewodność elektryczna gleby również wzrastała. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości przewodności elektrycznej gleby wyniósł 4,11 mS/m, przy niskich współczynnikach zmienności nie przekraczających 10%. W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach przewodności elektrycznej było nieco niższe - współczynniki zmienności wartości przewodności elektrycznej gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego również nie przekraczały 10%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu przewodności elektrycznej gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 194-197).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 193. Przewodność elektryczna gleby pola obiektu II wyznaczona metodą konduktometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,05m (przedział 14,257 – 14,61 mS/m) stanowiła zaledwie 1,2% (rys. 195b). Dwukrotnie większą powierzchnię – 2,4% stanowiły obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 11,423 – 11,777 mS/m. Obszary te były usytuowane w północno- zachodniej części pola - rys. 194a. Na terenie obejmującym 21,5% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 13,195 – 13,548 mS/m. Teren ten znajdowała się w południowej części pola – rys. 194a.



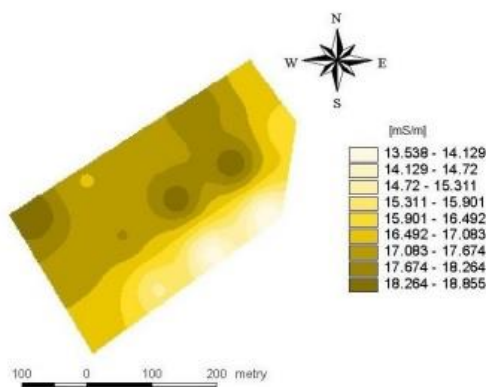
Źródło: opracowanie własne

Rys. 194. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

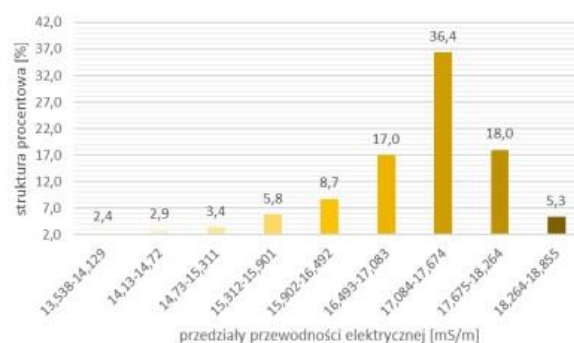
W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 18,264 – 18,855 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej 5,3% (rys. 195b). Nieco mniejszą powierzchnię (2,4%) zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najniższe (przedział wartości 13,538 – 14,129 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości

17,084 – 17,674 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 36,4%. Obszar ten obejmował północno-zachodnią część pola – rys. 195a.

a)



b)

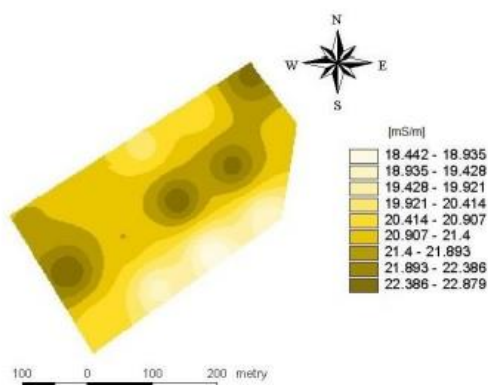


Źródło: opracowanie własne

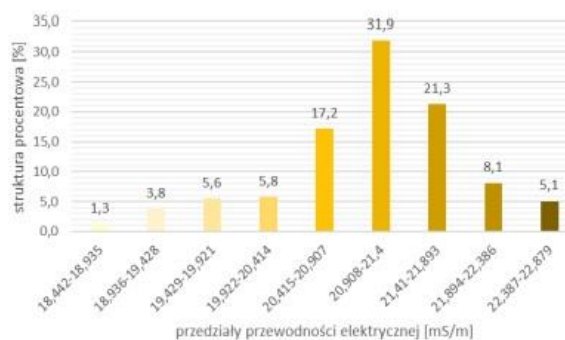
Rys. 195. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,25m (przedział 22,387 – 22,879 mS/m) stanowiła 5,1% (rys. 196b). Mniejszą powierzchnię (1,3%) obejmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 18,442 – 18,935 mS/m. Na terenie obejmującym aż 31,9% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 20,908 – 21,4 mS/m. Ten obszar znajdowała się w wschodniej części pola – rys. 196a.

a)



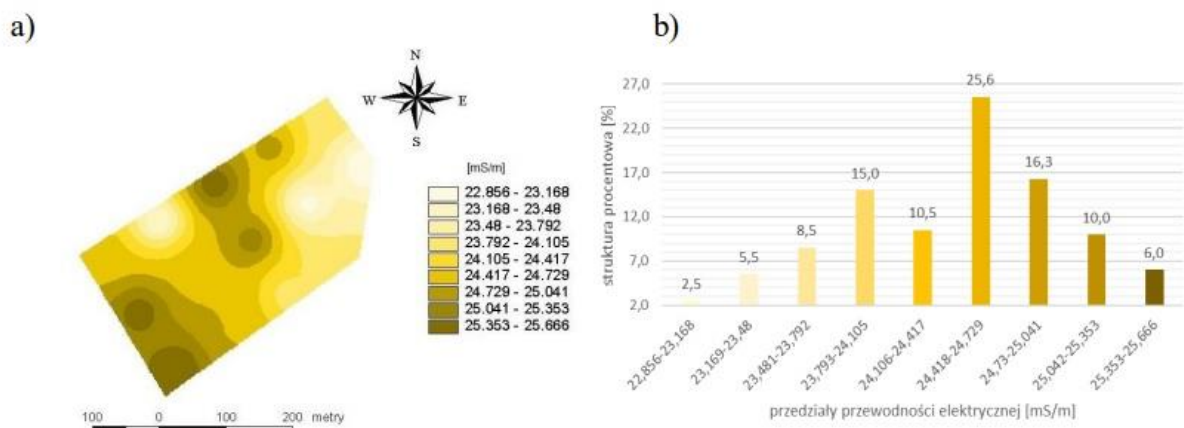
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 196. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności gleby

W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 25,353 – 25,666 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej 6% pola (rys. 2197b). Mniejszą powierzchnię (2,5%) zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej były najniższe (przedział wartości 22,856 – 23,168 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 24,418 – 24,729 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 25,6%, znajdująca się w południowo-wschodniej części pola – rys. 197a.

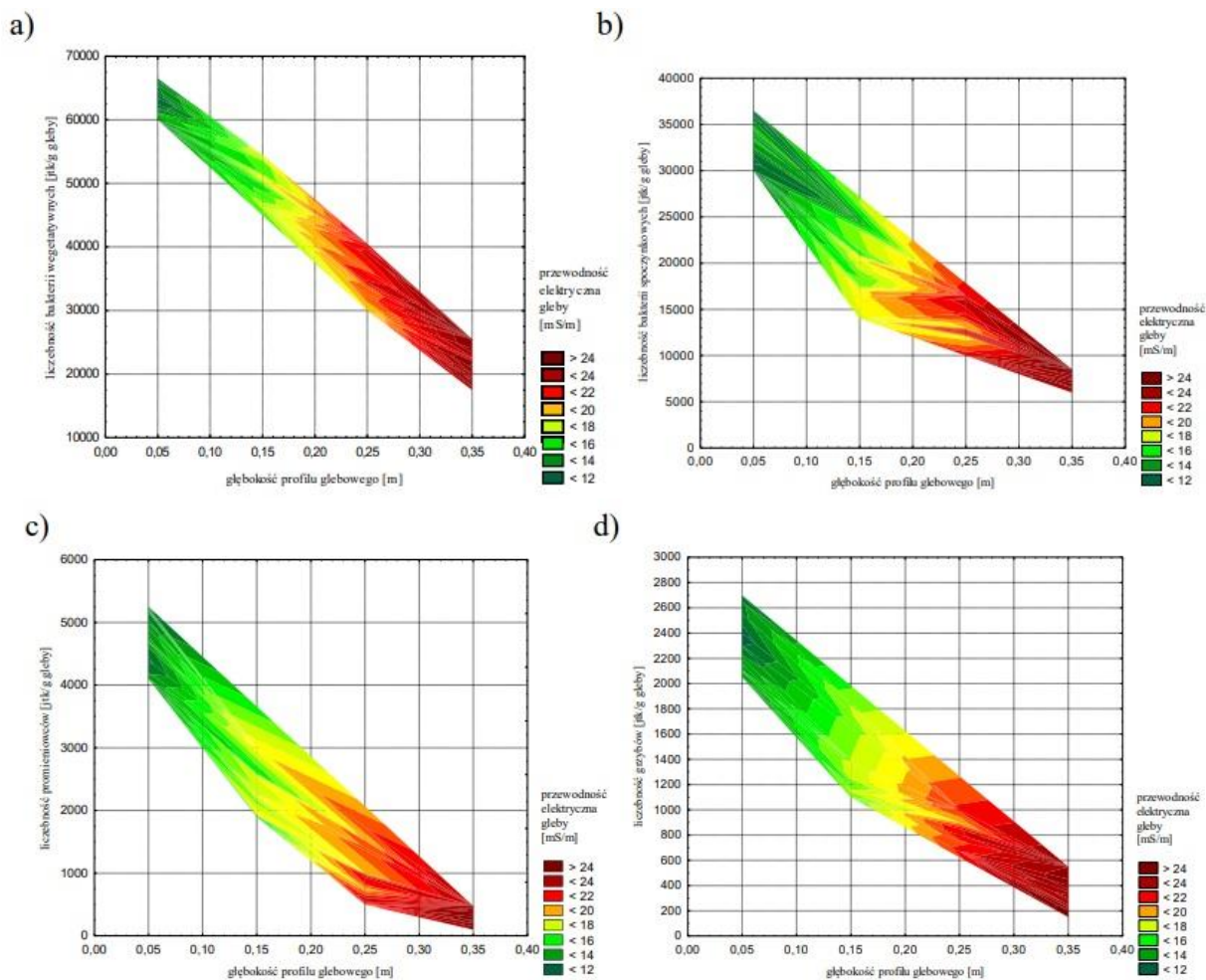


*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 197. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Na rysunku 198 został przedstawiony związek między przewodnością elektryczną i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Podobnie jak w przypadku relacji między zwięzłością a liczebnością mikroorganizmów, zaobserwowano, że przewodność elektryczna gleby wpływa na przestrzenny rozkład badanych grup drobnoustrojów w profilu glebowym. Do głębokości 0,2m odnotowano wartości przewodności elektrycznej nie wyższe niż 16 mS/m (obszary koloru zielonego), przy których liczebność mikroorganizmów osiągnęła wysokie wartości. Stwierdzono liczebność bakterii wegetatywnych powyżej 45 tys. jtk/g gleby (rys. 198a), bakterii spoczynkowych powyżej 25 tys. jtk/g gleby (rys. 198b), promieniowców powyżej 2 tys. jtk/g gleby (rys. 198c) a grzybów powyżej 1,1 tys. jtk/g gleby (rys. 198d). Powyżej głębokości 0,2m stwierdzono spadek liczebności badanych grup drobnoustrojów, przy wartościach przewodności elektrycznej przekraczających 18 mS/m (obszary koloru czerwonego).





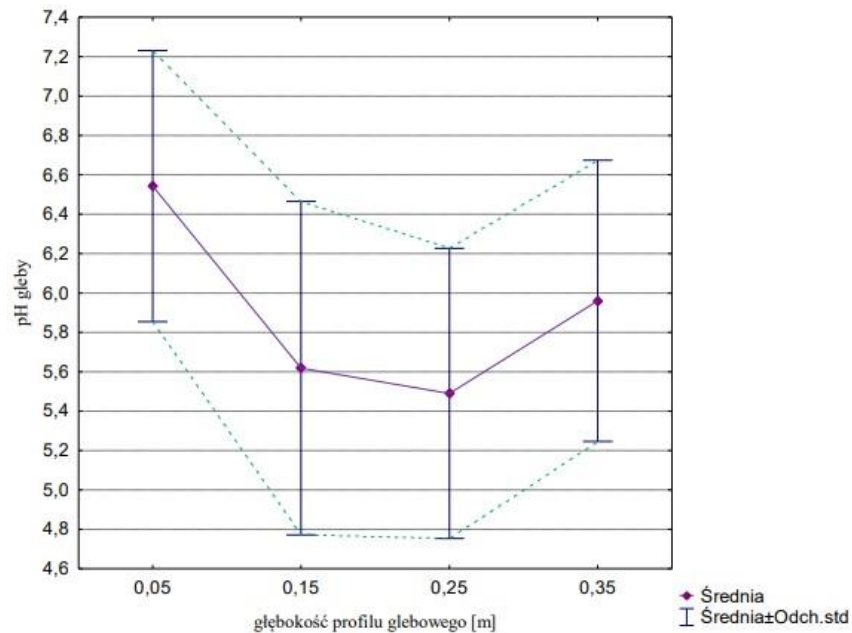
Źródło: opracowanie własne

Rys. 198. Wpływ głębokości i przewodności elektrycznej gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

### 7.2.3 Charakterystyka parametrów chemicznych gleby

Odczyn chemiczny gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m został przedstawiony na rysunku 199. Zaobserwowano, że wartość pH gleby spadała wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Największy spadek wartości pH gleby w badanych profilu glebowym wyniósł 1 przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 15%. W wierzchniej warstwie gleby do 0,15m spadek wartości pH gleby wyniósł 0,77, przy niskich wartościach współczynników zmienności wynoszących odpowiednio 11% (0,05m) i 15% (0,15m). W głębszych warstwach gleby (0,25m - 0,35m) został odnotowany incydentalny wzrost wartości pH gleby (wzrost wartości o 0,45). W celu ustalenia przestrzennego rozkładu pH gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 200-203).





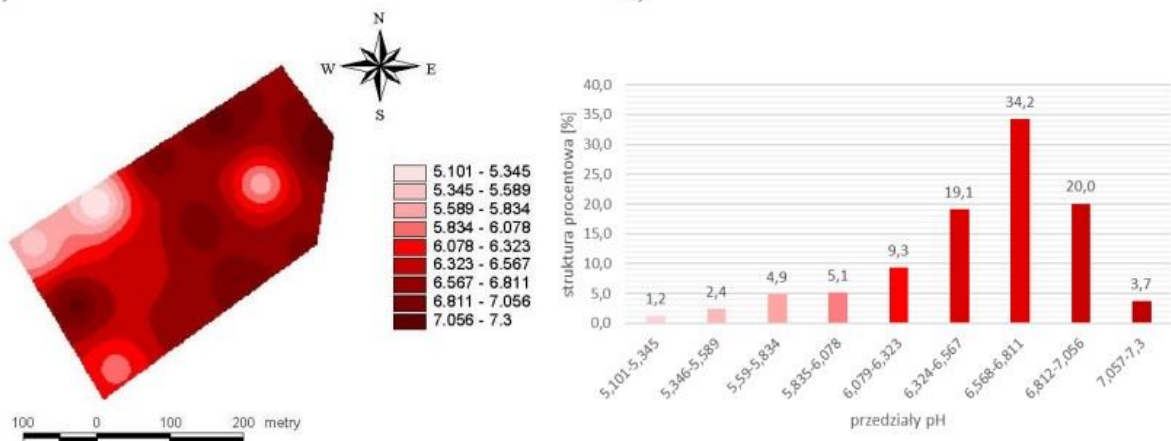
Źródło: opracowanie własne

Rys. 199. Odczyn chemiczny gleby pola obiektu II wyznaczona metodą potencjometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością pH gleby na głębokości 0,05m (przedział 7,057 – 7,3) stanowiła 3,7% (rys. 200b). Nieco mniejszą powierzchnię – 1,2% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 5,101 – 5,345. Na terenie obejmującym aż 34,2% pola zaobserwowano wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 6,568 – 6,811. Teren ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 200a.

a)

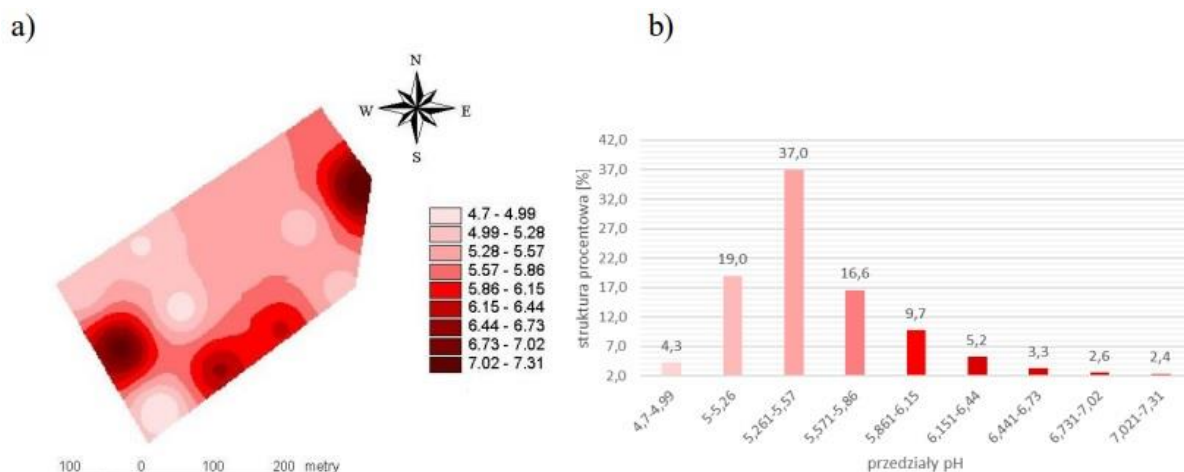
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 200. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwiążności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwiążności gleby

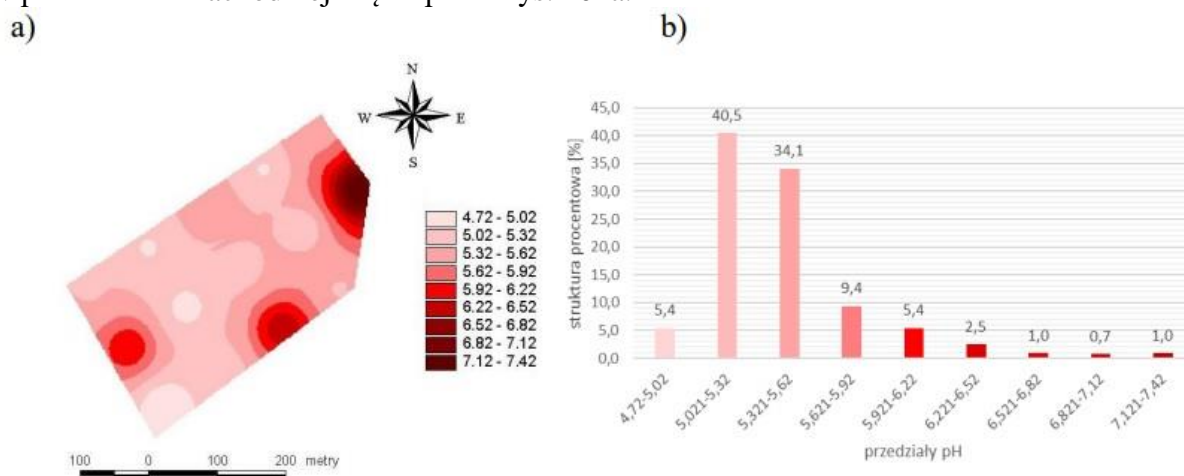
W przypadku wartości zwiążności gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 7,021 – 7,31 odnotowano na powierzchni zajmującej 2,4% (rys. 201b). Nieco większą powierzchnię (4,3%) zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 4,7 – 4,99). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 5,261 – 5,57 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 37%, znajdująca się w południowej części pola.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 201. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwiążności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwiążności gleby

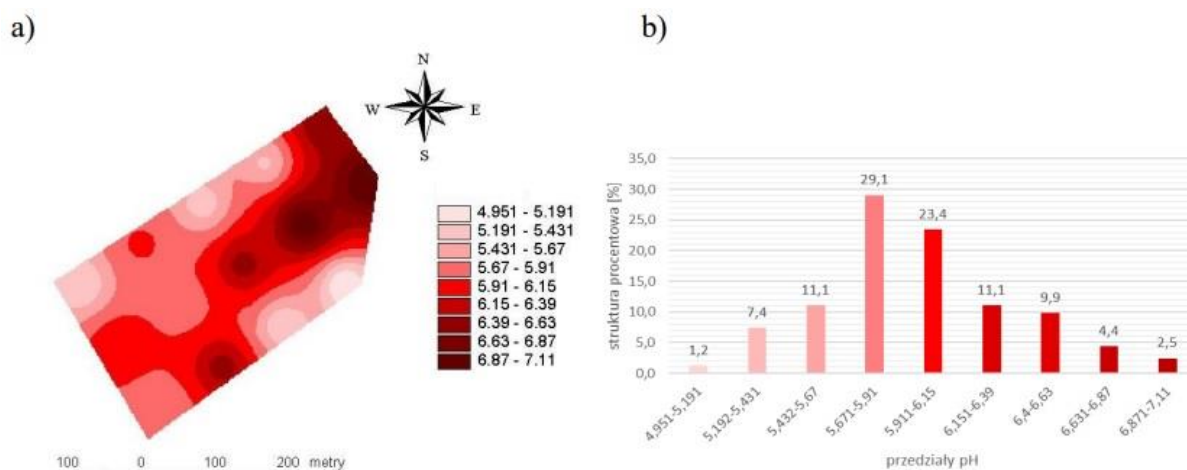
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością pH gleby na głębokości 0,25m (przedział 7,121 – 7,42) stanowiła 1% (rys. 202b). Nieco większą powierzchnię – 5,4% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 4,72 -5,02. Na terenie obejmującym aż 40,5% pola zaobserwowano wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 5,021 – 5,32. Teren ten znajdował się głównie w południowo- zachodniej części pola - rys. 202a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 203. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwiążności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwiążności gleby

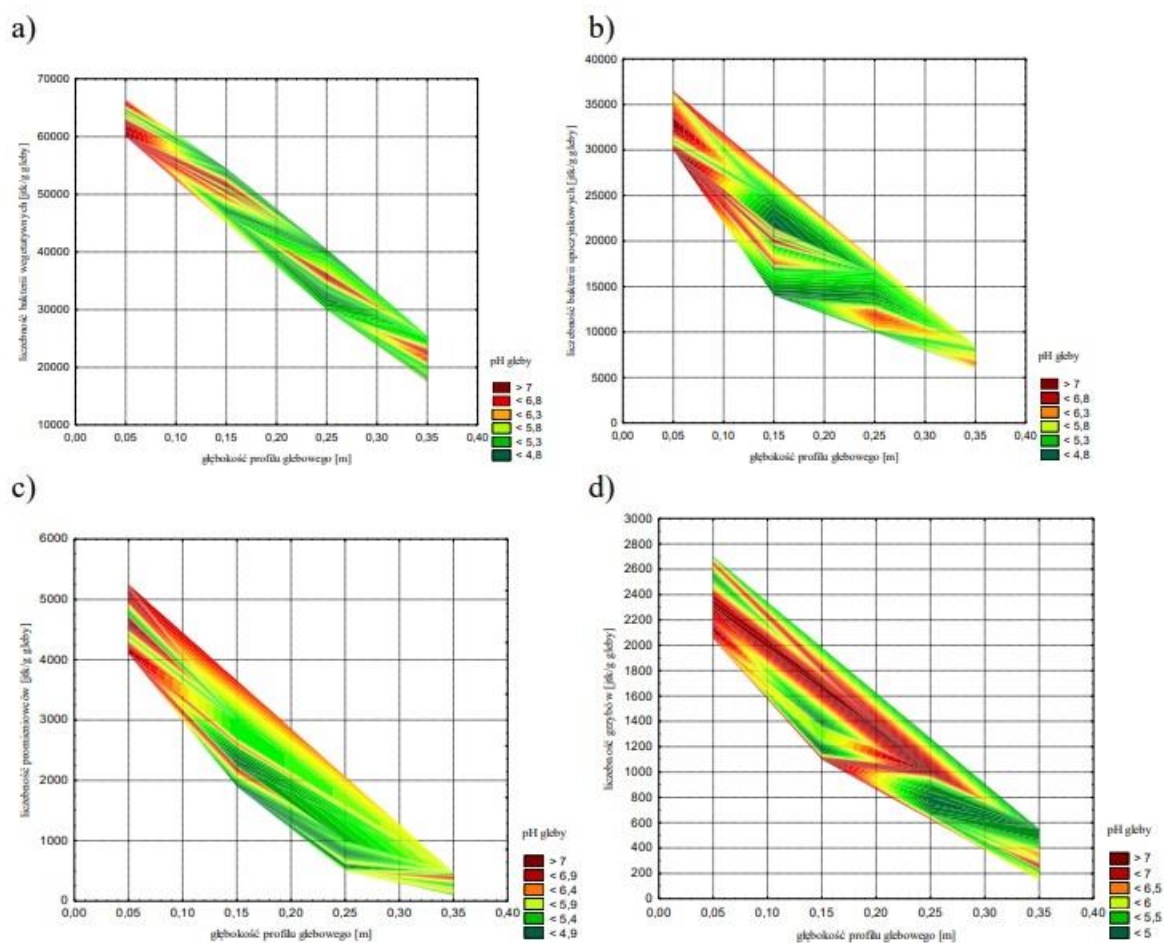
W przypadku wartości pH gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 6,871 – 7,11 odnotowano na powierzchni zajmującej 2,5% (rys. 203b). Nieco mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 4,951 – 5,191). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 5,671 - 5,91 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 29,1%, znajdująca się w południowo-zachodniej części pola – rys. 203a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 203. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

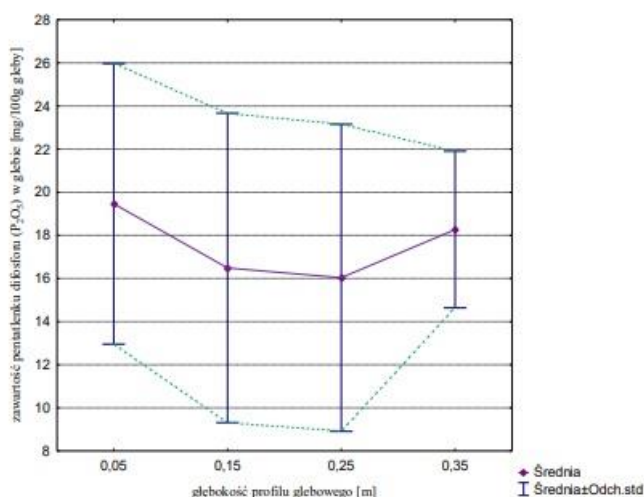
Zaobserwowano, że pH gleby wpływa na rozwój drobnoustrojów w glebie. W profilu glebowym do głębokości 0,15m, przy wartościach pH gleby powyżej 6,3 można zauważyć obszary (kolor brązowy przechodzący w pomarańczowy), gdzie liczebność bakterii vegetatywnych spadła do 52,5 tys. jtk/g gleby (rys. 204a), natomiast w przypadku bakterii spoczynkowych (rys. 204b) można wyróżnić dwa obszary, gdzie liczebność tej grupy przyjęła wartości 17 tys. jtk/g gleby oraz 20 tys. jtk/g gleby. Również dla grupy promieniowców (rys. 204c) można wyodrębnić dwa obszary, gdzie ich liczebność wyniosła 2,5 tys. jtk/g gleby. Ponadto dla grzybów (rys. 204d) należy zauważyć wyraźny obszar koloru brązowego (pH gleby powyżej 7) w profilu glebowym na głębokości 0,05 – 0,3m, gdzie liczebność spadła do 800 jtk/g gleby. W głębszej warstwie gleby (0,15 – 0,25m) liczebność bakterii spoczynkowych i promieniowców spadła odpowiednio do 10 tys. jtk/g gleby i 75 jtk/g gleby (kolor zielony), gdzie wartość pH nie przekroczyła 5,3. Natomiast w warstwie gleby 0,25 – 0,35m liczebność grzybów spadła z 1 000 do 400 jtk/g gleby przy pH gleby poniżej 5. Związek między odczynem chemicznym i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego został przedstawiony na rysunku 204.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 204. Wpływ głębokości i pH gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

Zawartość pentatlenku difosforu w glebie została zilustrowana na rysunku 205. Stwierdzono, że zawartość pentatlenku difosforu w glebie obniża się wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) odnotowano spadek wartości  $P_2O_5$  o 2,3 mg/100g gleby, przy współczynnikach zmienności wynoszących 33% (0,05m) i 44% (0,15m). W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) spadek zawartości pentatlenku difosforu był niższy (o 0,51 mg  $P_2O_5$  /100g gleby), a współczynniki zmienności zawartości pentatlenku difosforu w glebie w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekroczyły 44%. Największy spadek wartości zawartości pentatlenku difosforu w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m i wyniósł 4,07 mg  $P_2O_5$ /100g gleby, przy współczynniku zmienności wynoszącym odpowiednio 33% (0,05m) i 20% (0,35m). W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości pentatlenku difosforu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 206-209).

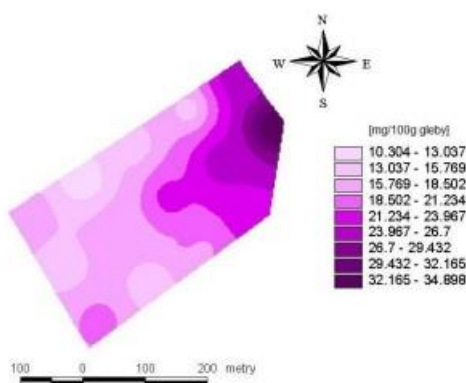


Źródło: opracowanie własne

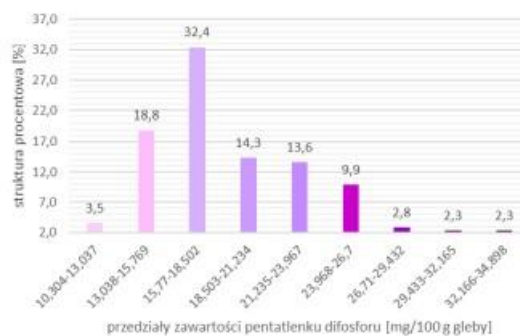
Rys. 205. Zawartość pentatlenku difosforu w glebie pola obiektu II wyznaczona metodą kolorymetryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością zawartości pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 32,166 – 34,898 mg/100g gleby) stanowiła 2,3% (rys. 206b). Nieco większą powierzchnię – 3,5% stanowiły obszary, na których wartości zawartości pentatlenku difosforu w glebie były najmniejsze i mieściły się w przedziale 10,304 – 13,037 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 32,4% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 15,77 – 18,502 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w południowo- zachodniej części pola – rys. 206a.

a)



b)

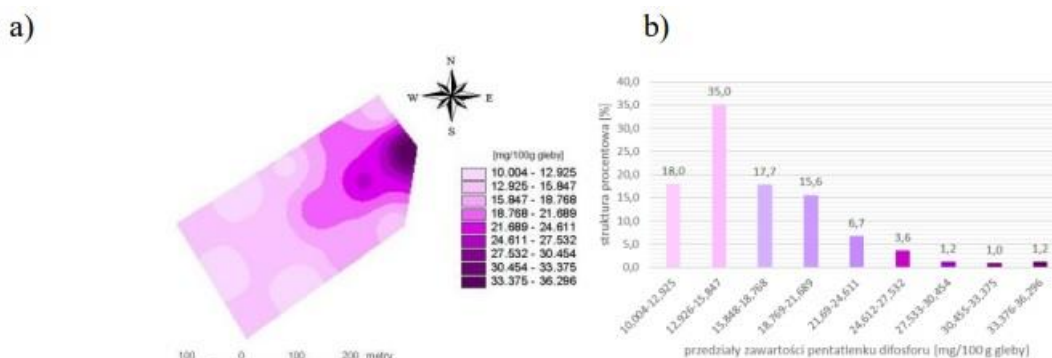


Źródło: opracowanie własne

Rys. 206. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości gleby

W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 33,376 – 36,296 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej zaledwie 1,2% (rys. 207b). Piętnastokrotnie większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie były najniższe (przedział wartości 10,004 – 12,925 mg/100g gleby). Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 12,926 – 15,847 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 35%, która obejmowała południowo- zachodnią część pola – rys. 207a.

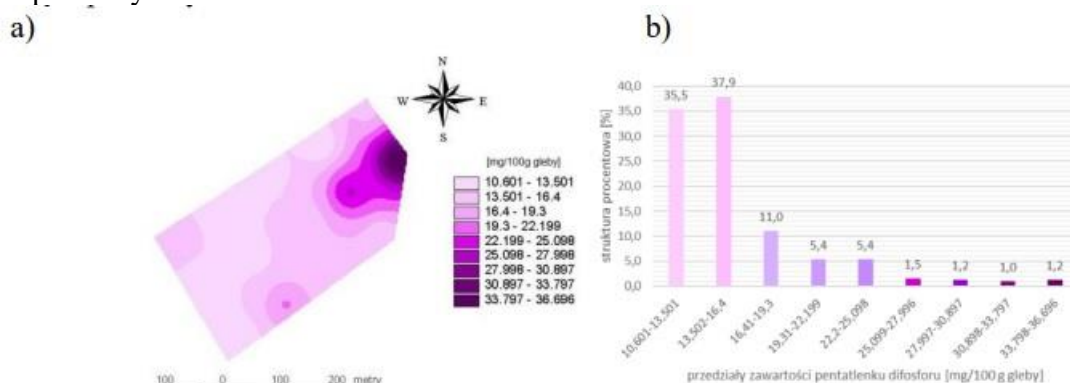




Źródło: opracowanie własne

Rys. 207. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

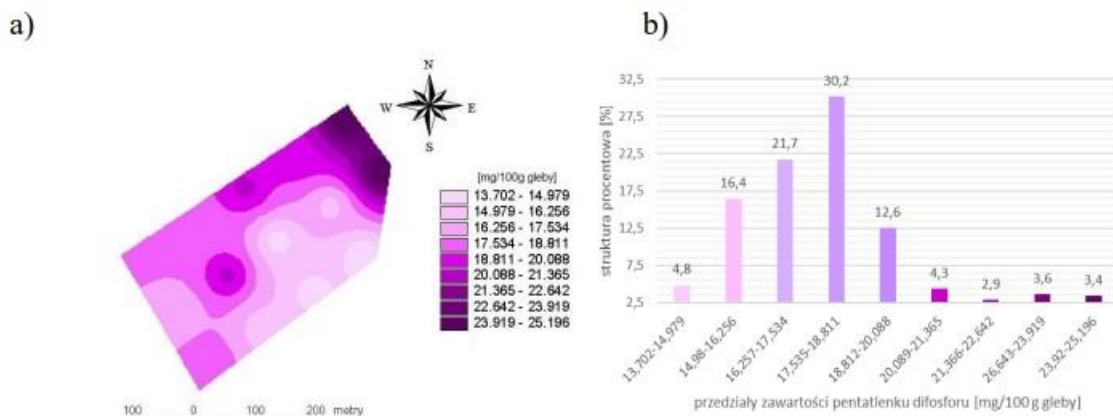
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 33,798 – 36,696 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 1,2% (rys. 208b). Znacznie większą powierzchnię – 35,5% stanowiły obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 10,601 – 13,501 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 37,9% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 13,502 – 16,4 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował centralną oraz południowo-zachodnią część pola – rys. 208a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 208. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

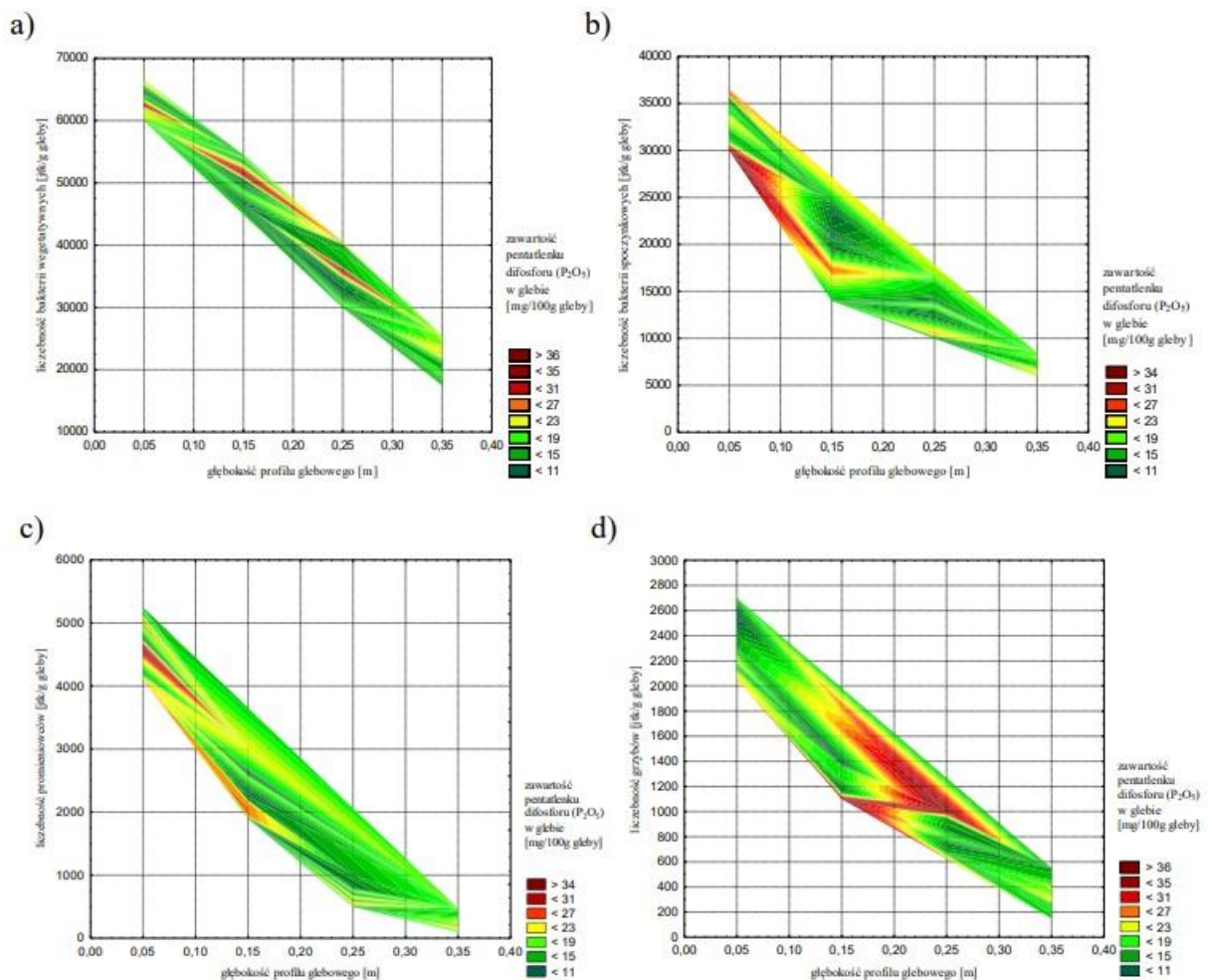
W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 23,92 – 25,196 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,4% (rys. 209b). Nieco większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najniższa (przedział wartości 13,702 – 14,979 mg/100g gleby). Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 17,535 – 18,811 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 30,2%. Teren ten obejmował południowo-zachodnią część pola – rys. 209a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 209. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów żyzności gleby

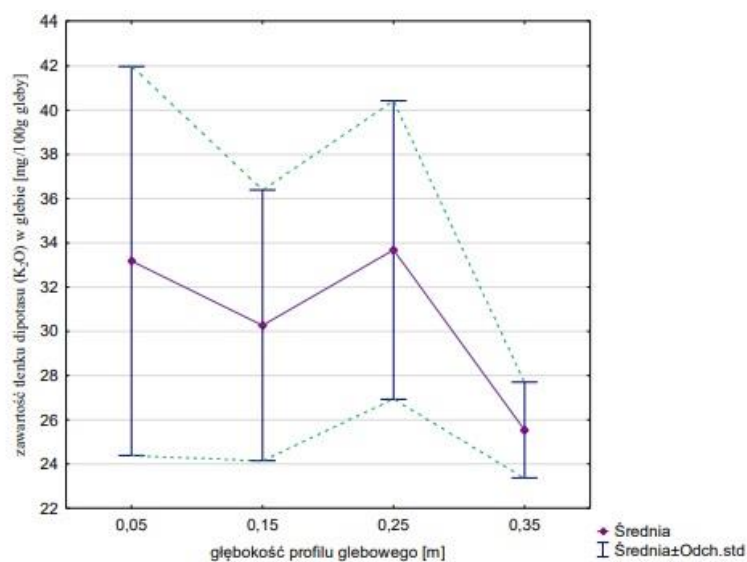
Zawartość pentatlenku difosforu w glebie wpływa na liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów. Można zauważyć wyraźny obszar koloru czerwonego (zawartość pentatlenku difosforu powyżej 23 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g gleby), w którym liczebność bakterii spoczynkowych (rys. 210b) zmniejszyła się z 30 do 16 tys. jtk/g gleby w profilu glebowym do głębokości 0,15m, a liczebność grzybów (rys. 210d) obniżyła się z 2 tys. do 800 jtk/g gleby w profilu glebowym na głębokości 0,15 – 0,3m. W przypadku pozostałych grup mikroorganizmów (bakterii wegetatywnych i promieniowców) można dostrzec wąskie obszary wyżej wymienionej wartości zawartość pentatlenku difosforu, gdzie liczebność bakterii wegetatywnych (rys. 210a) spadła do 59 tys. jtk/g gleby, a promieniowców do 3,5 tys. jtk/g gleby w profilu glebowym do głębokości 0,1m. Przy zawartości pentatlenku difosforu między 19 a 23 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g gleby można wyróżnić obszar koloru pomarańczowego, gdzie liczebność promieniowców wyniosła 2 tys. jtk/g gleby na głębokości 0,15 m. Przy tej samej zawartości pentatlenku difosforu na głębokości 0,25m liczebność bakterii spoczynkowych wyniosła 11 tys. jtk/g gleby. Relacja między zawartością pentatlenku difosforu i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 210.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 210. Wpływ głębokości i dostępności pentatlenku fosforu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii vegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

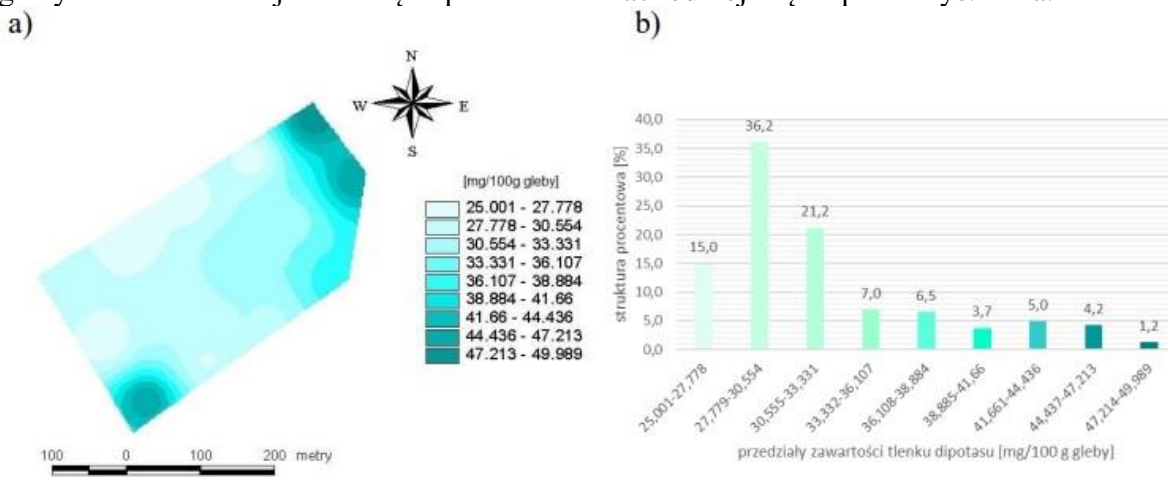
Zaobserwowano, że zawartość tlenku dipotasu w glebie obniża się wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W warstwie gleby na głębokości 0,15m i 0,25m, stwierdzono wzrost zawartość tlenku dipotasu o 4,03 mg  $K_2O/100g$  gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 20%. Wzrost zawartość tlenku dipotasu w analizowanym przedziale głębokości profilu glebowego miał charakter incydentalny. Spadek zawartość tlenku dipotasu odnotowano w warstwach gleby na głębokościach 0,05 – 0,15m oraz 0,25 – 0,35m o odpowiednio 5,57 mg  $K_2O/100g$  gleby i 12,73 mg  $K_2O/100g$  gleby. Współczynniki zmienności w przypadku wierzchniej warstwy gleby nie przekroczyły 27%, natomiast w przypadku głębszej warstwy, nie przekroczyły 20%. Zawartość tlenku dipotasu w glebie została zilustrowana na rysunku 211. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości tlenku dipotasu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 212-215).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 211. Zawartość tlenu dipotasu w glebie pola obiektu II wyznaczona metodą fotometrii płomieniowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenu dipotasu na głębokości 0,05m (przedział 47,214 – 49,989 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 1,2% (rys. 212b). Dwunastokrotnie większą powierzchnię –15% stanowiły obszary, na których zawartość tlenu dipotasu była najmniejsza i mieściła się w przedziale 25,001 – 27,778 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 36,2% pola zaobserwowano zawartość tlenu dipotasu mieszczącą się w przedziale wartości 27,779 – 30,554 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w południowo-zachodniej części pola – rys. 212a.



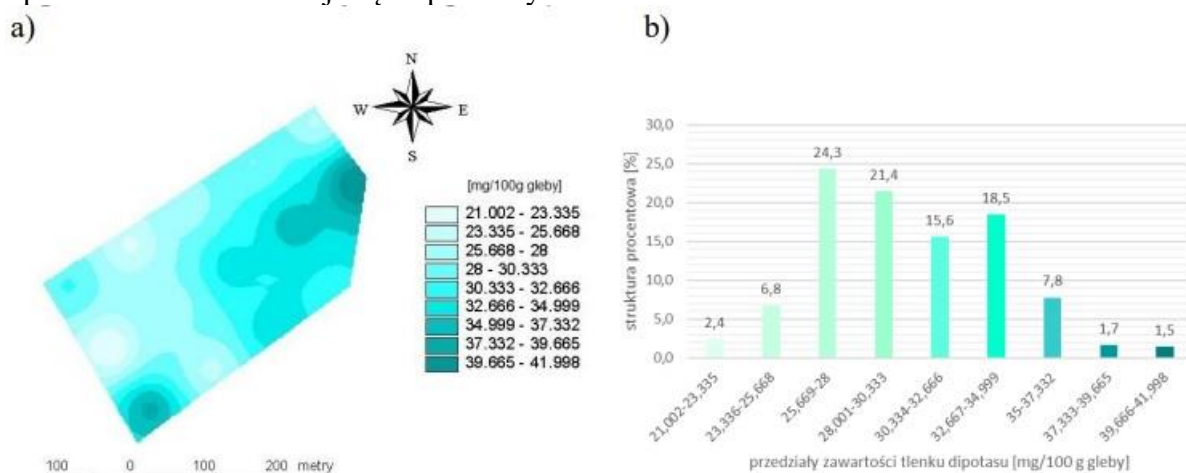
Źródło: opracowanie własne

Rys. 212. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,05 m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

W przypadku zawartości tlenu dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale 39,666 – 41,998 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,5% (rys. 213b). Nieco większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 21,002 – 23,335 mg/100g gleby). Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 25,669 – 28 mg/100g gleby



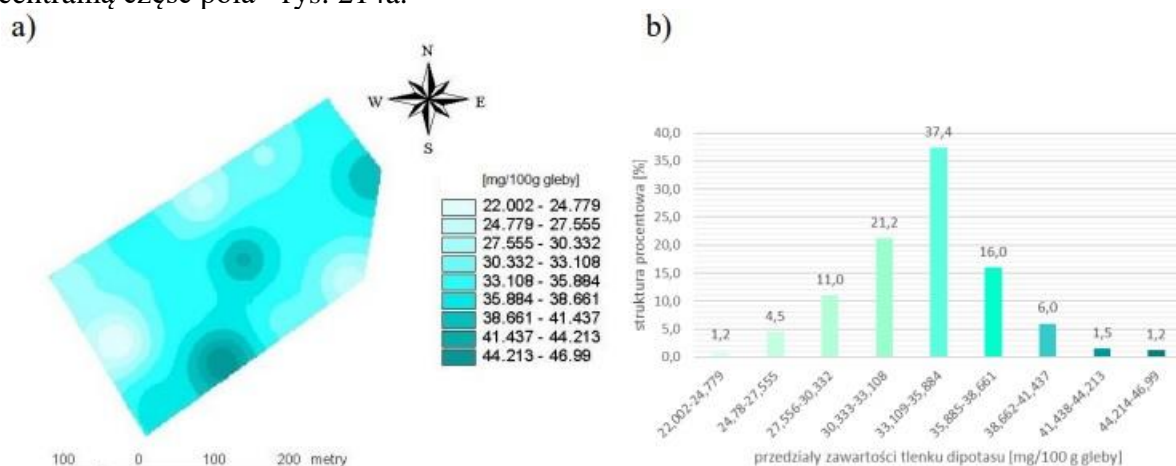
charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 24,3%. Teren ten znajdował się w południowo- zachodniej części pola – rys. 213a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 213. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenu dipotasu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 44,214 – 46,99 mg/100g gleby) stanowiła 1,2% (rys. 214b). Taką samą powierzchnię stanowiły obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 22,002 – 24,779 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 37,4% pola zaobserwowano zawartość tlenu dipotasu w glebie mieściła się w przedziale wartości 33,109 – 35,884 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował centralną część pola - rys. 214a.



Źródło: opracowanie własne

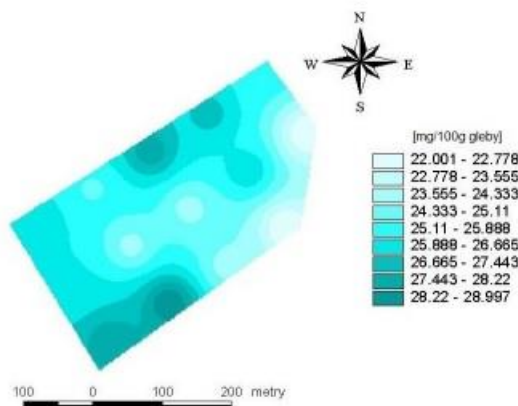
Rys. 214. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

W przypadku zawartości tlenu dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale 28,221 – 28,997 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,4% (rys. 215b). Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 22,001 – 22,778 mg/100g gleby). Teren ten znajdował się

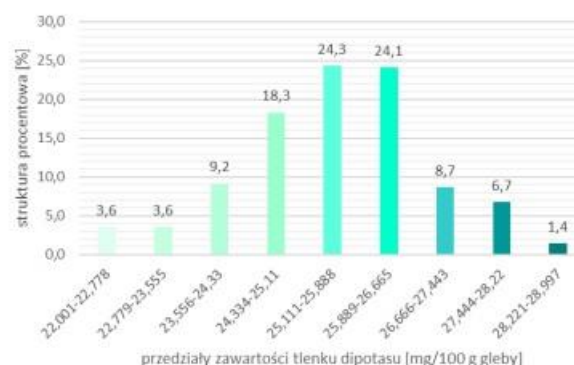


w południowej części pola – rys. 215a. Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszcząca się w przedziale wartości 25,111 – 26,665 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca łącznie 48,4%.

a)



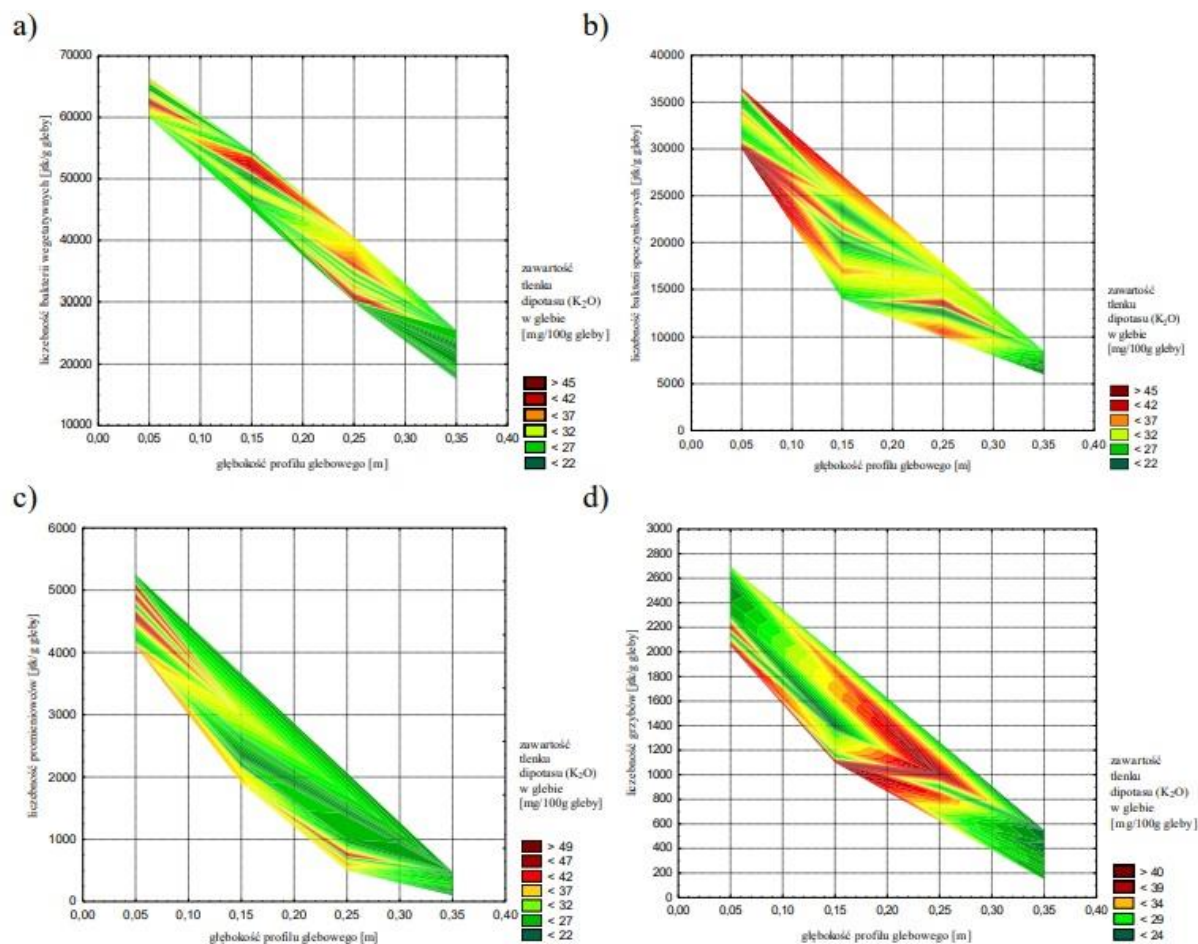
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 215. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu w glebie

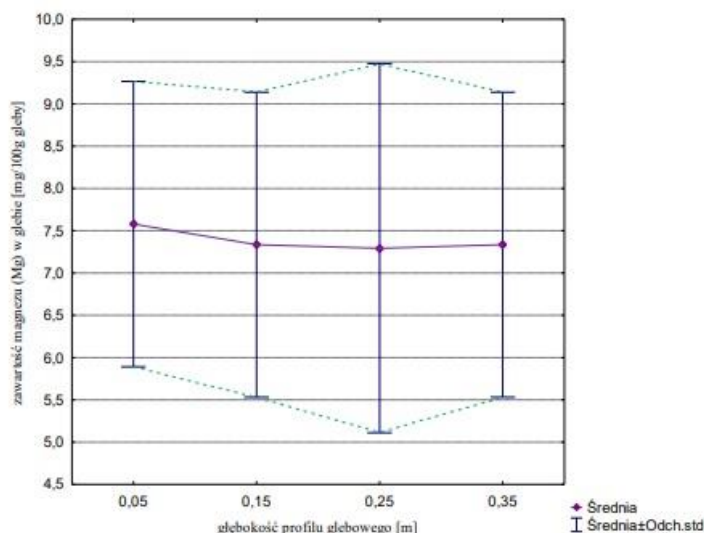
Związek między zawartością tlenu dipotasu i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego został przedstawiony na rysunku 216. Do głębokości 0,15m można wyróżnić obszar koloru ciemnoczerwonego (zawartość tlenu dipotasu 37 mg  $K_2O/100g$  gleby), gdzie liczebność bakterii spoczynkowych (rys. 216b) spadła do 17 tys. jtk/g gleby. Przy tej samej zawartości tlenu dipotasu liczebność grzybów (rys. 216d) spadła z 2 tys. jtk/g gleby do 600 jtk/g gleby w głębszej warstwie gleby (0,15 – 0,3m). W przypadku promieniowców (rys. 216c) przy zawartości tlenu dipotasu poniżej 32 mg  $K_2O/100g$  gleby (obszar koloru zielonego) ich liczebność spadła do 25 jtk/g gleby w profilu glebowym na głębokości 0,15 – 0,3m. Można wyróżnić wąski obszar koloru brązowego (zawartości tlenu dipotasu powyżej 45 mg  $K_2O/100g$  gleby), gdzie liczebność bakterii wegetatywnych przyjmuje wartości powyżej 60 tys. jtk/g gleby. Ponadto na głębokości 0,15m i 0,25m zawartość tlenu dipotasu powyżej 37 mg  $K_2O/100g$  gleby przełożyła się na liczebność tej grupy na poziomie odpowiednio 55 i 35 tys. jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 216. Wpływ głębokości i dostępności tlenu dipotasu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

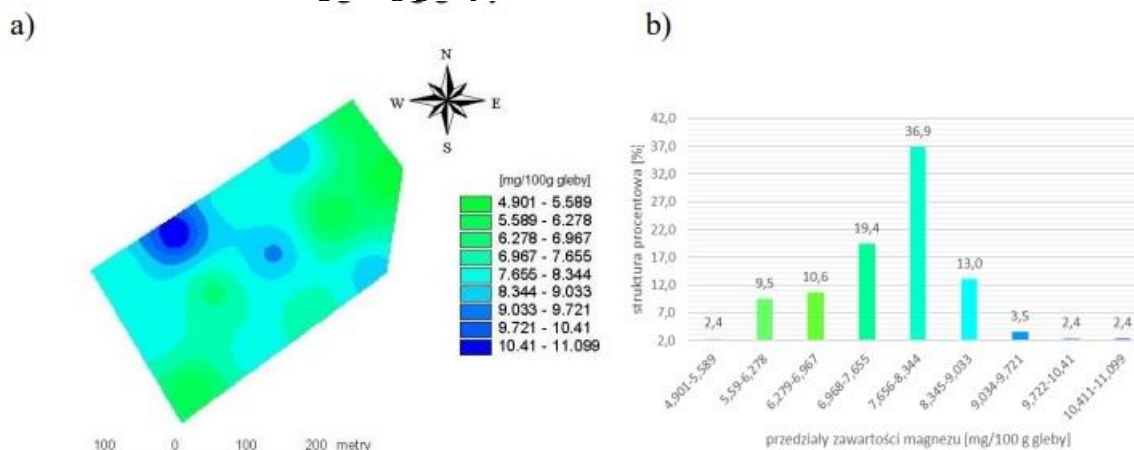
Także w przypadku obecności magnezu w glebie, wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego zaobserwowano spadek jego zawartości. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) stwierdzono spadek zawartości magnezu o 0,13 mg Mg/100g gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 25%. Zawartość magnezu wzrosła o 0,34 mg Mg/100g gleby na głębokości 0,15 – 0,25m, co miało charakter epizodyczny. W głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) zarejestrowano nieco większy spadek zawartości magnezu (o 0,34 mg Mg/100g gleby), a współczynniki zmienności zawartości magnezu w glebie w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniosły odpowiednio 30% i 25%. Zawartość magnezu w glebie została przedstawiona na rysunku 217. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości magnezu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 218-221).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 217. Zawartość magnezu w glebie pola obiektu II wyznaczona metodą techniką atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu (FAAS)

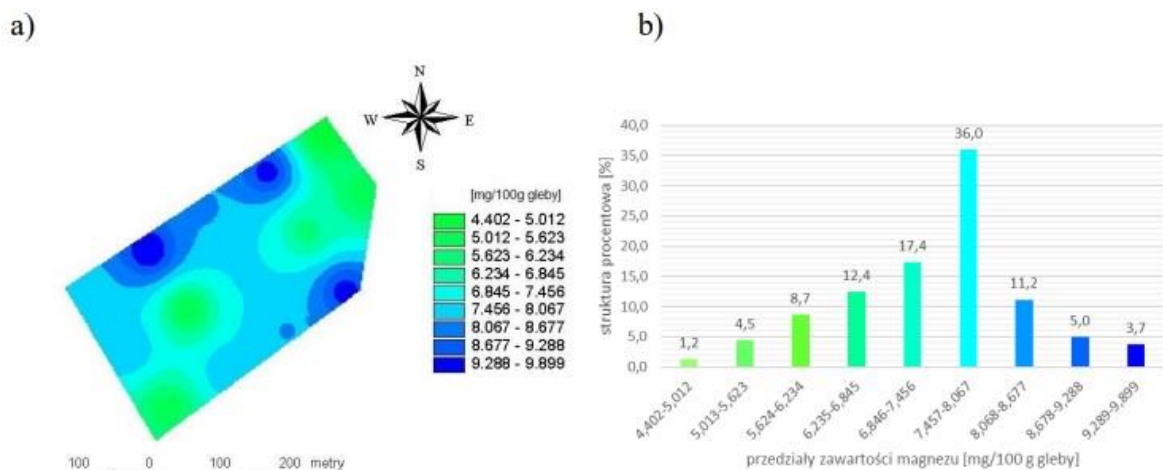
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 10,411 – 11,099 mg/100g gleby) stanowiła 2,4% (rys. 218b). Taka samą powierzchnię stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 4,901- 5,589 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w południowej i północno-wschodniej części pola- rys. 218a. Na terenach obejmujących aż 36,9% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziałach wartości 7,656 – 8,344 mg/100g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 218. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów związłości gleby

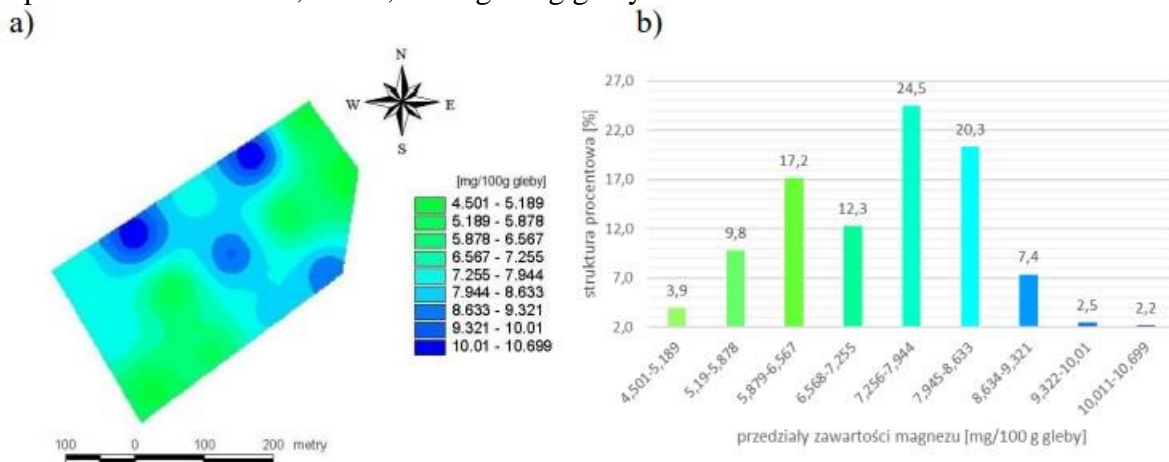
W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 9,289 – 9,899 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,7% (rys. 219b). Trzykrotnie mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 4,402 – 5,012 mg/10g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,457 – 8,067 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 36%. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 219a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 219. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 10,011 – 10,699 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 2,2% (rys. 220b). Obszar ten obejmował wschodnią część pola – rys. 221a. Nieco większą powierzchnię – 3,9% stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 4,501 – 5,189 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 24,5% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 7,256 -7,944 mg/100g gleby.

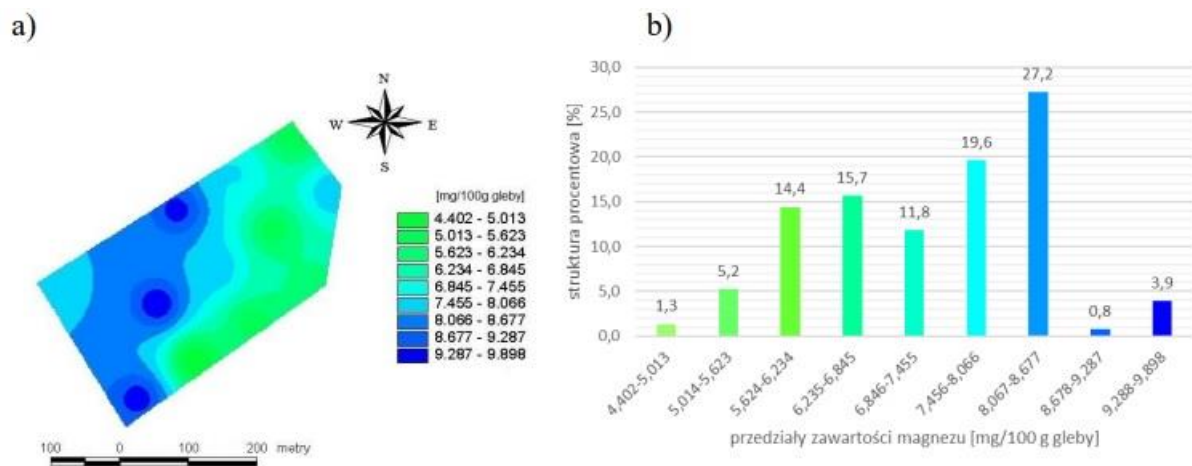


Źródło: opracowanie własne

Rys. 220. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 9,288 – 9,898 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,9% (rys. 221b). Trzykrotnie mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 4,402 – 5,013 mg/100g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 8,067 – 8,677 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 27,2%. Obszar ten obejmował południowo- zachodnią część pola- rys. 221a.

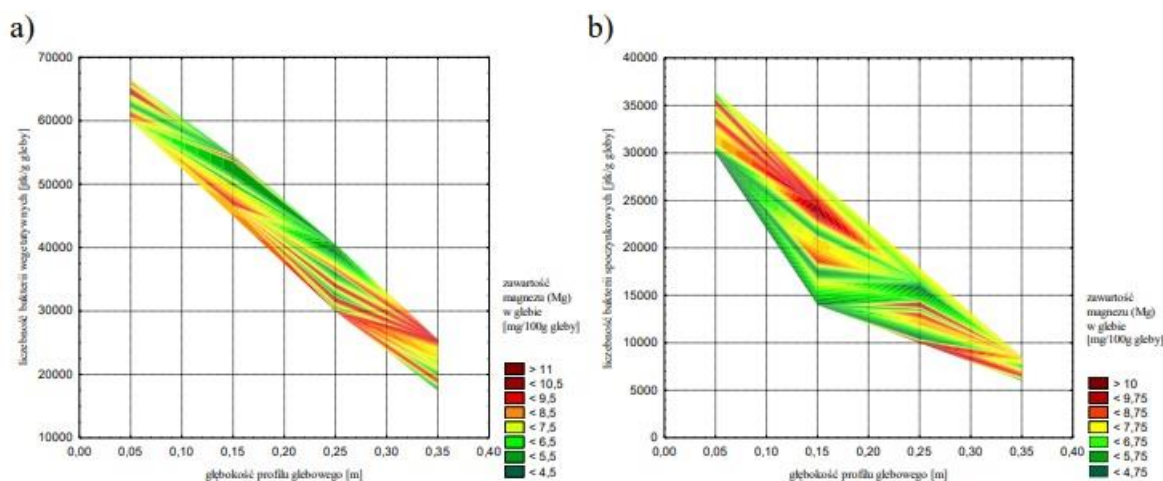




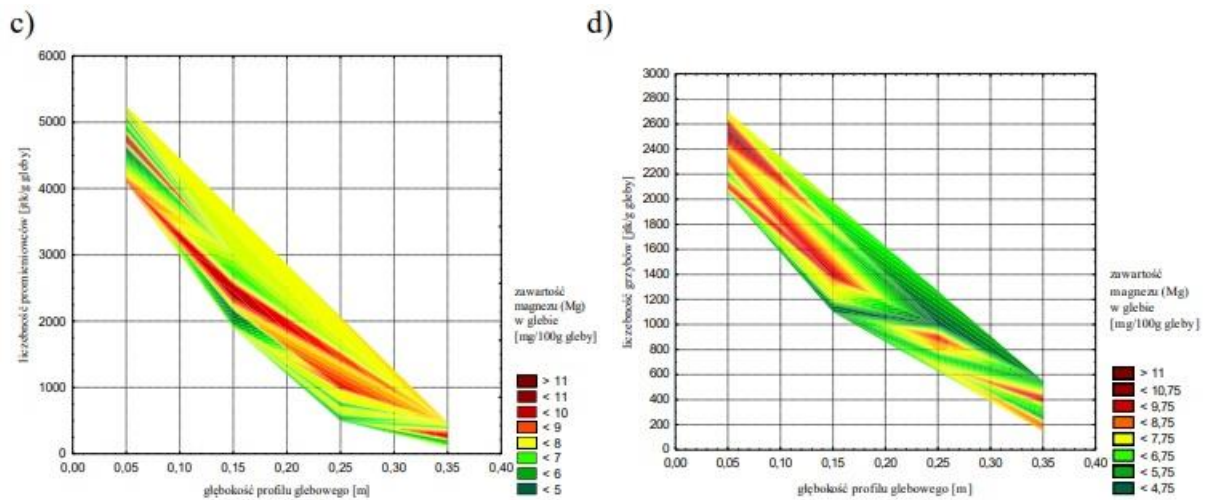
Źródło: opracowanie własne

Rys. 221. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Na rysunku 222 została zilustrowana relacja między dostępnością magnezu w glebie i liczebnością poszczególnych grup mikroorganizmów, a głębokością profilu glebowego. Przy zawartości magnezu powyżej 7,5 mg Mg/100g gleby (kolor brązowy przechodzący w pomarańczowy) do głębokości 0,2m, liczebność bakterii spoczynkowych (rys. 222b) spadła do 18 tys. jtk/g gleby, a grzybów (rys. 222d) do 1,3 tys. jtk/g gleby. W przypadku promieniowców (rys. 222c) do głębokości 0,3m, liczebność tych drobnoustrojów spadła do 500 jtk/g gleby przy zawartości magnezu nie przekraczającej 8 mg Mg/100g gleby (obszar koloru żółtego). Natomiast przy zawartości magnezu powyżej 8,5 mg Mg/100g gleby (obszar koloru czerwonego) liczebność bakterii wegetatywnych (rys. 222a) spadła do 22,5 tys. jtk/g gleby w profilu glebowym na głębokości powyżej 0,25 m. Ponadto w profilu glebowym na głębokości 0,15 – 0,3m przy zawartości magnezu poniżej 5,75 mg Mg/100g gleby (obszar koloru ciemnozielonego) liczebność grzybów utrzymuje się na niskim poziomie.



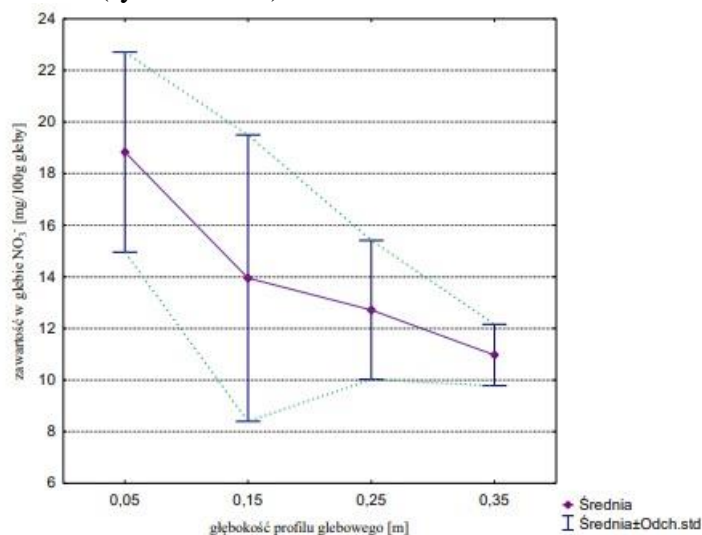




Źródło: opracowanie własne

Rys. 222. Wpływ głębokości i dostępności magnezu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii vegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

Zawartość azotanów w glebie została przedstawiona na rysunku 223. Wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, odnotowano spadek zawartości azotanów. Największy spadek wartości zawartości azotanów w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m i wyniósł 7,87 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, przy współczynnikach zmienności nieprzekraczających 21%. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek zawartości azotanów wyniósł 4,89 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, przy wysokich współczynnikach zmienności (21% (0,05m) i 40% (0,15m)). W głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) stwierdzono spadek zawartości azotanów o 1,75 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości azotanów w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 224-227).

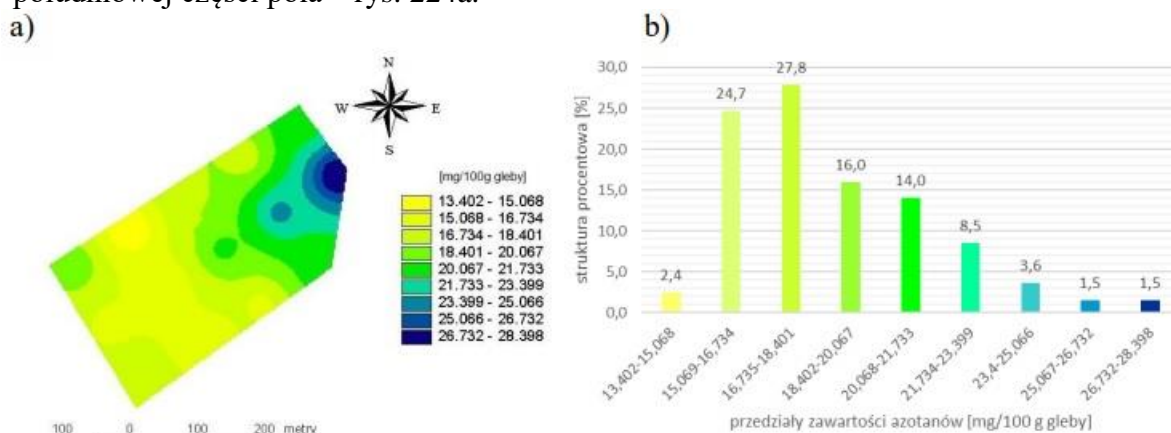


Źródło: opracowanie własne

Rys. 223. Zawartość azotanów w glebie pola obiektu II wyznaczona metodą kolorymetrii przepływowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,05m (przedział 26,732 – 28,398 mg/100g gleby) stanowiła 1,5% (rys. 224b). Nieco większą powierzchnię – 2,4% stanowiły obszary, na których zawartość azotanów

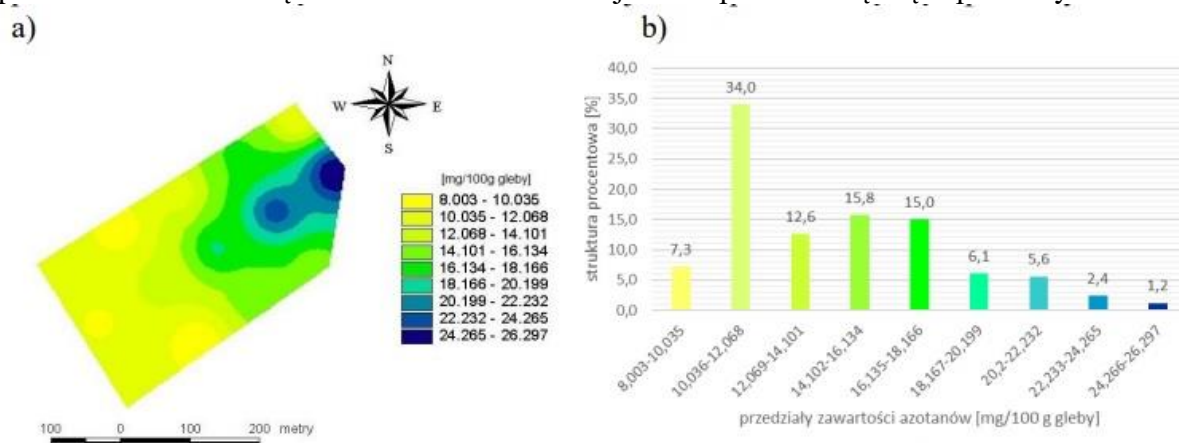
w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 13,402 – 15,068 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 27,8% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 16,735 – 18,401 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w południowej części pola – rys. 224a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 224. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartością azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 24,266 – 26,297 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,2% (rys. 225b). Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 8,003 – 10,035 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 10,036 – 12,068 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 34%. Teren ten obejmował południową część pola – rys. 225a.



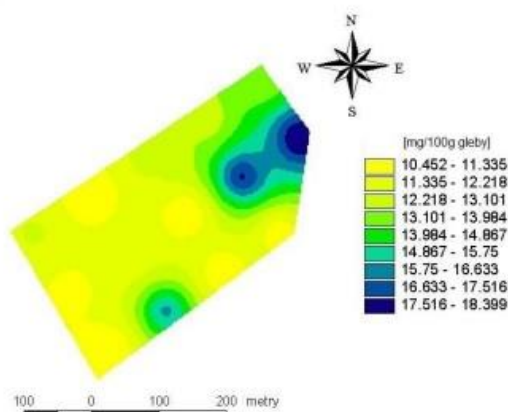
Źródło: opracowanie własne

Rys. 225. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

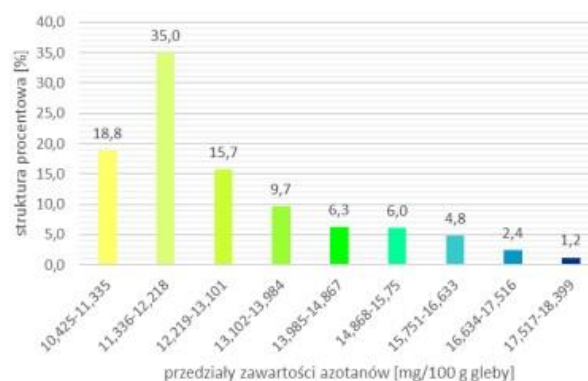
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,25m (przedział 17,517 – 18,399 mg/100g gleby) stanowiła 1,2% (rys. 226b). Piętnastokrotnie większą powierzchnię – 18,8% stanowiły obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 10,425 – 11,335 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował południową część pola – rys. 227a. Na terenie obejmującym aż

35% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 11,336 – 12,218 mg/100g gleby.

a)



b)

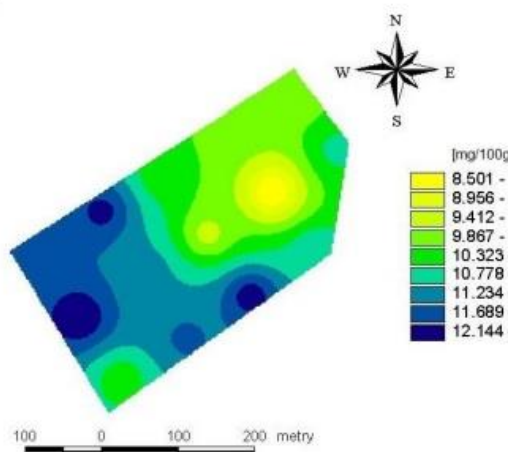


Źródło: opracowanie własne

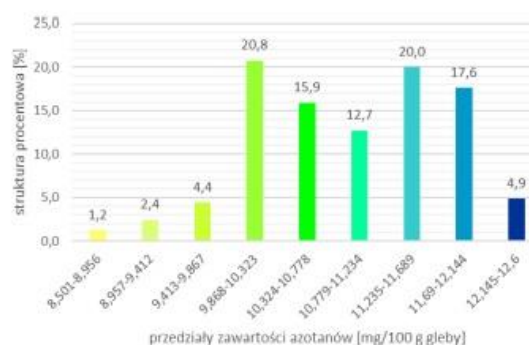
Rys. 226. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 12,145 – 12,6 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 4,9% (rys. 227b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 8,501 – 8,956 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 9,868 – 10,323 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 20,8%. Obszar ten znajdował się w północnej części pola – rys. 227a.

a)



b)

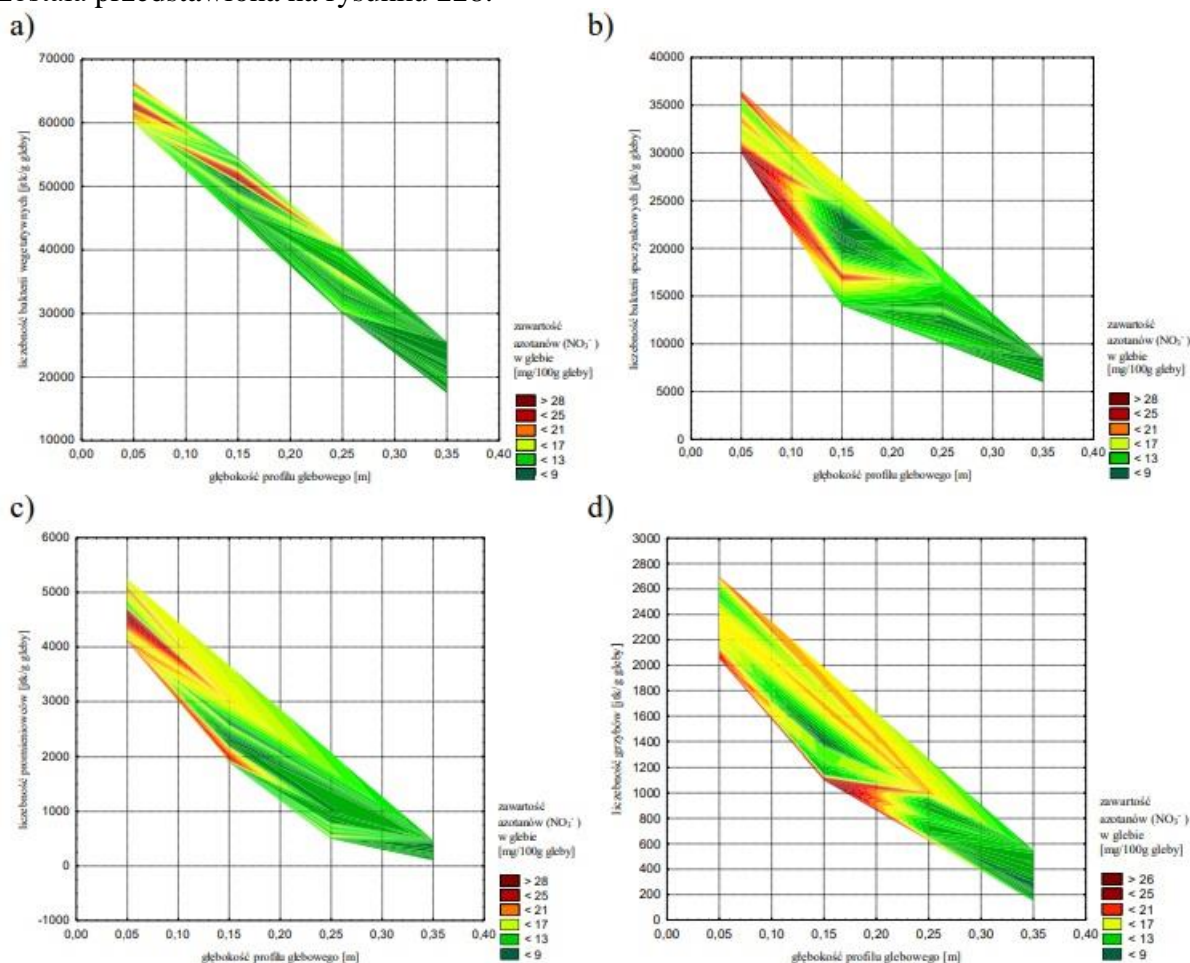


Źródło: opracowanie własne

Rys. 227. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

Zawartość w glebie azotanów wpływa na liczebność mikroorganizmów w glebie. W przypadku bakterii spoczynkowych (rys. 228b) i grzybów (rys. 228d) można zaobserwować wyraźne obszary koloru ciemnoczerwonego (zawartość azotanów powyżej 21 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby), gdzie liczebność tych grup wyniosła odpowiednio powyżej 17 tys. jtk/g gleby i 900 jtk/g gleby w profilu glebowym na głębokości 0,05 – 0,2m.

W przypadku bakterii wegetatywnych (rys. 228b) i promieniowców (rys. 228c) można zauważyć wąskie obszary wysokiej zawartości azotanów w tym samym przedziale głębokości profilu glebowego. W przypadku promieniowców zawartość azotanów 17 - 21 mg  $\text{NO}_3^-/100\text{g}$  gleby (obszar koloru żółtego) utrzymywała się na głębokości do 0,2m, gdzie odnotowano liczebność tej grupy powyżej 2,5 tys. jtk/g gleby. Ta sama zawartość azotanów przekładała się na liczebność grzybów powyżej 800 jtk/g gleb do głębokości 0,3m w profilu glebowym. Bakterie wegetatywne i spoczynkowe rozwijały się głównie przy niskich zawartościach azotanów w profilu glebowym - poniżej 17 mg  $\text{NO}_3^-/100\text{g}$  gleby (obszar koloru zielonego). Relacja między głębokością i zawartością azotanów w glebie a liczebnością drobnoustrojów została przedstawiona na rysunku 228.



Źródło: opracowanie własne

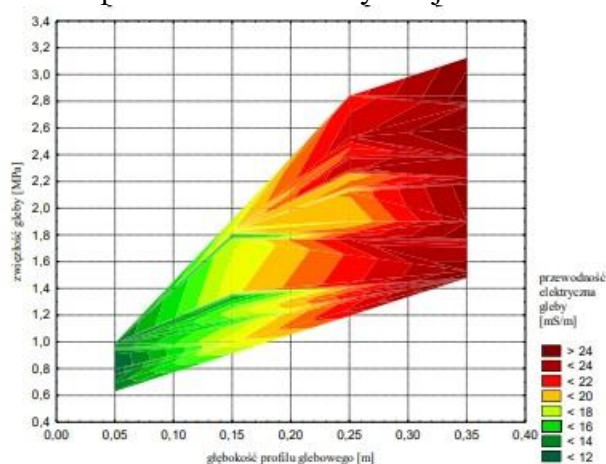
Rys. 228. Wpływ głębokości i zawartości azotanów glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu II

## 7.2.4 Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby

Na rysunku 229 została zwizualizowana relacja między zwięzłością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano wzrost zarówno wartości przewodności elektrycznej, jak i zwięzłości gleby wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Do głębokości 0,12m zwięzłość gleby przyjmuje wartości z zakresu 0,6 – 1,8 MPa, a przewodność elektryczna utrzymuje się poniżej 16 mS/m (kolor zielony). Dwa obszary o wyżej wymienionych wartościach można zaobserwować także na głębokości z zakresu 0,15 – 0,2m. W przedziale głębokości profilu glebowego 0,15 – 0,27m



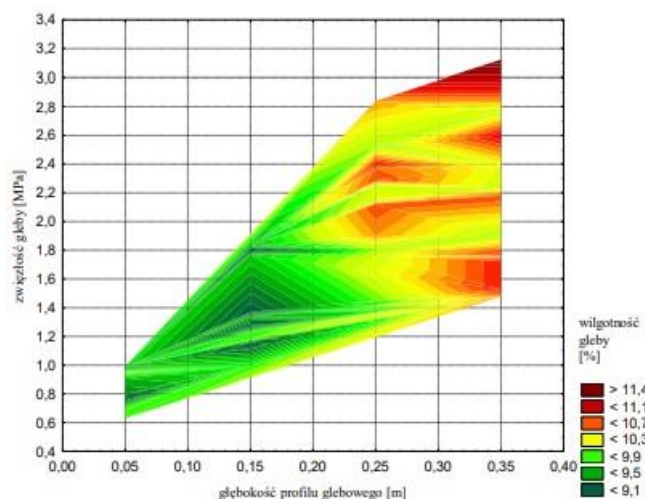
zaobserwowano region, gdzie zwięzłość gleby mieści się w zakresie 1 - 2,2 MPa, a przewodność elektryczna 18 – 22 mS/m (kolor żółty przechodzący w pomarańczowy). W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście zwięzłości gleby o 0,2 MPa odnotowano wzrost przewodności elektrycznej o 2 mS/m.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 229. Relacja pomiędzy zwięzłością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

Na rysunku 230 została przedstawiona relacja między zwięzłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,25m wartości zwięzłości gleby utrzymują się poniżej 2,8 MPa, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości poniżej 10,3% (kolor zielony). Najwyższe wartości wilgotności odnotowano poniżej głębokości 0,25m (powyżej 10,3%), gdzie zwięzłość gleby przyjęła wartości z zakresu 1,2 – 3,1 MPa. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście zwięzłości gleby o 0,2 MPa odnotowano wzrost wilgotności gleby o 0,4 %.



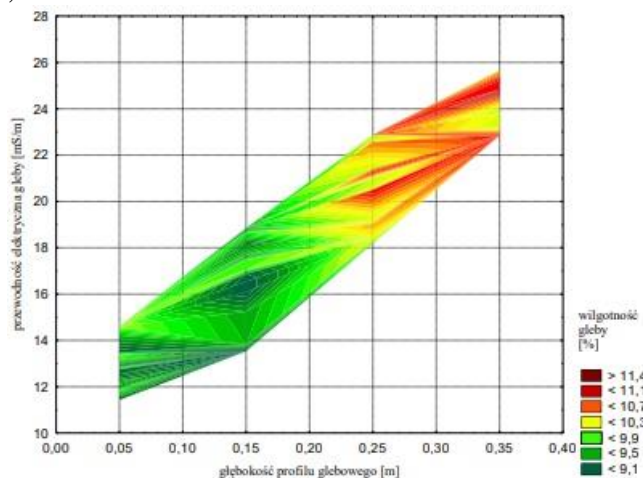
Źródło: opracowanie własne

Rys. 230. Relacja pomiędzy zwięzłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

Na rysunku 231 została zobrazowana relacja między wilgotnością gleby a jej przewodnością elektryczną i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,2m wilgotność gleby przyjmuje wartości poniżej 10,3%, natomiast przewodność elektryczna gleby w tym obszarze przyjmuje wartości poniżej 21 mS/m (kolor zielony). Najwyższe wartości wilgotności gleby (powyżej 10,3%) odnotowano poniżej głębokości



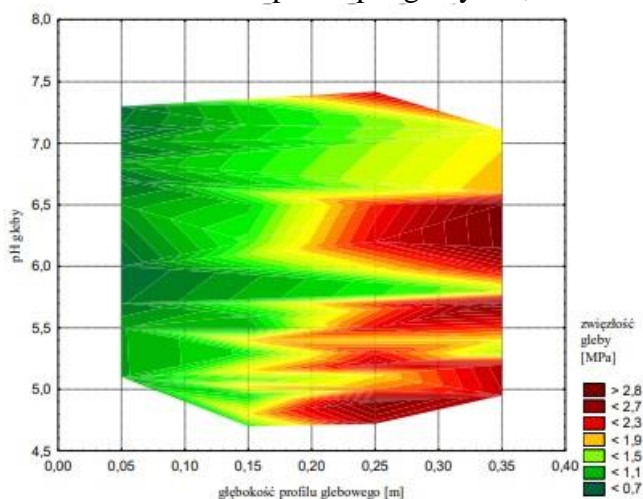
0,25m, gdzie przewodność elektryczna gleby przyjmuje wartości z zakresu 18 - 26 mS/m (kolor czerwony przechodzący w brąz). W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego przy wzroście przewodności elektrycznej gleby o 2 mS/m odnotowano wzrost wilgotności gleby o 0,4%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 231. Relacja pomiędzy wilgotnością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

Na rysunku 232 została przedstawiona relacja między zwięzłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że wzrost wartości zwięzłości gleby powoduje spadek wartości pH wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Powyżej głębokości 0,15m można wyróżnić obszar (kolor zielony) niskiej zwięzłości gleby (wartości poniżej 1,5 MPa), gdzie pH przyjmuje wartości z zakresu 4,7 – 5,3. Należy wyróżnić kilka obszarów (kolor pomarańczowy przechodzący w brązowy), gdzie zwięzłość gleby przyjmuje wartość powyżej 1,5 MPa, natomiast pH przyjmuje wartości z zakresu 4,7 – 5,7; 5,8 – 6 oraz 7,1 - 7,3. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego wraz ze wzrostem zwięzłości gleby o 0,4 MPa odnotowano spadek pH gleby o 0,5.

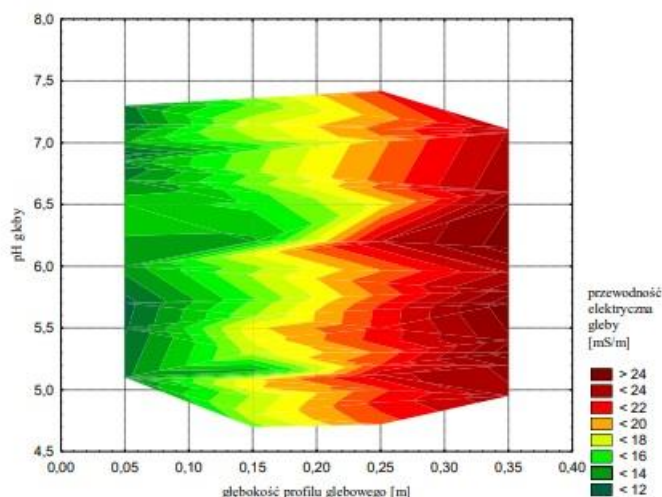


Źródło: opracowanie własne

Rys. 232. Relacja pomiędzy zwięzłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

W przypadku relacji pomiędzy przewodnością elektryczną i pH gleby a głębokością profilu glebowego, zaobserwowano, że przy wyższych wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowano niższe wartości pH przy wzroście głębokości profilu glebowego.

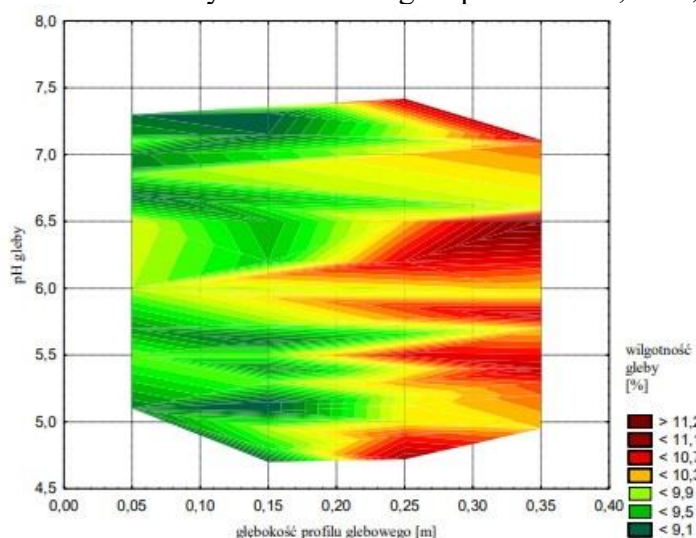
W wierzchnich warstwach gleby jej przewodność elektryczna przyjmuje wartości poniżej 18 mS/m (kolor zielony), natomiast powyżej głębokości 0,2m wartości tego parametru utrzymują się w zakresie 20 – 24 mS/m (kolor czerwony) przy pH z zakresu 4,7 – 7,3. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej gleby o 2 mS/m odnotowano spadek pH gleby o 0,5. Na rysunku 233 została przedstawiona relacja między przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 233. Relacja pomiędzy przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

Na rysunku 234 została zobrazowana relacja między pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,2m wartości odczynu chemicznego gleby utrzymują się poniżej 7,5, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości poniżej 9,9% (kolor zielony). W głębszych warstwach gleby odnotowano najwyższe wartości wilgotności gleby powyżej 10,3% (kolor czerwony przechodzący w brązowy), przy wartościach odczynu chemicznego z przedziału 4,8 – 7,3.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 234. Relacja pomiędzy pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu II

### 7.2.5 Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby

W celu określenia wzajemnych zależności między poszczególnymi badanymi parametrami przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Otrzymane wyniki analizy były istotne statystycznie. Macierz korelacji poszczególnych czynników została przedstawiona w tabeli 12. Uzyskane wartości współczynników korelacji przyjęły wartości zarówno ujemne jak i dodatnie.

Stwierdzono istotny wpływ zwięzłości, przewodności elektrycznej i wilgotności gleby na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych, spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami zwięzłości, przewodności elektrycznej i wilgotności gleby. Wartości współczynników korelacji uzyskane dla relacji przewodności elektrycznej gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, przyjęły wartości z zakresu

(-0,92) – (-0,93), a dla relacji zwięzłości gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów przyjęły wartości z przedziału (-0,95) – (-0,99).

Stwierdzono również istotny wpływ głębokości na liczebność badanych mikroorganizmów, odczyn chemiczny gleby oraz zawartość w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów. Tak jak poprzednio wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów, odczyn chemiczny gleby oraz zawartość w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów, wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji głębokości profilu glebowego i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartość z przedziału (-0,98) – (-0,99).

Ujemną korelację zaobserwowano także dla relacji między zwięzłością i przewodnością elektryczną gleby a jej odczynem chemicznym oraz zawartością w glebie azotanów. Najwyższe współczynniki korelacji uzyskano dla relacji zwięzłości gleby i zawartości w glebie azotanów oraz dla relacji przewodności elektrycznej gleby i zawartości w glebie azotanów, które przyjęły odpowiednio wartości -0,5 i -0,58.

Stwierdzono istotny wpływ zawartości w glebie tlenku dipotasu oraz azotanów na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych i spoczynkowych, a także odczynu chemicznego oraz zawartości azotanów na liczebność bakterii spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były dodatnie, co świadczy o wzroście liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami odczynu chemicznego oraz zawartości w glebie tlenku dipotasu i azotanów. W przypadku wpływu zawartości w glebie tlenku dipotasu oraz azotanów na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych i spoczynkowych wyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji między zawartością azotanów a liczebnością poszczególnych bakterii, które wyniosły odpowiednio 0,61 (bakterie wegetatywne) i 0,58 (bakterie spoczynkowe).

Tabela 12. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a liczebnością badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	<i>głębokość</i> [m]	<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	<i>zwięzłość</i> [MPa]	<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	<i>pH</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	<i>NO<sub>3</sub></i> [mg/100g gleby]
<i>głębokość</i> [m]	XXX												
<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	-0,99*	XXX											
<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	-0,95*	0,94*	XXX										
<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	-0,95*	0,93*	0,95*	XXX									
<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	-0,96*	0,94*	0,95*	0,95*	XXX								
<i>zwięzłość</i> [MPa]	0,82*	-0,82*	-0,81*	-0,84*	- 0,79*	XXX							
<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	0,96*	-0,93*	-0,92*	-0,92*	- 0,93*	0,82*	XXX						
<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	0,85*	-0,83*	-0,75*	-0,69*	- 0,78*	0,51*	0,80*	XXX					
<i>pH</i>	-0,25	0,24	0,31*	0,36*	0,30*	-0,36*	-0,30*	0,00	XXX				
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	-0,07	0,10	0,07	0,11	0,06	-0,18	-0,06	0,09	0,45*	XXX			
<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	-0,31*	0,31*	0,27*	0,22	0,25	-0,13	-0,29*	-0,40*	0,03	0,52*	XXX		
<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	-0,05	0,03	0,09	0,07	0,10	-0,11	-0,05	-0,02	-0,12	-0,37*	-0,34*	XXX	
<i>NO<sub>3</sub></i> [mg/100g gleby]	-0,60*	0,61*	0,58*	0,60*	0,59*	-0,50*	-0,58*	-0,46*	0,36*	0,71*	0,58*	-0,22	XXX

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

## 7.2.6 Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów

Aby określić wpływ badanych parametrów chemicznych i fizycznych na występowanie poszczególnych gatunków drobnoustrojów występujących w profilu glebowym przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Stwierdzono istotny wpływ związków gleby, przewodności elektrycznej gleby oraz zasobności gleby w azotany na bytowanie poszczególnych gatunków mikroorganizmów w profilu glebowym. Odczyn chemiczny gleby oraz zasobność gleby w pentatlenek fosforu, ditlenek potasu oraz magnez nie wpływały istotnie na różnorodność gatunkową drobnoustrojów. Wartości współczynników korelacji między poszczególnymi parametrami fizyko-chemicznymi gleby a liczebnością poszczególnych gatunków drobnoustrojów przedstawia tabela 13. Zaobserwowano, że bez względu na grupę mikroorganizmów, do których należą wyizolowane gatunki, najwyższe współczynniki korelacji odnotowano dla przewodności elektrycznej, które przyjęły wartości powyżej -0,91 dla większości gatunków. Wyjątek stanowił *Bacillus thuringiensis* (bakterie spoczynkowe i wegetatywne), których współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,83 (bakterie spoczynkowe) i -0,79 (bakterie wegetatywne). Warto zauważyć, że wartości współczynników korelacji między przewodnością elektryczną gleby a liczebnością poszczególnych gatunków przyjmują wartości ujemne, co świadczy o spadku liczebności tych drobnoustrojów na obszarach pola charakteryzujących się wysoką przewodnością elektryczną. Najniższe wartości współczynników korelacji bez względu na grupę mikroorganizmów, do których należą wyizolowane gatunki uzyskano dla zasobności gleby w azotany. Wartości tych współczynników mieściły się w przedziale 0,48 – 0,63. Warto zauważyć, że wartości współczynników korelacji między zasobnością gleby w azotany a liczebnością poszczególnych gatunków przyjmują wartości dodatnie, co świadczy o wzroście liczebności tych drobnoustrojów na obszarach pola charakteryzujących się wysoką zasobnością gleby w azotany.



Tabela 13. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a różnorodnością gatunkową badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	Bakterie spoczynkowe		Bakterie wegetatywne			Promieniowce	Grzyby	
	<i>Bacillus mycooides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus mycooides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Nocardioopsis alba</i> [jtk/g gleby]	<i>Streptomyces albidoflavus</i> [jtk/g gleby]	<i>Aspergillus flavus</i> [jtk/g gleby]	<i>Aspergillus niger</i> [jtk/g gleby]
zwięzłość [MPa]	-0,81*	-0,70*	-0,87*	-0,56*	-0,85*	-0,84*	-0,79*	-0,73*
przewodność elektryczna [mS/m]	-0,91*	-0,83*	-0,91*	-0,79*	-0,93*	-0,92*	-0,91*	-0,92*
wilgotność gleby [%]	-0,68*	-0,80*	-0,67*	-0,95*	-0,71*	-0,69*	-0,71*	-0,87*
pH	0,35*	0,04	0,31*	0,06	0,34*	0,36*	0,31*	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/100g gleby]	0,10	-0,07	0,14	0,01	0,13	0,11	0,07	0,03
K <sub>2</sub> O [mg/100g gleby]	0,24	0,23	0,20	0,43*	0,25	0,22	0,21	0,32*
Mg [mg/100g gleby]	0,09	0,08	0,04	-0,01	0,04	0,07	0,11	0,10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/100g gleby]	0,59*	0,48*	0,60*	0,50*	0,63*	0,60*	0,58*	0,57*

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

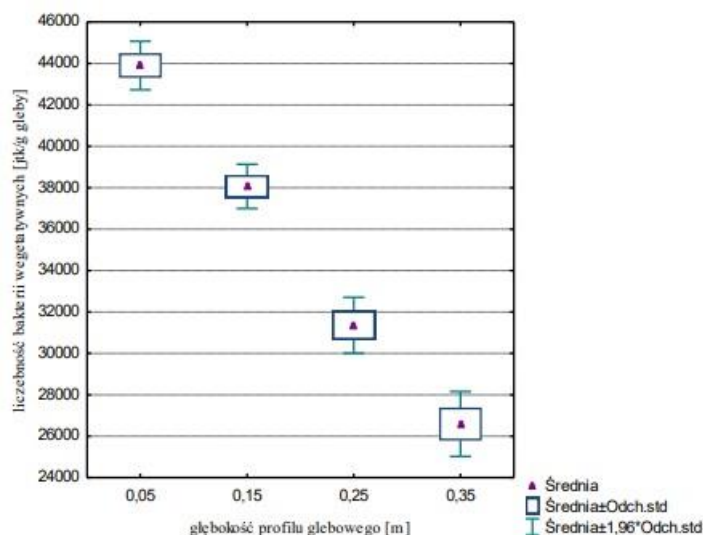
Źródło: opracowanie własne

## 7.3 Obiekt III

### 7.3.1 Charakterystyka ilościowo- jakościowa życia mikrobiologicznego gleby

Na podstawie laboratoryjnych analiz mikrobiologicznych profilu glebowego określono ilościowe występowanie czterech grup mikroorganizmów: bakterii wegetatywnych i spoczynkowych, promieniowców oraz grzybów. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów zmniejsza się.

Na rysunku 235 została przedstawiona liczebność bakterii wegetatywnych w profilu glebowym. Wyraźnie wyodrębniono cztery grupy jednorodnej liczebności tej grupy w profilu glebowym. Najmniejszą średnią wartość liczebności bakterii wegetatywnych wynoszącą 26 591,3 jtk/g gleby odnotowano na głębokości 0,35m, natomiast najwyższą dla głębokości 0,05m – 43 901,9 jtk/g gleby, przy niskich współczynnikach zmienności nie przekraczających 3%. Należy zaznaczyć, że wartości liczebności badanych mikroorganizmów uzyskane na różnych poziomach głębokości były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowaniu niektórych cech profilu glebowego wpływających na występowanie w glebie badanych drobnoustrojów. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii wegetatywnych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 236-239).

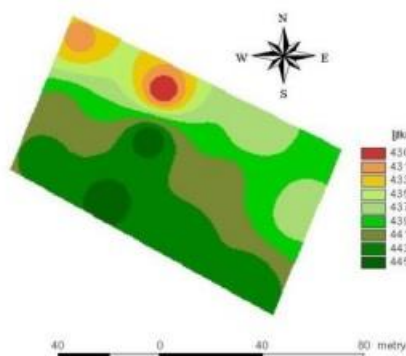


Źródło: opracowanie własne

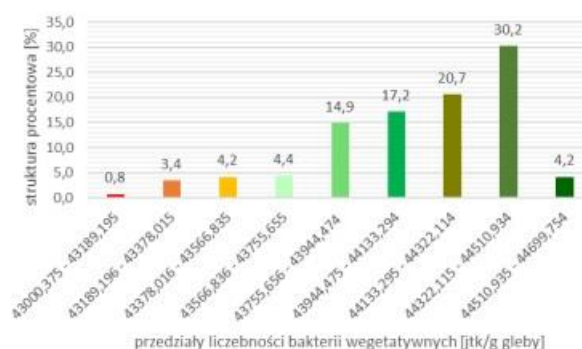
Rys. 235. Liczebność bakterii wegetatywnych profilu glebowego pola obiektu III

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m (przedział 44 510,934 – 44 699,754 jtk/g gleby) stanowiła 4,2%. Mniejszą powierzchnię – 0,8% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii wegetatywnych była najniższa i mieściła się w przedziale 43 000,375 – 43 189,195 jtk/g gleby (rys. 236b). Na terenie obejmującym aż 30,2% pola zaobserwowano wartości liczebności bakterii wegetatywnych mieszczące się w przedziale wartości 44 322,114 – 44 510,934 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany głównie w południowej części pola (rys. 236a).

a)



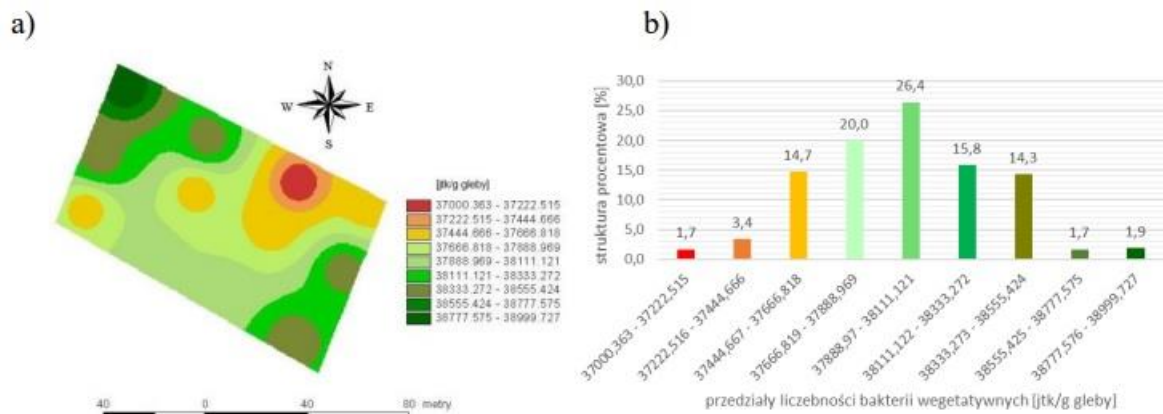
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 236. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

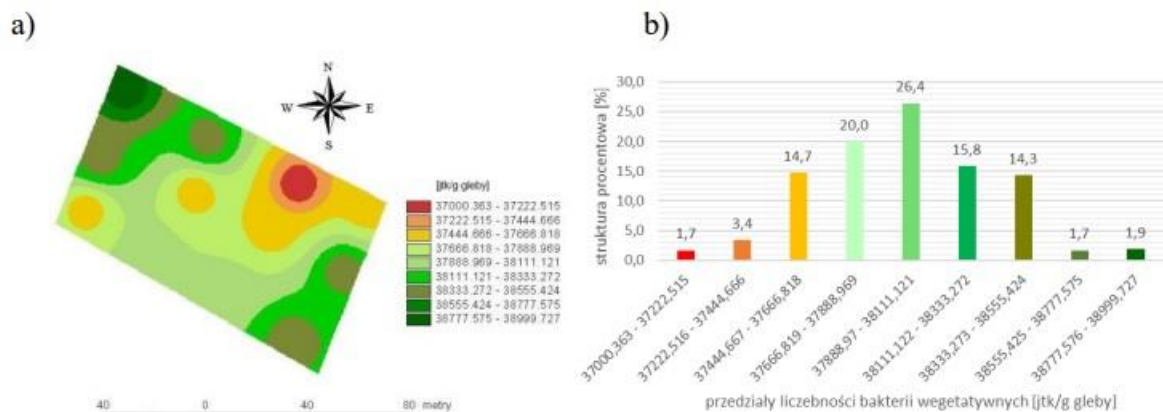
W przypadku liczebności bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m najwyższą liczebność bakterii odnotowano na powierzchni zajmującej 1,9% (przedział wartości 38 777,575 – 38 999,727 jtk/g gleby). Nieco mniejszą powierzchnię (1,7%) zajmowały obszary, na których liczebność bakterii była najniższa. Powierzchnia zajmująca obszar 26,4% charakteryzujące się liczebnością bakterii wegetatywnych z przedziału 37 888,969 – 38 111,121 jtk/g gleby, znajdujące się w południowej części pola (kolor zielony) – rysunek 237.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 237. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

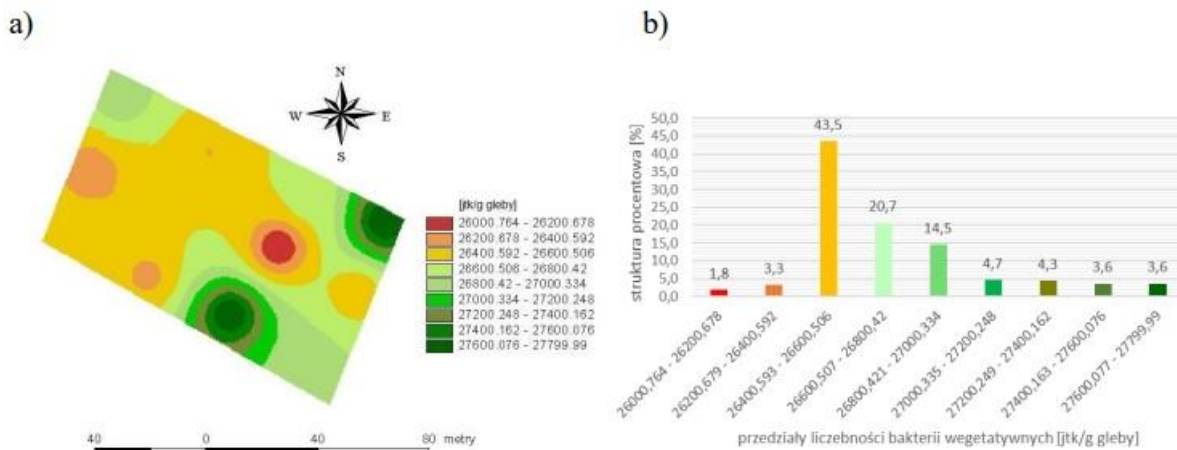
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność bakterii wegetatywnych odnotowano na północno-wschodnim i południowym krańcu pola (powierzchnia 3,7%), a najniższą w centralnej części pola (powierzchnia 2,9%). Teren zajmujący 26,1% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii wegetatywnych mieszczącą się w przedziale wartości 31 289,156 – 31 466,844 jtk/g gleby. Obszar ten był skonsolidowany w centralnej części pola (kolor zielony) – rysunek 238a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 238. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii wegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii wegetatywnych

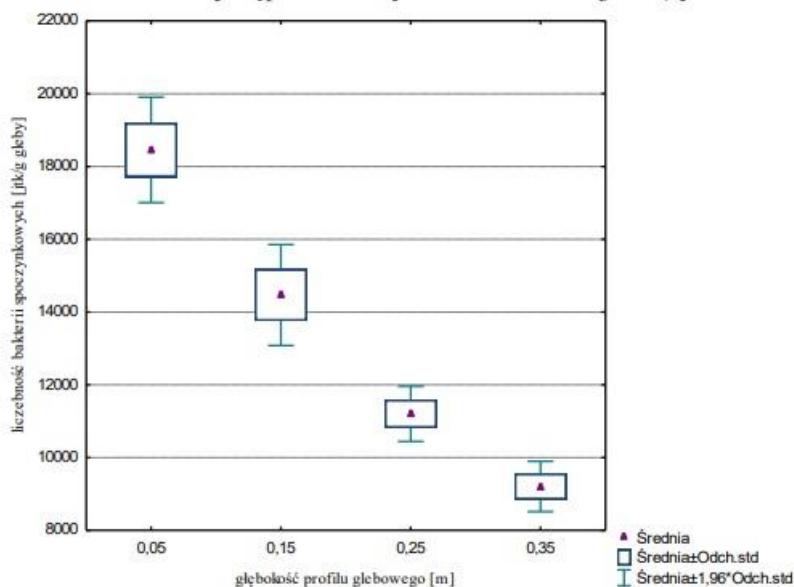
Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii wegetatywnych mieszczącą się w przedziale 27 600,076 – 27 799,99 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,6% pola. Najniższą liczebność bakterii wegetatywnych (przedział wartości 26 000,764 – 26 200,678 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej tylko 1,8%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczał się obszar (43,5%) znajdujący się w centralnej i wschodniej części pola (kolor żółty) (rys. 239a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 239. Występowanie bakterii vegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii vegetatywnych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii vegetatywnych

W przypadku ilościowego występowania w profilu glebowym bakterii spoczynkowych również wyróżniono cztery grupy jednorodnej liczebności tych mikroorganizmów (rys. 240). Najwyższą średnią wartość liczebności bakterii spoczynkowych zaobserwowano na głębokości 0,05m, gdzie wyniosła ona 18 456,3 jtk/g gleby (współczynnik zmienności 4%), natomiast najniższą średnią dla głębokości 0,35m, wynoszącą 9 206,9 jtk/g gleby (współczynnik zmienności 4%). Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę w liczebności bakterii spoczynkowych na poszczególnych poziomach głębokości profilu glebowego. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania bakterii spoczynkowych na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 241-244).

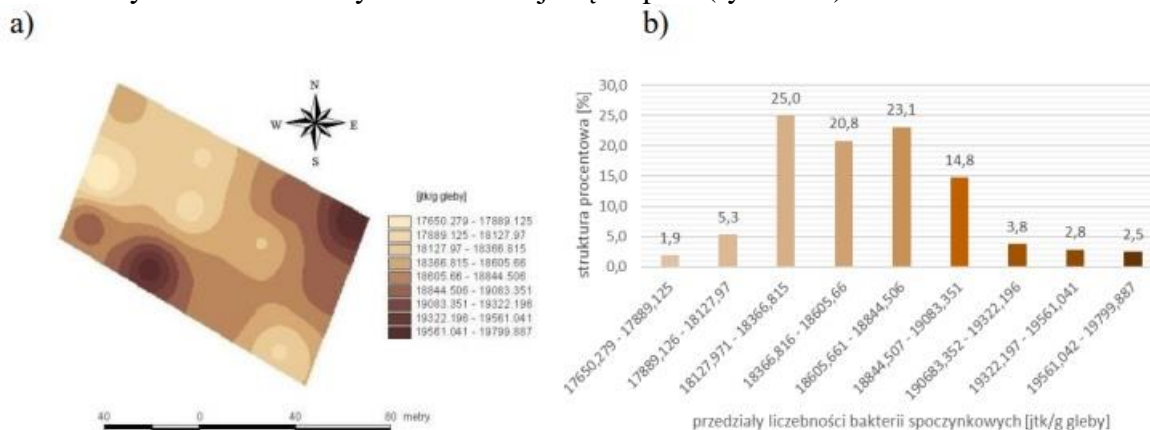


Źródło: opracowanie własne

Rys. 240. Liczebność bakterii spoczynkowych profilu glebowego pola obiektu III

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m (przedział 19 561,041 – 19 799,887 jtk/g gleby) stanowiła 2,5% - rys. 241b. Mniejszą powierzchnię – 1,9% stanowiły obszary, na których liczebność bakterii spoczynkowych była najniższa i mieściła się w przedziale 17 650,279 – 17 889,125 jtk/g

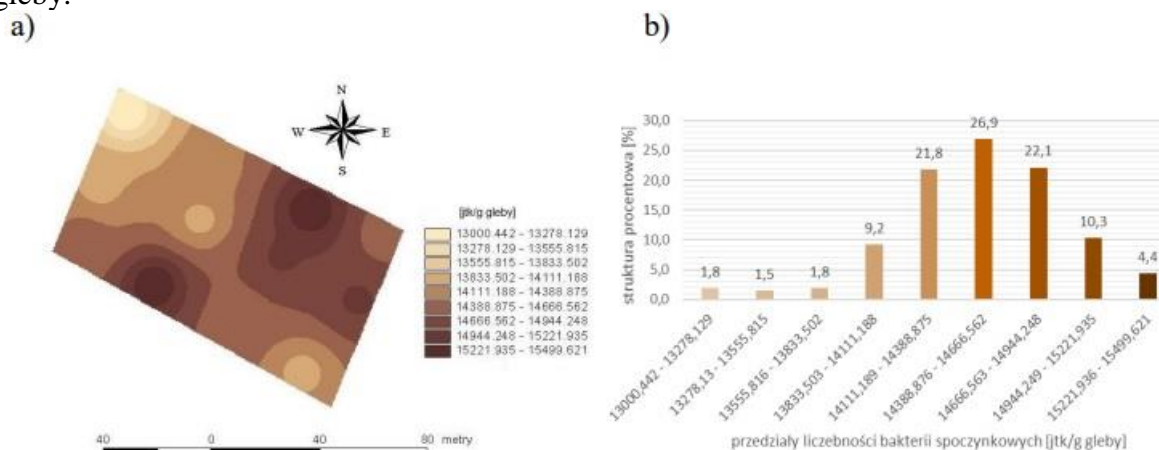
gleby. Na terenie obejmującym 25% pola zaobserwowano wartości liczebność bakterii spoczynkowych mieszczące się w przedziale wartości 18 127,97 – 18 366,815 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w zachodniej części pola (rys. 241a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 241. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

W przypadku liczebności bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m najwyższą liczebność bakterii odnotowano na powierzchni zajmującej tylko 4,4% (przedział wartości 15 221,935 – 15 499,621 jtk/g gleby) – rys. 242b. Mniejszą powierzchnię (1,8%) zajmowały obszary, na których liczebność bakterii była najniższa. Powierzchnię 26,9% zajmowały obszary znajdujące się w centralnej części pola (rys. 242a), na których liczebność bakterii spoczynkowych mieściła się w przedziale wartości 14 388,875 – 14 666,562 jtk/g gleby.

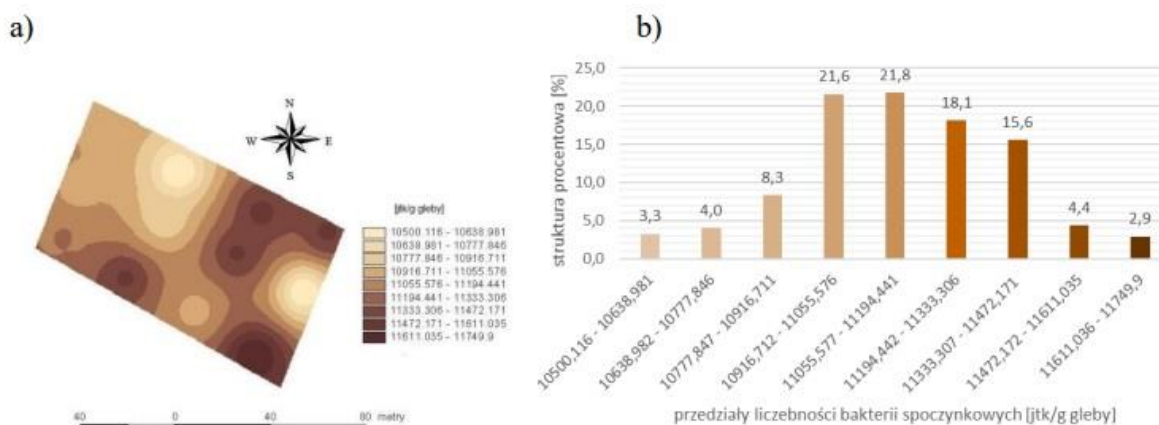


Źródło: opracowanie własne

Rys. 242. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych odnotowano na obszarach skonsolidowanych w południowo-wschodniej części pola (powierzchnia 2,9%), natomiast najniższą na północnym i wschodnim krańcu pola (powierzchnia 3,3%) – rysunek 243b. Teren zajmujący aż 21,8% powierzchni pola obejmował liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale wartości 11 055,576 – 11 194,441 jtk/g gleby.

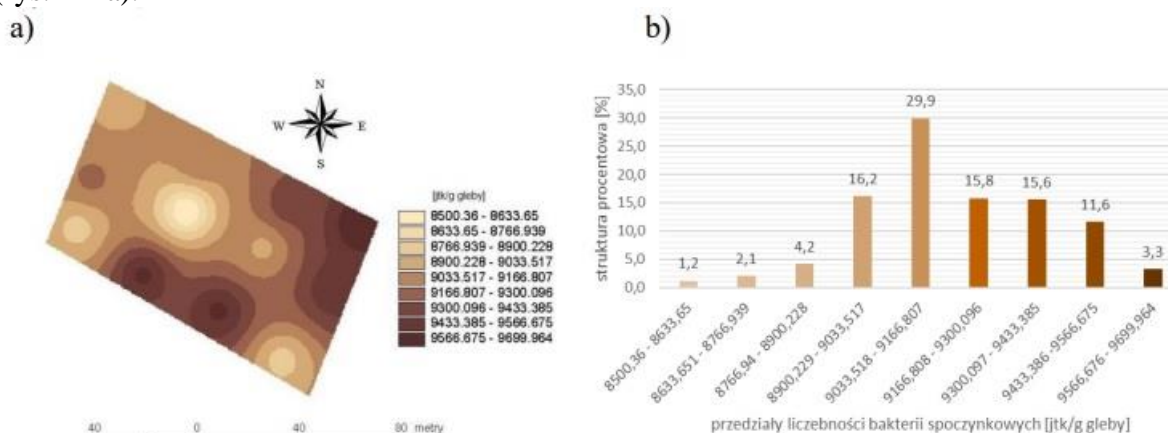




Źródło: opracowanie własne

Rys. 243. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność bakterii spoczynkowych mieszczącą się w przedziale 9 566,675 – 9 699,964 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,3% pola (rys. 244b). Najniższą liczebność bakterii spoczynkowych (przedział wartości 8 500,36 – 8 633,65 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 1,2%. Znaczną liczebnością bakterii odznaczał się obszar (29,9%) znajdujący się w centralnej części pola (rys. 244a).



Źródło: opracowanie własne

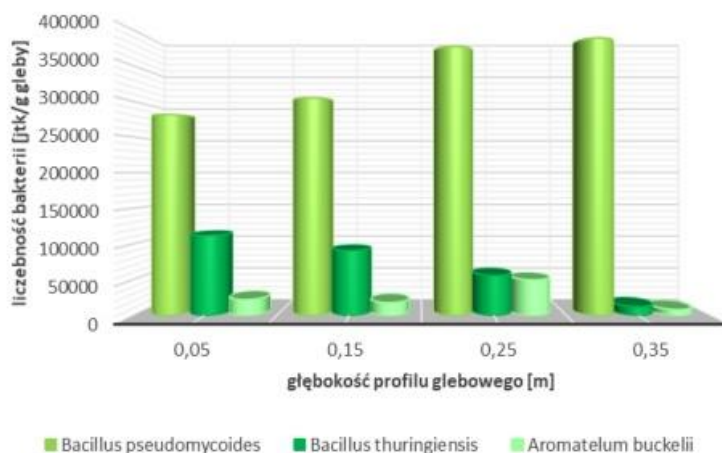
Rys. 244. Występowanie bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania bakterii spoczynkowych; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania bakterii spoczynkowych

Do identyfikacji został wybrany szczepy bakteryjne najczęściej izolowane, które zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus pseudomycooides* (rys. 255)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 256)
3. *Aromatelum buckelii* (rys. 257)

Liczebność określonych gatunków bakterii wegetatywnych w kolejnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 245. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Aromatelum buckelii*, *Bacillus pseudomycooides* i *Bacillus thuringiensis*. Najliczniej w profilu glebowym niezależnie od głębokości występował szczep *Bacillus pseudomycooides*. Najwyższą wartości

liczebności tej bakterii odnotowano na głębokości 0,35m, która wyniosła 388 120 jtk/g gleby, co odpowiada 95% liczebności wszystkich wyizolowanych bakterii wegetatywnych w tej warstwie gleby. Natomiast najmniej licznie bytującą bakterią w profilu glebowym pola w Żędowicach jest *Aromatelum buckelii*. Jego najwyższą liczebność odnotowano na głębokości 0,25m (50 170 jtk/g gleby). Natomiast liczebność szczepu *Bacillus thuringiensis* wraz ze wzrostem głębokości spadała. Najwyższą wartość liczebności tej bakterii odnotowano na głębokości 0,05m, która wyniosła 112 389 jtk/g gleby, a najniższą na głębokości 0,35m, która wyniosła 12 764 jtk/g gleby.



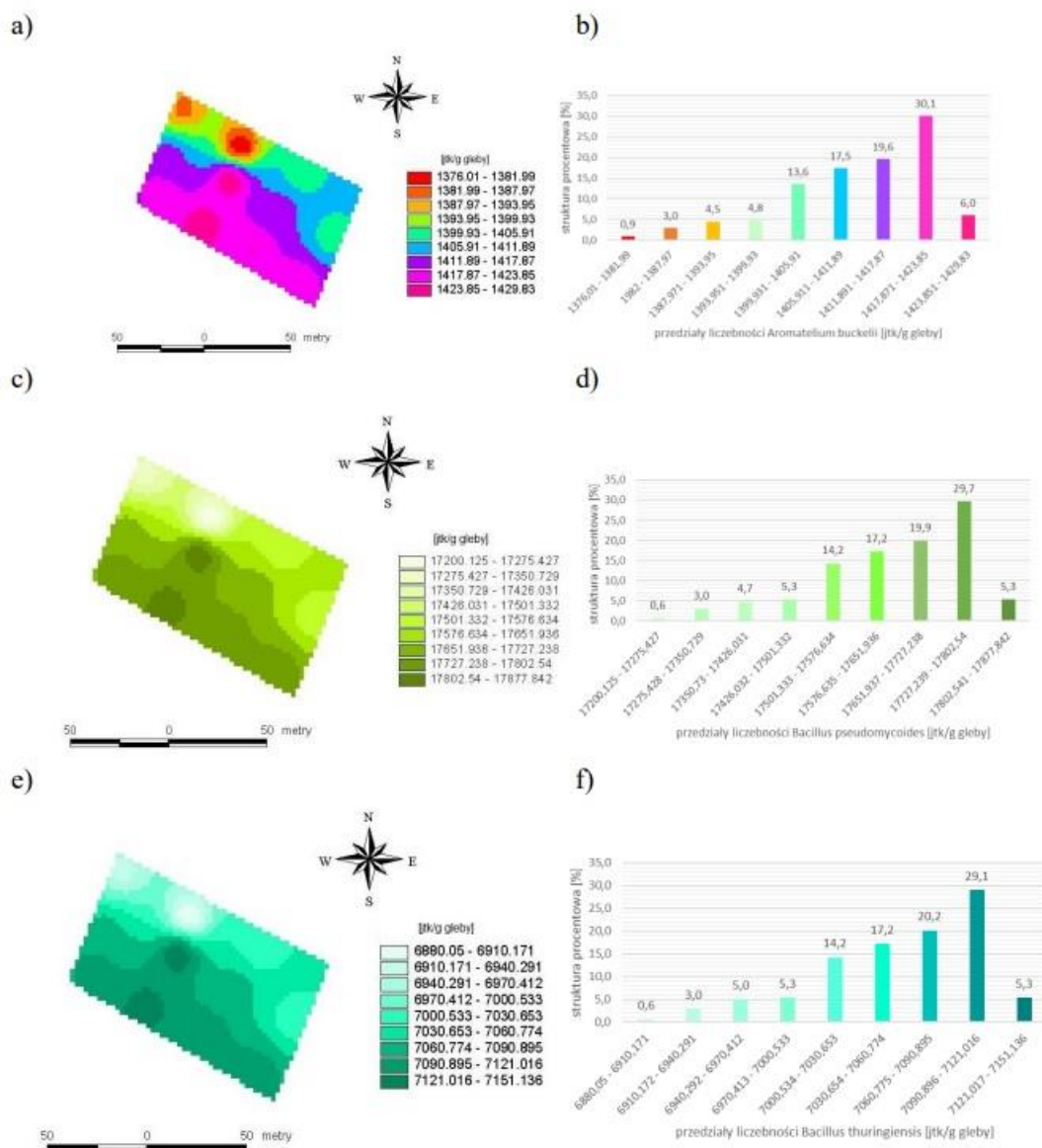
Źródło: opracowanie własne

Rys. 245. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii wegetatywnych w profilu glebowym obiektu III

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano trzy gatunki bakterii wegetatywnych: *Bacillus pseudomycooides*, *Bacillus thuringiensis* i *Aromatelum buckeli*. Najwyższą liczebnością gatunku *Aromatelum buckeli* mieszczącą się w przedziale wartości 1 423,85 – 1 429,83 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 6% (rys. 246b). Teren ten również znajdował się w południowo- zachodniej części pola - rys. 246a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 376,01 – 1 381,99jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,9%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Aromatelum buckeli* odznaczał się teren znajdujący się w południowo- zachodniej części pola (30,1%).

W przypadku *Bacillus pseudomycooides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 17 802,54 – 17 877,842 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 5,3% (rys. 246d). Teren ten znajdował się w centralnej i południowo- zachodniej części pola - rys. 246c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 17 200,125 – 17 275,427 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,7%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczał się teren znajdujący się w południowo- zachodniej części pola (29,7%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 7 121,016 – 7 151,136 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 5,6% (rys. 246f). Teren ten znajdował się w centralnej i południowo- zachodniej części pola - rys. 246e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 6 880,05 – 6 910,171 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,6%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w południowo- zachodniej części pola (29,1%).



Źródło: opracowanie własne

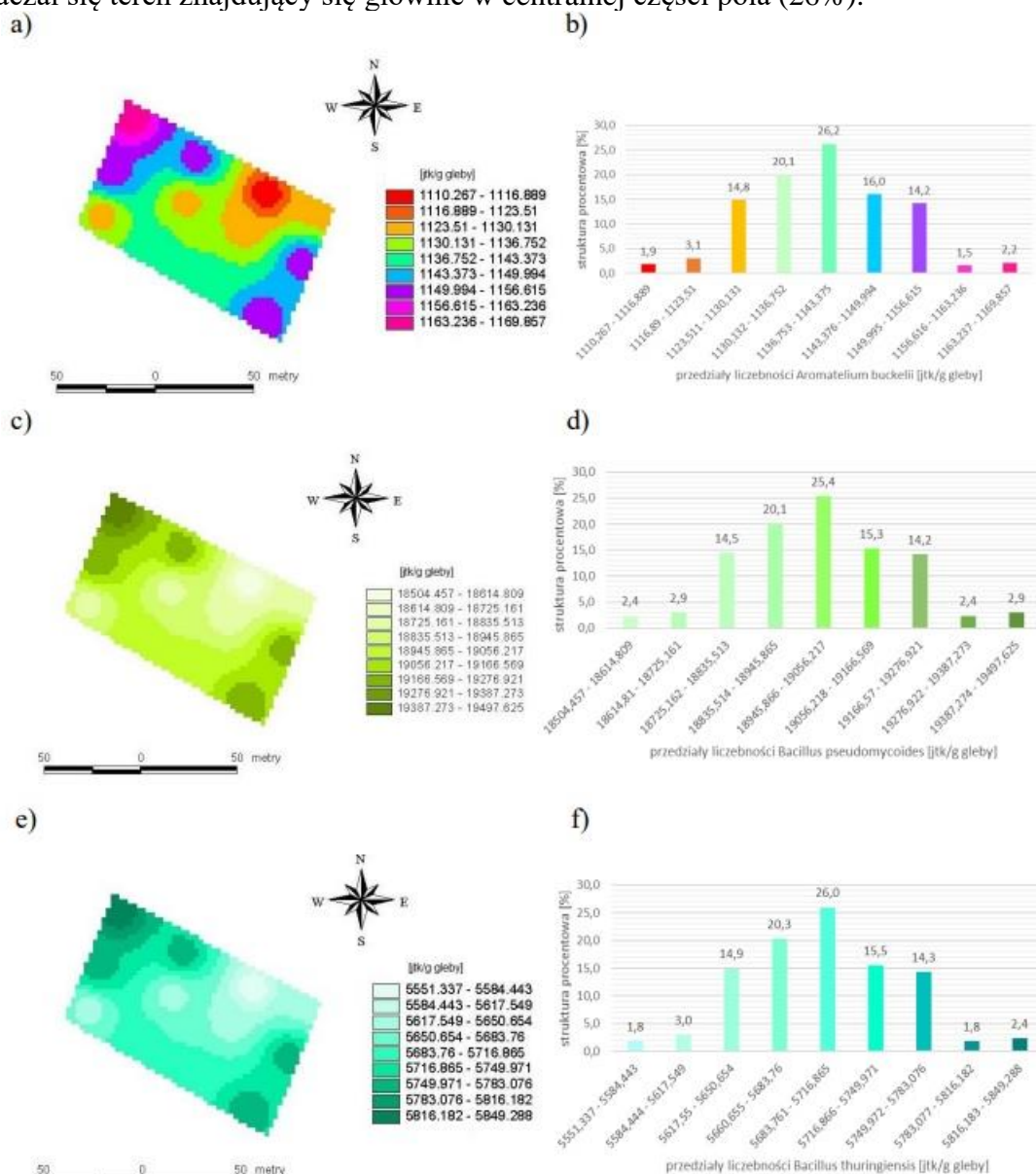
Rys. 246. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aromatellum buckelii*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aromatellum buckelii*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują trzy gatunki bakterii wegetatywnych. Najwyższą liczebnością gatunku *Aromatellum buckeli* mieszczącą się w przedziale wartości 1 163,236 – 1 169,857 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,2% (rys. 247b). Teren ten również znajdował się w zachodniej części pola - rys. 247a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 150,267 – 1 116,889 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,9%) skonsolidowany w północno- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aromatellum buckeli* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,2%).

W przypadku *Bacillus pseudomycooides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 19 387,273 – 19 497,625 jtk/g gleby charakteryzowała się

powierzchnia zajmująca 2,9% (rys. 247b). Teren ten znajdował się w północnej części pola - rys. 247c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 18 5054,457 – 18 614,809 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,4%) skonsolidowany w południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej części pola (25,4%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 5 816,182 – 5 849,288 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 247f). Teren ten również znajdował się w północno- zachodniej i południowo- wschodniej części pola - rys. 248e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 5 515,337 – 5 584,443 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,8%) skonsolidowany w północnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (26,0%).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 247. Występowanie gatunków bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aromatelum buckelii*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aromatelum buckelii*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus*



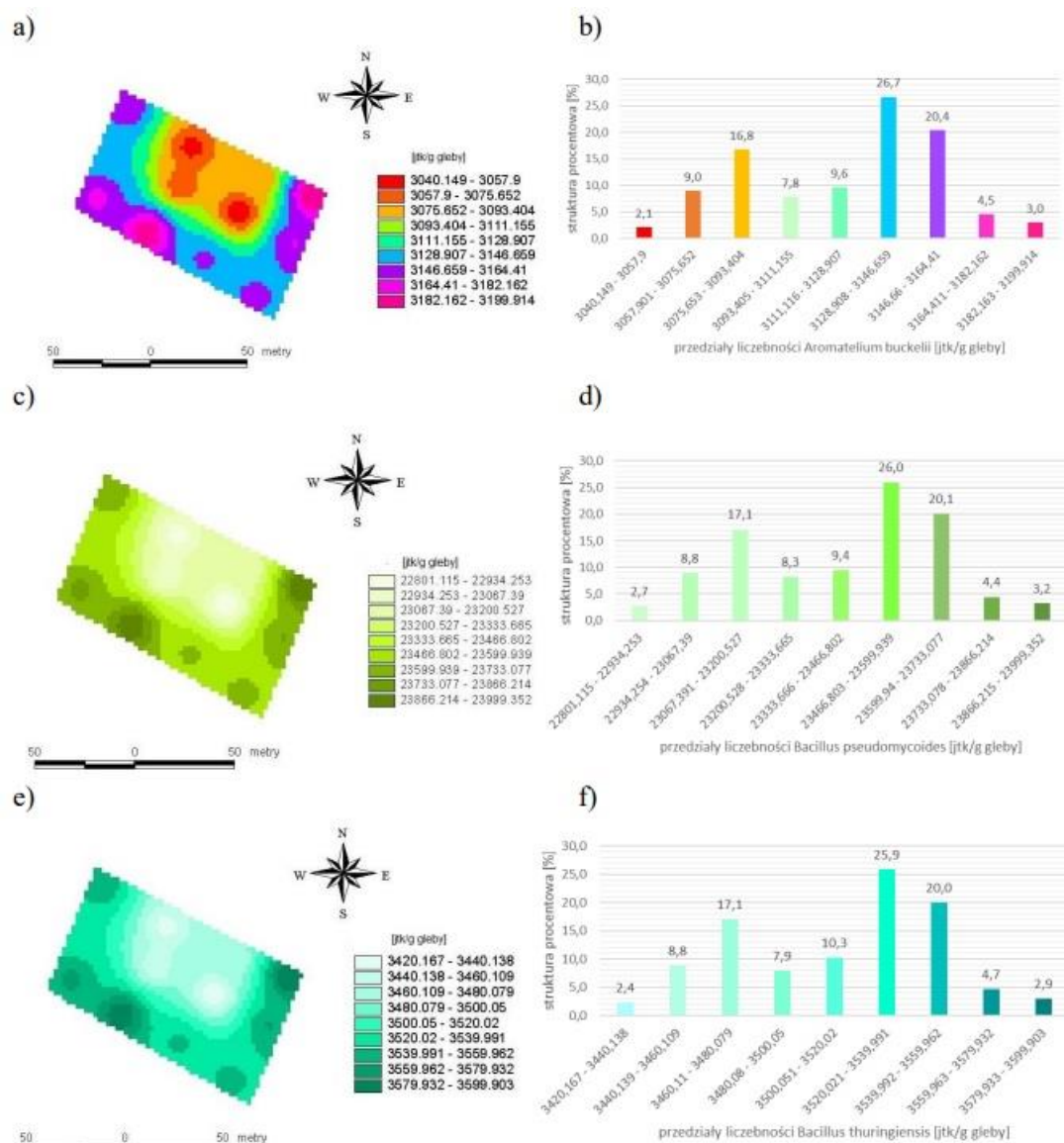
*thuringiensis*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Aromatelum buckeli*, najwyższą jego liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 3 182,162 – 3 199,914 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3% (rys. 248b). Teren ten również znajdował się w północno- wschodniej i południowo- zachodniej części pola - rys. 248a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 3 040,149 – 3 057,9 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,1%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Aromatelum buckeli* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26,7%).

*Bacillus pseudomycoides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 23 866,214 – 23 999,352 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 3,2% (rys. 248d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowej części pola - rys. 248c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 22 801,115 – 22 934,253 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,7%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycoides* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (26%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 3 579,932 – 3 599,903 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,9% (rys. 248f). Teren ten również znajdował się w północno- wschodniej i południowej części pola - rys. 248e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 3 420,167 – 3 440,138 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,4%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (25,9%).





Źródło: opracowanie własne

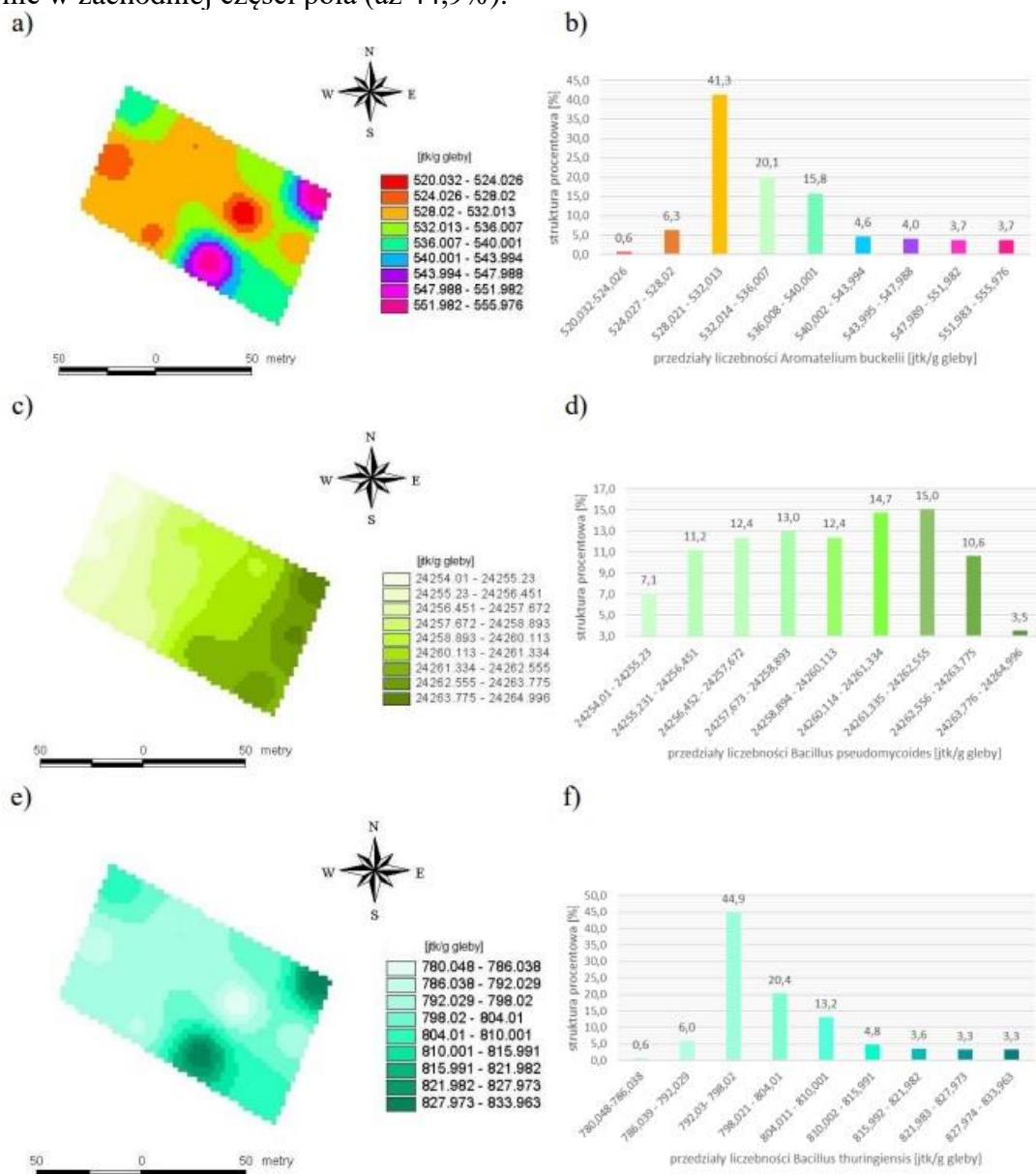
Rys. 248. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aromatellum buckelii*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aromatellum buckelii*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Aromatellum buckeli*, najwyższą liczebnością gatunku mieszczącą się w przedziale wartości 551,982 – 555,976 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,7% (rys. 249b). Teren ten również znajdował się w wschodniej części pola - rys. 249a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 520,032 – 524,026 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,6%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Aromatellum buckeli* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (aż 41,3%).

*Bacillus pseudomycooides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 24 263,775 – 24 264,996 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,5% (rys. 249d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej

części pola - rys. 249c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 24 254,01 – 24 255,23 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (7,1%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (15%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 827,973 – 833,963 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3,3% (rys. 249f). Teren ten znajdował się we wschodniej części pola - rys. 250e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 780,048 – 786,038 jtk/g gleby) obejmowała obszar (0,6%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w zachodniej części pola (aż 44,9%).



Źródło: opracowanie własne

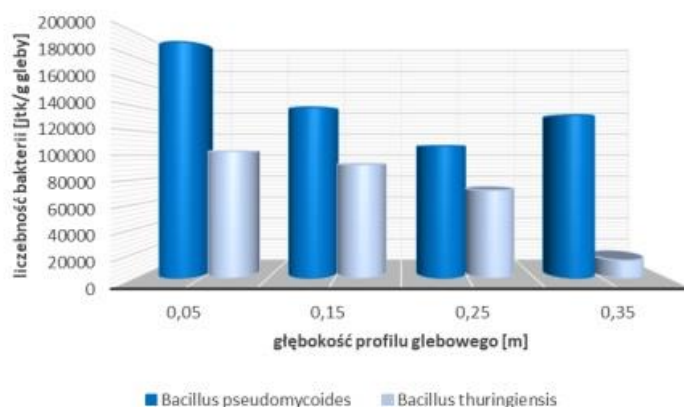
Rys. 249. Występowanie bakterii wegetatywnych w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aromatelum buckelii*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aromatelum buckelii*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus*

*thuringiensis*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

Natomiast w grupie bakterii spoczynkowych, wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Bacillus pseudomycooides* (rys. 255)
2. *Bacillus thuringiensis* (rys. 256)

Liczebność określonych szczepów bakterii spoczynkowych w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 250. W profilu glebowym na wszystkich analizowanych głębokościach stwierdzono obecność obu wyizolowanych szczepów bakterii spoczynkowych *Bacillus pseudomycooides* i *Bacillus thuringiensis*, gdzie najwyższą liczebnością odznaczał się szczep *Bacillus pseudomycooides*. W wierzchniej warstwie gleby odnotowano liczebność *Bacillus pseudomycooides* na poziomie 191 945 jtk/g gleby, a *Bacillus thuringiensis* 103 355 jtk/g gleby. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,35m) liczebność obu szczepów spadła do odpowiednio 132 579 jtk/g gleby i 14 731 jtk/g gleby.

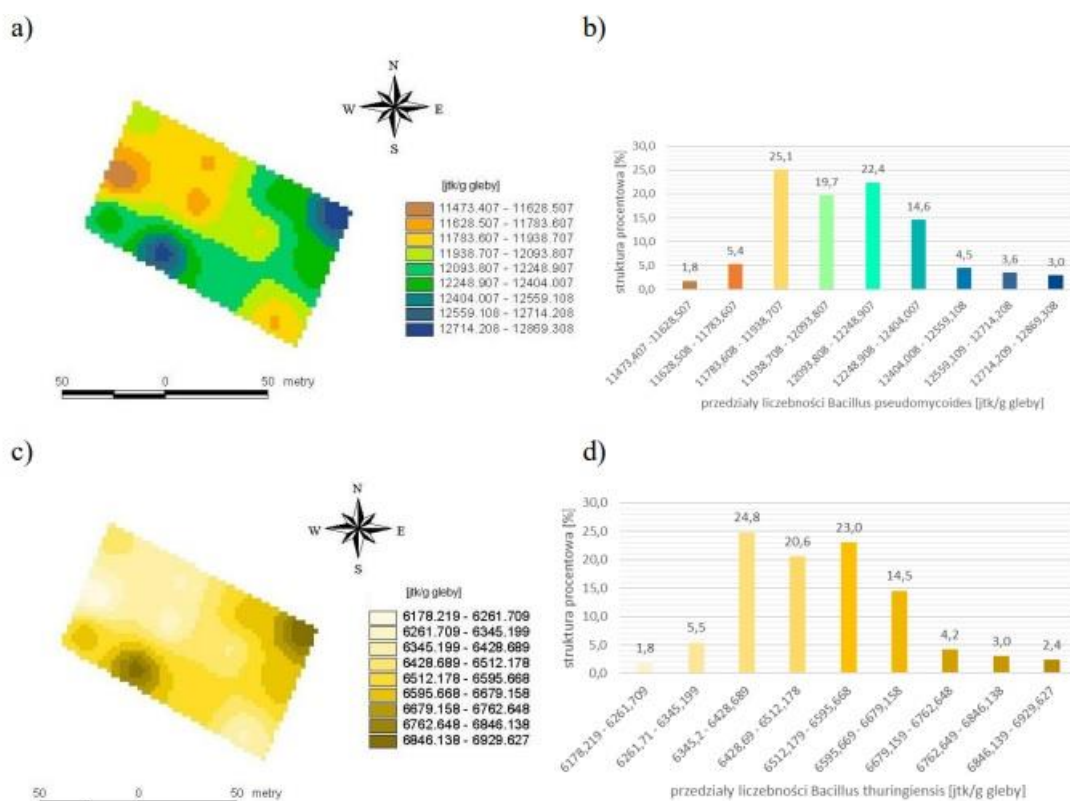


Źródło: opracowanie własne

Rys. 250. Liczebność poszczególnych szczepów bakterii spoczynkowych w profilu glebowym obiektu III

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki bakterii spoczynkowych: *Bacillus pseudomycooides* i *Bacillus thuringiensis*. W przypadku *Bacillus mycooides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 12 714,208 – 12 869,308 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 10% (rys. 251b). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 251a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 11 473,407 – 11 628,507 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,8%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (25,1%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Bacillus thuringiensis* mieszczącą się w przedziale wartości 6 846,138 – 6 929,627 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 251d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 251c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 6 178,219 – 6 261,709 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,8%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (24,4%).



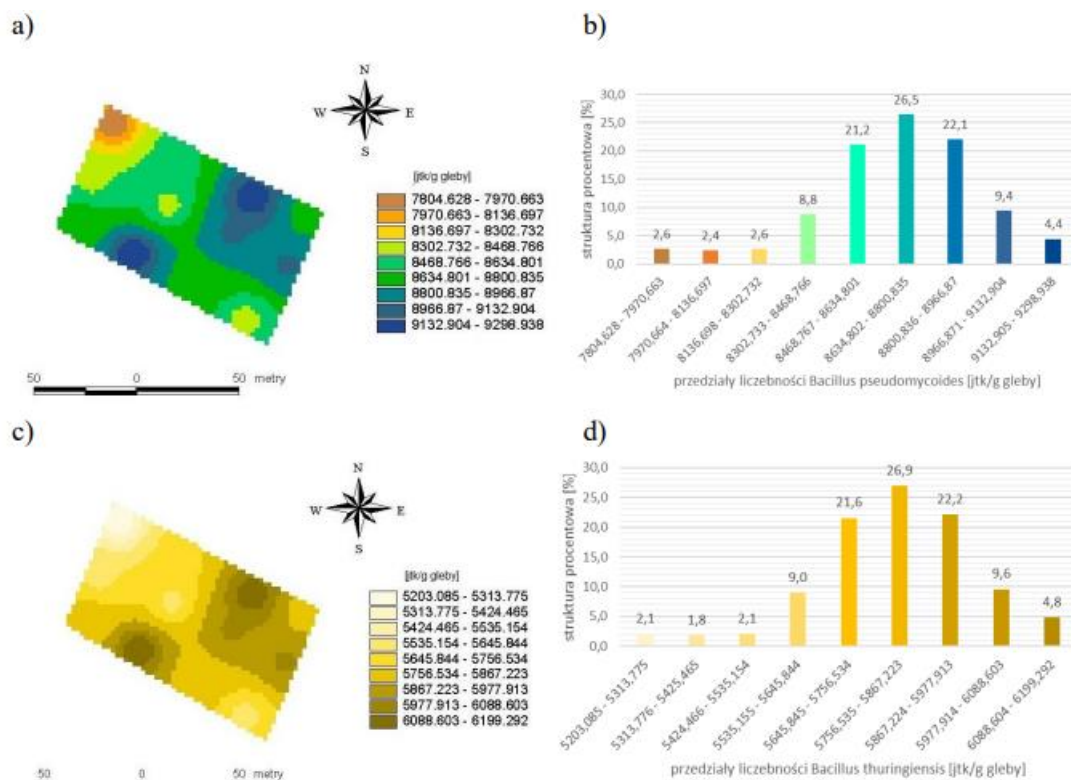
Źródło: opracowanie własne

Rys. 251. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują trzy gatunki bakterii wegetatywnych. W przypadku *Bacillus pseudomycooides* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 9 132,904 – 9 298,938 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 4,4 % (rys. 252b). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 252a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 7 804,628 – 7 970,663 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,6%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczały się tereny znajdujące się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola (26,5%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 6 088,603 – 6 199,292 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 4,8% (rys. 252d). Teren ten również znajdował się w północno- wschodniej i południowo-zachodniej części pola - rys. 252c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 5 203,085 – 5 313,775 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,1%) skonsolidowany w zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (26,9%).





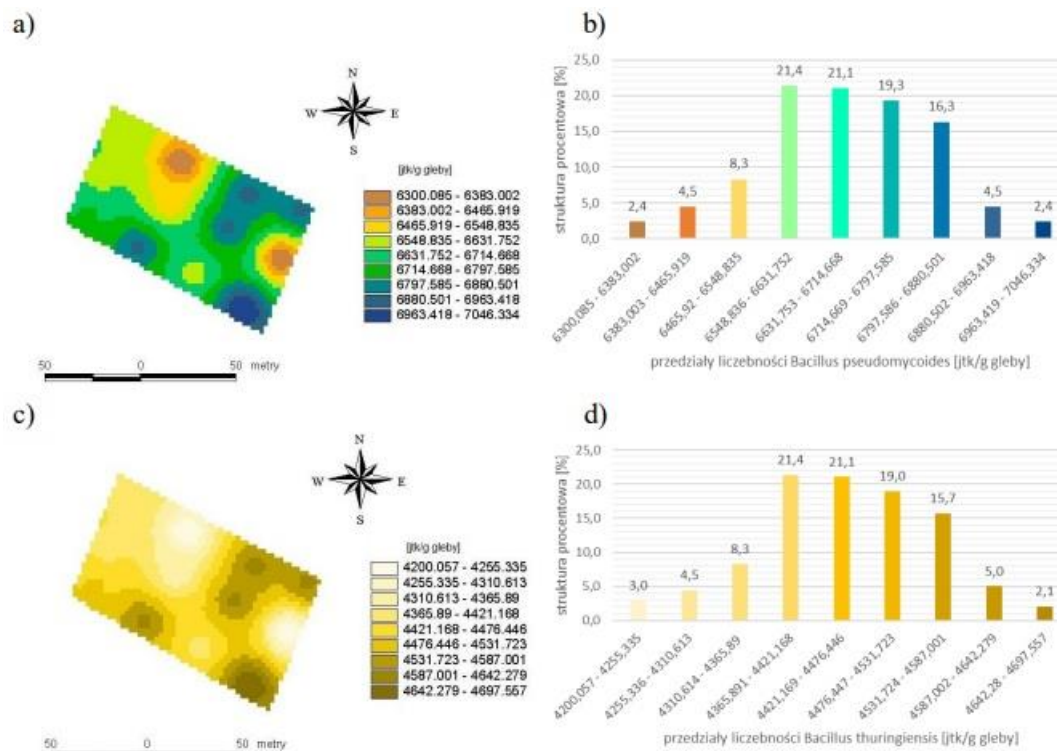
Źródło: opracowanie własne

Rys. 252. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Bacillus pseudomycooides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 6 963,418 – 7 046,334 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,4% (rys. 253b). Teren ten znajdował się w południowo- wschodniej części pola - rys. 253a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 6 300,085 – 6 383,002 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (2,4%) skonsolidowany w północnej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej części pola (21,4%).

W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 4 642,279 – 46 97,557 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,1% (rys. 253d). Teren ten również znajdował się w południowo- wschodniej części pola - rys. 253c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 4 200,057 – 4 255,335 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3%) skonsolidowany w północnej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w zachodniej części pola (21,4%).



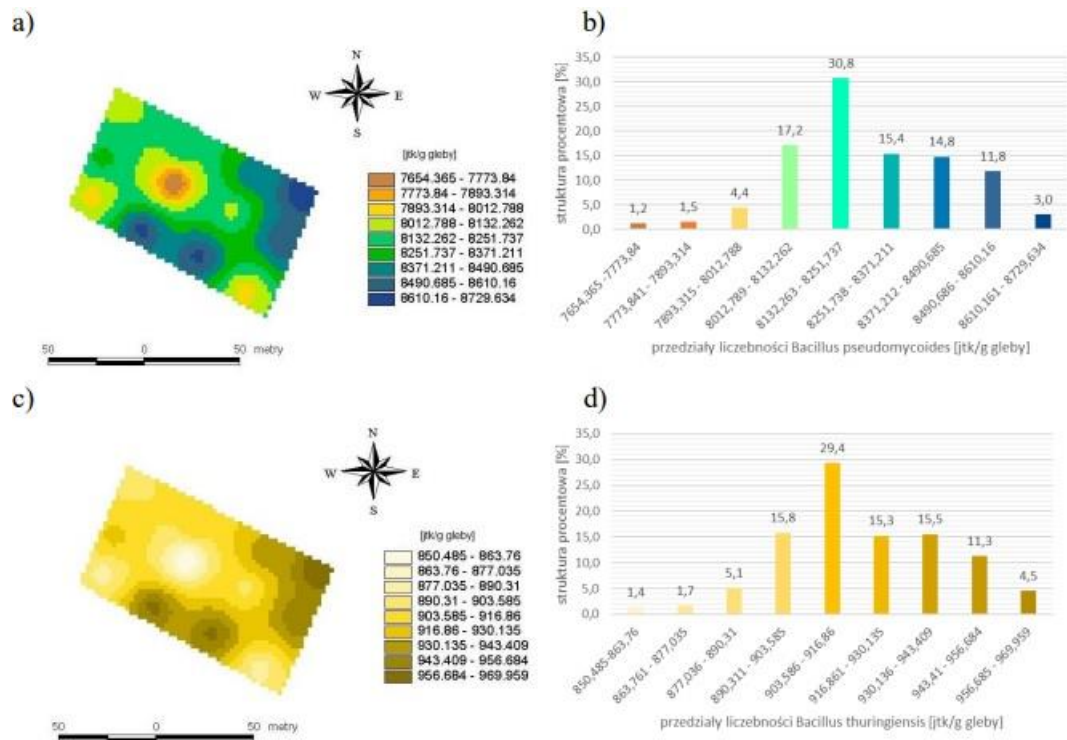


Źródło: opracowanie własne

Rys. 253. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Bacillus pseudomycooides* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 8 610,16 – 8 729,634 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 3% (rys. 254b). Teren ten znajdował się w południowej i północno-wschodniej części pola - rys. 254a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 7 654,365 – 7 773,84 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (1,2%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus pseudomycooides* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej części pola (30,8%).

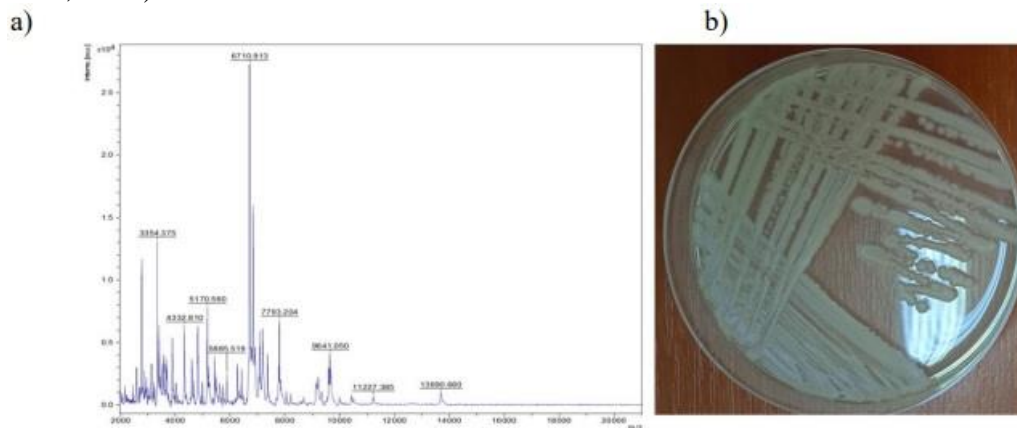
W przypadku *Bacillus thuringiensis*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 956,684 – 969,959 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 4,5% (rys. 254d). Teren ten również znajdował się w południowej i północno-wschodniej części pola - rys. 254c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 850,485 – 863,76 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,4%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Bacillus thuringiensis* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (29,4%).



Źródło: opracowanie własne

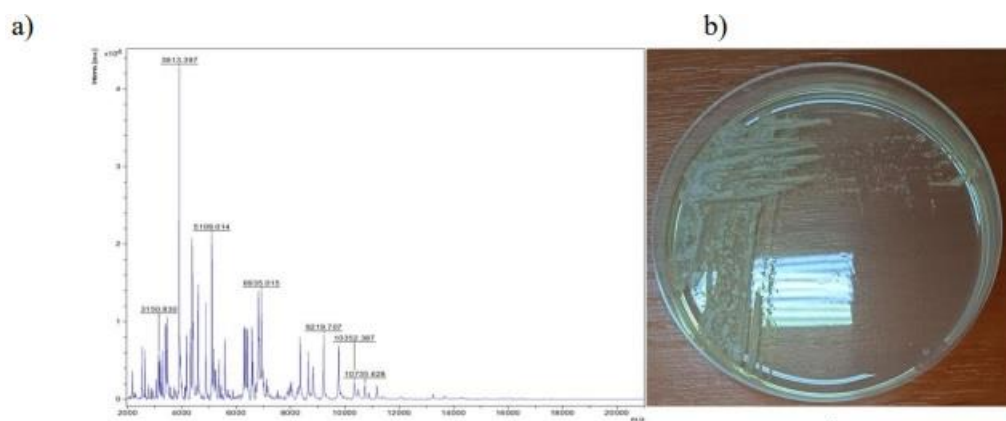
Rys. 254. Występowanie gatunków bakterii spoczynkowych w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus pseudomycooides*; b) struktura procentowa poszczęólnych przedziałów występowania *Bacillus pseudomycooides*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Bacillus thuringiensis*; d) struktura procentowa poszczęólnych przedziałów występowania *Bacillus thuringiensis*

Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującym się w bazie MALDI Biotyper firmy Bruker (rysunki 255a, 255a, 257a).



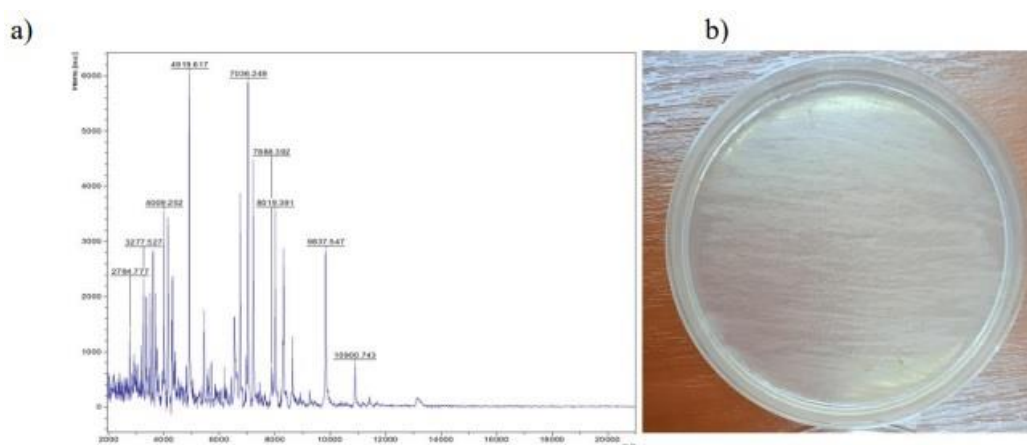
Źródło: opracowanie własne

Rys. 255. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus pseudomycooides*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne

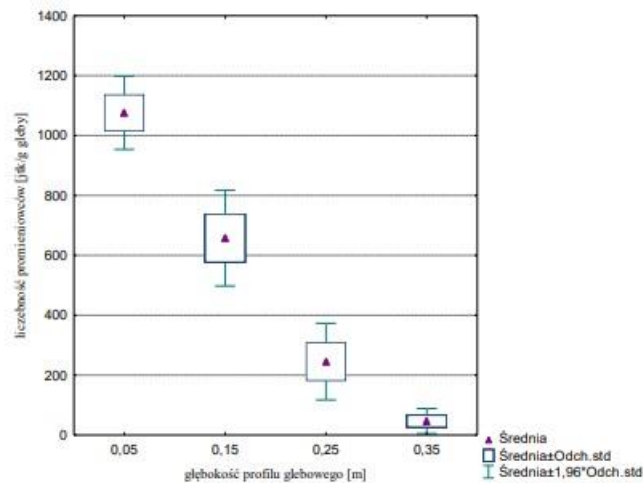
Rys. 256. Wynik identyfikacji gatunkowej *Bacillus thuringiensis*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



Źródło: opracowanie własne

Rys. 257. Wynik identyfikacji gatunkowej *Aromatelum buckelii*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

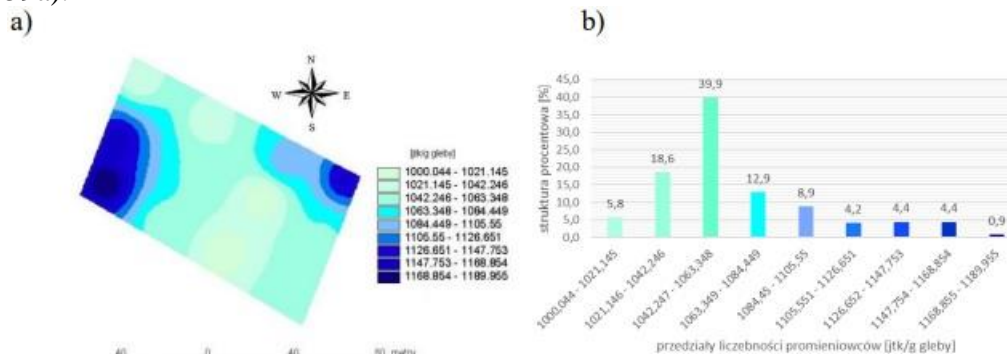
Na rysunku 258 została przedstawiona liczebność promieniowców na poszczególnych poziomach profilu glebowego. Jak w przypadku bakterii wegetatywnych i spoczynkowych wyróżniono cztery grupy jednorodnie prezentujące liczebność promieniowców. Najniższą średnią wartość liczebności promieniowców uzyskano na głębokości 0,35m, a najwyższą na 0,05m. Wyniosły one odpowiednio 46,9 jtk/g gleby i 1 075,6 jtk/g gleby, przy współczynnikach zmienności wynoszących odpowiednio 46% i 6%. Uzyskane wartości liczebności promieniowców były istotnie różne na poszczególnych poziomach profilu glebowego. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania promieniowców na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 259-262).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 258. Liczebność bakterii promieniowców profilu glebowego pola obiektu III

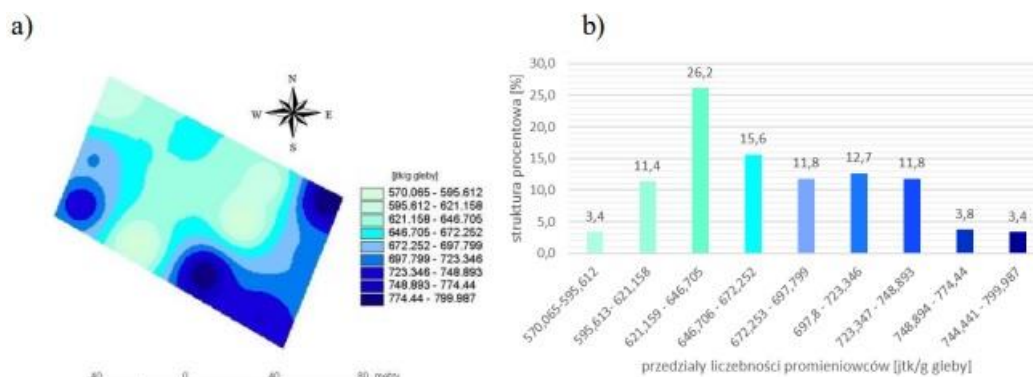
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością promieniowców w glebie na głębokości 0,05m (przedział 1 168,855 - 1 189,955 jtk/g gleby) stanowiła tylko 0,9% (rys. 259b). Sześciokrotnie większą powierzchnię – 5,8% stanowiły obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa i mieściła się w przedziale 1 000,044 – 1 021,145 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym aż 39,9% pola zaobserwowano wartości liczebność promieniowców mieszczą się w przedziale wartości 1 042,247 – 1 063,348 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej pola (rys. 259a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 259. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

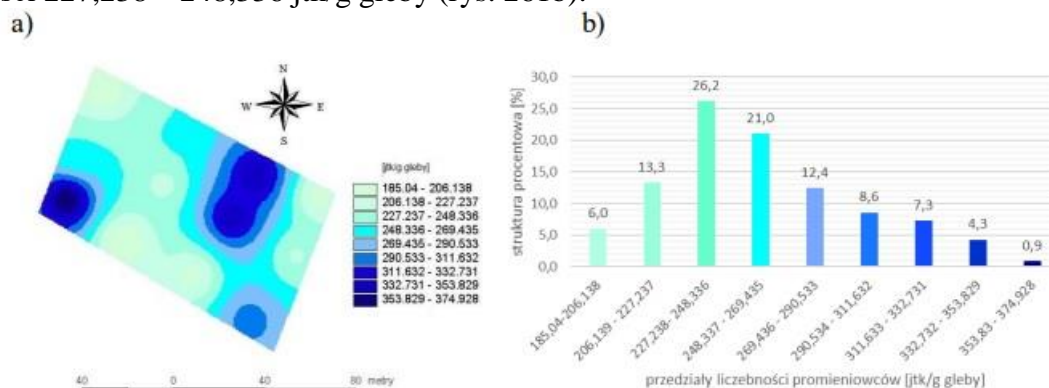
W przypadku liczebności promieniowców w glebie na głębokości 0,15m najwyższą ich liczebność odnotowano na powierzchni zajmującej 3,4% (przedział wartości 744,441 – 799,987 jtk/g gleby) – rysunek 260b. Taka samą powierzchnię (3,4%) zajmowały obszary, na których liczebność promieniowców była najniższa. Powierzchnię 26,2% zajmowały obszary znajdujące się w centralnej części pola (rys. 260a), na których liczebność promieniowców mieściła się w przedziale wartości 621,159 – 646,705 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 260. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność promieniowców odnotowano na obszarze znajdującym się głównie na południowo-zachodnim krańcu pola (powierzchnia 0,9%) – rysunek 261a, natomiast najniższą na wschodnim krańcu pola oraz w centralnej jego części (powierzchnia 6%). Teren zajmujący 26,2% powierzchni pola obejmował liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale wartości 227,238 – 248,336 jtk/g gleby (rys. 261b).

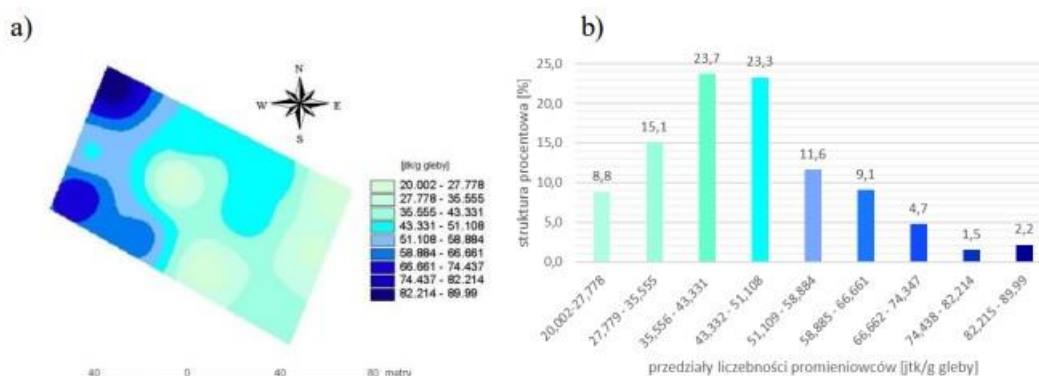


Źródło: opracowanie własne

Rys. 261. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

Na głębokości 0,35m najwyższą liczebność promieniowców mieszczącą się w przedziale 82,215 – 89,99 jtk/ gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 2,2% pola (rys. 262b). Najniższą liczebność promieniowców (przedział wartości 20,002 – 27,778 jtk/g gleby) stwierdzono na powierzchni zajmującej 8,8%. Znaczną liczebnością promieniowców odznaczał się obszar (aż 23,7%) znajdujący się we wschodniej i centralnej części pola (rys. 262a).





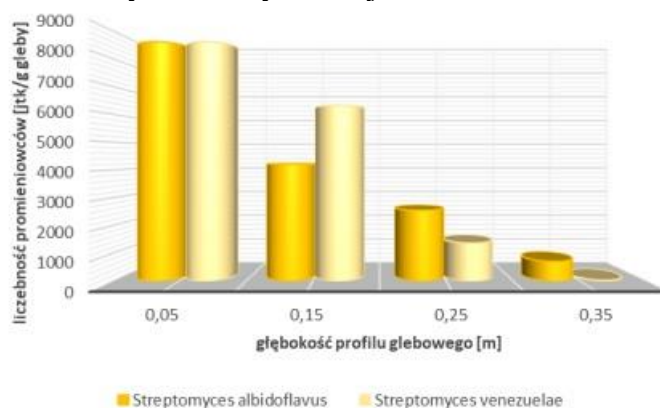
Źródło: opracowanie własne

Rys. 262. Występowanie promieniowców w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania promieniowców; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania promieniowców

W grupie promieniowców do identyfikacji zostały wybrane dwa szczepy. Wybrane izolaty zostały zidentyfikowane jako:

1. *Streptomyces albidoflavus* (rys. 268)
2. *Streptomyces venezuelae* (rys. 269)

Liczebność gatunków promieniowców w poszczególnych warstwach profilu glebowym została przedstawiona na rysunku 263. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Streptomyces albidoflavus* i *Streptomyces venezuelae*. Można zauważyć, że liczebność obu gatunków wraz z głębokością spadała. W wierzchniej warstwie gleby liczebność *Streptomyces albidoflavus* i *Streptomyces venezuelae* wyniosła po 8 605 jtk/g gleby. Natomiast w warstwie na głębokości 0,15m liczebność *Streptomyces venezuelae* przewyższyła liczebność *Streptomyces albidoflavus* o 2 105 jtk/g gleby. W głębszej warstwie gleby (0,25 – 0,35m) odnotowano przewagę liczebności *Streptomyces albidoflavus*. Na głębokości 0,25m i 0,35m wyniosła ona odpowiednio 2 551 jtk/g gleby i 713 jtk/g gleby, co odpowiadało odpowiednio 65% i 95% wszystkich promieniowców wyizolowanych w tej warstwie.



Źródło: opracowanie własne

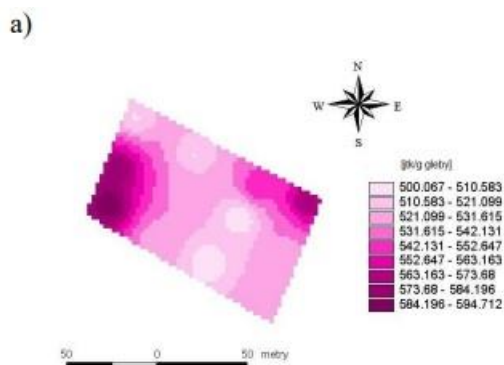
Rys. 263. Liczebność poszczególnych szczepów promieniowców w profilu glebowym obiektu III

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano dwa gatunki promieniowców: *Streptomyces albidoflavus* i *Streptomyces venezuelae*. W przypadku *Streptomyces albidoflavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 584,196 – 594,712 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5%

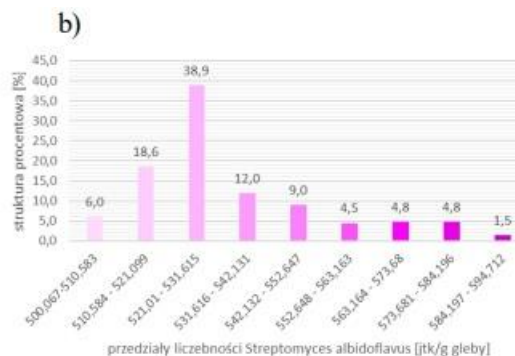
(rys. 264b). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo- zachodniej części pola - rys. 264a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 500,067 – 510,583 jtk/g gleby) obejmowała obszar (6%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces albidoflavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (aż 38,9%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Streptomyces venezuelae* mieszczącą się w przedziale wartości 584,196 – 594,712 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,8% (rys. 264d). Teren ten znajdował się w północno- wschodniej i południowo- zachodniej części pola - rys. 264c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 500,067 – 510,583 jtk/g gleby) obejmowała obszar (5,9%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w zachodniej i wschodniej części pola (aż 38,5%).

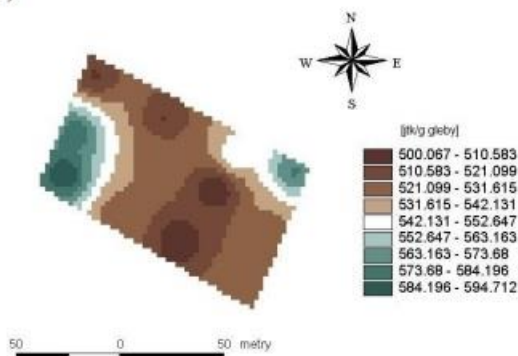
a)



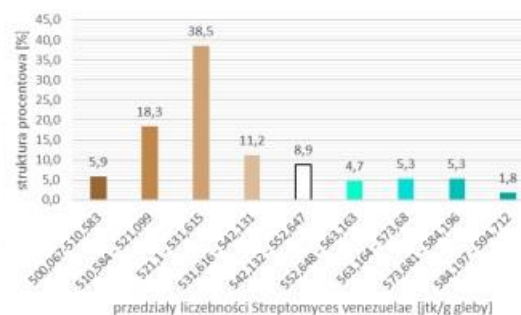
b)



c)



d)

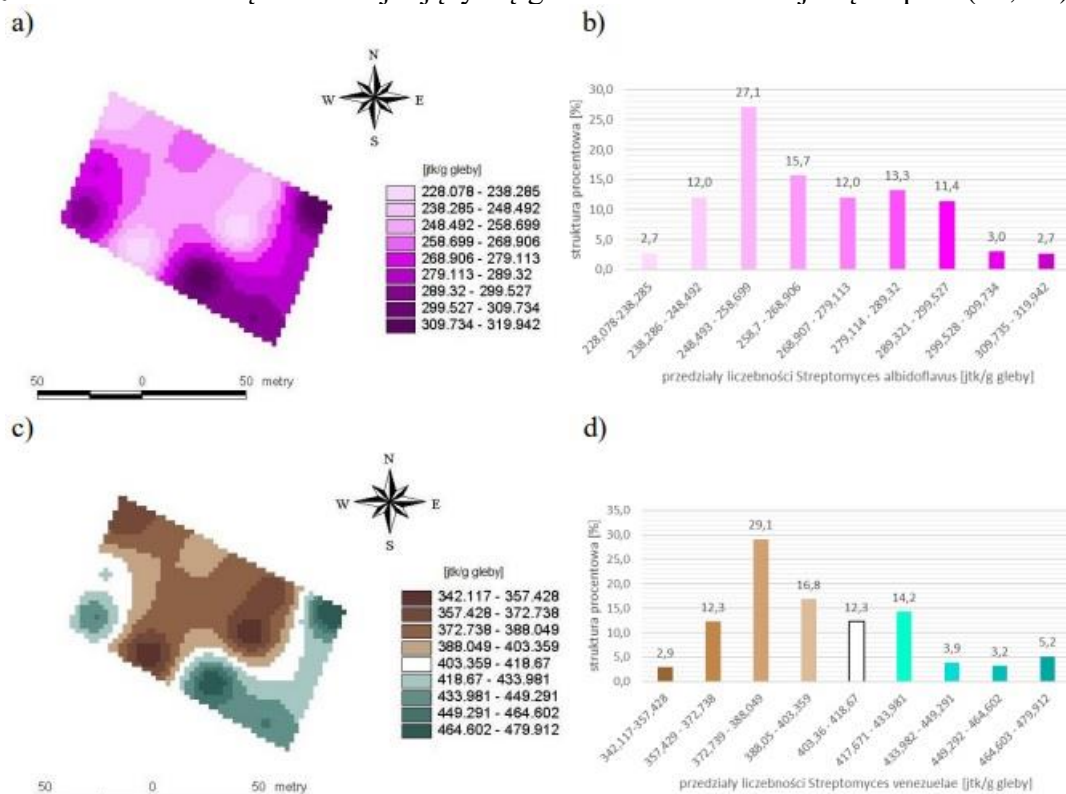


Źródło: opracowanie własne

Rys. 264. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występują dwa gatunki promieniowców. W przypadku *Streptomyces albidoflavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 309,734 – 319,942 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,7% (rys. 265b). Teren ten znajdował się w południowej i północno-wschodniej części pola - rys. 265a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 228,078 – 238,285 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,7%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces albidoflavus* odznaczały się tereny znajdujące się w centralnej części pola (27,1%).

W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 464,602 – 479,912 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 5,2% (rys. 265d). Teren ten znajdował się we wschodniej części pola - rys. 265c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 342,117 – 357,428 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,9%) skonsolidowany w południowej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w zachodniej części pola (29,1%).

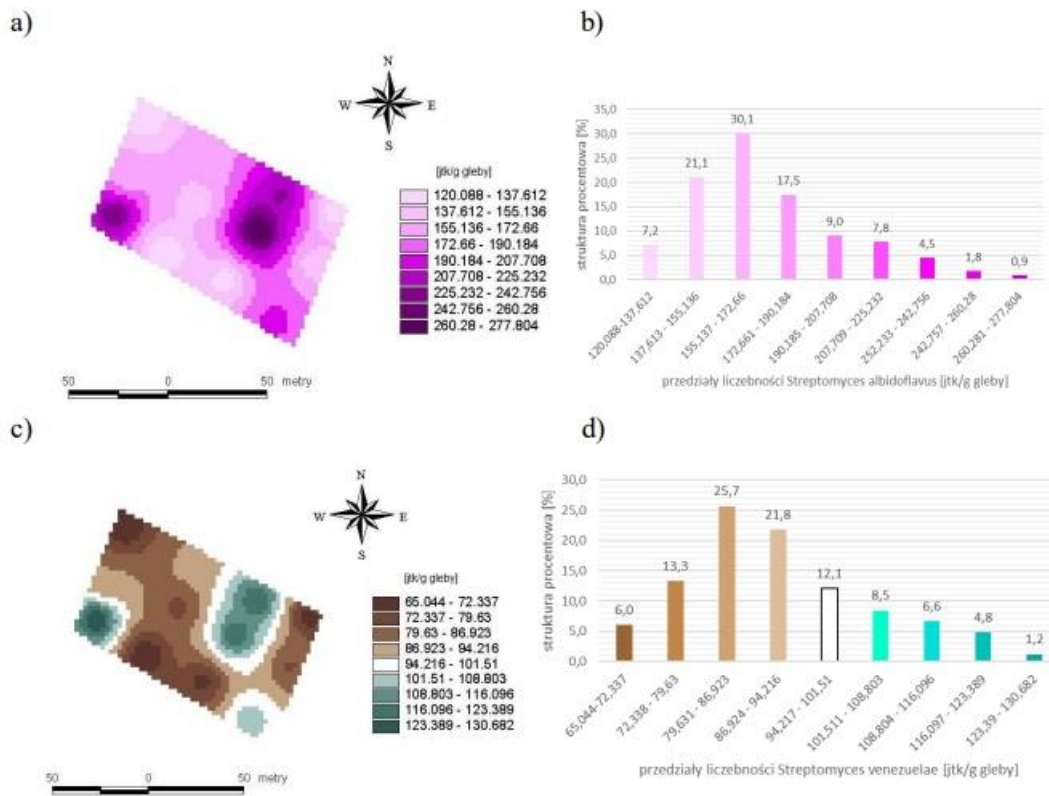


Źródło: opracowanie własne

Rys. 265. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces venezuelae*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces venezuelae*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Streptomyces albidoflavus* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 260,28 – 277,804 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 0,9% (rys. 266b). Teren ten znajdował się na południowo- zachodniej i wschodniej części pola - rys. 266a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 120,088 – 137,612 jtk/g gleby) obejmowała większy obszar (7,2%) skonsolidowany w południowej i wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces albidoflavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (30,1%).

W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 123,389 – 130,682 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,2% (rys. 266d). Teren ten znajdował się w południowej i północnej części pola - rys. 266c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 65,044 – 72,337 jtk/g gleby) obejmowała obszar (6%) skonsolidowany w zachodniej i południowo- wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (25,7%).



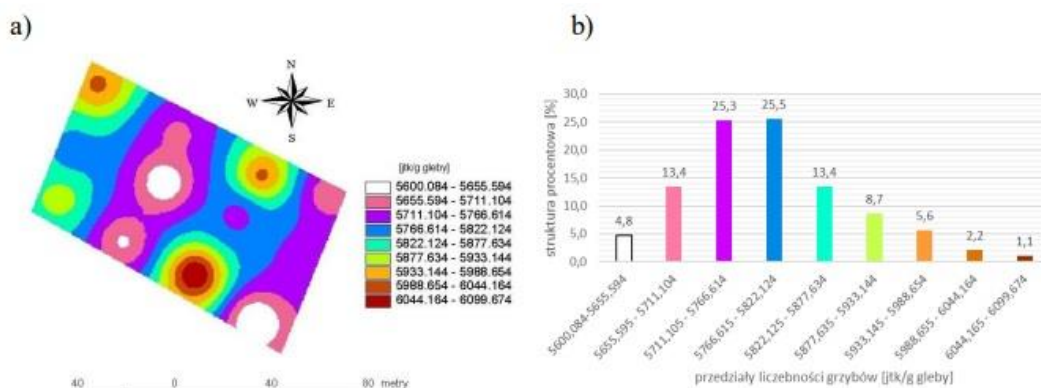
Źródło: opracowanie własne

Rys. 266. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Streptomyces albidoflavus* charakteryzował się najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 78,371 – 85,79 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 2,7% (rys. 268b). Teren ten znajdował się w północno-zachodniej części pola - rys. 267a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 19,02 – 26,439 jtk/g gleby) obejmowała obszar (8,3%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces albidoflavus* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej części pola (23,2%).

W przypadku *Streptomyces venezuelae*, najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 4,545 – 4,988 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,8% (rys. 267d). Teren ten również znajdował się w północno-zachodniej części pola - rys. 268c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1,001 – 1,444 jtk/g gleby) obejmowała obszar (6,3%) skonsolidowany w centralnej i północno-wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Streptomyces venezuelae* odznaczał się teren znajdujący się głównie w centralnej części pola (27,5%).

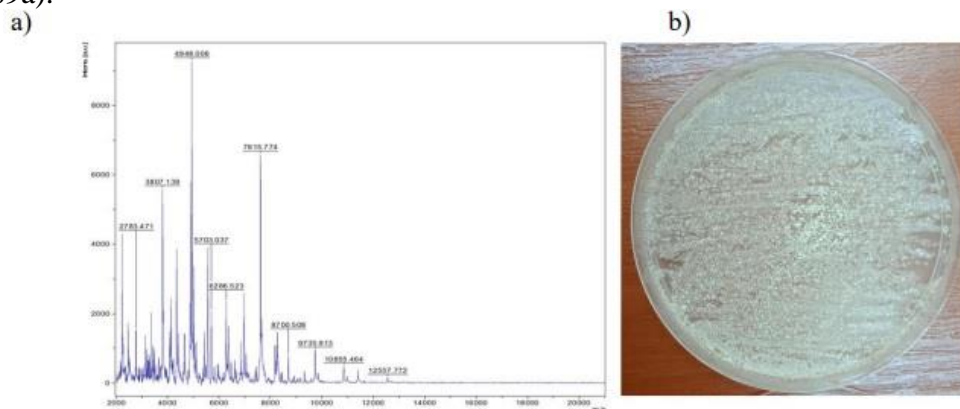




Źródło: opracowanie własne

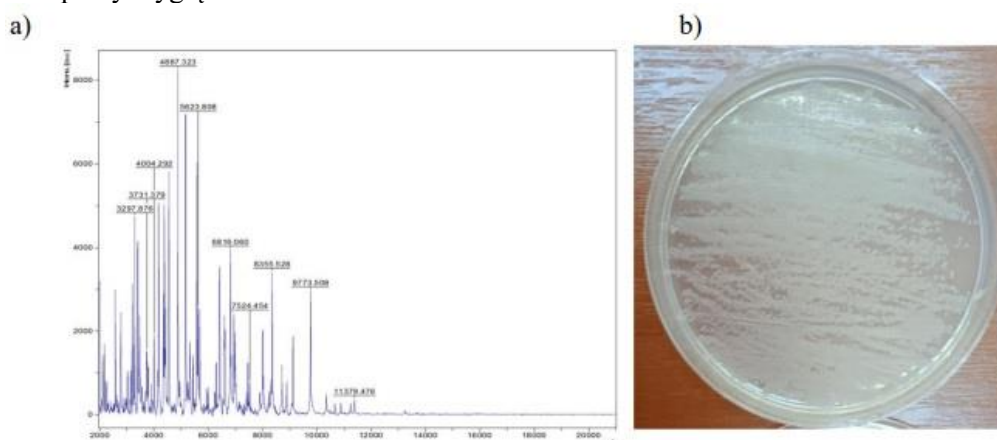
Rys. 267. Występowanie gatunków promieniowców w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Streptomyces albidoflavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Streptomyces albidoflavus*

Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Bruker (rysunki 268a, 269a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 268. Wynik identyfikacji gatunkowej *Streptomyces albidoflavus*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

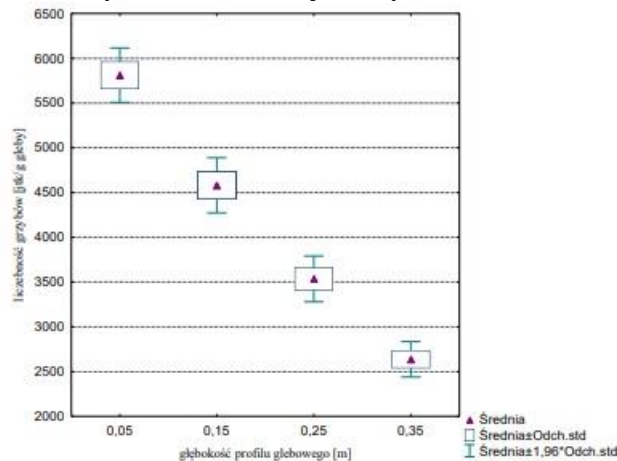


Źródło: opracowanie własne

Rys. 269. Wynik identyfikacji gatunkowej *Streptomyces venezuelae*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii



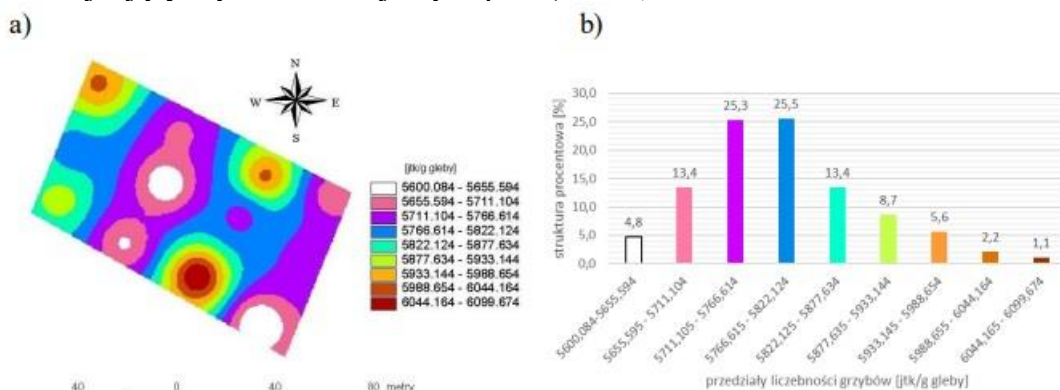
Dla grzybów także wyróżniono cztery grupy jednorodne wartości liczebności (rys. 270). Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę w liczebności grzybów na poszczególnych poziomach głębokości profilu glebowego. Najniższą średnią wartość liczebności grzybów uzyskano na głębokości 0,35m, a najwyższą na 0,05m. Wyniosły one odpowiednio 2 655,9 jtk/g gleby i 5 355 jtk/g gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 4%. W celu ustalenia przestrzennego ilościowego występowania grzybów na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy przestrzennego zróżnicowania występowania tych drobnoustrojów (rys. 271-274).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 270. Liczebność grzybów profilu glebowego pola obiektu III

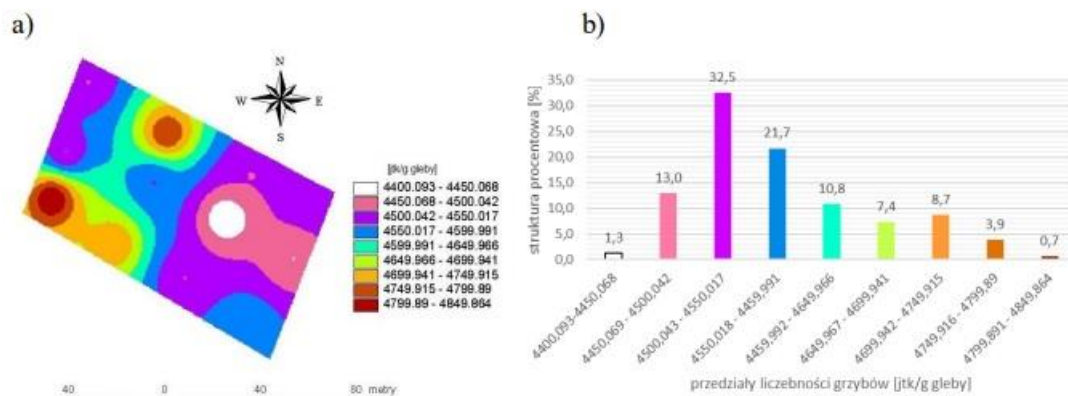
W profilu glebowym na głębokości 0,05m najwyższą liczebnością grzybów mieszczącą się w przedziale wartości od 6 044,165 do 6 099,674 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca zaledwie 1,1% (rys. 271b). Teren ten znajdował się na południowym krańcu pola (rys. 271a). Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością grzybów (przedział 5 600,084 – 5 655,594 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,8%) skonsolidowany w centralnej i wschodniej części pola (kolor biały). Znaczna liczebnością grzybów odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (25,5%) – kolor niebieski.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 271. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

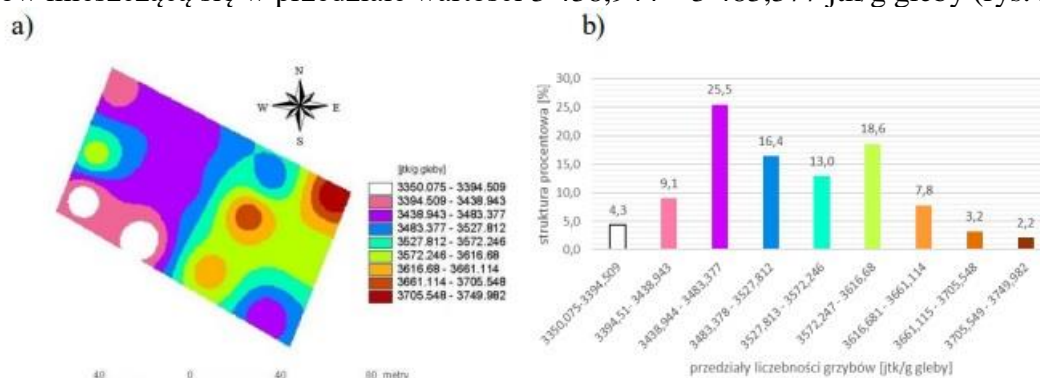
Na głębokości 0,15m powierzchnia charakteryzująca się największą liczebnością grzybów (przedział 4 799,9 – 4 849,864 jtk/g gleby) obejmowała zaledwie 0,7% (rys. 272b). Obszar był umiejscowiony w zachodniej części pola (rys. 272a). Najniższą liczebność grzybów odnotowano na terenie zajmującym 1,3%, na którym wartość liczebności mieściła się w przedziale wartości od 4 400,093 do 4 450,068 jtk/g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 272. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

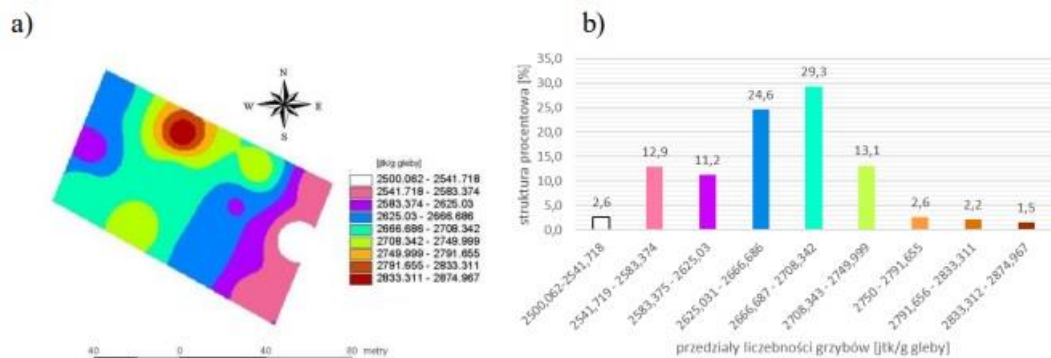
W niższych partiach profilu glebowego na głębokości 0,25m najwyższą liczebność grzybów odnotowano na obszarze skonsolidowanym we wschodniej części pola (powierzchnia 2,2%), natomiast najniższą głównie w zachodniej części pola (powierzchnia 4,3%) – rysunek 273b. Teren zajmujący 25,5% powierzchni pola obejmował liczebność grzybów mieszczącą się w przedziale wartości 3 438,944 – 3 483,377 jtk/g gleby (rys. 273a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 273. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą liczebnością grzybów w glebie na głębokości 0,35m (przedział 2 833,312 – 2 874,967 jtk/g gleby) stanowiła 1,5% (rys. 274b). Większą powierzchnię – 2,6% stanowiły obszary, na których liczebność grzybów była najniższa i mieściła się w przedziale 2 500,062 – 2 541,718 jtk/g gleby. Na terenie obejmującym aż 29,3% pola zaobserwowano wartości liczebność grzybów mieszczące się w przedziale wartości 2 666,687 – 2 708,342 jtk/g gleby. Teren ten był skonsolidowany w centralnej części pola (rys. 274a).



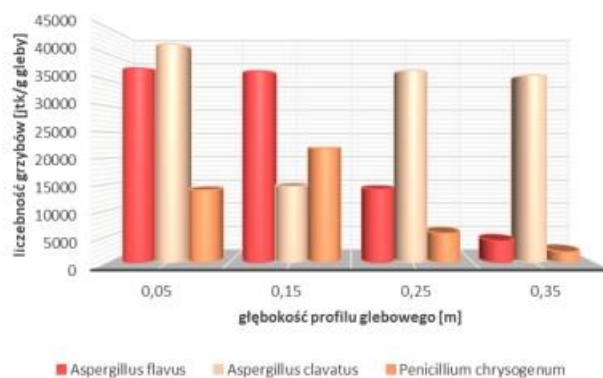
Źródło: opracowanie własne

Rys. 274. Występowanie grzybów w glebie na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie występowania grzybów; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania grzybów

Wśród grupy grzybów do identyfikacji wybrano trzy szczepy, które zostały zidentyfikowane jako:

1. *Aspergillus clavatus* (rys. 280)
2. *Aspergillus flavus* (rys. 281)
3. *Penicillium chrysogenum* (rys. 282)

Liczebność wyizolowanych szczepów grzybów w poszczególnych warstwach profilu glebowego została przedstawiona na rysunku 275. Na wszystkich głębokościach z analizowanego przedziału (0,05 - 0,35m) odnotowano obecność szczepów *Aspergillus clavatus*, *Aspergillus flavus* i *Penicillium chrysogenum*. Można zauważyć, że w profilu glebowym na głębokościach 0,05m, 0,25m i 0,35m najliczniej występującymi grzybami były *Aspergillus clavatus* i *Aspergillus flavus*, przy czym liczebność *Aspergillus clavatus* przewyższała liczebność *Aspergillus flavus*. Oba grzyby osiągnęły najwyższą liczebność w wierzchniej warstwie – 0,05m, która wyniosła odpowiednio 41 841 jtk/g gleby i 37 192 jtk/g gleby. Na wyżej wymienionych głębokościach najmniej liczny był gatunek *Penicillium chrysogenum*, który najniższą wartości liczebności osiągnął na głębokości 0,35m (2 110 jtk/g gleby). Wyjątkiem jest warstwa na głębokości 0,15m, gdzie najliczniej występował *Aspergillus flavus*, a najniższą liczebnością wykazał się gatunek *Aspergillus clavatus*.



Źródło: opracowanie własne

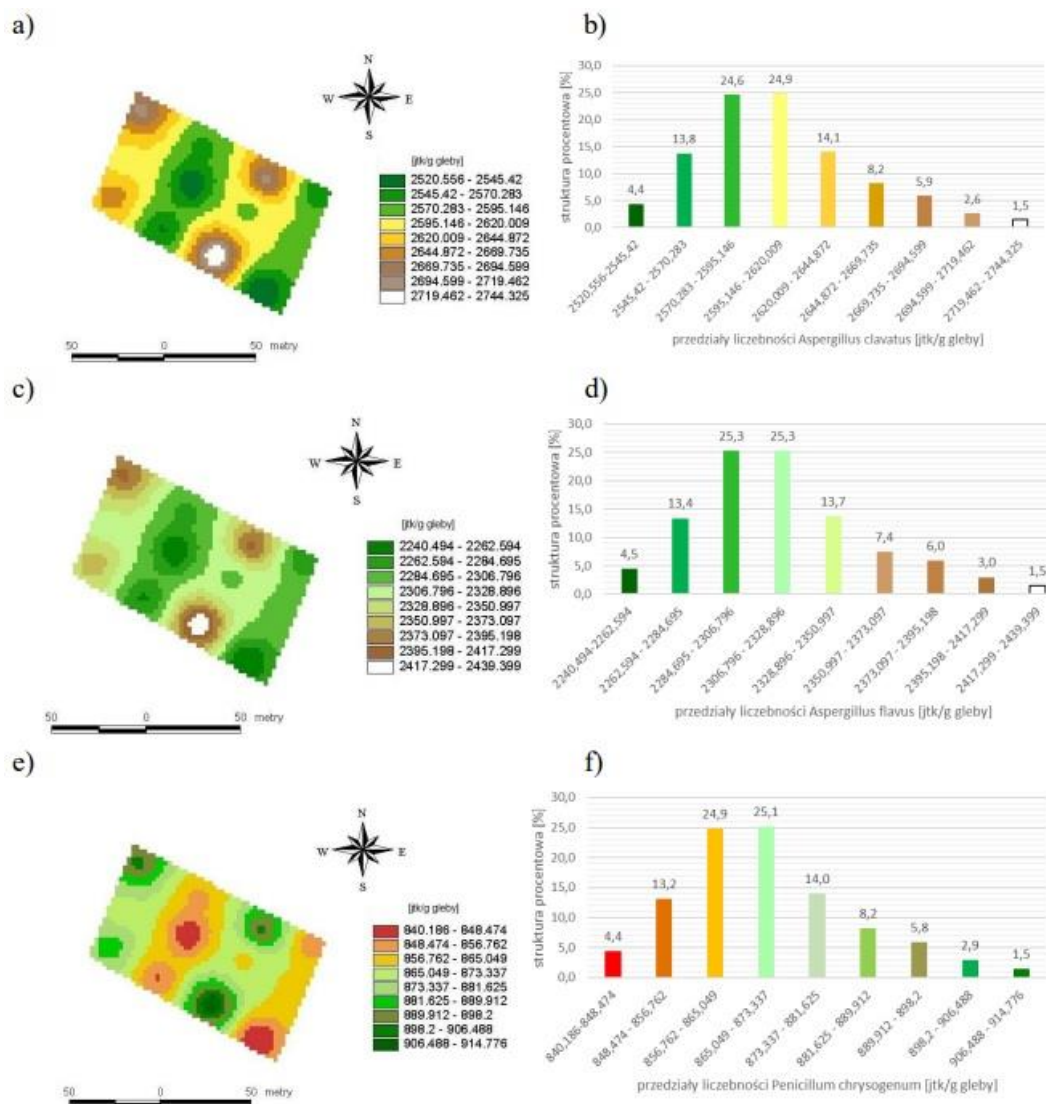
Rys. 275. Liczebność poszczególnych szczepów promieniowców w profilu glebowym obiektu III

W profilu glebowym na głębokości 0,05m zidentyfikowano trzy gatunków grzybów: *Aspergillus clavatus*, *Aspergillus flavus* i *Penicillium chrysogenum*. W przypadku *Aspergillus clavatus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości

2 719,462 – 2 744,325 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 276b). Teren ten znajdował się w południowej części pola - rys. 276a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 520,556 – 2 545,42 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,4%) skonsolidowany w centralnej części pola oraz na południowo-wschodnim krańcu pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus clavatus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (24,9%).

*Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 417,299 – 2 439,399 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 276d). Teren ten znajdował się w południowej części pola - rys. 276c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 240,494 – 2 262,594 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,5%) skonsolidowany w centralnej części pola oraz na południowo-wschodnim krańcu pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej i wschodniej części pola (25,3%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 906,488 – 914,776 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5%, (rys. 276f). Teren ten znajdował się w południowej części pola - rys. 276e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 840,186 – 848,474 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,4%) skonsolidowany w centralnej części pola oraz na południowo-wschodnim krańcu pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (25,1%).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 276. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,05m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus clavatus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus clavatus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*

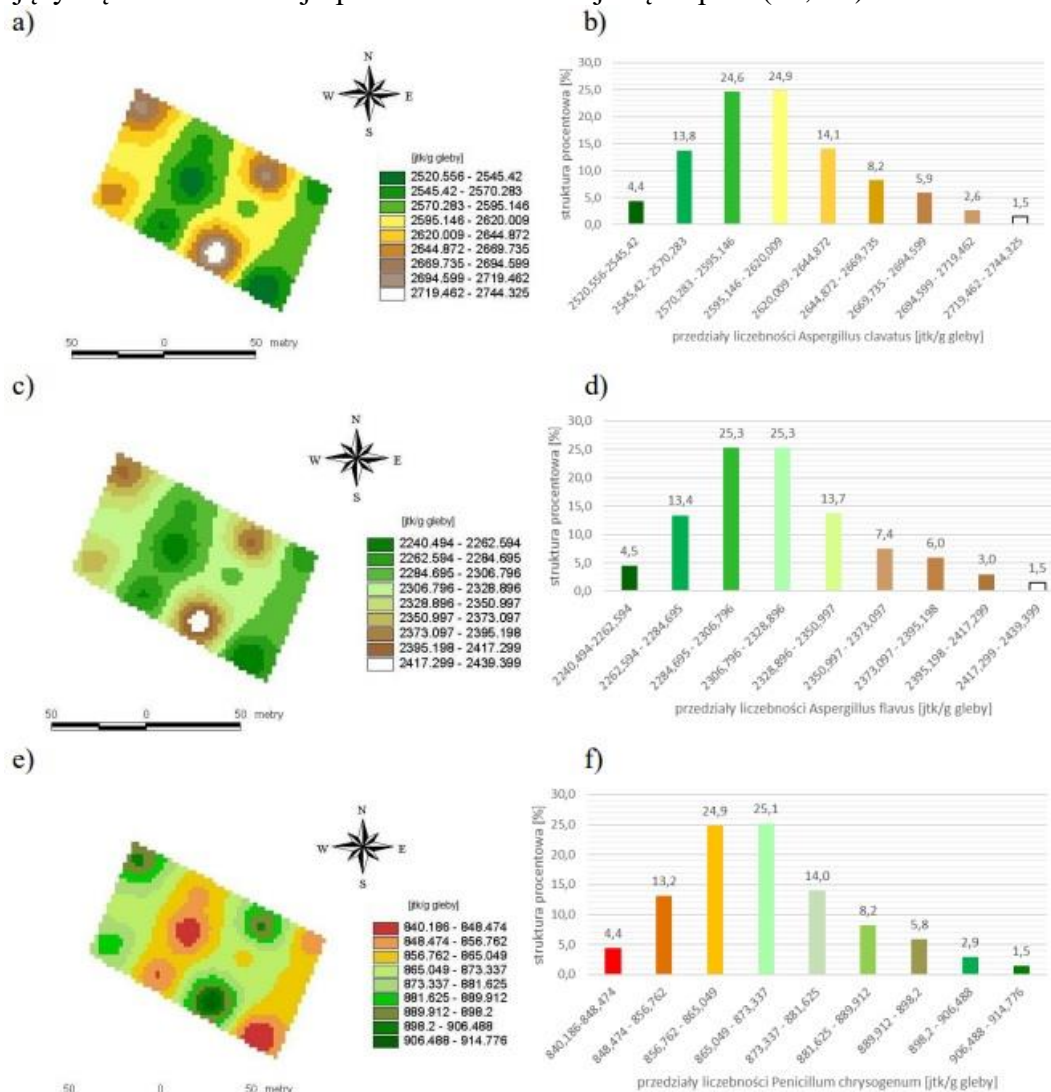
W profilu glebowym na głębokości 0,15m również występuje pięć gatunków grzybów. W przypadku *Aspergillus clavatus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 959,7 – 969,656 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 277b). Teren ten znajdował się w zachodniej części pola - rys. 277a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 880,057 – 890,012 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,5%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus clavatus* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej i północno-zachodniej części pola (aż 32,3%).

*Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 399,251 – 2 424,14 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 277d). Teren ten znajdował się w południowo-zachodniej części pola - rys. 277c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości



2 200,142 – 2 225,03 jtk/g gleby) obejmowała obszar (1,8%) skonsolidowany w centralnej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej i północno-zachodniej części pola (31,7%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 1 439,551 – 1 454,484 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,7%, (rys. 277f). Teren ten znajdował się w zachodniej części pola - rys. 277e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 1 320,085 – 1 335,018 jtk/g gleby) obejmowała obszar (2,9%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się we wschodniej i północno-zachodniej części pola (30,9%).



Źródło: opracowanie własne

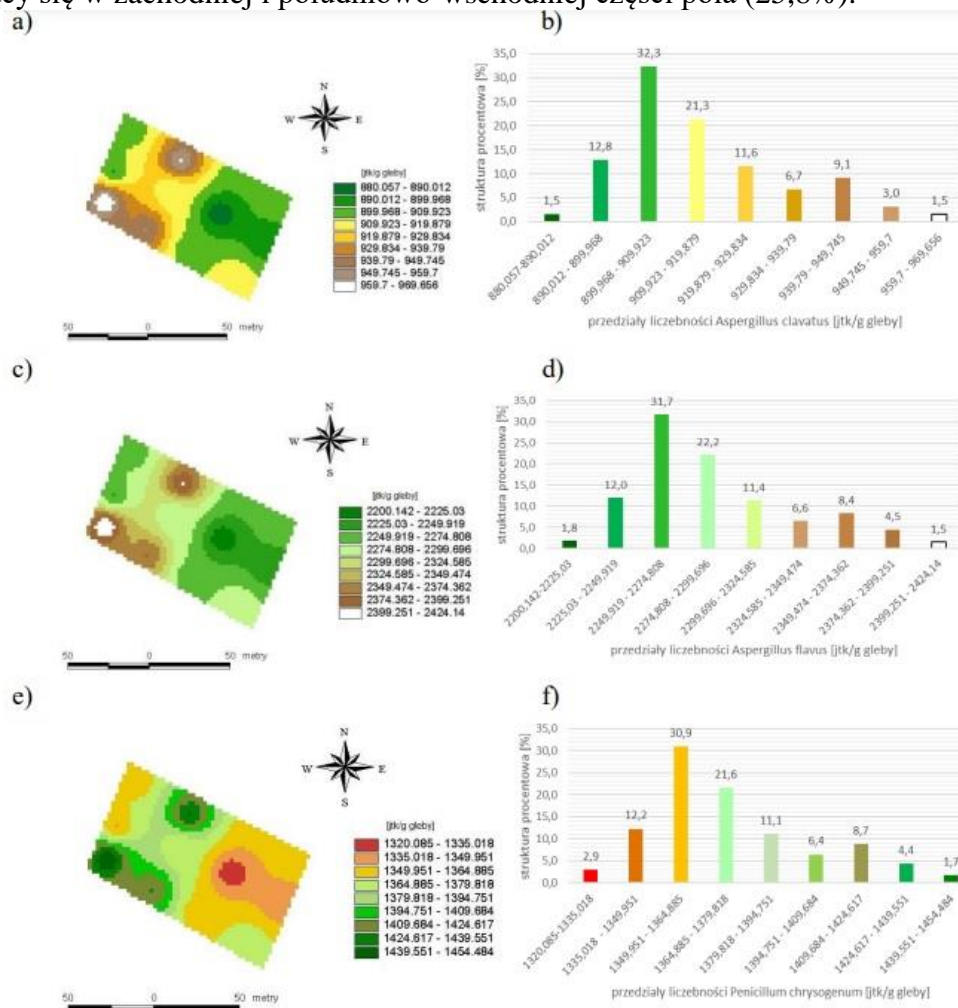
Rys. 277. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,15m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus clavatus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus clavatus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*

W profilu glebowym na głębokości 0,25m gatunek *Aspergillus clavatus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 409,015 – 2 437,872 jtk/g gleby

charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 278b). Teren ten znajdował się w północno-wschodniej części pola - rys. 278a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 178,153 – 2 207,011 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,5%) skonsolidowany w południowo-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus clavatus* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (25,4%).

*Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 926,852 – 937,951 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,8% (rys. 278d). Teren ten znajdował się w północno-wschodniej części pola - rys. 278c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 838,059 – 849,158 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,5%) skonsolidowany w południowo-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (26,3%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 370,541 – 374,98 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5%, (rys. 278f). Teren ten znajdował się we wschodniej części pola - rys. 278e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 335,024 – 339,463 jtk/g gleby) obejmowała obszar (4,5%) skonsolidowany w południowo-zachodniej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (25,8%).



Źródło: opracowanie własne

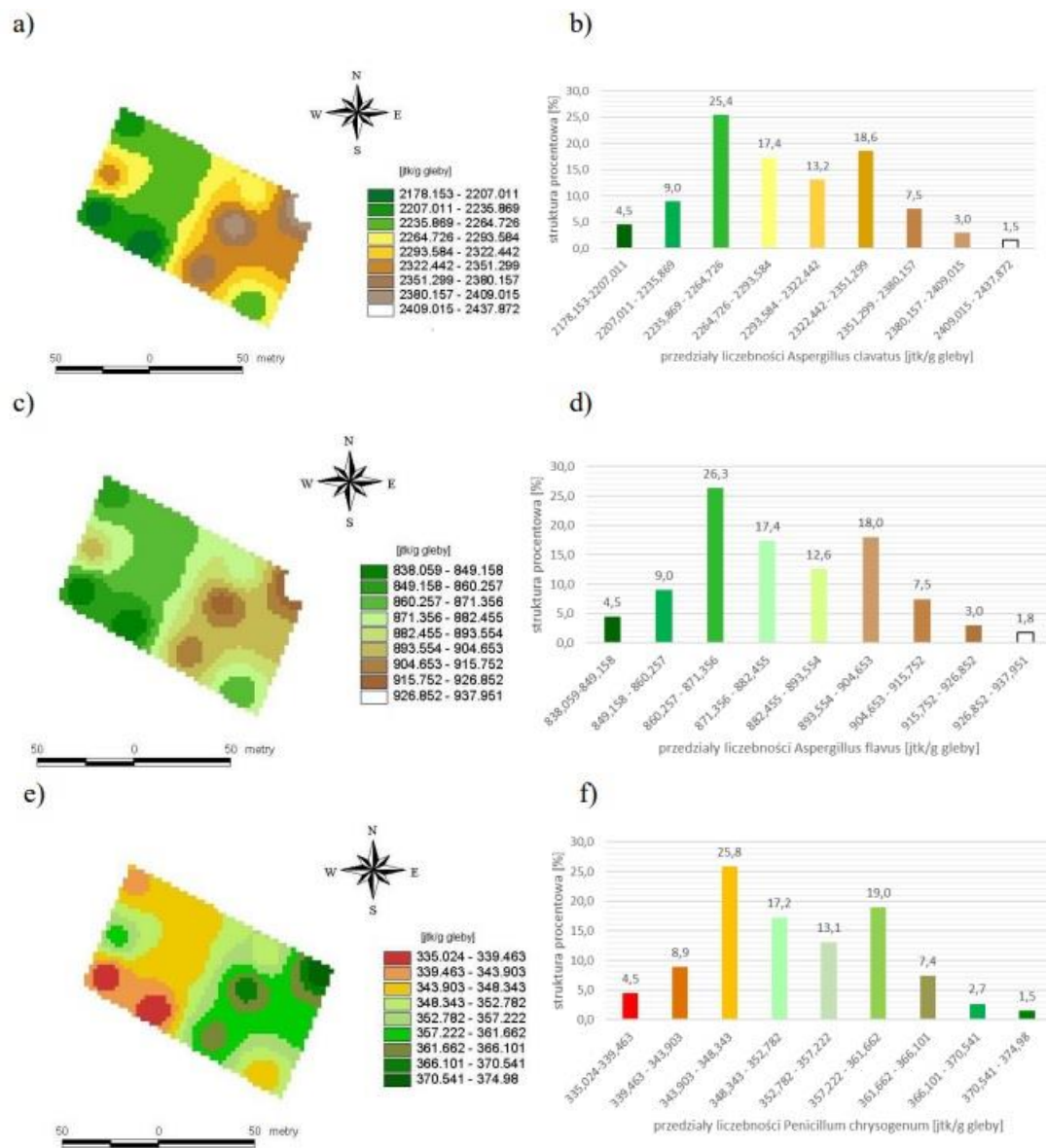
Rys. 278. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,25m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus clavatus*; b) struktura procentowa poszczególnych

przedziałów występowania *Aspergillus clavatus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*

W profilu glebowym na głębokości 0,35m gatunek *Aspergillus clavatus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 2 408,61 – 2 443,955 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 279b). Teren ten znajdował się w północnej części pola - rys. 279a. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 2 125,848 – 2 161,193 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus clavatus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (29,2%).

*Aspergillus flavus* najwyższą liczebnością mieszczącą się w przedziale wartości 283,784 – 287,995 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,5% (rys. 279d). Teren ten znajdował się w północnej części pola - rys. 279c. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 250,1 – 254,31 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3%) skonsolidowany głównie we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Aspergillus flavus* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (29,2%).

Najwyższą liczebnością gatunku *Penicillium chrysogenum* mieszczącą się w przedziale wartości 141,892 – 143,997 jtk/g gleby charakteryzowała się powierzchnia zajmująca 1,8%, (rys. 279f). Teren ten znajdował się w północnej części pola - rys. 279e. Powierzchnia charakteryzująca się najniższą liczebnością tego gatunku (przedział wartości 125,051 – 127,157 jtk/g gleby) obejmowała obszar (3%) skonsolidowany we wschodniej części pola. Znaczną liczebnością *Penicillium chrysogenum* odznaczał się teren znajdujący się w centralnej części pola (29,7%).

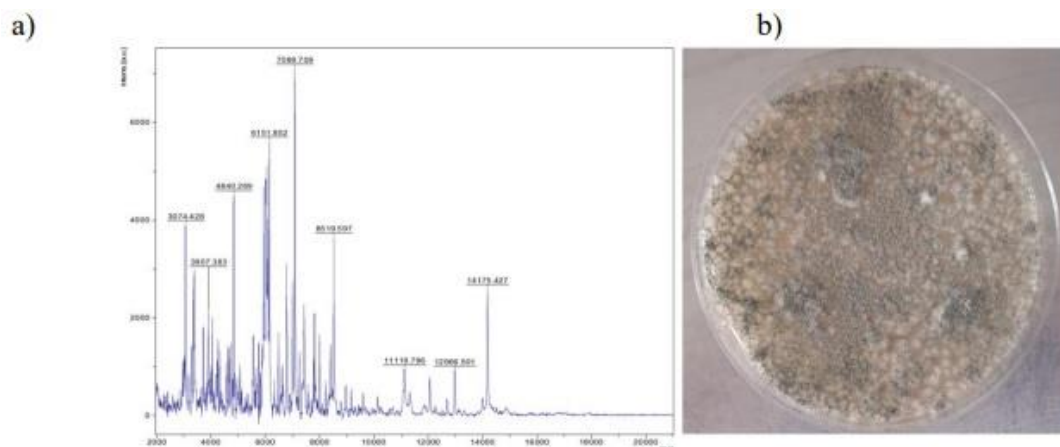


Źródło: opracowanie własne

Rys. 279. Występowanie gatunków grzybów w glebie na głębokości 0,35m: a) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus clavatus*; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus clavatus*; c) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Aspergillus flavus*; d) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Aspergillus flavus*; e) przestrzenne zróżnicowanie występowania *Penicillium chrysogenum*; f) struktura procentowa poszczególnych przedziałów występowania *Penicillium chrysogenum*

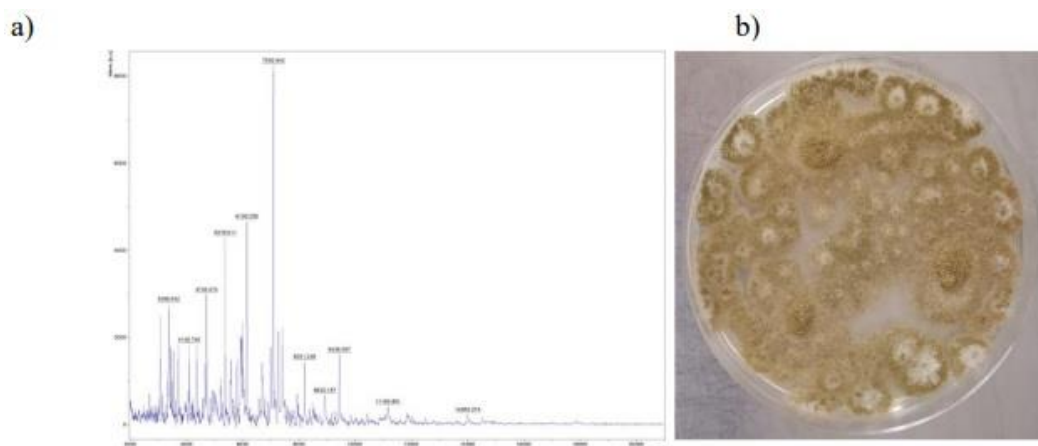
Uzyskane widma masowe zostały porównane z widmami masowymi o najwyższym indeksie podobieństwa znajdującymi się w bazie MALDI Biotyper firmy Brüker (rysunek 280a, 281a, 282a).





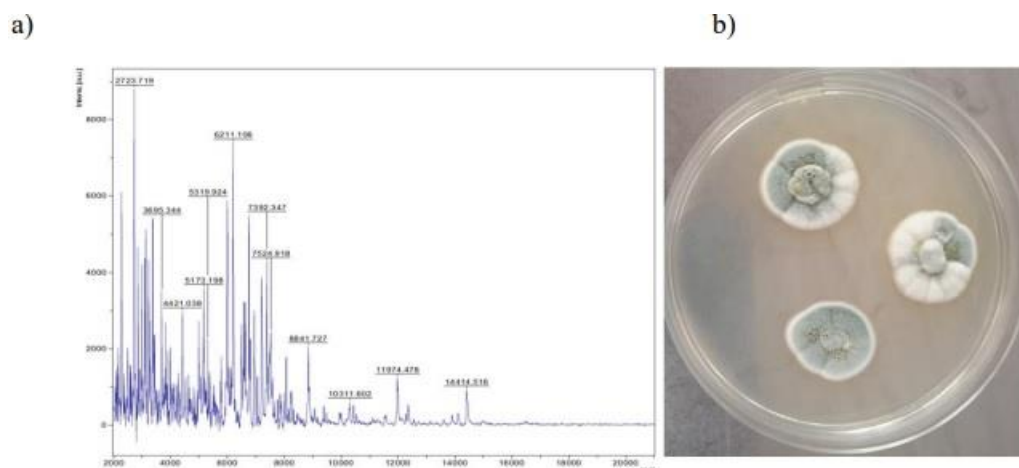
Rys. 280. Wynik identyfikacji gatunkowej *Aspergillus clavatus*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Źródło: opracowanie własne



Rys. 281. Wynik identyfikacji gatunkowej *Aspergillus flavus*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Źródło: opracowanie własne



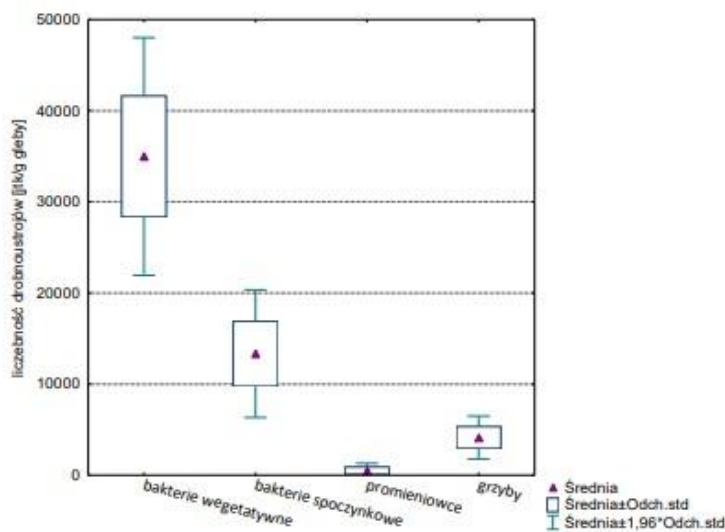
Rys. 282. Wynik identyfikacji gatunkowej *Penicillium chrysogenum*: a) widmo masowe; b) makroskopowy wygląd kolonii

Źródło: opracowanie własne

Porównując liczebność badanych grup drobnoustrojów między sobą na wszystkich analizowanych głębokościach profilu glebowego, zauważono, że najwyższą średnią liczebność odnotowano dla bakterii vegetatywnych, która wyniosła 34 978,8 jtk/g gleby



natomiast najmniejszą wartością średniej liczebności odznaczały się promieniowce – 506,4 jtk/g gleby. Dla pozostałych grup mikroorganizmów otrzymano średnie wartości liczebności wynoszące 13 334,1 jtk/g gleby dla bakterii spoczynkowych oraz 4 141,4 jtk/g gleby dla grzybów. Na podstawie uzyskanych wyników wyodrębniono cztery grupy jednorodnej liczebności badanych grup mikroorganizmów. Należy zaznaczyć, że otrzymane wartości liczebności badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym różnią się istotnie statystycznie.

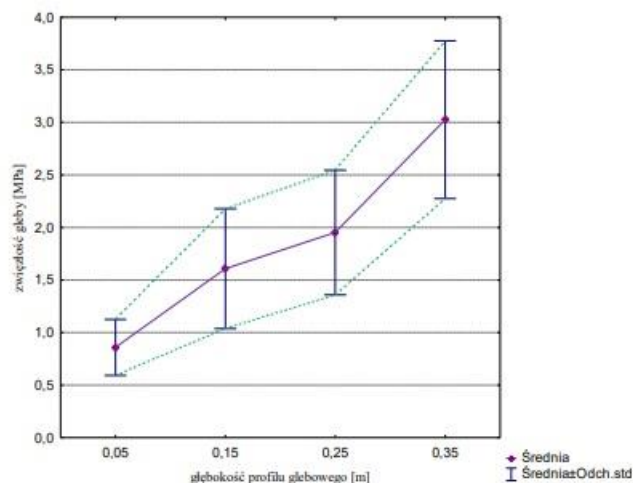


Źródło: opracowanie własne

Rys. 283. Liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów profilu glebowego pola obiektu III

### 7.3.2 Charakterystyka parametrów fizycznych gleby

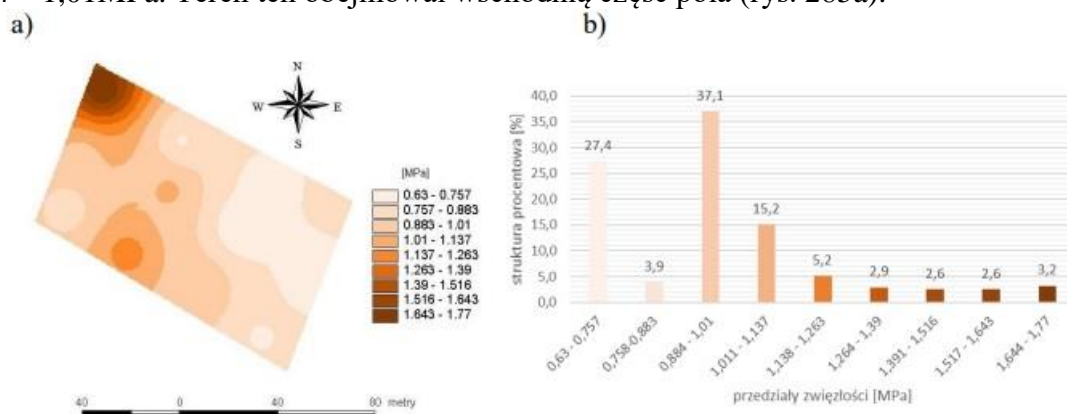
Na rysunku 284 została przedstawiona zwięzłość gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, zwięzłość gleby również wzrastała. Największy przyrost wartości zwięzłości w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniósł 5,3 MPa, przy dość dużym współczynniku zmienności 31% (0,05m) i 54% (0,35m). W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości zwięzłości gleby wyniósł 0,8 MPa, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 36%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach zwięzłości było znacznie wyższe, a współczynniki zmienności wartości zwięzłości gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekraczały 60%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zwięzłości gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 285-288).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 284. Zwięzłość gleby pola obiektu III wyznaczona metodą penetrometryczną

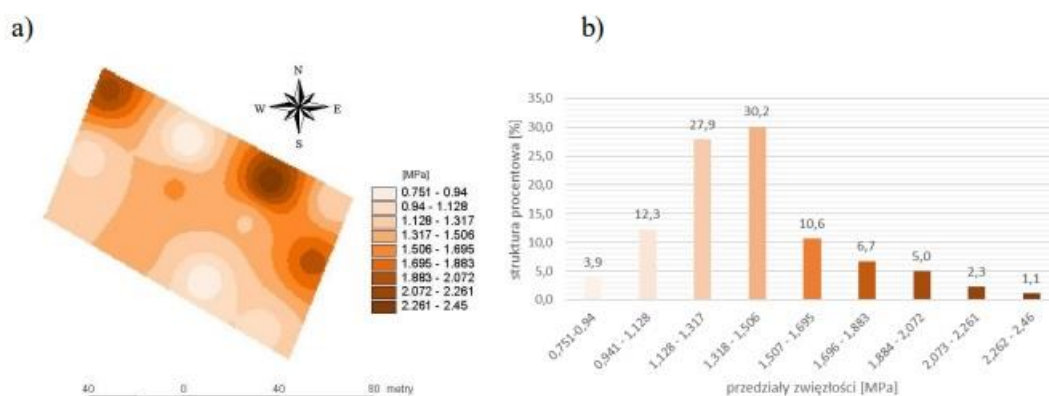
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością zwięzłości gleby na głębokości 0,05m (przedział 1,644 – 1,77 MPa) stanowiła 3,2% (rys. 285b). Znacznie większą powierzchnię – 27,4% stanowiły obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 0,63 – 0,757 MPa. Na terenie obejmującym aż 37,1% pola zaobserwowano wartości zwięzłości gleby mieszczące się w przedziale wartości 0,884 – 1,01MPa. Teren ten obejmował wschodnią część pola (rys. 285a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 285. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

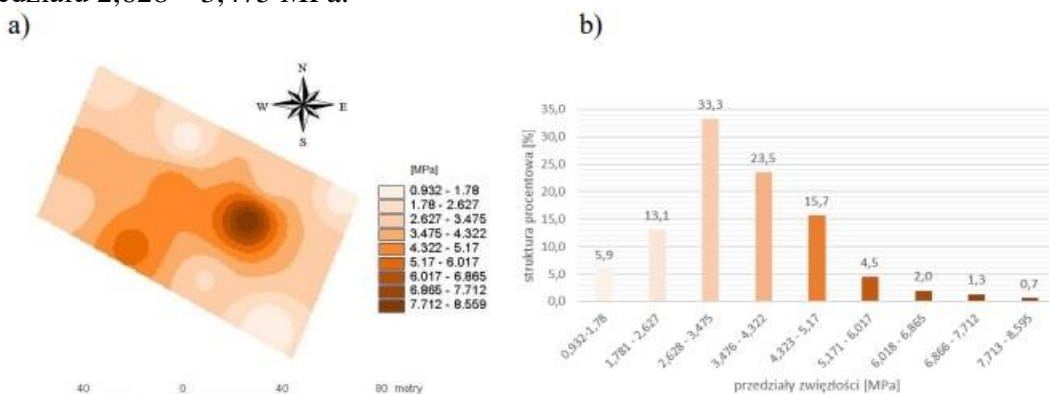
W przypadku wartości zwięzłości gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość zwięzłości gleby mieszczącą się w przedziale 2,262 – 2,46 MPa odnotowano na powierzchni zajmującej 1,1% (rys. 286b). Większą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości zwięzłości gleby były najniższe (przedział wartości 0,751 – 0,94 MPa). Wartościami zwięzłości gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 1,318 – 1,506 MPa charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 30,2%, znajdująca się w zachodniej i południowo-wschodniej części pola (rys. 286a).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 286. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15 m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

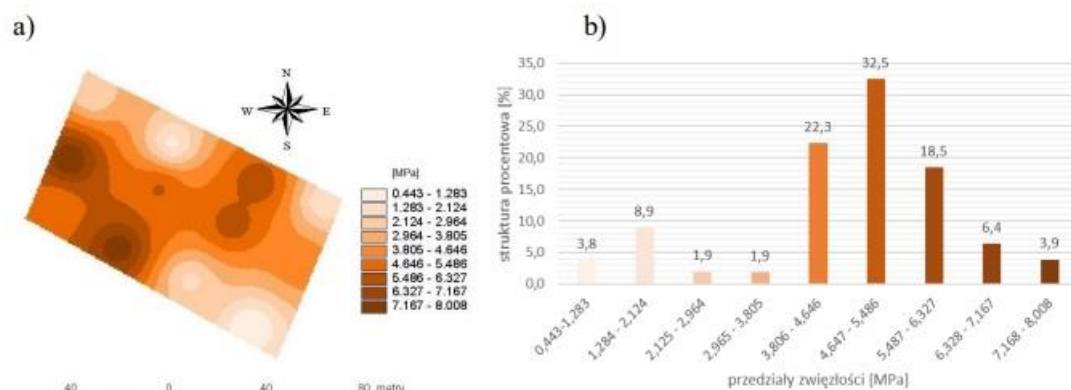
Najwyższe wartości zwięzłości mieszające się w przedziale wartości 7,713 – 8,505 MPa (stanowiące tylko 0,7% powierzchni), występowały na obszarze znajdującym się w centralnej części pola (rys. 287a) w warstwie gleby obejmującej głębokość 0,25m. Natomiast powierzchnie o najniższych wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane głównie w północnej i wschodniej części pola (rys. 287b). Aż 33,3% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 2,628 – 3,475 MPa.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 287. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

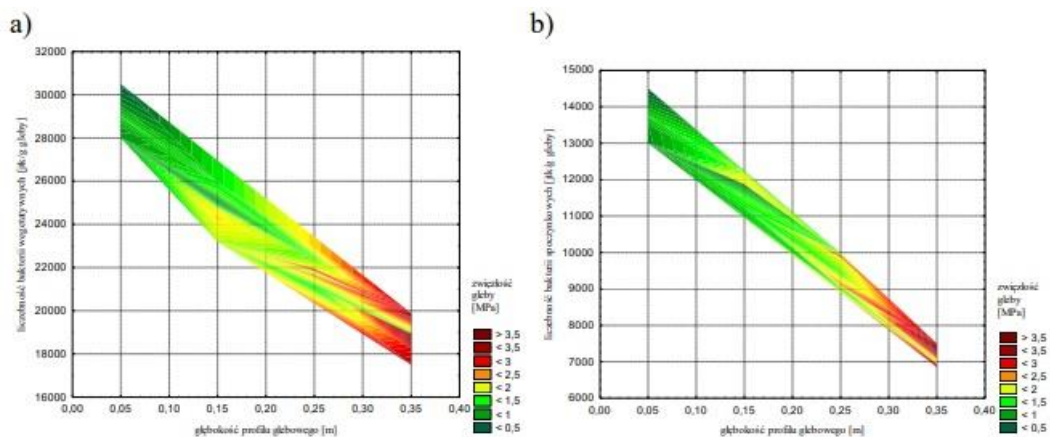
Natomiast na głębokości 0,35m najwyższe wartości zwięzłości gleby, mieszające się w przedziale wartości 7,168 – 8,008 MPa (stanowiące 3,9% powierzchni), występowały sporadycznie na obszarze znajdującym się w zachodniej części pola (rys. 288a). Powierzchnie o najniższych średnich wartościach zwięzłości gleby zajęły obszary skonsolidowane w północnej i południowo- wschodniej części pola. 32,5% powierzchni zajmowały tereny, na których odnotowano wartości zwięzłości gleby z przedziału 4,647 – 5,486 MPa.

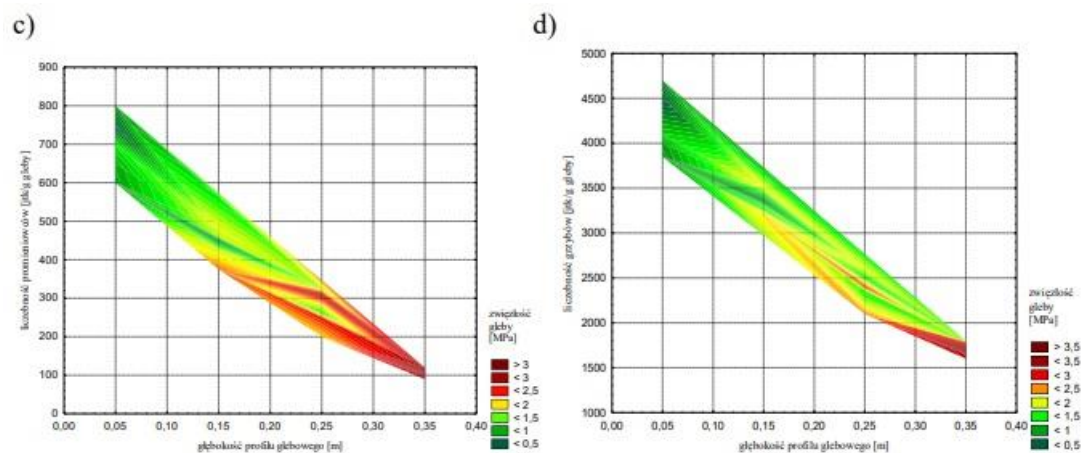


Źródło: opracowanie własne

Rys. 288. Zwięzłość gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zwięzłości gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zwięzłości gleby

Zaobserwowano związek między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że zwięzłość gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Przy niskich wartościach zwięzłości gleby (do 2 MPa – kolor ciemnozielony) odnotowano wysoką liczebność wszystkich badanych grup mikroorganizmów: bakterii wegetatywnych i spoczynkowych (rys. 289a i b), promieniowców (rys. 289c) oraz grzybów (rys. 289d). Drastyczny spadek liczebności mikroorganizmów spostrzeżono w profilu glebowym powyżej 0,25 m głębokości, gdzie odnotowano zwięzłość gleby powyżej wartości 5 MPa (kolor pomarańczowy przechodzący w brązowy). Ponadto w przypadku bakterii wegetatywnych i grzybów stwierdzono wyraźny obszar koloru czerwonego (zwięzłość gleby w przedziale wartości 6 – 7 MPa), gdzie liczebność bakterii wegetatywnych spada z 27 tys. jtk/g gleby do 25 tys. jtk/g gleby, a liczebność grzybów z 3,4 tys. jtk/g gleby do 2,8 tys. jtk/g gleby. Relacja między zwięzłością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 289.

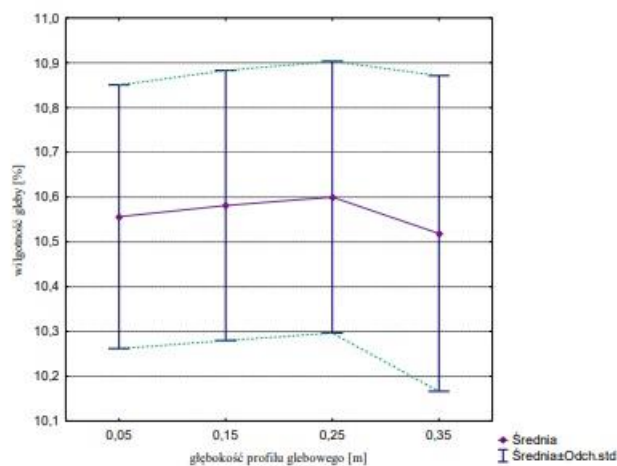




Źródło: opracowanie własne

Rys. 289. Wpływ głębokości i zwięzłości gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, nieznacznie wzrastała także wartość wilgotności gleby. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości wilgotności gleby wyniósł zaledwie 0,02%, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 3%. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) wartość wilgotności nieco spadła (o 0,08%), a współczynniki zmienności wartości wilgotności gleby w analizowanej warstwie profilu glebowego również nie przekraczały 3%. Największą różnicę w wartościach wilgotności gleby, w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego uzyskano w warstwie gleby 0,25 – 0,35m, która wyniosła 0,08%, przy dość niskich współczynnikach zmienności wynoszących 3%. Na rysunku 290 została przedstawiona wilgotność gleby w profilu glebowym na poziomie głębokości od 0,05m do 0,35m. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu wilgotności gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania (rys. 291-294).



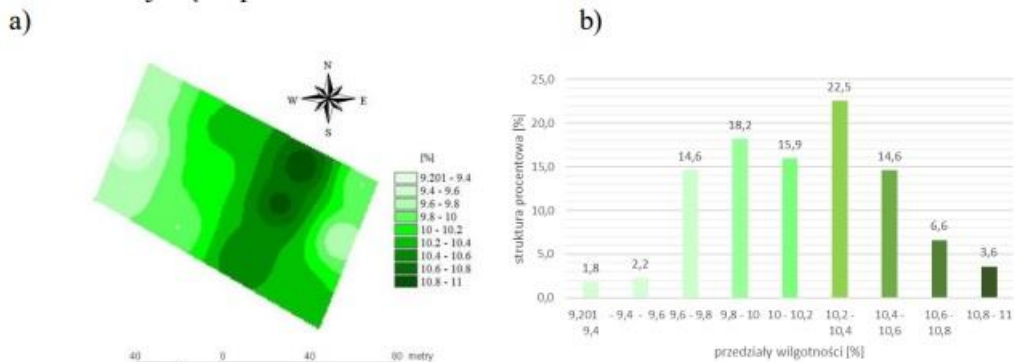
Źródło: opracowanie własne

Rys. 290. Wilgotność gleby pola obiektu III wyznaczona metodą suszarkową

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością wilgotności gleby na głębokości 0,05 m (przedział 10,801 - 11%) stanowiła 3,6% (rys. 291b). Powierzchnię o połowę mniejszą stanowiły obszary (zachodni i wschodni kraniec pola – rys. 291a), na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale



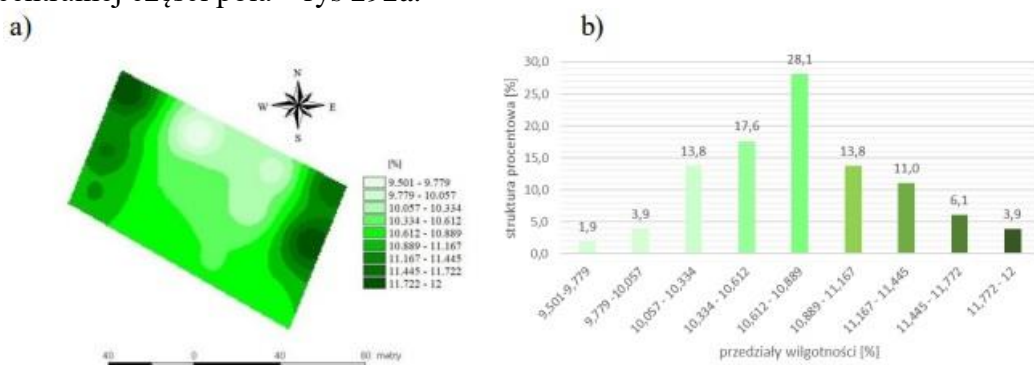
9,201 – 9,4%. Na terenie obejmującym 22,5% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 10,2 – 10,4%, które znajdowały się w centralnej i wschodniej części pola.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 291. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

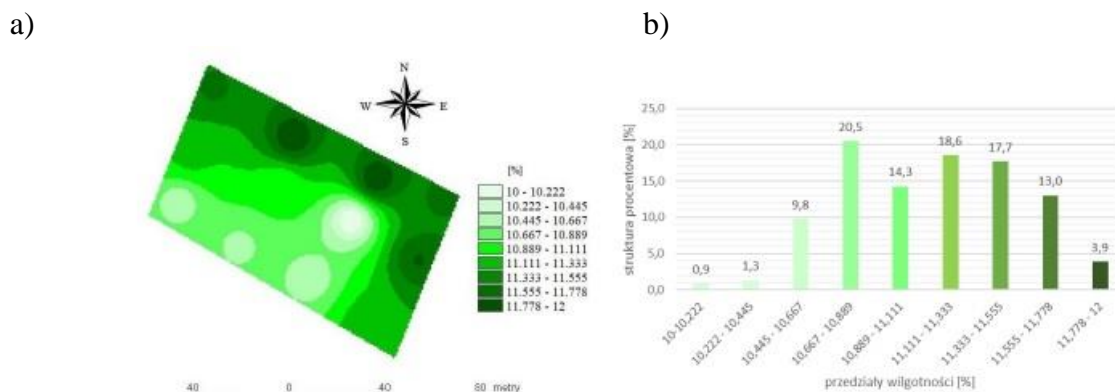
W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 11,773 – 12% odnotowano na powierzchni zajmującej 3,9% (rys. 292b). O połowę mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 9,501 – 9,779%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 10,613 – 10,889% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 28,1%, która znajdowała się w centralnej części pola – rys 292a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 292. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

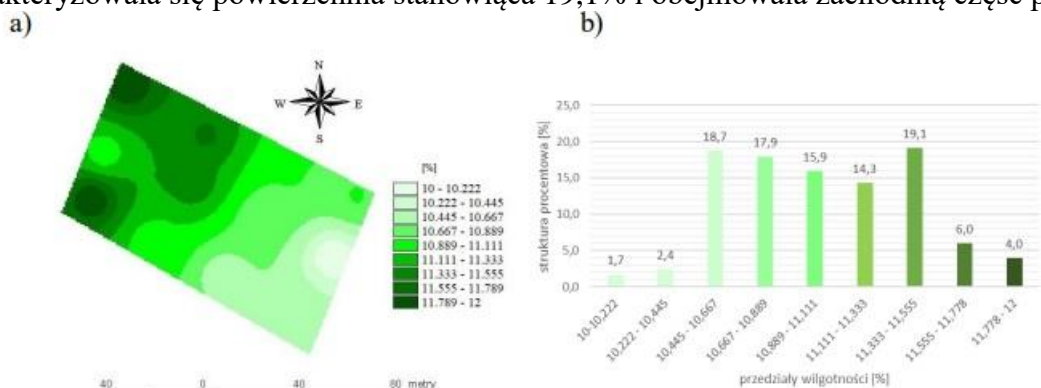
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością wilgotności gleby na głębokości 0,25m (przedział 11,779 - 12%) stanowiła 3,9% (rys. 293b), która znajdowała się w północnej części pola (rys. 293a). Trzykrotnie mniejszą powierzchnię stanowiły obszary, na których wartości wilgotności gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 10 – 10,222%. Na terenie obejmującym 20,5% pola zaobserwowano wartości wilgotności gleby mieszczące się w przedziale wartości 10,668 – 10,889%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 293. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

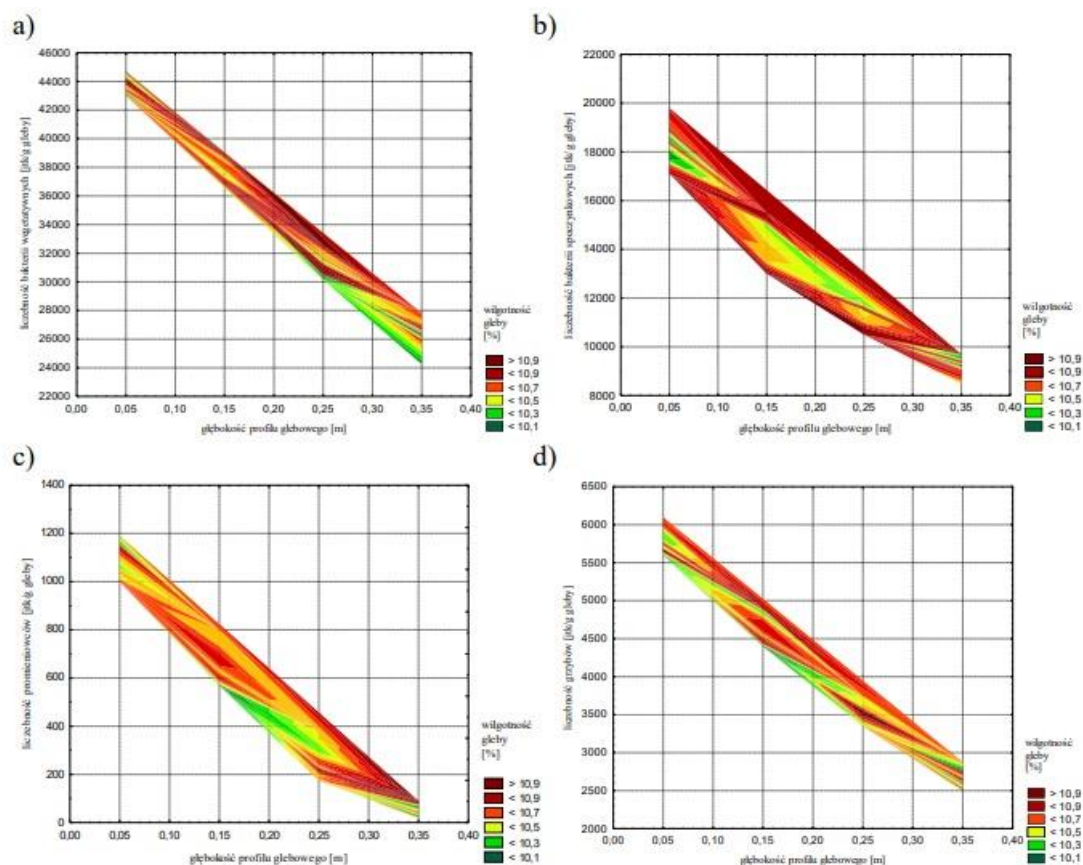
W przypadku wartości wilgotności gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość wilgotności gleby mieszczącą się w przedziale 11,779 - 12% odnotowano na powierzchni zajmującej 4% (rys. 294b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości wilgotności gleby były najniższe (przedział wartości 10 – 10,222%). Wartościami wilgotności gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 11,334 – 11,555% charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 19,1% i obejmowała zachodnią część pola.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 294. Wilgotność gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35 m; a) przestrzenne zróżnicowanie wilgotności gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów wilgotności gleby

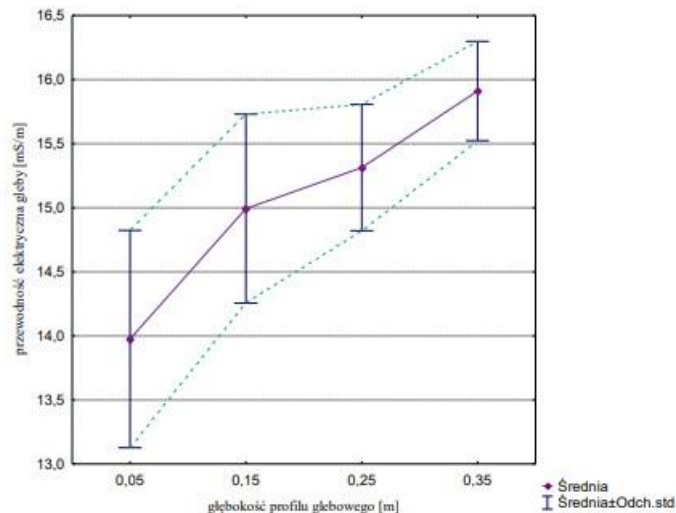
Zaobserwowano istnienie związku między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Stwierdzono, że wilgotność gleby wpływa na liczebność drobnoustrojów bytujących w glebie. Można zauważyć, że wysokie wartości wilgotności gleby (powyżej 10,7%) utrzymują się w całym profilu glebowym (kolor czerwony przechodzący w brązowy), gdzie liczebność bakterii wegetatywnych przyjmuje wartości z przedziału 29 - 43 tys. jtk/g gleby, liczebność bakterii spoczynkowych 9 - 20 tys. jtk/g gleby, promieniowców 100 – 1100 jtk/g gleby i grzybów 2,5 – 6,1 tys. jtk/g gleby. Relacja między wilgotnością i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego została zilustrowana na rysunku 295.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 295. Wpływ głębokości i wilgotności gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

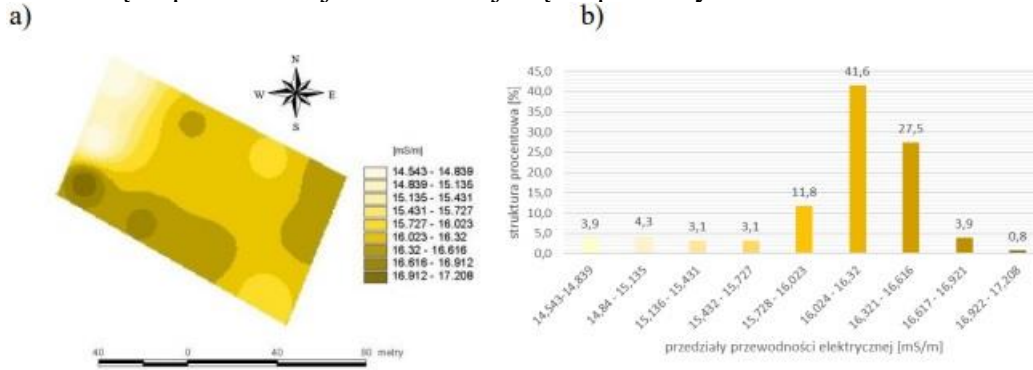
Przewodność elektryczna gleby została przedstawiona na rysunku 296. Stwierdzono, że podobnie jak w przypadku zwięzłości i wilgotności gleby - wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, przewodność elektryczna gleby również wzrastała. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) przyrost wartości przewodności elektrycznej gleby wyniósł 5,35 mS/m, przy niskich współczynnikach zmienności nie przekraczających 6%. W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach przewodności elektrycznej było nieco niższe - współczynniki zmienności wartości przewodności elektrycznej gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekraczały 4%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu przewodności elektrycznej gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jej przestrzennego zróżnicowania wartości (rys. 297-300).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 296. Przewodność elektryczna gleby pola obiektu III wyznaczona metodą konduktometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,05m (przedział 16,921 – 17,208 mS/m) stanowiła zaledwie 0,8% (rys. 298b). Nieco większą powierzchnię – 3,9% stanowiły obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 14,543 – 14,839 mS/m. Obszary te były usytuowane w północno-zachodniej części pola - rys. 297a. Na terenie obejmującym aż 41,6% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 16,023 – 16,32 mS/m. Teren ten znajdowała się w południowej i wschodniej części pola – rys 297a.

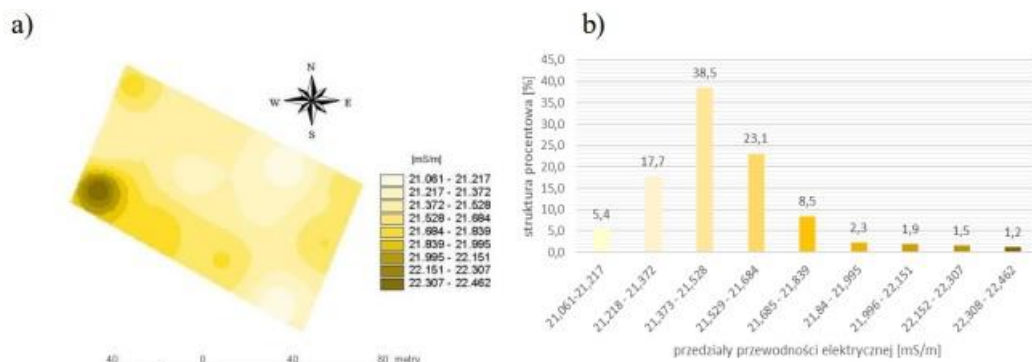


Źródło: opracowanie własne

Rys. 297. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 22,308 – 22,462 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej 1,2% (rys. 298b). Nieco większą powierzchnię (5,4%) zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najniższe (przedział wartości 21,061 – 21,217 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 21,373 – 21,528 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 38,5%. Obszar ten obejmował centralną część pola – rys. 298a.

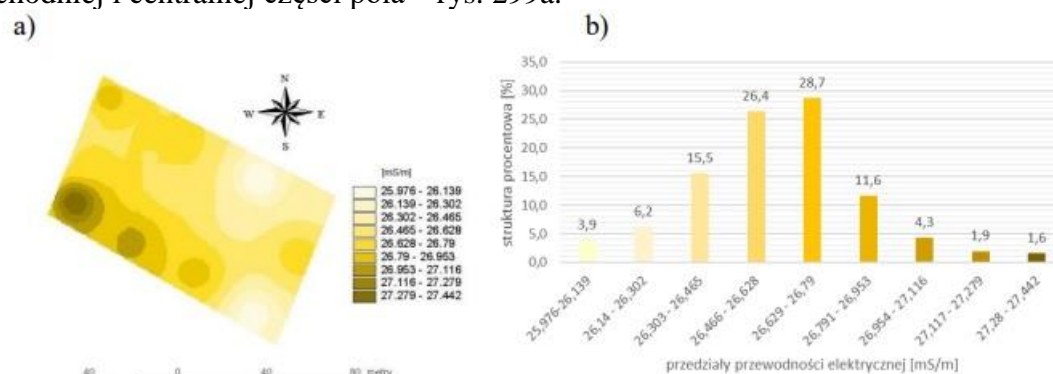




Źródło: opracowanie własne

Rys. 298. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością przewodności elektrycznej gleby na głębokości 0,25m (przedział 27,28 – 27,442 mS/m) stanowiła 1,6% (rys. 299b). Większą powierzchnię obejmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 25,976 – 26,139 mS/m. Na terenie obejmującym 28,7% pola zaobserwowano wartości przewodności elektrycznej gleby mieszczące się w przedziale wartości 26,629 – 26,79 mS/m. Ten obszar znajdowała się w zachodniej i centralnej części pola – rys. 299a.

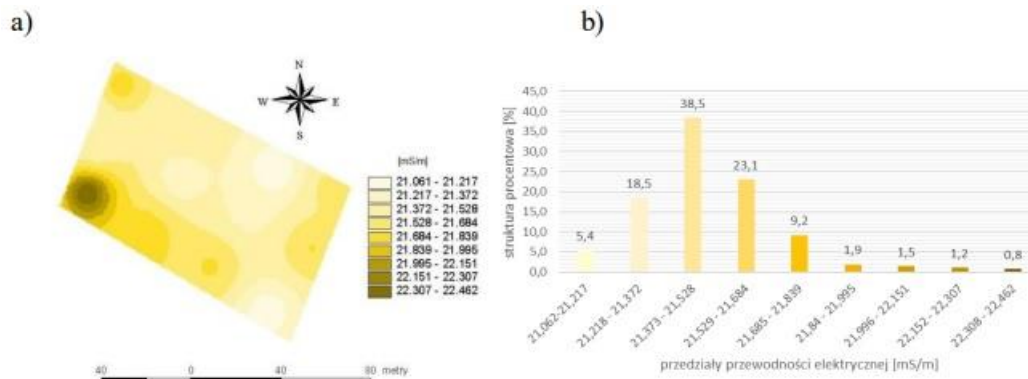


Źródło: opracowanie własne

Rys. 299. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

W przypadku wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość przewodności elektrycznej gleby mieszczącą się w przedziale 22,308- 22,462 mS/m odnotowano na powierzchni zajmującej zaledwie 0,8% (rys. 300b). Siedmiokrotnie większą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości przewodności elektrycznej były najniższe (przedział wartości 21,061- 21,217 mS/m). Wartościami przewodności elektrycznej gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 21,373 – 21,528 mS/m charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 38,5%, znajdująca się w centralnej części pola – rys. 300a.

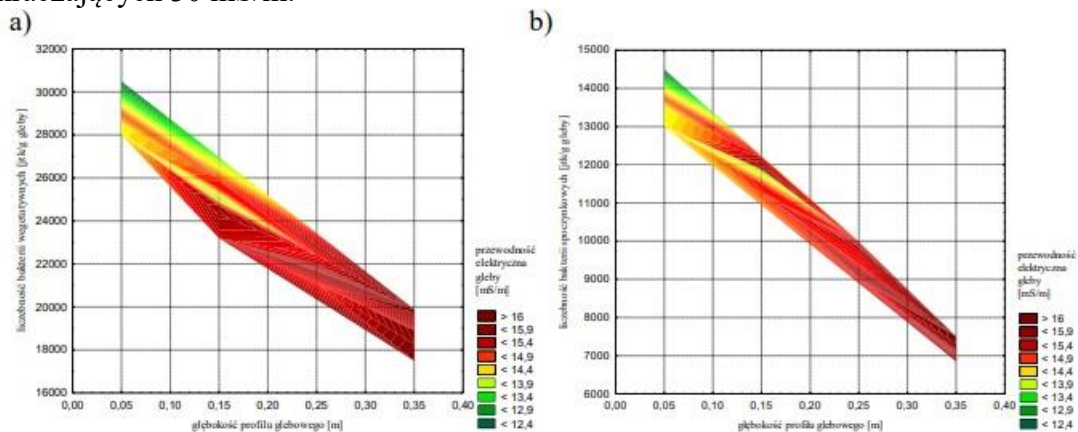


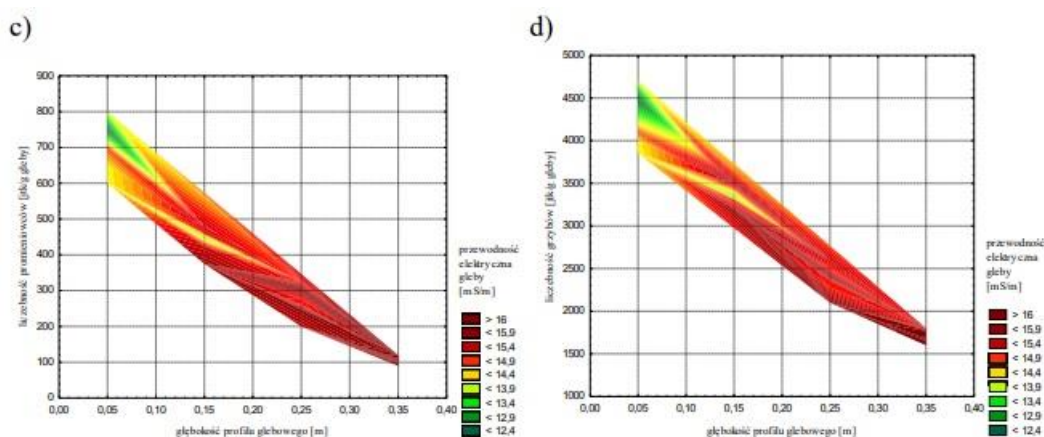


Źródło: opracowanie własne

Rys. 300. Przewodność elektryczna gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie przewodności elektrycznej gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów przewodności elektrycznej gleby

Na rysunku 301 został przedstawiony związek między przewodnością elektryczną a liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego. Podobnie jak w przypadku relacji między zwięzłością a liczebnością mikroorganizmów, zaobserwowano, że przewodność elektryczna gleby wpływa na przestrzenny rozkład badanych grup drobnoustrojów w profilu glebowym. Do głębokości 0,15m odnotowano wartości przewodności elektrycznej nie wyższe niż 19 mS/m, przy których liczebność mikroorganizmów osiągnęła wysokie wartości. Stwierdzono liczebność bakterii wegetatywnych powyżej 38 tys. jtk/g gleby (rys. 301a), bakterii spoczynkowych powyżej 13 tys. jtk/g gleby (rys. 301b), promieniowców powyżej 600 jtk/g gleby (rys. 301c) a grzybów powyżej 4,5 tys. jtk/g gleby (rys. 301d). Powyżej głębokości 0,33m stwierdzono najniższą liczebność drobnoustrojów przy wartościach przewodności elektrycznej przekraczających 30 mS/m.



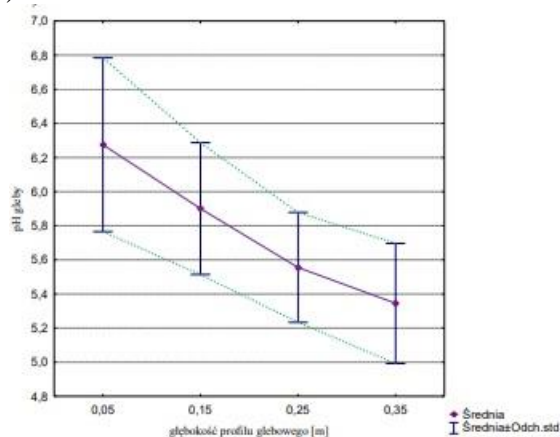


Źródło: opracowanie własne

Rys. 301. Wpływ głębokości i przewodności elektrycznej gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

### 7.3.3 Charakterystyka parametrów chemicznych gleby

W przypadku pH gleby poddanej badaniom zaobserwowano spadek jego wartości wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego (rys. 302). Największy spadek wartości pH gleby został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m. Spadek ten wyniósł w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniósł 1,1, przy dość niskim współczynniku zmienności 8% (0,05m) i 7% (0,35m). W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek wartości pH gleby wyniósł 0,5, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 8%. W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w wartościach odczynu chemicznego gleby było niższe, a współczynniki zmienności wartości pH gleby w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniosły odpowiednio 6% i 7%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu pH gleby na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 303-306).

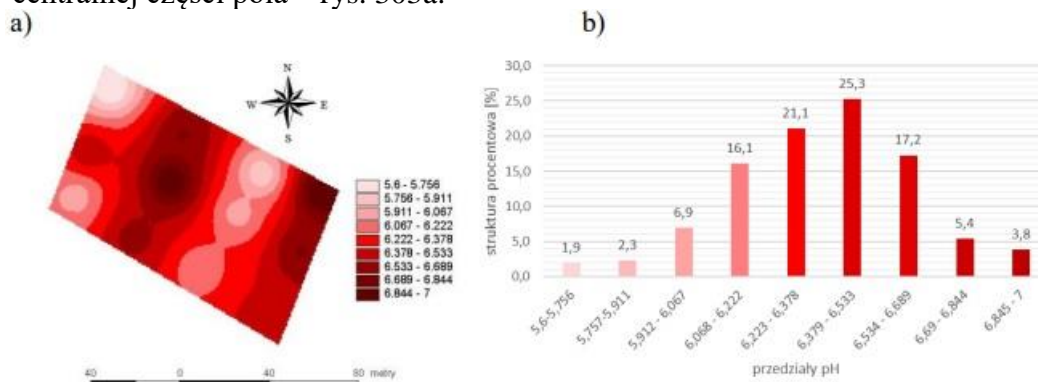


Źródło: opracowanie własne

Rys. 302. Odczyn chemiczny gleby pola obiektu III wyznaczona metodą potencjometryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą średnią wartością pH gleby na głębokości 0,05m (przedział 6,845 - 7) stanowiła 3,8% (rys. 303b). O połowę mniejszą powierzchnię – 1,9% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 5,6 – 5,756. Na terenie obejmującym 25,3% pola zaobserwowano

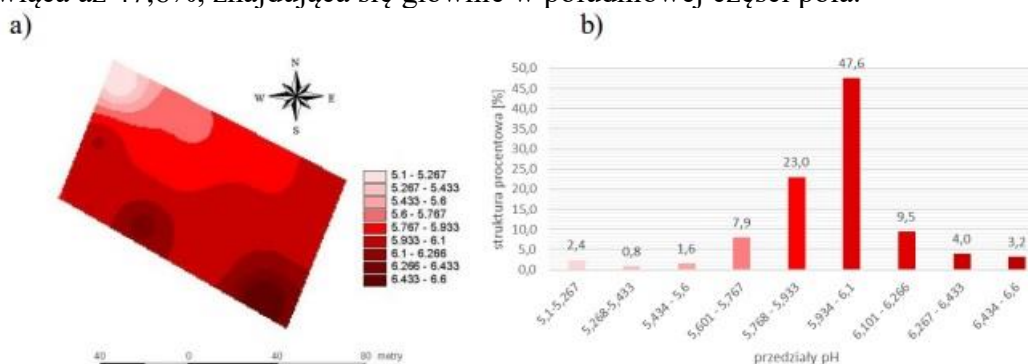
wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 6,379 – 6,533. Teren ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 303a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 303. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie odczynu chemicznego gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów odczynu chemicznego gleby

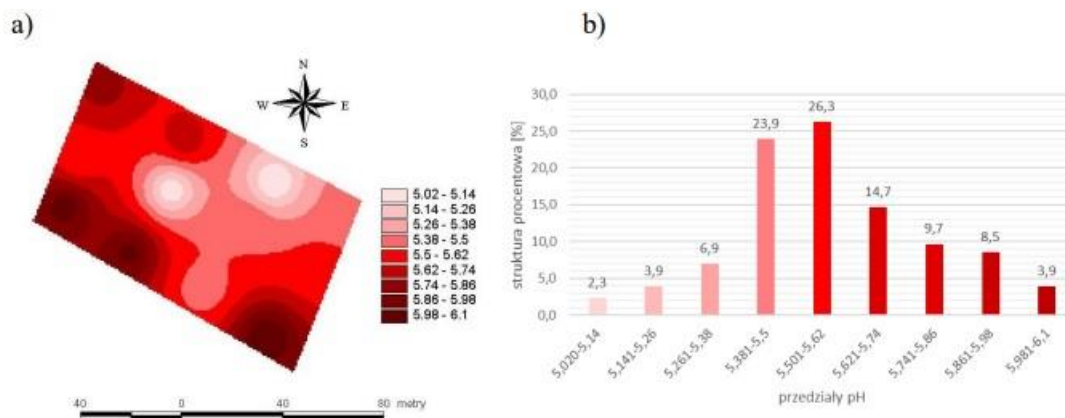
W przypadku wartości pH gleby odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 6,434 – 6,6 odnotowano na powierzchni zajmującej 3,2% (rys. 304b). Nieco mniejszą powierzchnię (2,4%) zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 5,1 – 5,267). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 5,934 – 6,1 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 47,6%, znajdująca się głównie w południowej części pola.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 304. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie odczynu chemicznego gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów odczynu chemicznego gleby

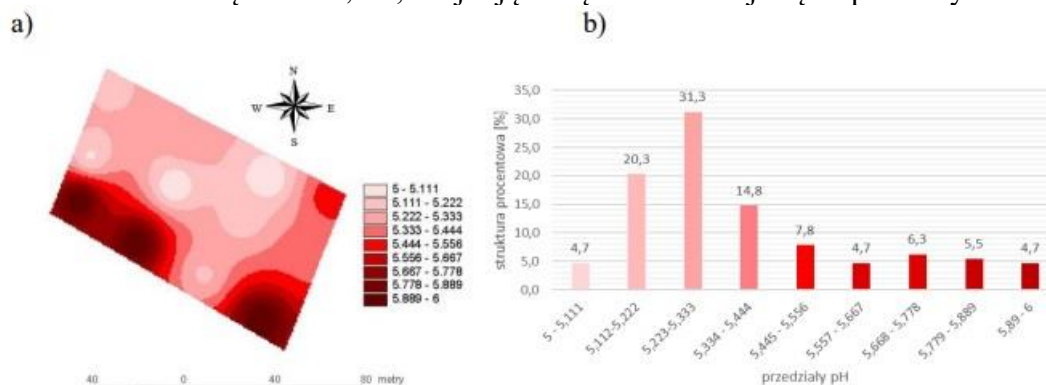
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą wartością pH gleby na głębokości 0,25m (przedział 5,981 – 6,1) stanowiła 3,9% (rys. 305b). Nieco mniejszą powierzchnię – 2,3% stanowiły obszary, na których wartości pH gleby były najmniejsze i mieściły się w przedziale 5,02 – 5,14. Na terenie obejmującym 26,3% pola zaobserwowano wartości pH gleby mieszczące się w przedziale wartości 5,501 – 5,62. Teren ten znajdował się w zachodniej i wschodniej części pola - rys. 305a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 305. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie odczynu chemicznego gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów odczynu chemicznego gleby

W przypadku wartości odczynu chemicznego gleby odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą wartość pH gleby mieszczącą się w przedziale 5,89 – 6 odnotowano na powierzchni zajmującej 4,7% (rys. 306b). Taką samą powierzchnię zajmowały obszary, na których wartości pH gleby były najniższe (przedział wartości 5 – 5,111). Wartościami pH gleby mieszczącymi się w przedziale wartości 5,223 – 5,333 charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 31,3%, znajdująca się w centralnej części pola – rys. 306a.



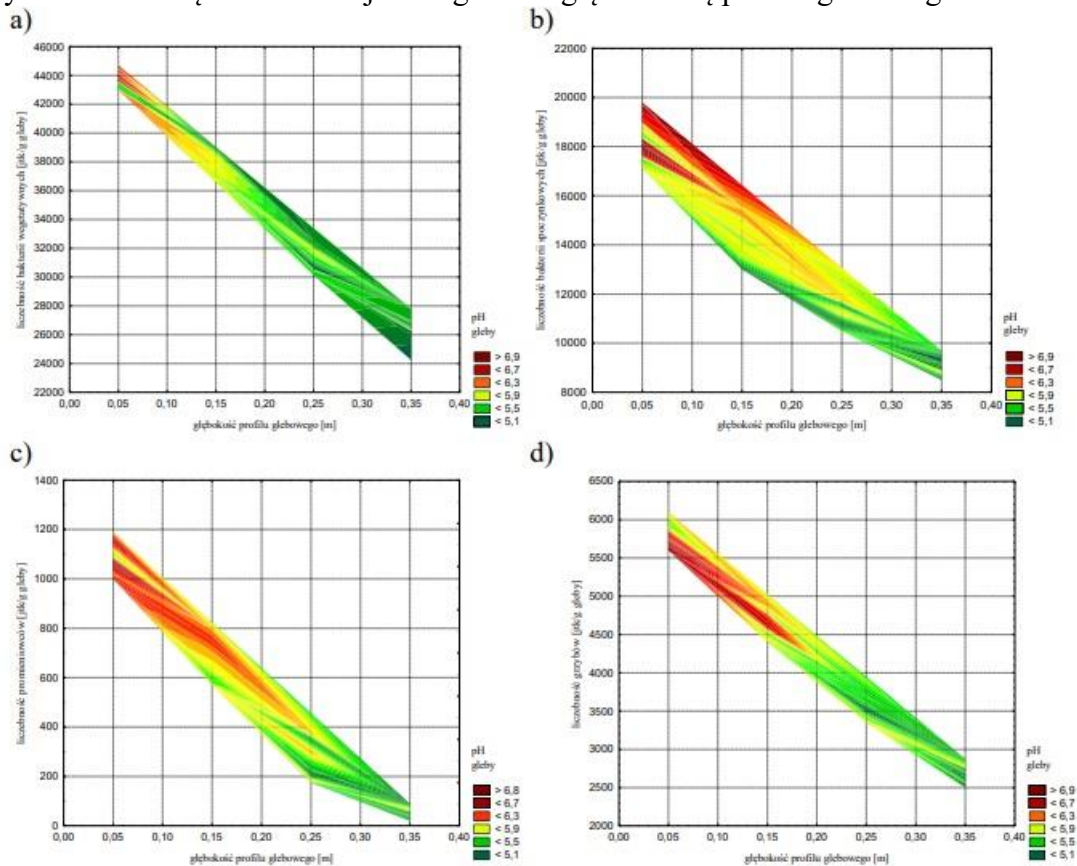
Źródło: opracowanie własne

Rys. 306. pH gleby mierzonej na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie odczynu chemicznego gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów odczynu chemicznego gleby

Zaobserwowano zróżnicowany wpływ pH gleby na liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów. W przypadku promieniowców (rys. 307c) pH gleby powyżej 6,3 (kolor czerwony) odnotowano na w profilu glebowym na głębokości między 0,05m a 0,25m, gdzie liczebność tej grupy mikroorganizmów utrzymywała się na poziomie 400 – 1 000 jtk/g gleby. Wysoką liczebność grzybów (rys. 307d) powyżej 4,4 tys. jtk/g gleby stwierdzono przy pH wynoszącym powyżej 6,7 (kolor brązowy) na głębokości profilu glebowego do 0,2m. Ponadto stwierdzono kontrast w rozwoju bakterii wegetatywnych i spoczynkowych przy tych samych wartościach pH gleby. Zauważono obszary, przy pH gleby powyżej 6,7 (kolor brązowy przechodzący w ciemnobrązowy), przy których liczebność bakterii spoczynkowych (rys. 307b) była stosunkowo wysoka w przedziale głębokości 0,05 – 0,2m (15 – 20 tys. jtk/g gleby), natomiast najwyższa liczebność bakterii wegetatywnych (rys. 307a) pozostawała w przedziale głębokości 0,05 - 0,08m. Należy również zauważyć, że wysoka liczebność bakterii spoczynkowych utrzymywała przy wartościach pH z przedziału 5,9 – 6,3 (obszar koloru żółtego) w profilu glebowym do 0,25m, podczas gdy, przy tych samych wartościach



pH gleby, wysoką liczebność bakterii wegetatywnych uzyskano w płytszych warstwach gleby (0,1 – 0,15m). Na rysunku 308 został przedstawiony związek między odczynem chemicznym gleby i liczebnością drobnoustrojów w glebie a głębokością profilu glebowego.

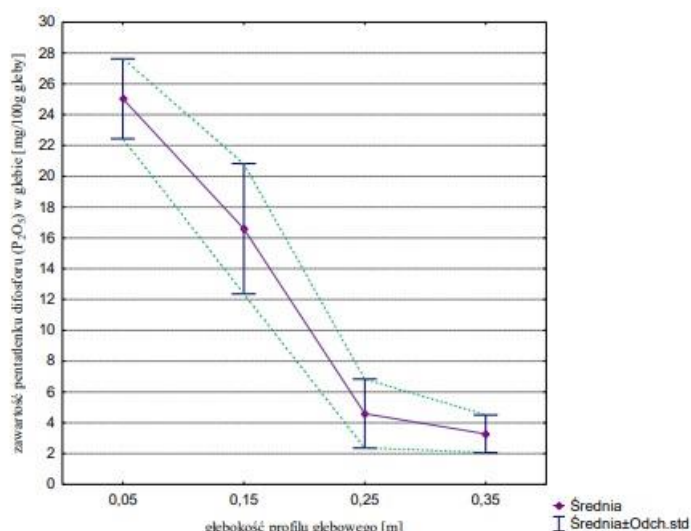


Źródło: opracowanie własne

Rys. 307. Wpływ głębokości i odczynu chemicznego gleby na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

Zawartość pentatlenku difosforu w glebie została zilustrowana na rysunku 308. Podobnie do uzyskanego odczynu chemicznego gleby, zawartość pentatlenku difosforu w glebie obniża się wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek wartości  $P_2O_5$  wyniósł 6,8 mg/100g gleby, przy współczynnikach zmienności wynoszących 10% (0,05m) i 25% (0,15m). W głębszych warstwach gleby (0,15m i 0,25m) zróżnicowanie w zawartości pentatlenku difosforu było nieco wyższe, a współczynniki zmienności w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego nie przekroczyły 49%. Największy spadek wartości zawartości pentatlenku difosforu w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m i wyniósł 23,1 mg  $P_2O_5$ /100g gleby, przy wysokim współczynniku zmienności 10% (0,05m) i 37% (0,35m). W celu ustalenia przestrzennej zawartości pentatlenku difosforu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 309-312).



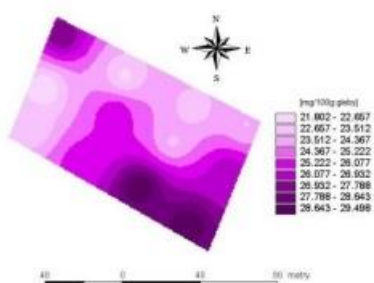


Źródło: opracowanie własne

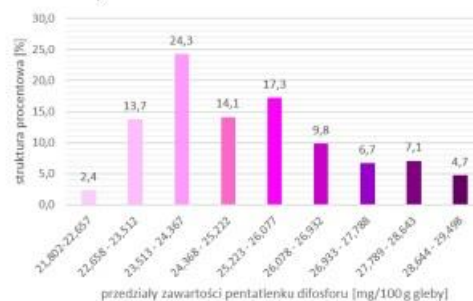
Rys. 308. Zawartość pentatlenku difosforu w glebie pola obiektu III wyznaczona metodą kolorymetryczną

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 28,644 – 29,498 mg/100g gleby) stanowiła 4,7% (rys. 309b). O połowę mniejszą powierzchnię stanowiły obszary, na których wartości zawartości pentatlenku difosforu w glebie były najmniejsze i mieściły się w przedziale 21,802 – 22,657 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 24,3% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 23,513 – 24,367 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w zachodnią i północną części pola – rys. 309a.

a)



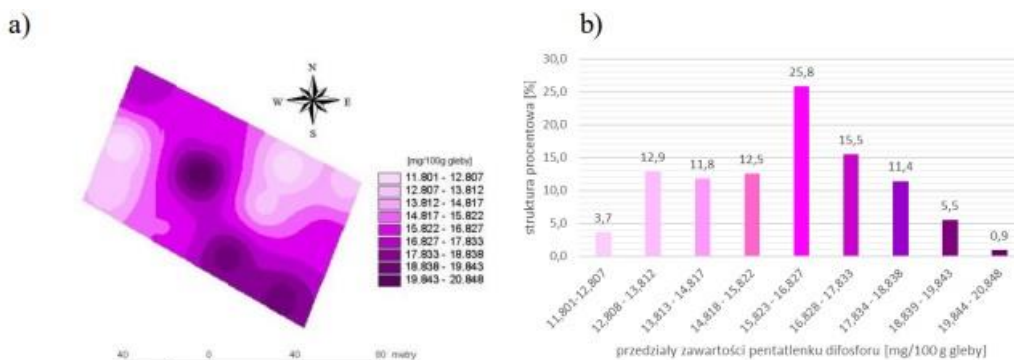
b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 309. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu gleby

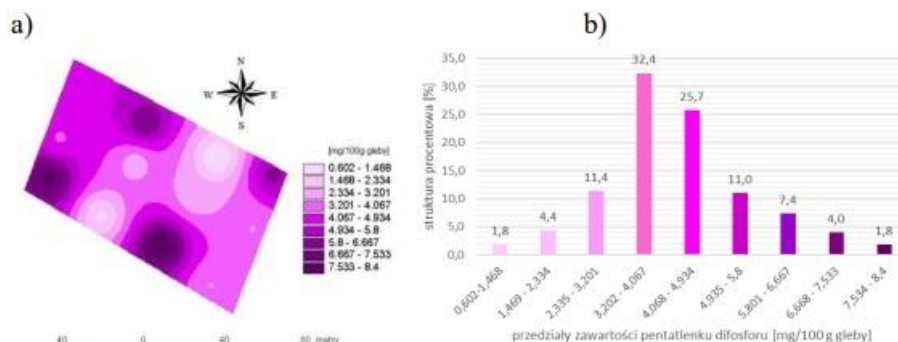
W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 19,844 – 20,848 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej zaledwie 0,9% (rys. 310b). Czterokrotnie większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie były najniższe (przedział wartości 11,801 – 12,807 mg/100g gleby). Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 15,823 – 16,827 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 25,8%, która obejmowała centralną część pola – rys. 310a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 310. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu gleby

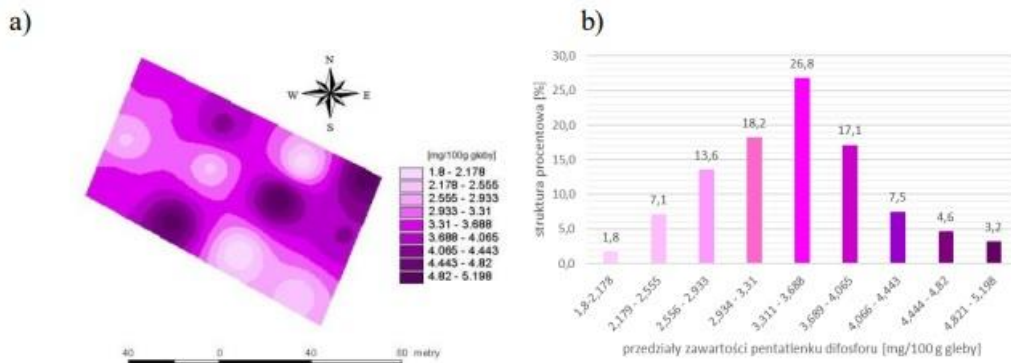
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością pentatlenku difosforu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 7,534 – 8,4 mg/100g gleby) stanowiła 1,8% (rys. 311b). Taka samą powierzchnię – 1,8% stanowiły obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 0,602 – 1,468 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym aż 32,4% pola zaobserwowano zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 3,202 – 4,067 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował centralną i wschodnią część pola – rys. 311a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 311. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu gleby

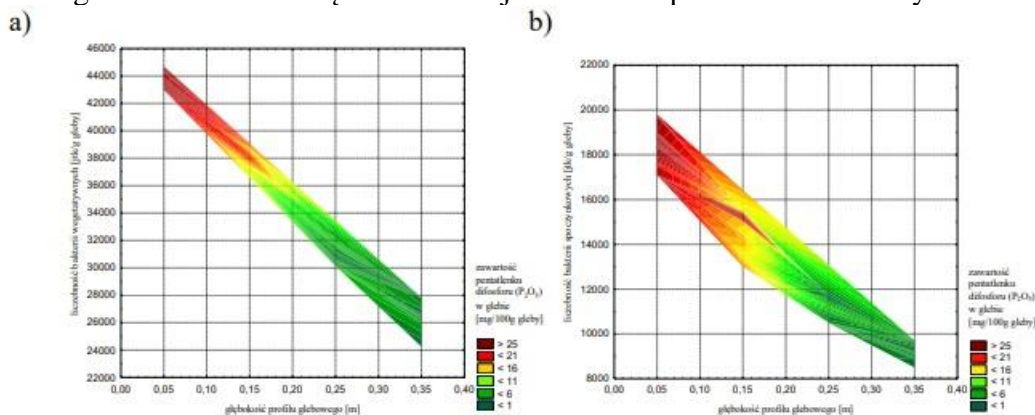
W przypadku zawartości pentatlenku difosforu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale 4,821 – 5,198 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,2% (rys. 312b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość pentatlenku difosforu w glebie była najniższa (przedział wartości 1,8 – 2,178 mg/100g gleby). Teren ten obejmował głównie centralną i południową część pola – rys. 312a. Zawartość pentatlenku difosforu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 3,311 – 3,688 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 26,8%.

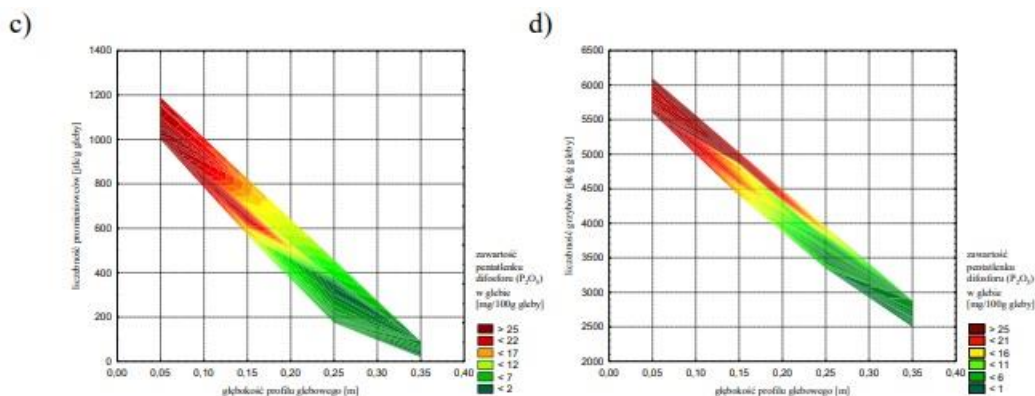


Źródło: opracowanie własne

Rys. 312. Zawartość w glebie pentatlenku difosforu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości pentatlenku difosforu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości pentatlenku difosforu gleby

Zwartość w glebie pentatlenku difosforu rzutuje na liczebność mikroorganizmów w glebie. Stwierdzono, że w przypadku grupy bakterii zawartość pentatlenku difosforu powyżej 25 mg  $P_2O_5/100g$  gleby (obszar koloru brązowego) przekłada się na liczebność bakterii wegetatywnych w przedziale wartości 41 – 44 tys. jtk/g gleby w profilu glebowym w wierzchniej warstwie gleby do głębokości 0,1m (rys. 313a). Natomiast przy tej samej głębokości w profilu glebowym i tej samej dostępności pentatlenku difosforu liczebność bakterii spoczynkowych mieści się w przedziale wartości 17 – 19 tys. jtk/g gleby. Ponadto wysoką liczebność bakterii spoczynkowych (14 – 17 tys. jtk/g gleby) można zaobserwować na głębokości między 0,05 a 0,2m (rys. 313b) również przy wyżej wymienionej zawartości  $P_2O_5$ . Wysoką liczebność mikroorganizmów z grupy promieniowców (600 – 1100 jtk/g gleby) odnotowano do głębokości 0,15m w profilu glebowym przy zawartości pentatlenku difosforu powyżej 25 mg  $P_2O_5/100g$  gleby (obszar koloru brązowego). Liczebność grzybów (rys. 313d) w zakresie wartości 4 – 6 tys. jtk/g gleby uzyskano przy zawartości pentatlenku difosforu powyżej 21 mg  $P_2O_5/100g$  gleby (kolor brązowy przechodzący w czerwony) w warstwie gleby do głębokości 0,25m. Relacja między głębokością i zawartością pentatlenku difosforu w glebie a liczebnością drobnoustrojów zaostała przedstawiona na rysunku 313.

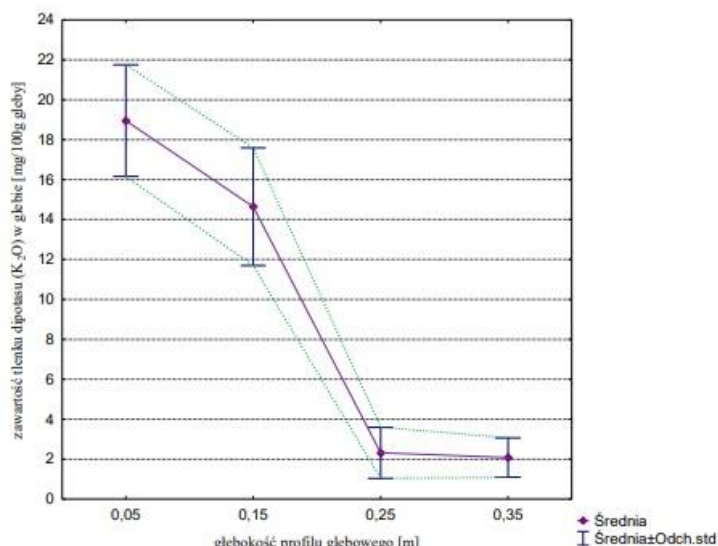




Źródło: opracowanie własne

Rys. 313. Wpływ głębokości i zawartości pentatlenku difosforu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

Zawartość tlenu dipotasu w glebie została zilustrowana na rysunku 314. Również w przypadku obecności tlenu dipotasu w glebie jego zawartość obniża się wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W warstwie gleby na głębokości 0,15m i 0,25m, zawartość  $K_2O$  spadła aż o 14 mg/100g gleby, przy wysokich współczynnikach zmienności wynoszących 20% (0,15m) i 55% (0,25m). W głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) zróżnicowanie w zawartość tlenu dipotasu w glebie było niskie, a współczynniki zmienności jego zawartości w glebie w tym przedziale głębokości profilu glebowego nie przekroczyły 55%. W celu ustalenia przestrzennej zawartości tlenu dipotasu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 315-318).



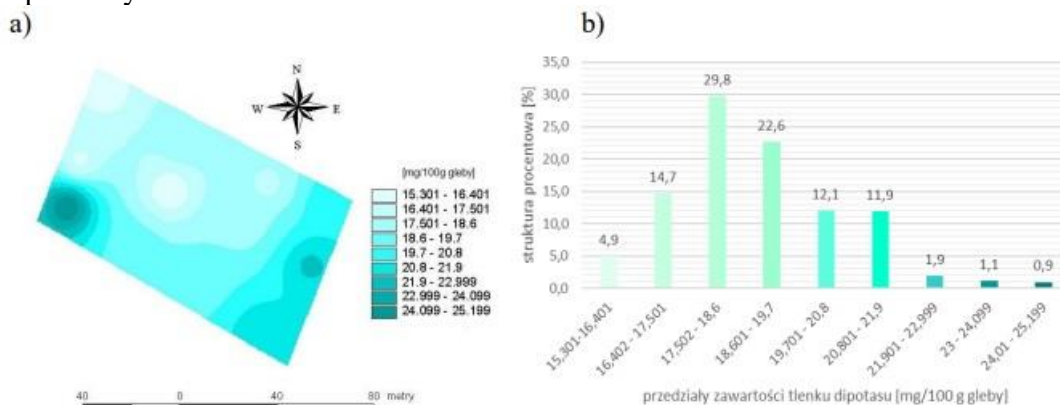
Źródło: opracowanie własne

Rys. 314. Zawartość tlenu dipotasu w glebie pola obiektu III wyznaczona metodą fotometrii płomieniowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenu dipotasu na głębokości 0,05m (przedział 24,01 – 25,199 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 0,9% (rys. 315b). Powierzchnię o 4% większą stanowiły obszary, na których zawartość tlenu dipotasu była najmniejsza i mieściła się w przedziale 15,301 – 16,401 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 29,8% pola zaobserwowano zawartość tlenu dipotasu mieszczącą się



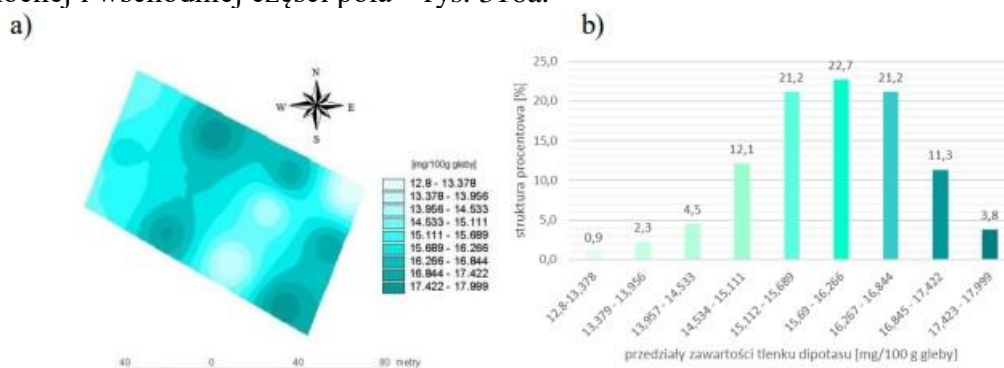
w przedziale wartości 17,502 – 18,6 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 315a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 315. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu gleby

W przypadku zawartości tlenu dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale 17,423 – 17,999 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 3,8% (rys. 316b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 12,8 – 13,378 mg/100g gleby). Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 15,69 – 16,266 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 22,7%. Teren ten znajdował się głównie w północnej i wschodniej części pola – rys. 316a.

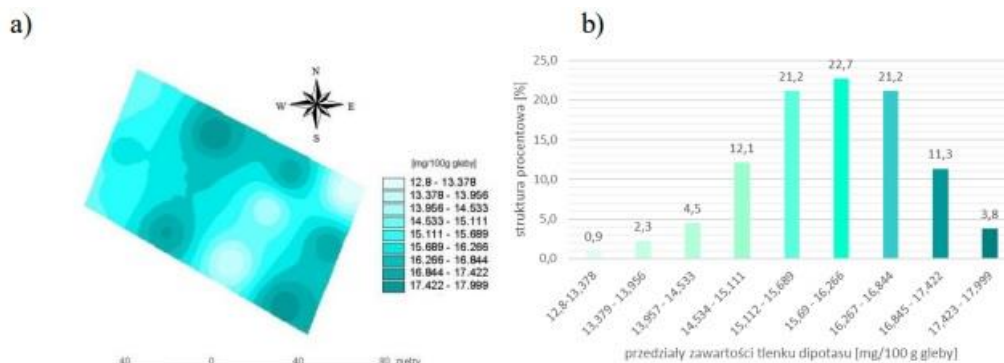


Źródło: opracowanie własne

Rys. 316. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością tlenu dipotasu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 4,556 – 4,999 mg/100g gleby) stanowiła 1,5% (rys. 317b). Znacznie większą powierzchnię – 16,5% stanowiły obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 1 – 1,444 mg/100g gleby – obszar ten obejmował wschodnią część pola- rys. 317a. Na terenie obejmującym 26,1% pola zaobserwowano zawartość tlenu dipotasu w glebie mieściła się w przedziale wartości 1,445 – 1,889 mg/100g gleby.

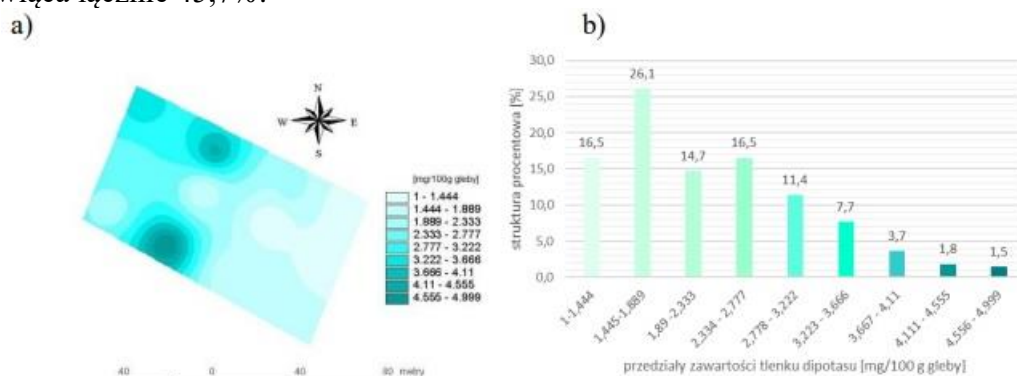




Źródło: opracowanie własne

Rys. 317. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu gleby

W przypadku zawartości tlenu dipotasu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale 3,472 – 3,799 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 2,7% (rys. 318b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość tlenu dipotasu w glebie była najniższa (przedział wartości 0,84 – 1,169 mg/100g gleby). Teren ten znajdował się w południowej części pola – rys. 318a. Zawartość tlenu dipotasu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 2,156 – 2,813 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca łącznie 45,7%.

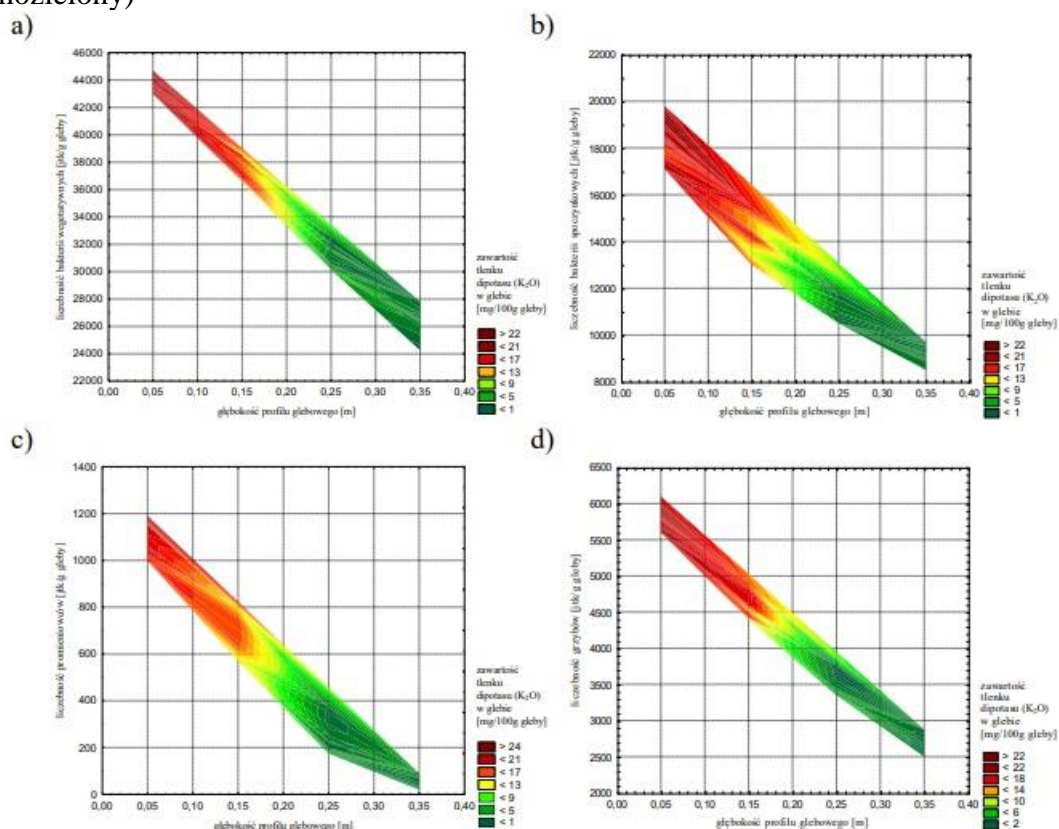


Źródło: opracowanie własne

Rys. 318. Zawartość w glebie tlenu dipotasu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości tlenu dipotasu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości tlenu dipotasu gleby

Wpływ zawartości tlenu dipotasu na liczebność badanych grup drobnoustrojów został zwizualizowany na rysunku 319. Można zauważyć, że zawartość tlenu dipotasu powyżej 22 mg K<sub>2</sub>O/100g gleby (kolor brązowy) odnotowano do głębokości 0,15m, gdzie w zróżnicowany sposób wpływała na rozwój mikroorganizmów. Wąskie obszary wysokiej zawartości tlenu dipotasu przekładające się na najwyższą liczebność badanych drobnoustrojów uzyskano dla wszystkich badanych grup. W warstwie gleby do wyżej wymienionej głębokości wysoką liczebność powyżej 36 tys. jtk/g gleby uzyskano dla bakterii wegetatywnych (rys. 319a), powyżej 14 tys. jtk/g gleby dla bakterii spoczynkowych (rys. 319b) i dla promieniowców powyżej 600 jtk/g gleby przy zawartości tlenu dipotasu przekraczającej wartość 17 mg K<sub>2</sub>O/100g gleby (kolor brązowy przechodzący w czerwony). Przy nieco wyższej zawartości K<sub>2</sub>O (powyżej 18 mg/100g gleby) liczebność grzybów kształtowała się na poziomie 4,5 – 6 tys. jtk/g gleby. Niską liczebność badanych

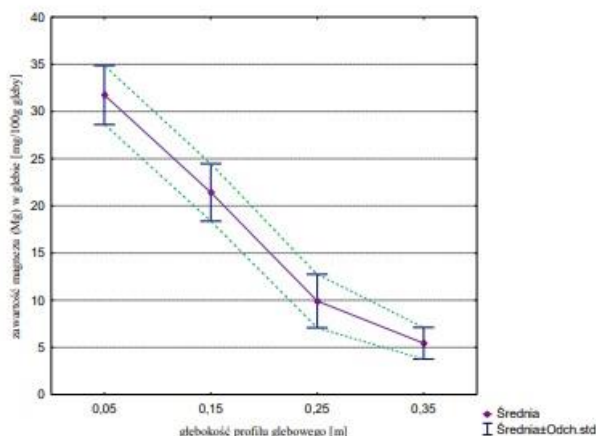
drobnoustrojów odnotowano przy zawartości tlenu dipotasu poniżej 1 mg  $K_2O/100g$  gleby (kolor ciemnozielony) w przypadku bakterii wegetatywnych i spoczynkowych oraz promieniowców w profilu glebowym na głębokości 0, 25 – 0,3m. W tej samej warstwie gleby niską liczebność grzybów zaobserwowano poniżej 2 mg  $K_2O/100g$  gleby (kolor ciemnozielony)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 319. Wpływ głębokości i zawartości tlenu dipotasu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

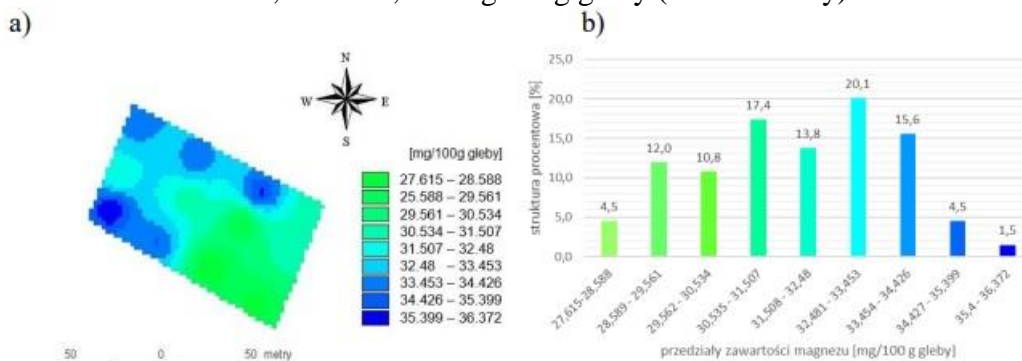
Także w przypadku obecności magnezu w glebie zaobserwowano spadek jego zawartości wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W wierzchniej warstwie gleby (0,05m i 0,15m) spadek wartości magnezu wyniósł 10,4 mg  $Mg/100g$  gleby, przy współczynnikach zmienności nie przekraczających 14%. W głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) zróżnicowanie w zawartości magnezu było wyższe, a współczynniki zmienności zawartości magnezu w glebie w przedziale analizowanej głębokości profilu glebowego wyniosły odpowiednio 29% i 31%. Największy spadek wartości zawartości magnezu w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m i wyniósł 27,75 mg  $Mg/100g$  gleby. Zawartość magnezu w glebie została przedstawiona na rysunku 320. W celu ustalenia przestrzennej zawartości magnezu w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy jego przestrzennego zróżnicowania (rys. 321-324).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 320. Zawartość magnezu w glebie pola obiektu III wyznaczona metodą techniki atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu (FAAS)

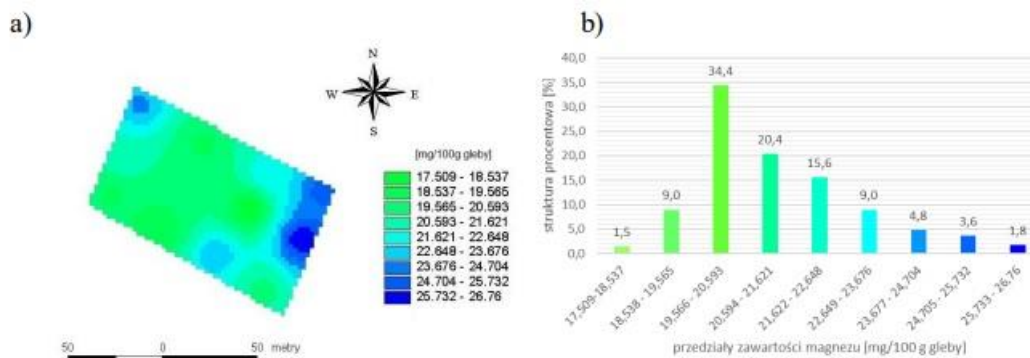
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,05m (przedział 35,4 – 36,372 mg/100g gleby) stanowiła 1,5% (rys. 321b). Nieco większą powierzchnię – 4,5% stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 27,615 – 28,588 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w północnej i północno-zachodniej części pola- rys. 321a. Na terenach obejmujących 20,1% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziałach wartości 32,481 – 33,453 mg/100g gleby (kolor zielony).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 321. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu gleby

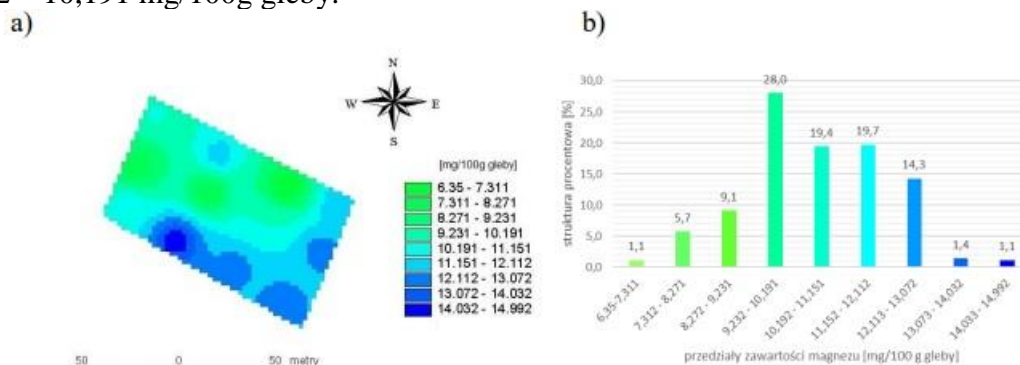
W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 25,733 – 26,76 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,8% (rys. 322b). Porównywalną powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 17,509 – 18,537 mg/10g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 19,566 – 20,593 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 34,4%. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 322a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 322. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu gleby

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością magnezu w glebie na głębokości 0,25m (przedział 14,033 – 14,992 mg/100g gleby) stanowiła zaledwie 1,1% (rys. 323b). Obszar ten obejmował południowy kraniec pola – rys. 323a. Taką samą powierzchnię stanowiły obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 6,35 – 7,311 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 28% pola zaobserwowano zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 9,232 – 10,191 mg/100g gleby.

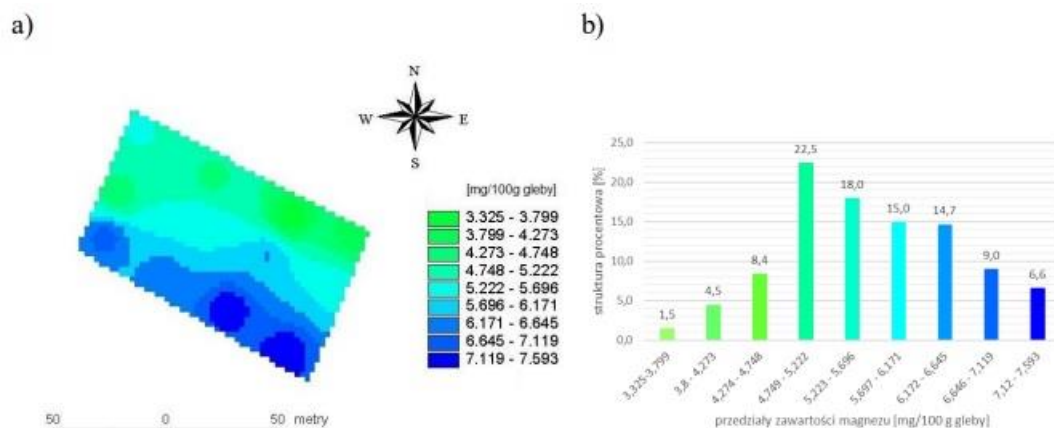


Źródło: opracowanie własne

Rys. 323. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu gleby

W przypadku zawartości magnezu w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale 7,12 – 7,593 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 6,6% (rys. 324b). Mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość magnezu w glebie była najniższa (przedział wartości 3,325 – 3,799 mg/100g gleby). Zawartość magnezu w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 4,749 – 5,222 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca 22,5%. Obszar ten obejmował północną część pola- rys. 324a.

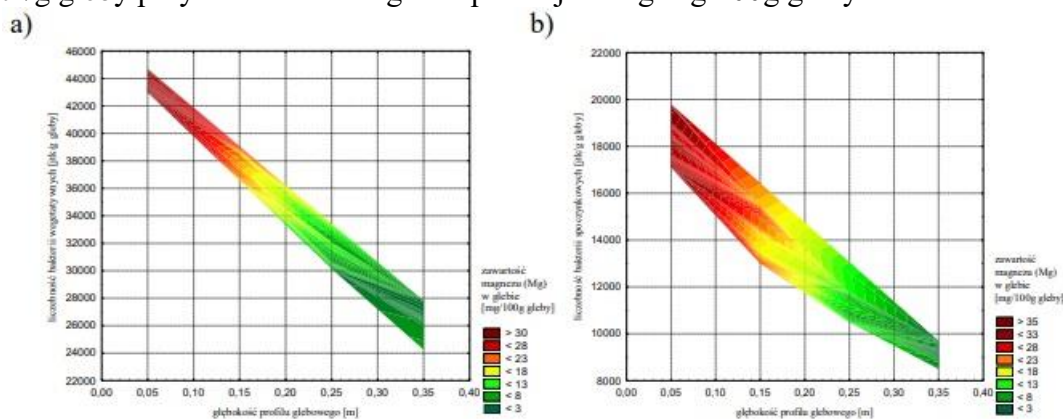




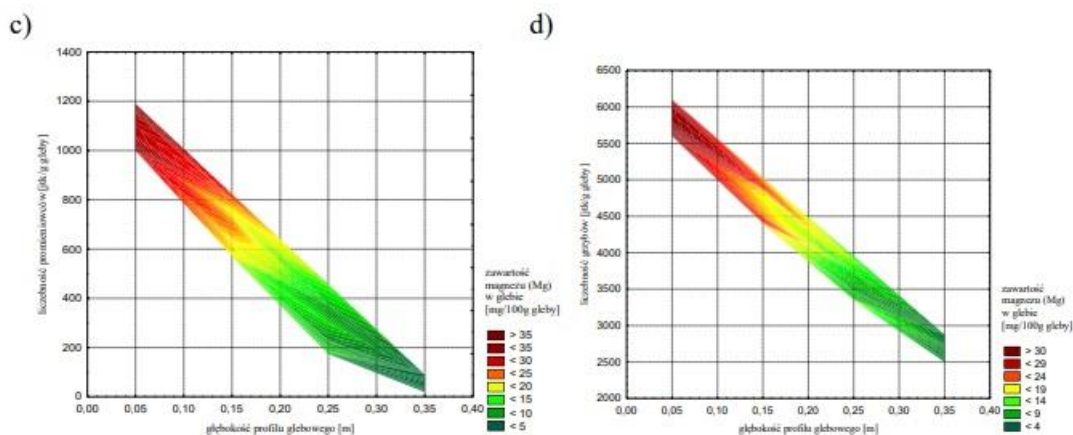
Źródło: opracowanie własne

Rys. 324. Zawartość w glebie magnezu na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróżnicowanie zawartości magnezu gleby; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości magnezu gleby

Na rysunku 325 przedstawiono zależność między głębokością i zawartością magnezu w glebie a liczebnością mikroorganizmów. W wierzchniej warstwie gleby (do głębokości 0,15m) zaobserwowano wysoką liczebność badanych grup drobnoustrojów przy zawartości magnezu powyżej 23 mg Mg/100g gleby w przypadku bakterii wegetatywnych i spoczynkowych (rys. 325a i b), natomiast w przypadku promieniowców (rys. 325c) powyżej 25 mg Mg/100g gleby, a dla grzybów (rys. 325d) powyżej 24 mg Mg/100g gleby (kolor pomarańczowy przechodzący w brązowy). Najwyższe wartości liczebności bakterii wegetatywnych i grzybów odnotowano przy zawartości magnezu powyżej 30 mg Mg/100g gleby (kolor brązowy). Najwyższa liczebność bakterii spoczynkowych została zaobserwowana przy zawartości magnezu powyżej 33 mg Mg/100g gleby natomiast promieniowców przy zawartości magnezu powyżej 35 mg Mg/100g gleby. W profilu glebowym na głębokości 0,25 – 0,35m przy zawartości magnezu poniżej 3 mg Mg/100g gleby liczebność bakterii wegetatywnych mieściła się w przedziale wartości 26 – 30 tys. jtk/g gleby, a bakterii spoczynkowych 10 – 12 tys. jtk/g gleby. W tym samym przedziale głębokości profilu glebowego liczebność promieniowców spadła poniżej 200 jtk/g gleby przy zawartości magnezu poniżej 10 mg Mg/100g gleby natomiast liczebność grzybów spadła poniżej 3,5 tys. jtk/g gleby przy zawartości magnezu poniżej 14 mg Mg/100g gleby.



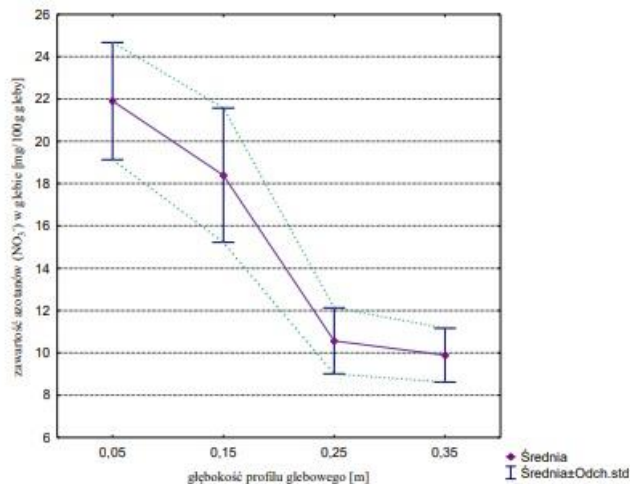




Źródło: opracowanie własne

Rys. 325. Wpływ głębokości i zawartości magnezu w glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

Zawartość azotanów w glebie została przedstawiona na rysunku 326. Wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, odnotowano spadek zawartości azotanów. W warstwie gleby (0,15m i 0,25m) spadek wartości azotanów wyniósł 7,83 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, przy niskich współczynnikach zmienności - 17% (0,15m) i 15% (0,25m). Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,25m i 0,35m) stwierdzono znacznie niższy spadek zawartości azotanów – tylko o 0,68 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby. Największy spadek wartości zawartości magnezu w glebie został odnotowany pomiędzy wartościami zarejestrowanymi na głębokościach 0,05m i 0,35m i wyniósł 12,02 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, przy współczynnikach zmienności nieprzekraczających 13%. W celu ustalenia przestrzennego rozkładu zawartości azotanów w glebie na wszystkich analizowanych głębokościach, sporządzono mapy ich przestrzennego zróżnicowania (rys. 327-330).

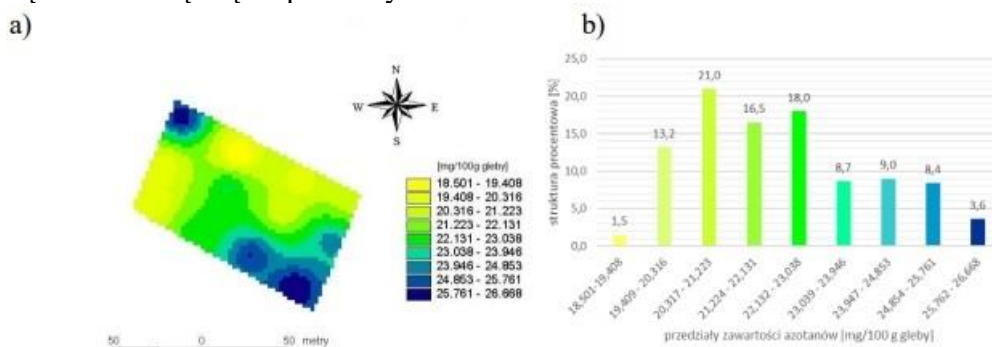


Źródło: opracowanie własne

Rys. 326. Zawartość azotanów w glebie pola obiektu III wyznaczona metodą kolorymetrii przepływowej

Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,05m (przedział 25,762 – 26,668 mg/100g gleby) stanowiła 3,6% (rys. 327b). Mniejszą powierzchnię – 1,5% stanowiły obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 18,501 – 19,408 mg/100g gleby. Na terenie obejmującym 21% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się

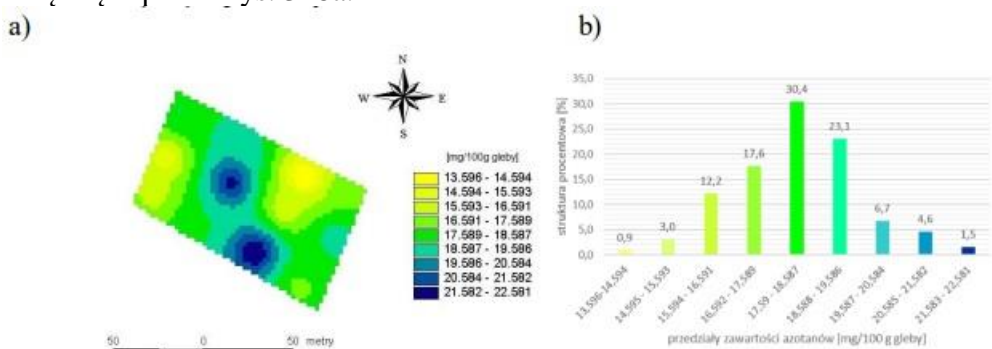
w przedziale wartości 20,317 – 21,223 mg/100g gleby. Obszar ten znajdował się w zachodnią i północną- wschodnią części pola – rys. 327a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 327. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,05m; a) przestrzenne zróznicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

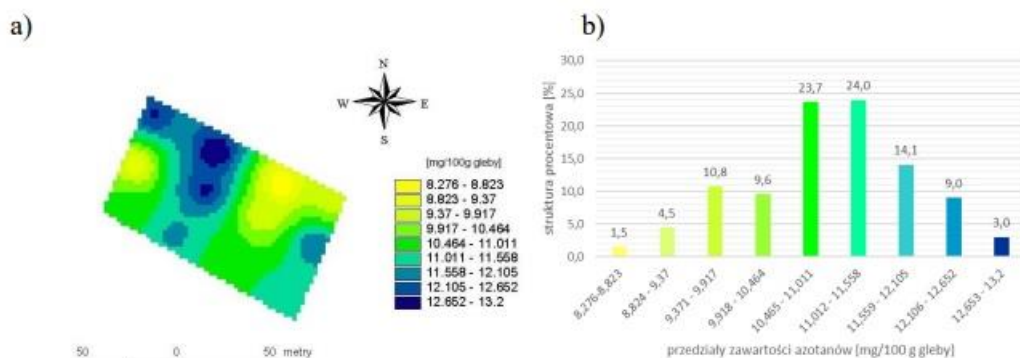
W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,15m najwyższą zawartością azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 21,583 – 22,581 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,5% (rys. 328b). Nieco mniejszą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 13,596 – 14,594 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 17,59 – 18,587 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca aż 30,4%. Teren ten obejmował zachodnią i wschodnią część pola – rys. 328a.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 328. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,15m; a) przestrzenne zróznicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

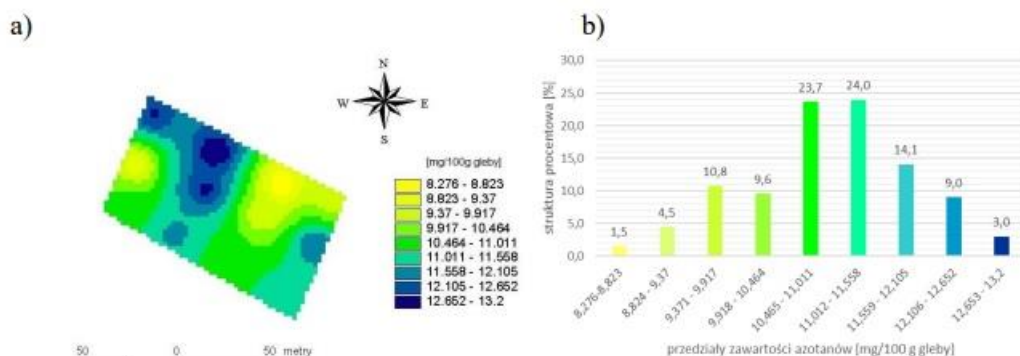
Powierzchnia pola charakteryzująca się najwyższą zawartością azotanów w glebie na głębokości 0,25m (przedział 12,653 – 13,2 mg/100g gleby) stanowiła 3% (rys. 329b). Dwukrotnie mniejszą powierzchnię stanowiły obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najmniejsza i mieściła się w przedziale 8,276 – 8,823 mg/100g gleby. Obszar ten obejmował zachodnią i północno-wschodnią część pola – rys. 329a. Na terenie obejmującym 24% pola zaobserwowano zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 11,012 – 11,558 mg/100g gleby.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 329. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,25m; a) przestrzenne zróznicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

W przypadku zawartości azotanów w glebie odnotowanych na głębokości 0,35m najwyższą zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale 11,989 – 12,485 mg/100g gleby odnotowano na powierzchni zajmującej 1,2% (rys. 330b). Trzykrotnie większą powierzchnię zajmowały obszary, na których zawartość azotanów w glebie była najniższa (przedział wartości 8,014 – 8,511 mg/100g gleby). Zawartość azotanów w glebie mieszczącą się w przedziale wartości 10,002 – 10,995 mg/100g gleby charakteryzowała się powierzchnia stanowiąca łącznie aż 41,9%. Obszar ten znajdował się w centralnej części pola – rys. 330a.

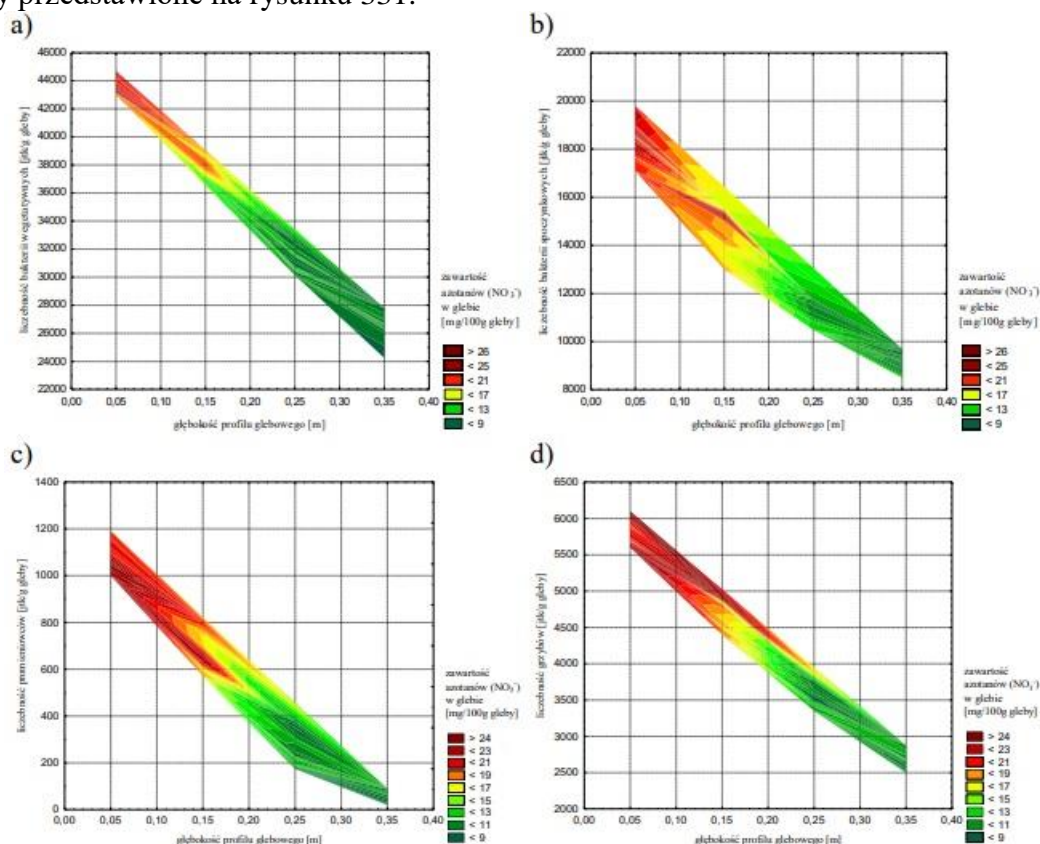


Źródło: opracowanie własne

Rys. 330. Zawartość w glebie azotanów na polu na głębokości 0,35m; a) przestrzenne zróznicowanie zawartości azotanów w glebie; b) struktura procentowa poszczególnych przedziałów zawartości azotanów w glebie

Zawartość w glebie azotanów wpływa na liczebność mikroorganizmów w glebie. W przypadku grupy bakterii wegetatywnych (rys. 331a) i spoczynkowych (rys. 331b) w profilu glebowym do głębokości 0,15m odnotowano liczebność tych mikroorganizmów powyżej odpowiednio 37 i 14 tys. jtk/g gleby przy zawartości azotanów powyżej 17 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby (kolor czerwony). Można także wyróżnić obszary (kolor brązowy) liczebności powyżej 40 tys. jtk/g gleby (bakterie wegetatywne) i 17,5 tys. jtk/g gleby (bakterie spoczynkowe) przy zawartości azotanów powyżej 25 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby. W analizowanym przedziale głębokości liczebność promieniowców (rys. 331c) spadła do 600 jtk/g gleby, natomiast grzybów do 4,9 tys. jtk/g gleby przy zawartości azotanów powyżej 21 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby (kolor czerwony przechodzący w brązowy). Powyżej głębokości 0,2m liczebność wszystkich badanych grup drobnoustrojów spadła – bakterii wegetatywnych i spoczynkowych przy zawartości azotanów poniżej

13 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby, a promieniowców i grzybów poniżej 15 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100g gleby. Relacje między głębokością i zawartością azotanów w glebie a liczebnością drobnoustrojów zostały przedstawione na rysunku 331.



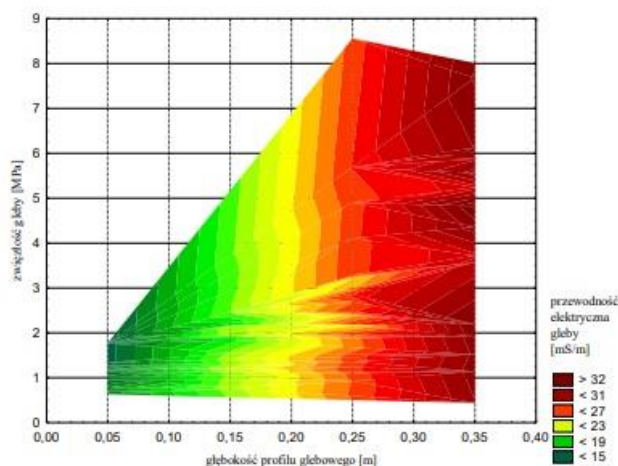
Źródło: opracowanie własne

Rys. 331. Wpływ głębokości i zawartości azotanów glebie na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów: a) bakterii spoczynkowych; b) bakterii wegetatywnych; c) promieniowców; d) grzybów w profilu glebowym pola obiektu III

### 7.3.4 Relacje między parametrami fizyko-chemicznymi gleby

Na rysunku 332 została zwizualizowana relacja między zwężnością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że do głębokości 0,25m wartości zwężności gleby wzrastają, natomiast w głębszych warstwach gleby nieco spadają, przy czym wartości przewodności elektrycznej wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego wzrastają. Zwężność gleby przyjmuje wartości od 0,5 do 4 MPa w wierzchniej warstwie gleby (do 0,12m), natomiast przewodność elektryczna w tym obszarze jest niższa niż 19 mS/m (kolor ciemnozielony przechodzący w zielony). W głębszych warstwach gleby (powyżej 0,25m) zarówno zwężność gleby jak i jej przewodność przyjmują najwyższe wartości (kolor czerwony przechodzący w brązowy). Należy zauważyć, że w przedziale głębokości 0,2 – 0,25m zwężność gleby przyjmuje wartości z zakresu 2 – 3,5 MPa, gdzie przewodność elektryczna gleby mieści się w przedziale 19 -23 mS/m. W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego wraz ze wzrostem zwężności gleby o 1 MPa odnotowano wzrost przewodności elektrycznej o 4 mS/m.

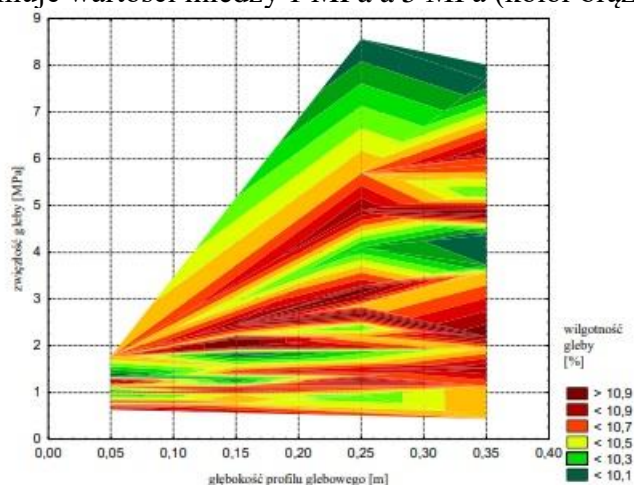




Źródło: opracowanie własne

Rys. 332. Relacja pomiędzy zwięzłością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

Na rysunku 333 zobrazowano relację między zwięzłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że od głębokości 0,1m wartości zwięzłości gleby utrzymują się powyżej 1 MPa, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości powyżej 10,7% (kolor czerwony przechodzący w brązowy), przy czym najwyższe wartości wilgotności gleby można zaobserwować na głębokości 0,25m – zwięzłość gleby w tym obszarze przyjmuje wartości między 1 MPa a 5 MPa (kolor brązowy).

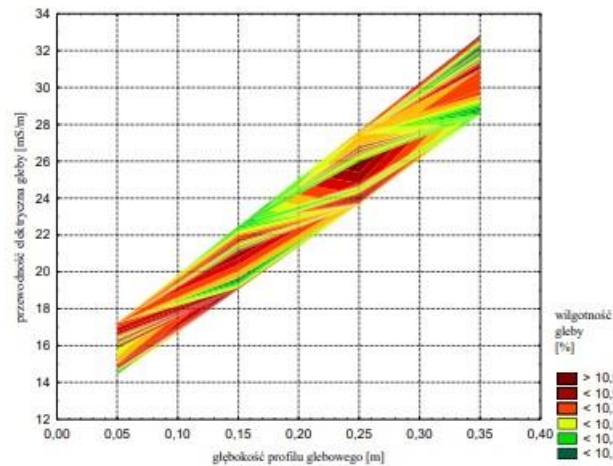


Źródło: opracowanie własne

Rys. 333. Relacja pomiędzy zwięzłością a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

Na rysunku 334 została przedstawiona relacja między wilgotnością gleby a jej przewodnością elektryczną i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że w całym zakresie głębokości profilu glebowego wartości wilgotności gleby przyjmują wartości powyżej 10,7%, natomiast przewodność elektryczna gleby w tym obszarze przyjmuje wartości z zakresu 14 - 33 mS/m (kolor czerwony przechodzący w brązowy). Najwyższe wartości wilgotności gleby (powyżej 10,9%) odnotowano na głębokości 0,25, gdzie przewodność elektryczna gleby przyjmuje wartości z zakresu 24 - 26 mS/m (kolor brązowy).

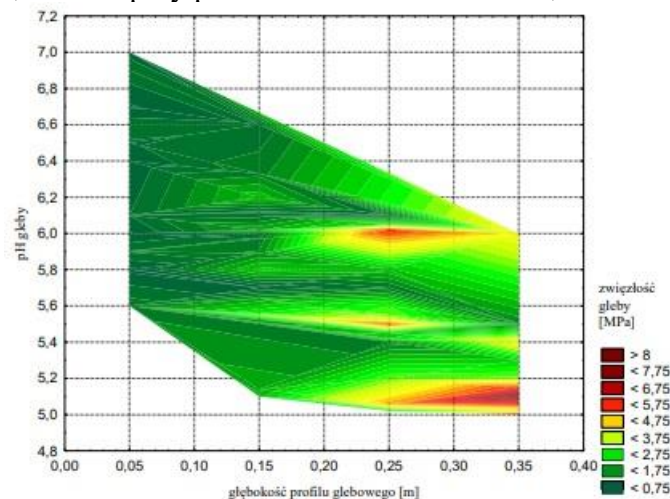




Źródło: opracowanie własne

Rys. 334. Relacja pomiędzy wilgotnością a przewodnością elektryczną gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

Na rysunku 335 została zwizualizowana relacja między zwięzłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że przy wysokich wartościach zwięzłości gleby odnotowano niskie wartości pH wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. W analizowanym przedziale głębokości pH gleby spada z 7 do 5, a zwięzłość gleby utrzymuje się poniżej 4,75 MPa (kolor zielony przechodzący w żółty). Można zauważyć, że na głębokości 0,25m można wyróżnić dwa obszary (kolor czerwony), gdzie zwięzłość gleby przyjmuje wartości z zakresu 5,75 – 6,75 MPa przy pH 5,5 oraz 4,75 – 5,75 MPa przy pH wynoszącym 6. Natomiast w głębszych warstwach gleby (0,25 – 0,35m) widoczny jest jeden obszar (kolor czerwony przechodzący w brązowy), gdzie wartości zwięzłości gleby zawierają się w przedziale 4,75 – 7,75 MPa przy pH z zakresu wartości 5 – 5,2.

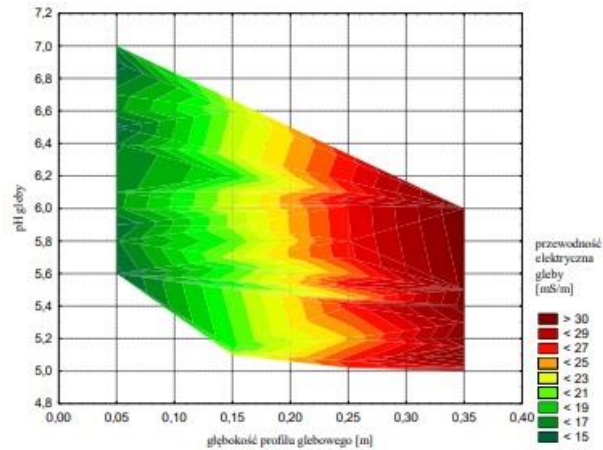


Źródło: opracowanie własne

Rys. 335. Relacja pomiędzy zwięzłością a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

W przypadku relacji pomiędzy przewodnością elektryczną i pH gleby a głębokością profilu glebowego, zaobserwowano, że przy wysokich wartościach przewodności elektrycznej gleby odnotowano niskie wartości pH wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Do głębokości 0,18m przewodność elektryczna utrzymuje się na poziomie poniżej 21 mS/m przy wartości pH z zakresu 5,1 – 7 (obszar koloru ciemno zielonego przechodzącego w żółty). W głębszych warstwach gleby przewodność elektryczna osiąga najwyższe wartości

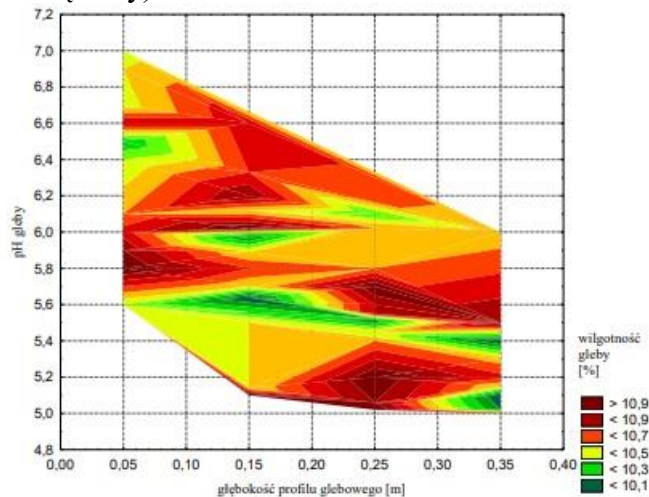
(25 – 30 mS/m), a pH gleby mieści się w zakresie 5 - 6,3 (obszar czerwony przechodzący w brązowy). W badanym zakresie wartości głębokości profilu glebowego wraz ze wzrostem przewodności elektrycznej gleby o 4 mS/m odnotowano spadek pH gleby o 0,3. Na rysunku 336 została przedstawiona relacja między przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 336. Relacja pomiędzy przewodnością elektryczną a pH gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

Na rysunku 337 została zobrazowana relacja między pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego. Zaobserwowano, że w całym zakresie głębokości profilu glebowego wartości odczynu chemicznego gleby utrzymują się między 5 a 7, natomiast wilgotność gleby w tym obszarze przyjmuje wartości powyżej 10,5 % (kolor żółty przechodzący w brązowy), przy czym najwyższe wartości wilgotności gleby można zaobserwować na głębokości 0,05m i 0,25m – pH gleby w tym obszarze przyjmuje wartości z zakresu 5 – 5,9 (kolor brązowy).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 337. Relacja pomiędzy pH a wilgotnością gleby i głębokością profilu glebowego pola obiektu III

### 7.3.5 Macierz korelacyjna parametrów biologiczno – chemiczno- fizycznych gleby

W celu określenia wzajemnych zależności między poszczególnymi badanymi parametrami przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Otrzymane wyniki analizy były istotne statystycznie. Macierz korelacji poszczególnych czynników została przedstawiona w tabeli 14. Uzyskane wartości współczynników korelacji przyjęły wartości zarówno ujemne jak i dodatnie.

Stwierdzono istotny wpływ zwężności, przewodności elektrycznej i wilgotności gleby na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych, spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami zwężności, przewodności elektrycznej i wilgotności gleby. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji przewodności gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z zakresu (-0,96) – (-0,98). Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji zwężności gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z przedziału (-0,63) – (-0,66).

Stwierdzono również istotny wpływ na liczebność badanych mikroorganizmów głębokości, odczynu chemicznego gleby oraz zawartości w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów. Tak jak poprzednio wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były ujemne, co świadczy o spadku liczebności badanych mikroorganizmów, odczyn chemiczny gleby oraz zawartość w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów, wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji głębokości profilu glebowego i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartość z przedziału (-0,98) – (-0,99).

Ujemną korelację zaobserwowano także dla relacji między zwężnością i przewodnością elektryczną gleby a jej wilgotnością oraz zawartością w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów. Współczynniki korelacji uzyskane dla relacji zwężności gleby i zawartością w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu przyjęły wartości z zakresu (-0,62) – (-0,63), a dla relacji przewodności elektrycznej gleby i zawartości w glebie pentatlenku difosforu oraz magnezu (-0,91) – (-0,93).

Stwierdzono istotny wpływ odczynu chemicznego oraz zawartości w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów na liczebność w glebie bakterii wegetatywnych, spoczynkowych, promieniowców i grzybów. Wartości współczynników korelacji między tymi parametrami były dodatnie, co świadczy o wzroście liczebności badanych mikroorganizmów na obszarach pola doświadczalnego charakteryzujących się wysokimi wartościami odczynu chemicznego oraz zawartości w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu, magnezu i azotanów. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji zawartości w glebie pentatlenku difosforu, tlenku dipotasu i magnezu oraz liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości powyżej 0,9. Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji odczynu chemicznego gleby i liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów, które przyjęły wartości z przedziału 0,65 – 0,7.

Tabela 14. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a liczebnością badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	<i>głębokość</i> [m]	<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	<i>zwięzłość</i> [MPa]	<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	<i>pH</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> [mg/100g gleby]
<i>głębokość</i> [m]	XXX												
<i>bakterie</i> <i>wegetatywne</i> [jtk/g gleby]	-0,99*	XXX											
<i>bakterie</i> <i>spoczynkowe</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	0,98*	XXX										
<i>promieniowce</i> [jtk/g gleby]	-0,98*	0,98*	0,97*	XXX									
<i>grzyby</i> [jtk/g gleby]	-0,99*	0,99*	0,98*	0,98*	XXX								
<i>zwięzłość</i> [MPa]	0,65*	-0,66*	-0,63*	-0,63*	- 0,63*	XXX							
<i>przewodność</i> <i>elektryczna</i> [mS/m]	0,98*	-0,97*	-0,96*	-0,96*	- 0,98*	0,64*	XXX						
<i>wilgotność</i> <i>gleby</i> [%]	0,77*	-0,78*	-0,84*	-0,81*	- 0,80*	0,40*	0,77*	XXX					
<i>pH</i>	-0,67*	0,68*	0,70*	0,68*	0,65*	-0,51*	-0,62*	-0,59*	XXX				
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> [mg/100g gleby]	-0,92*	0,94*	0,93*	0,93*	0,93*	-0,62*	-0,91*	-0,80*	0,68*	XXX			
<i>K<sub>2</sub>O</i> [mg/100g gleby]	-0,91*	0,92*	0,92*	0,93*	0,91*	-0,63*	-0,87*	-0,72*	0,66*	0,92*	XXX		
<i>Mg</i> [mg/100g gleby]	-0,95*	0,96*	0,96*	0,96*	0,95*	-0,62*	-0,93*	-0,79*	0,70*	0,93*	0,91*	XXX	
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> [mg/100g gleby]	-0,88*	0,89*	0,88*	0,88*	0,88*	-0,57*	-0,86*	-0,72*	0,64*	0,96*	0,88*	0,89*	XXX

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ 

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

### 7.3.6 Macierz korelacyjna parametrów chemiczno-fizycznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów

Aby określić wpływ badanych parametrów chemicznych i fizycznych na występowanie poszczególnych gatunków drobnoustrojów występujących w profilu glebowym przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona. Wartości współczynników korelacji między poszczególnymi parametrami fizyko-chemicznymi gleby a liczebnością poszczególnych gatunków drobnoustrojów przedstawia tabela 15. Stwierdzono istotny wpływ wszystkich parametrów fizyko-chemicznych na bytowanie poszczególnych gatunków mikroorganizmów w profilu glebowym. Parametry fizyko-chemiczne nie miały istotnego wpływu na występowanie *Aromatylum buckelli* oraz *Aspergillus clavatus* w profilu glebowym. Zaobserwowano, że bez względu na grupę mikroorganizmów, do których należą wyizolowane gatunki, najwyższe współczynniki korelacji odnotowano dla przewodności elektrycznej, które przyjęły wartości powyżej -0,91 dla większości gatunków. Wyjątek stanowiły *Bacillus pseudomycooides* (bakterie spoczynkowe), *Bacillus pseudomycooides* (bakterie wegetatywne) oraz *Penicillium chrysogenum* (grzyby), których współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,74, 0,94 oraz -0,73. Wysokie wartości współczynników korelacji odnotowano także pomiędzy liczebnością *Aspergillus flavus* i *Penicillium chrysogenum* a zasobnością tlenu potasu. Natomiast najniższe wartości współczynników korelacji uzyskano pomiędzy wartościami zwięzłości gleby a liczebnością poszczególnych gatunków drobnoustrojów oraz pomiędzy wartościami pH gleby a liczebnością poszczególnych gatunków drobnoustrojów. W przypadku pierwszej relacji współczynniki korelacji przyjęły wartości z zakresu (-0,46) – (-0,66), a w przypadku drugiej relacji współczynniki korelacji przyjęły wartości z zakresu 0,48 – 0,67.



Tabela 15. Współczynniki korelacji między wybranymi parametrami uprawy a liczebnością badanych grup mikroorganizmów w profilu glebowym

	Bakterie spoczynkowe		Bakterie wegetatywne			Promieniowce		Grzyby		
	<i>Bacillus pseudomycooides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Aromatelum buckelli</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus pseudomycooides</i> [jtk/g gleby]	<i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]	<i>Streptomyces albidoflavus</i> [jtk/g gleby]	<i>Streptomyces venezuelae</i> [jtk/g gleby]	<i>Aspergillus clavatus</i> [jtk/g gleby]	<i>Aspergillus flavus</i> [jtk/g gleby]	<i>Penicillium chrysogenum</i> [jtk/g gleby]
zwięzłość [MPa]	-0,46*	-0,62*	-0,02	0,63*	-0,66*	-0,58*	-0,65*	0,15	-0,65*	-0,56*
przewodność elektryczna [mS/m]	-0,74*	-0,91*	-0,07	0,94*	-0,97*	-0,93*	-0,95*	0,03	-0,93*	-0,73*
wilgotność gleby [%]	-0,92*	-0,55*	0,16	0,73*	-0,67*	-0,86*	-0,75*	-0,42*	-0,60*	-0,29*
pH	0,59*	0,62*	-0,01	-0,64*	0,65*	0,67*	0,67*	-0,02	0,62*	0,48*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/100g gleby]	0,83*	0,78*	-0,18	-0,93*	0,89*	0,89*	0,93*	-0,05	0,89*	0,72*
K <sub>2</sub> O [mg/100g gleby]	0,81*	0,78*	-0,24	-0,95*	0,88*	0,87*	0,95*	-0,18	0,92*	0,79*
Mg [mg/100g gleby]	0,82*	0,84*	-0,08	-0,94*	0,92*	0,93*	0,96*	-0,02	0,90*	0,71*
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/100g gleby]	0,76*	0,76*	-0,19*	-0,90*	0,85*	0,82*	0,90*	-0,14	0,87*	0,74*

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

\* współczynniki korelacji istotne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

## 8 ANALIZA STATYSTYCZNA

Do analizy statystycznej danych wykorzystano program Statistica 13 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Dane poddano jednoczynnikowej analizie wariancji (ANOVA), a istotność różnic pomiędzy średnimi zweryfikowano testem Scheffe'go ( $\alpha=0,05$ ).

Na rysunku 338 przedstawiono wyniki analizy liczebności bakterii wegetatywnych w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości liczebności bakterii wegetatywnych zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu I (72 476,88 jtk/g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu III (34 987,75 jtk/g gleby). Wyraźnie wyodrębniono trzy grupy jednorodnej liczebności bakterii wegetatywnych (tabela 16). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność bakterii wegetatywnych w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II, trzecią grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

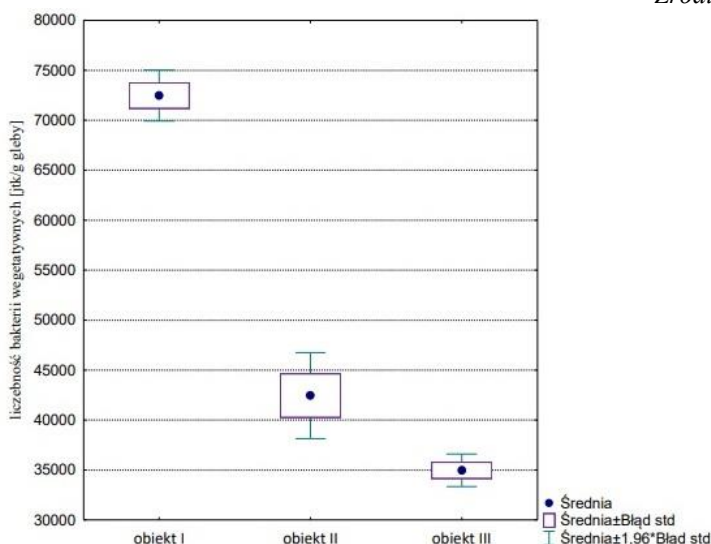
Tabela 16. Liczebność bakterii wegetatywnych w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność bakterii wegetatywnych [jtk/g gleby]
Obiekt I	72 476,88 <sup>a</sup>
Obiekt II	42 446,43 <sup>b</sup>
Obiekt III	34 987,75 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 338. Liczebność bakterii wegetatywnych w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

Bakteria z gatunku *Achromobacter denitryficans* została wyizolowana wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu I, gdzie osiągnęła liczebność 177 599,8 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodnej liczebności *Achromobacter denitryficans* (tabela 17). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność bakterii *Achromobacter denitryficans* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III, gdzie nie odnotowano obecności

bakterii z tego gatunku. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 17. Liczebność *Achromobacter denitrificans* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Achromobacter denitrificans</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	177 599,8 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakteria z gatunku *Aromatelum buckelii* została wyizolowana wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu III, gdzie osiągnęła liczebność 24 857,1 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Aromatelum buckelii* (tabela 18). Pierwszą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów I i II, gdzie nie odnotowano obecności bakterii *Aromatelum buckelii*, a drugą grupę jednorodną stanowiła liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 18. Liczebność *Aromatelum buckelii* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Aromatelum buckelii</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	24 857,1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakterię z gatunku *Bacillus mycoides* z grupy bakterii wegetatywnych wyizolowano z gleby pól doświadczalnych obiektów I i II. Najwyższą liczebność tego gatunku odnotowano w profilu glebowym obiektu I (1 338 464 jtk/g gleby), natomiast najniższą liczebność tej bakterii odnotowano w profilu glebowym obiektu II (375 676 jtk/g gleby). Wyodrębniono trzy grupy jednorodne liczebności *Bacillus mycoides* (tabela 19). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Bacillus mycoides* odnotowano w glebie obiektu I. Do drugiej grupy jednorodnej zaliczono liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu II, natomiast w trzeciej grupie jednorodnej znalazła się liczebność uzyskana w glebie obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 19. Liczebność *Bacillus mycoides* (grupa bakterii wegetatywnych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus mycoides</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 338 464 <sup>a</sup>
Obiekt II	375 676 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakterię z gatunku *Bacillus pseudomycooides* z grupy bakterii wegetatywnych wyizolowano z gleby pola doświadczalnego obiektu III. W profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu III odnotowano liczebność w/w bakterii na poziomie 337 473 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodnej liczebności *Bacillus pseudomycooides* (tabela 20). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Bacillus pseudomycooides* odnotowana w glebie pól obiektów I i II, natomiast do drugiej grupy jednorodnej zaliczono liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 20. Liczebność *Bacillus pseudomycooides* (grupa bakterii wegetatywnych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus pseudomycooides</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	337 473 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakterię z gatunku *Bacillus thuringiensis* z grupy bakterii wegetatywnych wyizolowano z gleby pól doświadczalnych wszystkich badanych obiektów. Najwyższą liczebność tego gatunku odnotowano w profilu glebowym pola obiektu I (223 380,9 jtk/g gleby), natomiast najniższą liczebność tej bakterii odnotowano w profilu glebowym pola obiektu II (68 237,8 jtk/g gleby). Wyodrębniono jedną grupę jednorodnej liczebności *Bacillus thuringiensis* (tabela 21), do której zaliczono wszystkie badane pola doświadczalne. Świadczy to o braku zróżnicowania występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 21. Liczebność *Bacillus thuringiensis* (grupa bakterii wegetatywnych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	223 380,9 <sup>a</sup>
Obiekt II	200 471,3 <sup>a</sup>
Obiekt III	68 237,8 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakteria z gatunku *Nocardiopsis alba* została wyizolowana wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu II, gdzie osiągnęła liczebność 18 102,5 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodnej liczebności *Nocardiopsis alba* (tabela 22). Pierwszą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów I i III, gdzie nie odnotowano obecności bakterii *Nocardiopsis alba*, a drugą grupę jednorodną stanowiła liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 22. Liczebność *Nocardiosis alba* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Nocardiosis alba</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	18 102,5 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

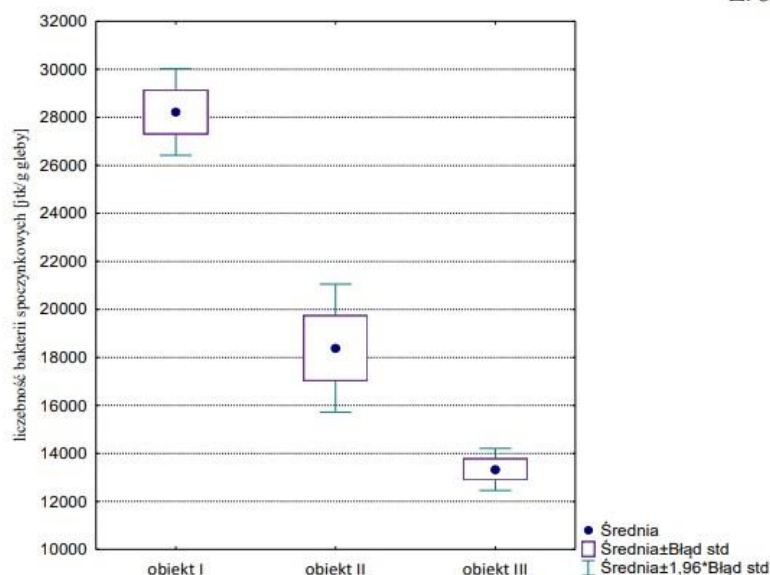
Wyniki analizy liczebności bakterii spoczynkowych w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy zostały przedstawione na rysunku 339. Najwyższe wartości liczebności bakterii spoczynkowych zaobserwowano w profilu glebowym obiektu I (28 225,25 jtk/g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu III (13 334,06 jtk/g gleby). Wyodrębniono trzy grupy jednorodne liczebności bakterii spoczynkowych w glebie (tabela 23), pierwszą grupę liczebność bakterii spoczynkowych w glebie pola w doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II, natomiast trzecią stanowiło pole obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 23. Liczebność bakterii spoczynkowych w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność bakterii spoczynkowych [jtk/g gleby]
Obiekt I	28 225,25 <sup>a</sup>
Obiekt II	18 383,93 <sup>b</sup>
Obiekt III	13 334,06 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 339. Liczebność bakterii spoczynkowych w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

Bakterię z gatunku *Bacillus mycoides* z grupy bakterii spoczynkowych wyizolowano z gleby pól doświadczalnych obiektów I i II. Najwyższą liczebność tego gatunku odnotowano w profilu glebowym pola obiektu I (453 289,9 jtk/g gleby), natomiast najniższą liczebność tej bakterii odnotowano w profilu glebowym pola obiektu II (217 987,5 jtk/g gleby). Wyodrębniono trzy grupy jednorodne liczebności *Bacillus mycoides* (tabela 24).



Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Bacillus mycoides* odnotowano w glebie pola obiektu I. Do drugiej grupy jednorodnej zaliczono liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu II, natomiast w trzeciej grupie jednorodnej znalazła się liczebność uzyskana w glebie pola obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 24. Liczebność *Bacillus mycoides* (grupa bakterii spoczynkowych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus mycoides</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	453 289,9 <sup>a</sup>
Obiekt II	217 987,5 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakterię z gatunku *Bacillus pseudomycooides* z grupy bakterii spoczynkowych wyizolowano z gleby pola doświadczalnego obiektu III. W profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu III odnotowano liczebność w/w bakterii na poziomie 142 746,5 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Bacillus pseudomycooides* (tabela 25). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Bacillus pseudomycooides* odnotowaną w glebie pól obiektów I i II, natomiast do drugiej grupy jednorodnej zaliczono liczebność tej bakterii w glebie pola doświadczalnego obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 25. Liczebność *Bacillus pseudomycooides* (grupa bakterii spoczynkowych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus pseudomycooides</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	142 746,5 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Bakterię z gatunku *Bacillus thuringiensis* z grupy bakterii wegetatywnych wyizolowano z gleby pól doświadczalnych wszystkich badanych obiektów. Najwyższą liczebność tego gatunku odnotowano w profilu glebowym pola obiektu I (210 123,7 jtk/g gleby), natomiast najniższą liczebność tej bakterii odnotowano w profilu glebowym pola obiektu II (34 787,5 jtk/g gleby). Wyodrębniono jedną grupę jednorodną liczebności *Bacillus thuringiensis* (tabela 26), do której zaliczono wszystkie badane pola doświadczalne. Świadczy to o braku zróżnicowania występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 26. Liczebność *Bacillus thuringiensis* (grupa bakterii spoczynkowych) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Bacillus thuringiensis</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	210 123,7 <sup>a</sup>
Obiekt II	34 787,5 <sup>a</sup>
Obiekt III	70 598,5 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

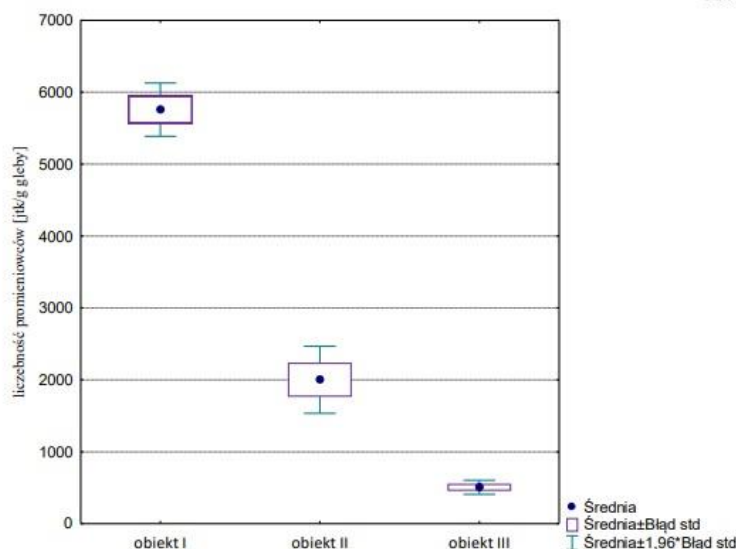
W przypadku grupy promieniowców wyodrębniono trzy grupy jednorodne ich liczebności w glebie (tabela 27), pierwszą grupę liczebność promieniowców w glebie pola w doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II, natomiast trzecią stanowiło pole doświadczalne obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi. Na rysunku 340 zobrazowano wyniki analizy liczebności promieniowców w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości liczebności promieniowców zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu I (5 756,71 jtk/g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu III (506,41 jtk/g gleby).

Tabela 27. Liczebność promieniowców w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność promieniowców [jtk/g gleby]
Obiekt I	5 756,71 <sup>a</sup>
Obiekt II	2 002,05 <sup>b</sup>
Obiekt III	506,41 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 340. Liczebność promieniowców w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

Promieniowiec z gatunku *Streptomyces albidoflavus* wyizolowano z gleby pól doświadczalnych obiektów II i III gdzie osiągnął liczebność odpowiednio 27 864 jtk/g gleby i 4 019,7 jtk/g gleby. Wyodrębniono jedną grupę jednorodną liczebności *Streptomyces albidoflavus* (tabela 28), do której zaliczono wszystkie badane pola doświadczalne. Świadczy to o braku zróżnicowania występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 28. Liczebność *Streptomyces albidoflavus* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Streptomyces albidoflavus</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	27 864 <sup>a</sup>
Obiekt III	4 019,7 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Promieniowiec z gatunku *Streptomyces tanashiensis* został wyizolowany z gleby pól doświadczalnych obiektów I i III. Jego najwyższą liczebność odnotowano w glebie pola obiektu I (25 997,7 jtk/g gleby), natomiast najmniejszą w glebie pola obiektu III (4 082,8 jtk/g gleby). Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Streptomyces tanashiensis* (tabela 29). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Streptomyces tanashiensis* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pól doświadczalnych obiektów II i III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 29. Liczebność *Streptomyces tanashiensis* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Streptomyces tanashiensis</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	52 997,7 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>b</sup>
Obiekt III	4 082,8 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Promieniowiec z gatunku *Streptomyces venezuelae* został wyizolowany wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu I, gdzie osiągnął liczebność 88 017,7 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Streptomyces venezuelae* (tabela 30). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Streptomyces venezuelae* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III, gdzie nie odnotowano obecności promieniowca z tego gatunku. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 30. Liczebność *Streptomyces venezuelae* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Streptomyces venezuelae</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	88 017,7 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Wyniki analizy liczebności grzybów w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy zostały zobrazowane na rysunku 341. Najwyższe wartości liczebności grzybów zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu III (4 141,41 jtk/g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu I (735,08 jtk/g gleby). Wyraźnie wyodrębniono trzy grupy jednorodne liczebności grzybów (tabela 31). Pierwszą grupę

jednorodną stanowiła liczebność grzybów w glebie pola w doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II, trzecią grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

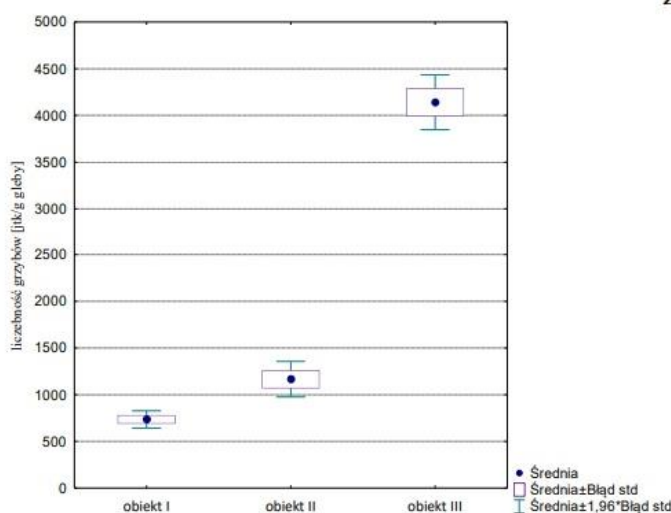
Tabela 31. Liczebność grzybów w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność grzybów [jtk/g gleby]
Obiekt I	735,08 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 165,63 <sup>b</sup>
Obiekt III	4 141,41 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 341. Liczebność grzybów w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

Grzyb z gatunku *Alternaria alternata* został wyizolowany wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu I, gdzie osiągnął liczebność 1 575,5 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodności *Alternaria alternata* (tabela 32). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Alternaria alternata* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III, gdzie nie odnotowano obecności grzyba z tego gatunku. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 32. Liczebność *Alternaria alternata* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Alternaria alternata</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 575,5 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	1 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Aspergillus clavatus* został wyizolowany w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu III, gdzie osiągnął odpowiednio liczebność 32 285,1 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodności *Aspergillus flavus* (tabela 34). Pierwszą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów I i II, a drugą grupę jednorodną

stanowiła liczebność w/w gatunku w glebie pola doświadczalnego obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 33. Liczebność *Aspergillus clavatus* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Aspergillus clavatus</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	32 285,1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Aspergillus flavus* został wyizolowany w profilu glebowym pól doświadczalnych obiektów II i III, gdzie osiągnął odpowiednio liczebność 11 282,3 jtk/g gleby i 23 051,3 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Aspergillus flavus* (tabela 34). Pierwszą grupę jednorodną stanowiło pola doświadczalne obiektu I, gdzie nie odnotowano obecności grzyba *Aspergillus flavus*, a drugą grupę jednorodną stanowiła liczebność w/w gatunku w glebie pola doświadczalnego usytuowanego obiektu III. Liczebność *Aspergillus flavus* odnotowano w glebie pola obiektu II była zbliżona do liczebności tego grzyba odnotowanych w glebie pozostałych pól doświadczalnych. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 34. Liczebność *Aspergillus flavus* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Aspergillus flavus</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	11 282,3 <sup>ab</sup>
Obiekt III	23 051,3 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Aspergillus niger* został wyizolowany wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu II, gdzie osiągnął liczebność 5 036,4 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Aspergillus niger* (tabela 35). Pierwszą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów I i III, gdzie nie odnotowano obecności grzyba *Aspergillus niger*, a drugą grupę jednorodną stanowiła liczebność w/w gatunku w glebie pola doświadczalnego obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 35. Liczebność *Aspergillus niger* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Aspergillus niger</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	1 <sup>a</sup>
Obiekt II	5 036,4 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Fusarium sp.* został wyizolowany wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu I, gdzie osiągnął liczebność 4 969,2 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Fusarium sp.* (tabela 36). Pierwszą



grupę jednorodną stanowiła liczebność *Fusarium sp.* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola obiektów II i III, gdzie nie odnotowano obecności grzyba z tego gatunku. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 36. Liczebność *Fusarium sp.* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Fusarium sp.</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	4969,2 <sup>a</sup>
Obiekt III	1 <sup>b</sup>
Obiekt II	1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Penicillium chrysogenum* wyizolowano z gleby pól doświadczalnych obiektów I i III, gdzie osiągnął liczebność odpowiednio 5 714,7 jtk/g gleby i 10 926,1 jtk/g gleby. Wyodrębniono jedną grupę jednorodną liczebności *Penicillium chrysogenum* (tabela 37), do której zaliczono wszystkie badane pola doświadczalne. Świadczy to o braku zróżnicowania występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 37. Liczebność *Penicillium chrysogenum* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Penicillium chrysogenum</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	5 714,7 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>a</sup>
Obiekt III	10 926,1 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

Grzyb z gatunku *Talaromyces funiculosus* został wyizolowany wyłącznie w profilu glebowym pola doświadczalnego obiektu I, gdzie osiągnął liczebność 4 545 jtk/g gleby. Wyodrębniono dwie grupy jednorodne liczebności *Talaromyces funiculosus* (tabela 38). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła liczebność *Talaromyces funiculosus* w glebie pola doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III, gdzie nie odnotowano obecności grzyba z tego gatunku. Świadczy to o zróżnicowaniu występowania w/w gatunku w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 38. Liczebność *Talaromyces funiculosus* w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Liczebność <i>Talaromyces funiculosus</i> [jtk/g gleby]
Obiekt I	4 545 <sup>a</sup>
Obiekt II	1 <sup>b</sup>
Obiekt III	1 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne

W przypadku zwięzłości gleby wyodrębniono jedną grupę jednorodną zwięzłości gleby (tabela 40), do której należała zwięzłość gleby odnotowana w każdym z doświadczalnych pól. Świadczy to o braku zróżnicowania w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi. Na rysunku 342

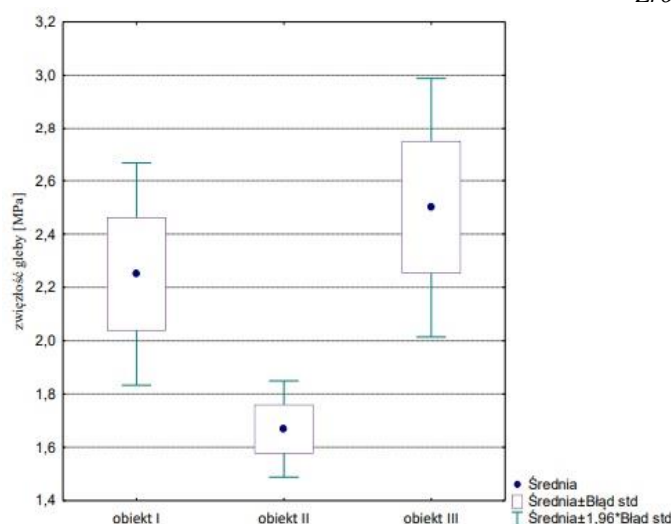
przedstawiono wyniki analizy zwięzłości gleby w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości zwięzłości gleby zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu III (2,5 MPa), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu II (1,67 MPa).

Tabela 40. Zwięzłość w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Zwięzłość gleby [MPa]
Obiekt I	2,25 <sup>a</sup>
Obiekt II	1,67 <sup>a</sup>
Obiekt III	2,5 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 342. Zwięzłość w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

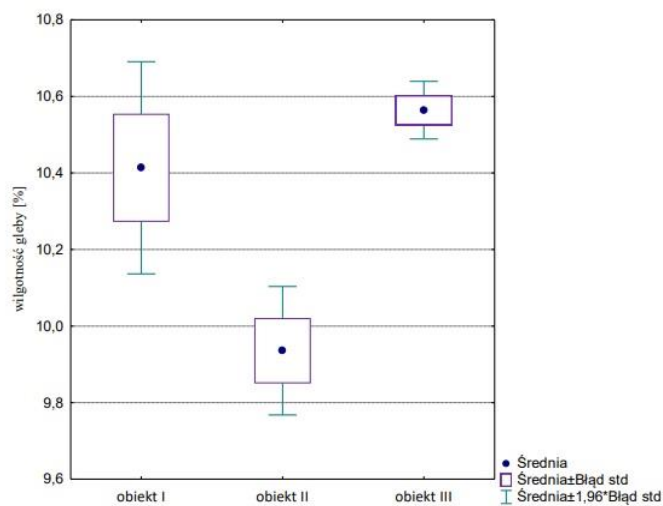
Na rysunku 343 zwizualizowano wyniki analizy wilgotności gleby w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości wilgotności gleby zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu III (10,56%), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu II (9,94%). W przypadku wilgotności gleby wyodrębniono dwie grupy jednorodne wilgotności gleby (tabela 41). W pierwszej grupie jednorodnej znalazła się wartość wilgotności gleby odnotowana w glebie pól doświadczalnych obiektów I i III. Do drugiej grupy jednorodnej zaliczono wartość wilgotności gleby stwierdzoną na polach doświadczalnych obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 41. Wilgotność w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Wilgotność gleby [%]
Obiekt I	10,41 <sup>a</sup>
Obiekt II	9,94 <sup>b</sup>
Obiekt III	10,56 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 343. Wilgotność w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

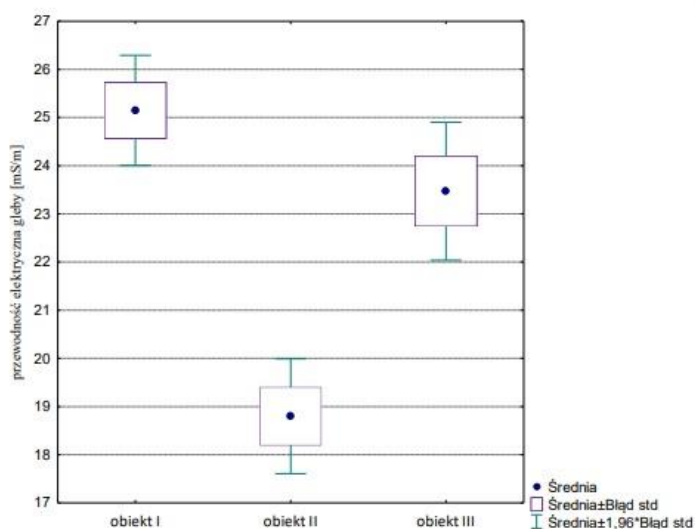
Na rysunku 344 przedstawiono wyniki analizy przewodności elektrycznej gleby w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości przewodności elektrycznej gleby odnotowano w profilu glebowym pola obiektu I (25,15 mS/m), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu II (18,8 mS/m). Wyodrębniono dwie grupy jednorodne przewodności elektrycznej gleby (tabela 42), pierwszą grupę stanowiła przewodność elektryczna gleby pól w doświadczalnych obiektów I i III a drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 42. Przewodność elektryczna w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Przewodność elektryczna gleby [mS/m]
Obiekt I	25,15 <sup>a</sup>
Obiekt II	18,8 <sup>b</sup>
Obiekt III	23,47 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 344. Przewodność elektryczna w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

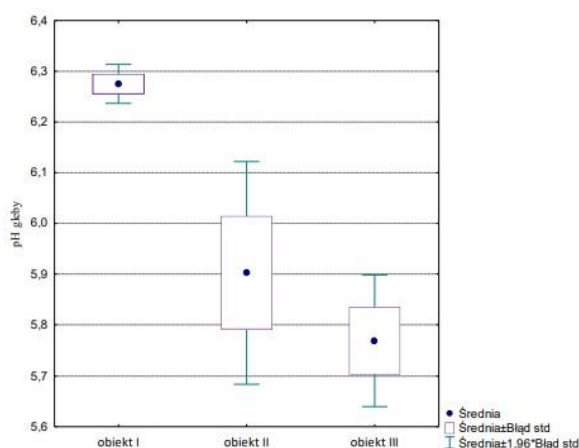
Wyodrębniono dwie grupy jednorodne wartości pH gleby (tabela 43), pierwszą grupę stanowiło pH gleby pola w doświadczalnego obiektu I, natomiast drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi. Na rysunku 345 zilustrowano wyniki analizy wartości pH gleby w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższe wartości pH gleby zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu I (6,28), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu III (5,77).

Tabela 43. pH w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	pH gleby
Obiekt I	6,28 <sup>a</sup>
Obiekt II	5,91 <sup>b</sup>
Obiekt III	5,77 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
*a* – pierwsza grupa jednorodna, *b* – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 345. pH w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

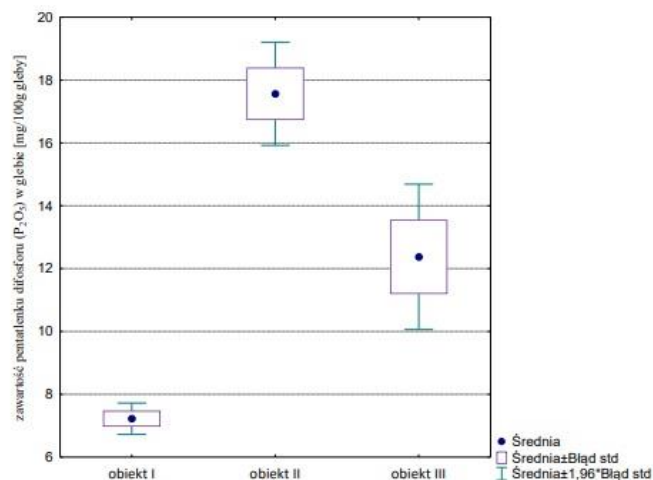
Na rysunku 346 zobrazowano wyniki analizy zawartości pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) w glebie w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. zawartości pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) w glebie zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu II (17,57 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu I (7,23 mg  $P_2O_5$ /100 g gleby). Wyodrębniono trzy grupy jednorodne zawartości pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) w glebie (tabela 44), pierwszą grupę stanowiła zawartość pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) pola w doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II, natomiast trzecią stanowiło pole doświadczalne obiektu III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 44. Zawartość pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Zawartość w glebie pentatlenku fosforu ( $P_2O_5$ ) [mg/100 g gleby]
Obiekt I	7,23 <sup>a</sup>
Obiekt II	17,57 <sup>b</sup>
Obiekt III	12,37 <sup>c</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
*a* – pierwsza grupa jednorodna, *b* – druga grupa jednorodna, *c* – trzecia grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 346. Zawartość pentatlenku fosforu (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

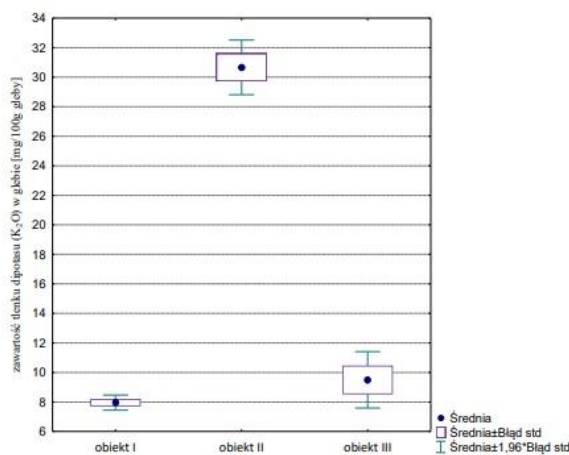
Dla zawartości tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) w glebie wyodrębniono dwie grupy jednorodnej zawartości tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) (tabela 45). Pierwszą grupę jednorodną stanowiła zawartość tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) pól doświadczalnych obiektów I i III, drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi. Na rysunku 347 zilustrowano wyniki analizy zawartości tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) w glebie w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) w glebie zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu II (30,67 mg K<sub>2</sub>O /100 g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu I (7,96 mg K<sub>2</sub>O /100 g gleby).

Tabela 45. Zawartość tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Zawartość w glebie tlenku dipotasu (K <sub>2</sub> O) [mg/100 g gleby]
Obiekt I	7,96 <sup>a</sup>
Obiekt II	30,67 <sup>b</sup>
Obiekt III	9,5 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
 a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 347. Zawartość tlenku dipotasu (K<sub>2</sub>O) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych



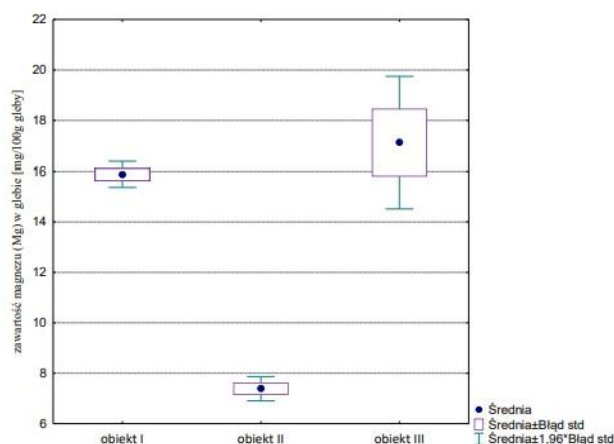
Na rysunku 348 przedstawiono wyniki analizy zawartości magnezu (Mg) w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższą zawartość magnezu (Mg) w glebie odnotowano w profilu glebowym pola obiektu III (15,88 mg Mg/100 g gleby), najniższą w profilu glebowym pola obiektu II (7,39 mg Mg/100 g gleby). Wyodrębniono dwie grupy jednorodnej zawartości magnezu (Mg) w glebie (tabela 46), pierwszą grupę stanowiła zawartość magnezu (Mg) w glebie pól w doświadczalnych obiektach I i III, natomiast drugą grupę jednorodną stanowiło pole doświadczalne obiektu II. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi.

Tabela 46. Zawartość magnezu (Mg) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Zawartość w glebie magnezu (Mg) [mg/100 g gleby]
Obiekt I	15,88 <sup>a</sup>
Obiekt II	7,39 <sup>b</sup>
Obiekt III	17,13 <sup>a</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 348. Zawartość magnezu (Mg) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

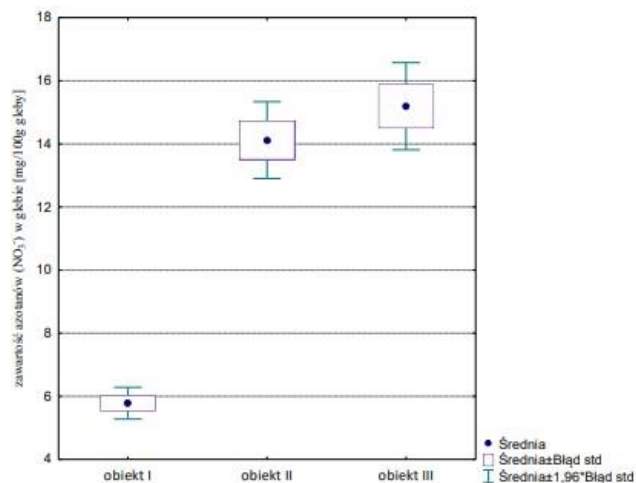
Wyodrębniono dwie grupy jednorodnej zawartości azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w glebie (tabela 47), pierwszą grupę stanowiła zawartość azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) pola w doświadczalnego obiektu I, drugą grupę jednorodną stanowiły pola doświadczalne obiektów II i III. Świadczy to o zróżnicowaniu w/w parametru w zależności od zastosowanej technologii uprawy między grupami jednorodnymi. Na rysunku 349 zilustrowano wyniki analizy zawartości azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w glebie w profilu glebowym w zależności od zastosowanej technologii uprawy. Najwyższą zawartość azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w glebie zaobserwowano w profilu glebowym pola obiektu II (14,12 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g gleby), najniższe zaś w profilu glebowym pola obiektu I (5,78 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g gleby).

Tabela 47. Zawartość azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

	Zawartość w glebie azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) [mg/100 g gleby]
Obiekt I	5,78 <sup>a</sup>
Obiekt II	14,12 <sup>b</sup>
Obiekt III	15,19 <sup>b</sup>

- obliczenia wykonane na poziomie istotności  $\alpha=0,05$   
a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 349. Zawartość azotanów ( $\text{NO}_3^-$ ) w profilu glebowym poszczególnych pól doświadczalnych

By uwzględnić przestrzenny charakter badanych parametrów przeprowadzono analizę korelacji przestrzennej. Macierze korelacji poszczególnych czynników dla wszystkich trzech badanych obiektów zostały przedstawione w Aneksie (tabele 48-239).

W przypadku zwięzłości gleby stwierdzono jej wpływ na występowanie w profilu glebowym badanych grup drobnoustrojów. Relacja ta miała inny charakter w zależności od technologii uprawy stosowanej na polach obiektów badanych. W przypadku bakterii wegetatywnych na obszarach o najwyższych wartościach zwięzłości gleby (warstwy gleby na głębokości 0,35m) odnotowano ujemne wartości współczynników korelacji. W tej warstwie profilu glebowego wyniosły one -0,59 dla pola obiektu II i -0,46 dla pola obiektu III. Natomiast dla pola obiektu I istotny wpływ zwięzłości gleby na obecność w niej bakterii wegetatywnych odnotowano w profilu glebowym na głębokości 0,15 m, gdzie współczynnik korelacji wyniósł -0,39. Analizując wpływ zagęszczenia gleby na występowanie bakterii spoczynkowych, stwierdzono różnice w zależności od głębokości profilu glebowego pól obiektów badanych. W przypadku obiektu I silną relację zagęszczenia gleby i składu ilościowo-jakościowego mikroorganizmów zaobserwowano na głębokościach 0,15m i 0,25m profilu glebowego, dla których współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio -0,61 i -0,72. Podobny związek odnotowano w glebie obiektu III, gdzie w wierzchnich warstwach gleby tj. na głębokości 0,05m i 0,15m współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio -0,52 i -0,8. Natomiast w glebie obiektu II współczynnik korelacji dla związku między zwięzłością a obecnością bakterii spoczynkowych wyniósł -0,3. W przypadku występowania promieniowców w glebie, jej zagęszczenie istotnie wpływało na ich obecność w profilu glebowym na głębokości 0,15m, współczynniki korelacji przyjęły wartości -0,41 dla obiektu I i -0,5 dla obiektu III. W przypadku ostatniego obiektu współczynniki korelacji dla poszczególnych gatunków (*Streptomyces venezuelae* i *Streptomyces albidoflavus*) były nieco wyższe i mieściły się w przedziale wartości (-0,61) – (-0,62). Dla grupy grzybów wysoki współczynnik korelacji (-0,84) między ich występowaniem a zwięzłością gleby uzyskano dla warstwy gleby znajdującej się na głębokości 0,05m pola obiektu I. Zdecydowanie niższy współczynnik korelacji, wynoszący -0,31 odnotowano dla warstwy gleby znajdującej się na głębokości 0,35m pola obiektu II. Podobne wartości współczynników korelacji (-0,31- -0,39) zarejestrowano dla warstw gleby znajdujących się na głębokości 0,25m i 0,35m pola obiektu III. Spostrzeżono także związek między zagęszczeniem gleby a jej zasobnością w makroelementy. W przypadku najgłębszej warstwy gleby (0,35m) dla relacji między obecnością azotanów i zwięzłością gleby, odnotowano dodatnie wartości współczynników korelacji dla obiektu II 0,56 i obiektu III 0,49. Natomiast dla obiektu I współczynnik korelacji

dla tej samej warstwy gleby przyjął wartość ujemną i wyniósł -0,36. Związek między zagęszczeniem gleby a jej zasobnością w magnez stwierdzono w warstwie gleby na głębokości 0,25m obiektu I – współczynnik korelacji 0,34 i obiektu II – współczynnik korelacji -0,37. Natomiast dla obiektu III taką relację dostrzeżono w warstwie gleby na głębokości 0,15m, gdzie współczynnik korelacji był równy 0,32. W przypadku związku między zagęszczeniem gleby a obecnością w niej tlenu dipotasu, relację tą zaobserwowano w wierzchniej warstwie (0,05m) obiektu I i III. Współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości 0,39 i -0,51. Relację między zasobnością gleby w pentatlenek difosforu dostrzeżono w najgłębszej warstwie gleby (0,35m). Odnotowano ujemne wartości współczynników korelacji dla obiektu I -0,53 i obiektu II -0,64. Natomiast dla obiektu III współczynnik korelacji także przyjął wartość ujemną i wyniósł -0,45 dla warstwy gleby na głębokości 0,25m.

Przewodność elektryczna gleby miała istotny wpływ na wzrost bakterii i grzybnicy we wszystkich warstwach profilu glebowego pola obiektu I. Wraz ze wzrostem głębokości wartości współczynników korelacji malały i przyjęły odpowiednio wartości 0,45 (0,05m), -0,36 (0,15m), -0,54 (0,25m) i -0,66 (0,35m). Natomiast dla gleby pola obiektu II wpływ przewodności elektrycznej gleby na obecność w niej bakterii i grzybnicy zaobserwowano w warstwie gleby na głębokości 0,25m (współczynnik korelacji -0,59), a dla gleby pola obiektu III wpływ przewodności elektrycznej gleby na obecność w niej bakterii i grzybnicy zaobserwowano w warstwie gleby na głębokości 0,05m (współczynnik korelacji -0,34). W przypadku bakterii i grzybnicy przewodność elektryczna gleby wpływała na wzrost tej grupy w profilu glebowym na głębokości 0,25m i 0,35m pola obiektu I, dla których współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio -0,42 i -0,51. Natomiast dla obiektu II odnotowano współczynniki korelacji wynoszące -0,41 (warstwa na głębokości 0,05m) i -0,52 (warstwa na głębokości 0,35m). W przypadku obiektu III taki związek stwierdzono w warstwie gleby na głębokości 0,15m (współczynnik korelacji -0,49). Dla promieniowców wykazano związek z przewodnością elektryczną gleby w warstwie gleby na głębokości 0,35m dla obiektów I i III. Współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,39 oraz -0,93 dla gatunku *Streptomyces venezuelae* i -0,8 dla gatunku *Streptomyces albidoflavus*. Podobną relację stwierdzono dla grupy grzybnicy. W glebie obiektu I odnotowano współczynniki korelacji na poziomie -0,55 (warstwa gleby na głębokości 0,05m), -0,46 (warstwa gleby na głębokości 0,15m) i -0,59 (warstwa gleby na głębokości 0,25m). Natomiast w glebie obiektu III odnotowano współczynniki korelacji na poziomie -0,39 (warstwa gleby na głębokości 0,05m) i -0,45 (warstwa gleby na głębokości 0,15m). Spostrzeżono także związek między przewodnością elektryczną gleby a jej zasobnością w makroelementy. W przypadku obiektu I odnotowano relację między zasobnością gleby w azotany i przewodnością elektryczną w wierzchnich warstwach gleby (0,05-0,15m), gdzie wartości współczynników korelacji wzrastały wraz z głębokością i przyjęły odpowiednio wartości 0,69 i 0,74. Podobny związek odnotowano dla obiektu III w najgłębszych warstwach gleby (0,25-0,35m), gdzie wartości współczynników korelacji także wzrastały wraz ze wzrostem głębokości i osiągnęły odpowiednio poziom 0,56 i 0,64. W glebie obiektu II taką relację zaobserwowano tylko w warstwie gleby na głębokości 0,05m (współczynnik korelacji wyniósł -0,43). Związek między obecnością w glebie magnezu a jej przewodnością elektryczną odnotowano we wszystkich badanych warstwach profilu glebowego obiektu III. Najwyższy współczynnik korelacji osiągnął wartość -0,85 w najgłębszej warstwie gleby. W glebie obiektu I relację między zasobnością gleby w magnez a przewodnością elektryczną spostrzeżono w warstwach gleby na głębokości 0,05m i 0,25m, gdzie współczynniki korelacji były odpowiednio równe -0,72 i 0,37. W przypadku obiektu II otrzymano współczynnik korelacji wynoszący 0,54 dla warstwy gleby na głębokości 0,35m. Obecność w glebie tlenu dipotasu miała także wpływ na przewodność elektryczną. Dla

obiekty I i II wykazywały wysokie współczynniki korelacji odnotowano w wierzchniej warstwie gleby, które przyjęły wartości 0,5 (0,05m) i 0,78 (0,15m). Natomiast dla obiektu III związek między obecnością tlenu dipotasu i przewodnością elektryczną gleby zauważono w warstwach gleby na głębokości 0,05m i 0,25m – współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio 0,61 i 0,38. Również wysokie współczynniki korelacji uzyskano dla związku między przewodnością elektryczną gleby a obecnością w niej pentatlenku difosforu. Dla warstw profilu glebowego na głębokości 0,05m, 0,15m i 0,35m otrzymano współczynniki korelacji równe odpowiednio 0,73, 0,75 i -0,36. Niższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla obiektu III dla warstw gleby na głębokości 0,25m i 0,35m (0,36 i 0,31).

Kolejnym parametrem wpływającym na wzrost mikroorganizmów w glebie jest jej wilgotność. W przypadku bakterii roślinnych występujących w glebie obiektu I współczynniki korelacji w wierzchniej warstwie profilu glebowego tj. na głębokości 0,05m i 0,15m przyjęły wartości odpowiednio 0,69 i 0,46. Natomiast w warstwie gleby na głębokości 0,35m współczynnik korelacji wyniósł 0,42. Takie same wartości współczynników korelacji uzyskano dla poszczególnych gatunków wchodzących w skład tej grupy drobnoustrojów. W przypadku gleby obiektu II wpływ wilgotności na obecność bakterii roślinnych jest widoczny w warstwach na głębokości 0,15m i 0,35m, gdzie współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,45 i -0,47. Natomiast wpływ wilgotności na wzrost bakterii roślinnych w glebie obiektu III jest zauważalny w warstwie gleby na głębokości 0,25m – współczynnik korelacji wyniósł -0,48 dla całej grupy natomiast dla poszczególnych gatunków -0,8. W przypadku drugiej grupy bakterii – bakterii saprofitycznych wpływ wilgotności zaobserwowano w warstwach gleby na głębokości 0,05m i 0,15m, dla których współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio 0,35 i 0,47 dla gleby obiektu I. W przypadku gleby obiektu II istotny wpływ wilgotności na wzrost tej grupy odnotowano w warstwie gleby na głębokości 0,15m - współczynnik korelacji równy -0,32, natomiast dla poszczególnych gatunków był nieco wyższy i wyniósł -0,56. W glebie obiektu III w warstwie gleby na głębokości 0,25m, gdzie współczynnik korelacji wyniósł -0,47, a dla poszczególnych gatunków osiągnął wartość -0,8. Wpływ wilgotności na wzrost promieniowców jest widoczny w glebie obiektów II i III w powierzchniowej warstwie gleby (0,05m). Współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,74 i -0,99. W przypadku grzybów silny związek z wilgotnością można dostrzec w każdej z badanych warstw profilu glebowego pola obiektu III. W dwóch wierzchnich warstwach współczynniki korelacji przyjęły wartość -0,8 dla poszczególnych gatunków tej grupy. Z kolei w głębszych warstwach współczynniki korelacji były wyższe i mieściły się odpowiednio w przedziałach wartości -0,92- -0,93 (0,25m) i -0,81- -0,86 (0,35m). W glebie obiektu I wilgotność istotnie wpływała na wzrost grzybów w wierzchnich warstwach gleby na głębokości 0,05 – 0,15m, gdzie współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości 0,39 i 0,54. Zbliżone wartości współczynników korelacji uzyskano dla poszczególnych gatunków grzybów. Natomiast w glebie obiektu II wilgotność wpływała na obecność w glebie grzybów na głębokości 0,35m, gdzie współczynnik korelacji był równy -0,55. Odnotowano wpływ wilgotności na zasobność gleby w azotany, w glebach obiektów I i II w profilu glebowym na głębokościach 0,15m i 0,35m, gdzie współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości 0,36 i 0,54 oraz 0,41 i -0,64. Współczynnik korelacji w warstwie na głębokości 0,35m obiektu III był najwyższy i przyjął wartość 0,8. W przypadku zależności między obecnością w glebie magnezu i jej wilgotnością w glebie obiektu III, związek ten był widoczny w każdej z badanych warstw profilu glebowego. Współczynniki korelacji były równe -0,8 każdy. W przypadku obiektu II związek ten zaobserwowano tylko w warstwie gleby na głębokości 0,15m (współczynnik korelacji wyniósł -0,32). Związek między wilgotnością gleby a jej zasobnością w tlenek dipotasu dostrzeżono tylko w glebie obiektu I w warstwach profilu glebowego na głębokości

0,05m, 0,15m i 0,25m, dla którego otrzymano współczynniki korelacji wynoszące odpowiednio 0,42, 0,51 i -0,77. Wilgotność gleby wpływała także na zawartość w niej pentatlenku difosforu. W warstwie gleby na głębokości 0,25m dla obiektu I odnotowano wartość współczynnika korelacji na poziomie -0,72, natomiast znacznie niższy, wynoszący -0,34 dla obiektu III dla tej samej warstwy. Wysoki współczynnik korelacji odnotowano dla obiektu II dla warstwy gleby na głębokości 0,35m.

Odczyn chemiczny ma wpływ na wzrost bakterii wegetatywnych w glebach obiektów II i III. W powierzchniowej warstwie gleby (0,05m) obiektu II współczynnik korelacji wyniósł 0,33. Natomiast współczynnik korelacji był równy 0,46 w warstwie gleby na głębokości 0,25m obiektu III. W przypadku bakterii spoczynkowych pH gleby wpływało na wzrost tych bakterii w warstwie gleby na głębokości 0,35m obiektu I. Współczynnik korelacji przyjął wartość -0,62. Natomiast przeciwny charakter miał ten związek w glebie obiektu III. Współczynnik korelacji był równy 0,49 w warstwie na głębokości 0,15m, natomiast współczynniki korelacji dla poszczególnych gatunków były nieco wyższe i wyniosły 0,68. Odczyn chemiczny gleby miał wpływ na wzrost promieniowców tylko w profilu glebowym obiektu III. W warstwie gleby na głębokości 0,05m współczynniki korelacji dla poszczególnych gatunków wyniosły 0,34, natomiast na głębokości 0,15m 0,38. W przypadku grzybów pH wpływało na ich wzrost w warstwie gleby (obiekt I) na głębokości 0,35m, gdzie współczynnik korelacji był równy -0,3. Zbliżone wartości otrzymano dla *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium sp.* i *Talaromyces fumiculosus*. W glebie obiektu II wpływ odczynu chemicznego był zauważalny w środkowej warstwie gleby na głębokości 0,15-0,25m. Współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości 0,52 i 0,71. Największy wpływ pH na wzrost grzybów odnotowano w glebie obiektu III w profilu glebowym na głębokości 0,05m, gdzie współczynnik korelacji wyniósł aż 0,8. Obecność w glebie azotanów determinowała odczyn chemiczny w gleby. W glebie obiektu I taką zależność odnotowano w warstwach gleby w przedziale głębokości 0,05-0,25m. Współczynniki korelacji mieściły się w przedziale -0,55- -0,61. W przypadku gleby obiektu II taką zależność stwierdzono w profilu glebowym na głębokościach 0,05m i 0,25-0,35m, współczynniki korelacji były równe odpowiednio 0,34, 0,44 i 0,5. Natomiast w glebie obiektu III obecność azotanów oddziaływała na pH gleby tylko w warstwie gleby na głębokości 0,25m (współczynnik korelacji 0,39). Związek między obecnością tlenu dipotasu a pH gleby obiektu I był widoczny w całym profilu glebowym, współczynniki korelacji przyjęły wartości z zakresu 0,34-0,7. Natomiast w glebie obiektu III taką relacje odnotowano tylko w warstwie gleby na głębokości 0,25m (współczynnik korelacji wyniósł 0,35). Również w przypadku związku między zawartością w glebie pentatlenku difosforu i pH gleby, relacje tą zaobserwowano w całym profilu glebowym obiektu I. Wartości współczynników korelacji zawierały się w przedziale 0,42-0,58. Także w glebie obiektu II zaobserwowano związek między obecnością w glebie pentatlenku difosforu i pH gleby w profilu glebowym na głębokościach 0,05m i 0,25-0,35m. W tym przypadku, wartości współczynników korelacji zawierały się w przedziale 0,34-0,63.

Wpływu zawartości w glebie pentatlenku difosforu na wzrost bakterii wegetatywnych można zaobserwować w profilu glebowym obiektu III na wszystkich badanych głębokościach. Najwyższy współczynnik korelacji uzyskano w warstwie gleby na głębokości 0,25m, który był równy -0,8. Na pozostałych głębokościach odnotowano znacznie niższe wartości współczynników korelacji, które dla głębokości 0,05m i 0,15m mieściły się w przedziale wartości 0,4-0,42. Natomiast w przypadku gleby obiektu I związek między zawartością pentatlenku difosforu i obecności bakterii wegetatywnych odnotowano w warstwie gleby na głębokości 0,35m, gdzie współczynnik korelacji wyniósł 0,44. Obecność pentatlenku difosforu w glebie wpływała na wzrost bakterii spoczynkowych w glebach obiektów II i III w warstwie gleby na głębokości 0,15m. Współczynniki korelacji były



odpowiednio równe 0,49 i 0,36. W przypadku promieniowców wpływ na ich wzrost pentatlenek difosforu miał tylko w glebie obiektu III w warstwie gleby na głębokości 0,05m – współczynnik korelacji wyniósł 0,69. Pentatlenek difosforu miał wpływ na obecność w glebie grzybów w warstwach gleby obiektów I i II na głębokościach 0,05m i 0,15m. Współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości 0,31 i 0,36 oraz 0,7 i 0,37. Natomiast w głębszej warstwie (0,25m) pentatlenek difosforu wpływał na wzrost grzybów w glebie obiektu II i III, gdzie współczynniki korelacji były odpowiednio równe 0,48 i 0,44.

Relację między obecnością tlenu dipotasu a wzrostem bakterii wegetatywnych zaobserwowano w warstwie gleby na głębokości 0,15m w glebach obiektów I i III. Współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio 0,31 i 0,76. Natomiast w przypadku bakterii spoczynkowych, zawartość tlenu dipotasu wpływa na ich wzrost w najgłębszej warstwie profilu glebowego (0,35m) gleb wszystkich obiektów. Współczynniki korelacji przyjęły wartości: 0,47 (obiekt I), 0,81 (obiekt II) i 0,41 (obiekt III). W przypadku promieniowców współczynnik korelacji osiągnął wartość 0,31 w wierzchniej warstwie gleby (0,05m) obiektu I. Natomiast w glebie obiektu III tlenek dipotasu wpływał na wzrost promieniowców w profilu glebowym na głębokości 0,15m – 0,35m. Współczynniki korelacji były równe odpowiednio 0,33, 0,38 i 0,35. Dla związku między zawartością w glebie tlenu dipotasu i obecnością grzybów, współczynnik korelacji osiągnął wartość 0,68, w warstwie gleby obiektu I na głębokości 0,15m. W tej samej warstwie gleby obiektu II współczynnik korelacji wyniósł 0,56. Natomiast w glebie obiektu III w warstwie gleby na głębokości 0,25m współczynnik korelacji był równy 0,71, a w warstwie gleby na głębokości 0,35m 0,39.

Relację między obecnością magnezu i występowaniem bakterii wegetatywnych zaobserwowano w profilu glebowym obiektu I na głębokości 0,15m i 0,35m, gdzie współczynniki korelacji przyjęły odpowiednio wartości -0,39 i -0,32. Wyższe wartości współczynników korelacji (odpowiednio 0,55, 0,58 i 0,57) odnotowano w warstwach gleby obiektu II na głębokościach 0,05m, 0,15m i 0,35m. Natomiast w profilu glebowym obiektu III zawartość magnezu wpływała na wzrost bakterii wegetatywnych w warstwach na głębokości 0,05m, współczynnik korelacji był równy 0,5 oraz 0,58 dla poszczególnych gatunków tej grupy w warstwie na głębokości 0,25m. W przypadku związku bakterii spoczynkowych i obecności w glebie magnezu dla obiektu I dla warstwy znajdującej się na głębokości 0,25m zarejestrowano współczynnik korelacji na poziomie -0,52, dla obiektu II dla warstwy gleby znajdującej się na głębokości 0,15m współczynnik korelacji przyjął wartość 0,54, natomiast dla obiektu III współczynnik korelacji był równy 0,66 dla warstwy gleby na głębokości 0,35m. Magnez wpływał na wzrost promieniowców tylko w glebie obiektu III. Wartości współczynników korelacji malały wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego i przyjęły wartości 0,53 dla 0,05m, 0,48 dla 0,15m i 0,43 dla 0,25m. W przypadku warstwy na głębokości 0,25m współczynniki korelacji dla gatunków *Streptomyces albidoflavus* i *Streptomyces venezuelae* były nieco niższe i przyjęły odpowiednio wartości 0,34 i 0,37. W glebie obiektu II obecność magnezu oddziaływała na wzrost grzybów w dwóch wierzchnich warstwach (0,05m i 0,15m), dla których współczynniki korelacji były równe odpowiednio 0,54 i 0,7. W warstwie na głębokości 0,15m obiektu III współczynnik korelacji wyniósł 0,3. Najwyższą wartość współczynnika korelacji odnotowano w warstwie gleby na głębokości 0,35m obiektu I -0,72.

Wpływ zawartości w glebie azotanów na wzrost bakterii wegetatywnych i spoczynkowych został stwierdzony w glebach obiektów II i III. W warstwie gleby obiektu II na głębokości 0,25m odnotowano współczynnik korelacji na poziomie 0,33 dla bakterii wegetatywnych, natomiast dla bakterii spoczynkowych 0,45 w warstwie gleby na głębokości 0,15m. W przypadku obiektu III współczynnik korelacji wyniósł 0,32 dla bakterii wegetatywnych (0,35m) i 0,67 dla bakterii spoczynkowych (0,25m). Obecność w glebie azotanów wpływała na występowanie promieniowców w glebie obiektu I

w najgłębszej warstwie gleby (0,35m), gdzie współczynnik korelacji osiągnął wartość 0,47. W glebie obiektu III związek między wzrostem promieniowców a zawartością w glebie azotanów odnotowano w warstwach gleby na głębokości 0,05m i 0,25m. Dla wierzchniej warstwy współczynnik korelacji osiągnął wartość 0,75, natomiast dla poszczególnych gatunków był nieco niższy i wyniósł 0,52. Dla warstwy gleby na głębokości 0,25m współczynnik korelacji przyjął wartość 0,59. Obecność w glebie azotanów wpływała także na rozwój grzybów. W glebie obiektu I współczynnik korelacji był równy 0,37, dla poszczególnych gatunków tej grupy wartości współczynnika korelacji były zbliżone. W przypadku gleby obiektu II odnotowano współczynniki korelacji na poziomie -0,56, 0,32 i 0,39 odpowiednio dla warstw gleby na głębokościach 0,05m, 0,15m i 0,25m. Dla gleby obiektu III zarejestrowano współczynniki korelacji wynoszące 0,58 (0,25m) i 0,8 (0,35m). Wartości współczynników korelacji dla poszczególnych gatunków było w obu przypadkach nieco niższe i mieściły się w przedziałach 0,53 – 0,54 dla warstwy na głębokości 0,25m oraz 0,61 – 0,62 dla warstwy na głębokości 0,35m.

## 9 DYSKUSJA

Właściwości biochemiczne, mikrobiologiczne i biologiczne gleby są od kilku lat wykorzystywane do oceny zmian w jakości gleby. Jednak antropologiczny wpływ na mikrobiom glebowy, przekładający się na żyzność gleby nie został odpowiednio zbadany na różnych poziomach [Dincă i in., 2022]. Obserwując kierunek rozwoju agrotechniki, można spostrzec potrzebę zaimplementowania łatwych w zastosowaniu i opłacalnych narzędzi do oceny zmian jakości i funkcji gleby oraz poszukiwanie metod, które umożliwią adaptację stosowanych obecnie systemów uprawy do zastosowania metod biologizacji. Współczesne rolnictwo wykorzystujące holistyczne podejście do uprawy, obejmujące wdrożenie praktyk wpływających na podniesienie żyzności gleby i poprawie jej właściwości biologicznych głównie rozwoju zbiorowisk mikroorganizmów (pod względem liczebności gatunków i bogactwa określonych grup pożytecznych mikroorganizmów w glebie), właściwości fizykochemicznych oraz fizycznych jest ważnym globalnym zagadnieniem [Baranowski, 2004; Singh i in., 2011; Kosakowski i in., 2013; Bai i in., 2018; Dincă i in., 2022]. Technologia uprawy ma kluczowy wpływ na jakość gleby. Zastosowanie odpowiednich zabiegów uprawowych może prowadzić do poprawy struktury gleby, zwiększenia ilości składników odżywczych, zmniejszenia erozji gleby oraz zapobiegania występowania chorób roślin. Istnieje wiele publikacji dotyczących wpływu różnych systemów uprawy na aktywność mikrobiologiczną gleby. Aczkolwiek obejmują one wpływ pojedynczych zabiegów agrotechnicznych np. nawożenia czy prostoty uprawy na liczebność mikroorganizmów w glebie [Augustyniuk-Kram, 2012; Małecka i in., 2012; Pocięjowska i in., 2013]. Niewiele opracowań dotyczy badań skupiających się na wpływie większości zabiegów agrotechnicznych stosowanych jednocześnie w obrębie wykorzystywanego systemu na aktywność mikrobiologiczną gleby, reprezentowaną liczebnością i różnorodnością gatunkową drobnoustrojów. W przeprowadzonych badaniach, będących przedmiotem dysertacji, zwiualizowano zmienność poszczególnych parametrów biologicznych, chemicznych i fizycznych. Stosowanie różnych systemów uprawowych różnicuje glebę pod kątem parametrów fizycznych i chemicznych, co istotnie przekładało się na przestrzenne zróżnicowanie życia mikrobiologicznego w profilu glebowym.

Jednym z założonych celów pracy było określenie struktury ilościowo- jakościowej mikroorganizmów w profilu glebowym. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że technologia uprawy stosowana na obiektach badań różnicuje życie mikrobiologiczne gleby zarówno pod względem liczebności bytujących w glebie mikroorganizmów jak i ich różnorodności gatunkowej. Wykazano, że w glebie obiektu I występuje znacznie bardziej zróżnicowana populacja drobnoustrojów glebowych niż w glebach pozostałych obiektów doświadczalnych, zarówno pod względem liczebności, jaki i różnorodności gatunkowej. Niezależnie od wykorzystywanego systemu uprawy, liczebność wszystkich badanych grup mikroorganizmów, wraz ze wztostem głębokości ulega zmniejszeniu. Najwyższą liczebność bakterii wegetatywnych w profilu glebowym odnotowano w glebie obiektu I, która mieściła się w przedziale 57 123 – 90 450 jtk/g gleby, a najniższą w glebie obiektu III – 26 591,3 – 43 901,9 jtk/g gleby. Podobną zależność zaobserwowano w przypadku liczebności bakterii spoczynkowych. Ich najwyższą liczebność w profilu glebowym odnotowano w glebie obiektu I, która mieściła się w przedziale 17 107 – 40 402 jtk/g gleby, a najniższą w glebie obiektu III – 9 206,9 – 18 456,3 jtk/g gleby. Również w przypadku liczebności promieniowców, ich najwyższą liczebność w profilu glebowym odnotowano w glebie obiektu I, która mieściła się w przedziale 3 471 – 8 246 jtk/g gleby, a najniższą w glebie obiektu III – 46,9 – 1075,6 jtk/g gleby. Tylko w przypadku liczebności grzybów, ich najwyższą liczebność uzyskano w profilu glebowym w glebie obiektu III, która mieściła się w przedziale 2 655,9 – 5 355 jtk/g gleby, a najniższą w glebie obiektu I – 186 – 1 396 jtk/g gleby. Łącznie z gleby obiektu I

wyizolowano 11 gatunków mikroorganizmów, natomiast z gleby obiektu II 8 gatunków i z gleby obiektu III 10 gatunków. Największe zróżnicowanie gatunkowe widoczne jest w obrębie grupy grzybów, w której znalazło się 4 gatunków w glebie obiektu I, w pozostałych obiektach odpowiednio 2 i 3 gatunki. W przypadku mikroorganizmów dla warstwy gleby do 0,1m Małecka i inni [2012], wyższą ogólną liczbę bakterii odnotowano w uproszczonym systemie roli – 1,4 mln jtk/g gleby, najmniejszą natomiast w tradycyjnej uprawie roli – 1,27 mln jtk/g gleby. W przypadku promieniowców również zaobserwowano większą ich liczbę przy stosowaniu systemu uproszczonego (2,76 mln/g gleby) niż przy systemie tradycyjnym (1,73 mln jtk/g gleby). Trend ten również utrzymywał się w przypadku liczebności grzybów, gdzie uzyskano odpowiednio 100 tys. jtk/g gleby i 62,4 tys. jtk/g gleby. W głębszej warstwie do 0,2m autorzy zaobserwowali zwiększenie liczebności wszystkich badanych grup drobnoustrojów przy zastosowaniu tradycyjnego systemu roli w stosunku do uproszczonego systemu. W glebie uprawianej tradycyjnie uzyskano 2,47 mln jtk/g gleby bakterii, 2,75 mln jtk/g gleby promieniowców i 99,9 tys. jtk/g gleby, natomiast w glebie uprawianej systemem uproszczonym uzyskano 1,17 mln jtk/g gleby bakterii, 1,22 mln jtk/g gleby promieniowców i 59,8 tys. jtk/g gleby. Furtak i Turska [2006] badały liczebność mikroorganizmów w glebie przy zastosowaniu płodozmianów i monokultury. W przypadku ogólnej liczby bakterii badaczki odnotowały  $68,4 \cdot 10^8$  jtk/g gleby oraz  $74,9 \cdot 10^8$  jtk/g gleby grzybów dla płodozmianu, natomiast dla monokultury  $63,2 \cdot 10^8$  jtk/g gleby bakterii oraz  $108,8 \cdot 10^8$  jtk/g gleby grzybów. Pociiejowska i inni [2013] zaobserwowali zwiększenie liczebności analizowanych grup mikroorganizmów w glebie uprawianej w systemie siewu bezpośredniego. Badacze uzyskali wartości liczebności wynoszące  $19,26 \cdot 10^5$  jtk/g gleby dla bakterii i  $2,53 \cdot 10^4$  jtk/g gleby dla grzybów. Kielbasa i współpracownicy [2017] w swoich badaniach zaobserwowali spadek liczebności bakterii vegetatywnych i spoczynkowych wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego oraz wzrost liczebność promieniowców i grzybów wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Do głębokości 0,05m autorzy odnotowali 21 800 tys. jtk/g gleby bakterii vegetatywnych, 4902 tys. jtk/g gleby bakterii spoczynkowych, 66 tys. jtk/g gleby grzybów oraz 342 tys. jtk/g gleby promieniowców. Natomiast w głębszej warstwie do 0,1m 17 100 tys. jtk/g gleby bakterii vegetatywnych, 3201 tys. jtk/g gleby bakterii spoczynkowych, 71,5 tys. jtk/g gleby grzybów oraz 353 tys. jtk/g gleby promieniowców.

Na podstawie spektrum gatunkowego mikroorganizmów można wnioskować o stanie jakościowym badanej gleby. W przypadku struktury gatunkowej w grupie bakterii vegetatywnych i spoczynkowych w glebach każdego z badanych obiektów przeważają bakterie z rodzaju *Bacillus*. Bakterie tego rodzaju występują w glebie licznie i stanowią ważny składnik mikrobioty glebowej. Zarówno *Bacillus mycoides* jak i *Bacillus pseudomycoides* wpływają na jakość gleby poprzez wspomaganie procesów rozkładu związków organicznych, przyczyniając się do dostarczenia składników odżywczych roślinom oraz wzbogacenia gleby w azot dostępny dla roślin. Ponadto gatunek *Bacillus thuringiensis* może modyfikować skład mikrobiologiczny i biochemiczny gleby, poprzez swoje oddziaływanie z innymi mikroorganizmami, takimi jak grzyby i bakterie. Jego obecność jest ważna ze względu na możliwość jego wykorzystania jako biologicznego środka ochrony roślin, co może przyczynić się do zmniejszenia ilości stosowanych pestycydów chemicznych, co z kolei może zmniejszyć negatywny wpływ tych substancji na jakość gleby i środowisko naturalne [Gardener, 2004; Beneduzi i Passaglia, 2011; George i Crickmore, 2012; Chakrabarty i in., 2022; Mukherjee i in., 2022]. Wyizolowano także gatunki bakterii vegetatywnych biorących udział w utrzymaniu równowagi azotanowej gleby – *Achromobacter denitrificans*, *Aromatoelum buckelii* oraz *Nocardiopsis alba*. Oprócz udziału w procesie denitryfikacji przyczyniają się do zminimalizowania utrat azotu spowodowanych procesem jego fiksacji. Ich obecność w glebie jest szczególnie istotna, ze względu na ich zdolność do

dostosowania się do zmian w składzie chemicznym gleby i jej pH oraz zmian temperatury otoczenia [Kwaśna, 2007]. Z gleby każdego z badanych obiektów, oprócz gatunków rodzaju *Bacillus*, wyizolowano po jednym gatunku bakterii związanych z przemianami azotu w glebie. W przypadku struktury gatunkowej w grupie promieniowców w glebach każdego z badanych obiektów wyizolowano wyłącznie mikroorganizmy należące do rodzaju *Streptomyces*. Promieniowce z tego gatunku żyją w glebie w symbiozie z korzeniami roślin, gdzie odgrywają ważną rolę w procesach kształtowania się struktury gleby i dostępności składników odżywczych dla roślin. Mają zdolność do rozkładania związków organicznych, takich jak lignina i celuloza, co pomaga w tworzeniu zdrowej gleby. Ponadto, badania wykazują, że *Streptomyces* mogą produkować enzymy chelatujące, które pomagają w mobilizacji i wykorzystaniu składników odżywczych przez rośliny. Biorą także udział w procesie fiksacji azotu atmosferycznego, co przyczynia się do wzbogacenia gleby w azot [Kwaśna, 2007d; Anderson i Wellington, 2001; Jauri i in., 2016]. W przypadku grzybów z gleb badanych obiektów wyizolowano gatunki głównie z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium*. Grzyby z gatunku *Aspergillus* mają zdolność do wytwarzania enzymów, które rozkładają składniki organiczne w glebie, co wpływa na jej konsystencję i strukturę. Szczególnie występowanie *Aspergillus niger* przyspiesza procesy rozkładu związków organicznych, co pozytywnie wpływa na strukturę gleby i zwiększa jej żyzność. Jednocześnie *Aspergillus* jest w stanie wytwarzać substancje organiczne, które korzystnie wpływają na rozwój roślin. Natomiast występowanie w glebie gatunku *Penicillium* wywiera korzystny wpływ na rozwój roślin poprzez dostarczanie niezbędnych składników mineralnych i zwiększenie aktywności mikroorganizmów glebowych. Rodzaj ten przyczynia się także do degradacji substancji organicznej w glebie i przyspieszenia procesu kompostowania. Wyżej wymienione rodzaje wraz z grzybami z rodzaju *Fusarium sp.* oraz *Alternaria* biorą udział w rozkładzie celulozy. Należy również pamiętać, że niektóre z tych gatunków (*Alternaria alternata*, *Fusarium sp.*, *Aspergillus flavus* i *Penicillium*) mogą przyczynić się do zmniejszenia liczby i różnorodności mikroorganizmów, zmniejszenia ilości substancji organicznej w glebie oraz zmniejszenia plonów. Z gleby obiektu I wyizolowano także gatunek *Talaromyces funiculosus*, który przyczynia się do rozkładu substancji organicznych, zwłaszcza celulozy i ligniny, co wpływa na dostępność składników mineralnych dla roślin uprawnych. Ponadto, ten gatunek grzyba może mieć wpływ na populację innych mikroorganizmów w glebie, co wpływa na jej jakość i zdolność do utrzymania odpowiedniego poziomu żyzności [Kwaśna, 2007d; Behnke–Borowczyk i Kwaśna, 2010; Nayak i in., 2020; Srinivasan i in., 2020].

Ogólnoświatowym problemem o ogromnym znaczeniu, występującym na użytkach rolnych i zielonych jest zagęszczenie gleby, będące skutkiem użytkowania ciężkich maszyn oraz deptaniem zwierząt gospodarskich [Soane i van Ouwerkerk, 1994; Murphy i in., 1995; Horn i in., 2000; Chan i Barchia, 2007; Marczuk i in., 2022]. Zagęszczenie gleby przyczynia się do modyfikacji struktury gleby i geometrii układu porów gleby zarówno w skali objętościowej jak i profilowej, a także w skali agregatów glebowych [Wiermann i in., 1999; Werner i Werner, 2001; Larink i in., 2001], co skutkuje zmianą właściwości fizycznych gleby, powodując zwiększenie gęstości objętościowej gleby oraz zmianę rozkładu wielkości i łączy porów gleby [Richard i in., 2001; Pagliai i in., 2003; Pagliai i in., 2004; Schäffer i in., 2008a; Schäffer i in., 2008b]. Dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na wpływie zagęszczenia gleby na parametry fizyczne gleby i wzrost roślin. Niemniej jednak kilka artykułów dotyczy wpływu zagęszczenia gleby na organizmy glebowe - głównie faunę oraz mikroorganizmy [Brussaard i van Faassen, 1994; Whalley i in., 1995]. Przeprowadzona analiza nie wykazała różnic między stosowanymi technologiami uprawy w przypadku zwięzłości gleby. W profilach glebowych badanych obiektów widoczny jest trend wzrostowy wartości zagęszczenia gleby wraz ze wzrostem głębokości. Wyjątek stanowi gleba obiektu II,



gdzie w warstwie gleby na głębokości 0,25 – 0,35m zaobserwowano delikatny spadek wartości zwięzłości gleby. W badanych profilach glebowych, najwyższe wartości zwięzłości gleby uzyskano dla gleby obiektu I, gdzie stosowane jest nowoczesne zaplecze technologiczne. Średnie wartości tego parametru mieściły się w zakresie 0,64 – 5,08 MPa. Natomiast najniższe wartości zagęszczenia gleby uzyskano w glebie obiektu II – średnio 0,83 – 2,25 MPa. Kiełbasa i współpracownicy [2017] uzyskali wartość zwięzłości gleby w przedziale głębokości (0 m - 0,05 m) średnio 0,8 MPa, a przypadku drugiej analizowanej głębokości (0,05 m - 0,1 m) wystąpiło wyższe zróżnicowanie zwięzłości gleby przy wartości średniej wynoszącej 1,18 MPa. Natomiast Kiełbasa i współpracownicy [2020] otrzymali nieco wyższe wartości zagęszczenia gleby – do 4 MPa w profilu glebowym do głębokości 0,3m, w przypadku gleby gospodarstwa stosującego trzeci wariant technologii rolnictwa precyzyjnego. Ten zespół również odnotował liniowy wzrost wartości zwięzłości wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Również Małecka i wsp. [2007] odnotowali wzrost wartości zwięzłości gleby wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Zespół najwyższe wartości uzyskał przy zastosowaniu tradycyjnego systemu roli, gdzie wartości mieściły się w przedziale 0,81 – 2,28 MPa. Natomiast w przypadku zastosowania uproszczonego systemu roli odnotowano wartości z zakresu 1,56 – 1,94 MPa. Natomiast w badaniach Małeckiej i współpracowników [2012], zwięzłość gleby w warstwie 0–0,1m była mniejsza w tradycyjnej uprawie roli niż w uprawie uproszczonej, wartości tego parametru nie przekroczyły 1 MPa w obu przypadkach. W profilu glebowym od 0,1–0,2m różnice w zwięzłości gleby pomiędzy systemami uprawowymi ulegały zmniejszeniu, aczkolwiek wartości zagęszczenia nie przekroczyły 1,7 MPa, natomiast poniżej 20 cm obserwowano wartości do 2 MPa, przy czym większe wartości tego parametru w tradycyjnej uprawie roli, niż w wariantach uprawy bezorkowej. Bleharczyk i wsp. [2007] odnotowali wzrost wartości zwięzłości gleby wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Autorzy najwyższe wartości uzyskali przy zastosowaniu brony talerzowej i agregatu ścierniskowego, gdzie wartości mieściły się odpowiednio w przedziale 1,73 – 3,3 MPa i 1,65 – 3,35 MPa. Natomiast w przypadku zastosowania tradycyjnego systemu roli i orki płytkiej odnotowano odpowiednio wartości z zakresu 0,86 – 3,05 MPa i 0,97 – 3,05 MPa. Włodek i inni [2007] odnotowali wzrost wartości zwięzłości wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Uzyskano wartości zwięzłości do 10 MPa w obu przypadkach w najgłębszych warstwach do 0,3m. W przypadku mikroorganizmów glebowych, zwięzłość gleby wpływa negatywnie na ich wzrost i rozwój. Zwięzła gleba może utrudniać dostęp powietrza i wody do korzeni roślin oraz do przestrzeni między cząstkami gleby, co może wpłynąć na redukcję biomasy mikroorganizmów. Zagęszczenie gleby może również wpłynąć na skład gatunkowy mikroorganizmów w glebie. W zwięzłych glebach dominować mogą bakterie beztlenowe, które wykorzystują do oddychania związki chemiczne obecne w glebie, a nie tlen. Ponadto, zwięzłość gleby może wpłynąć na jej pH. W zwięzłych glebach często występują warunki anaerobowe, co sprzyja wytwarzaniu się związków chemicznych, które mogą zmniejszać pH gleby. Zmiana pH może wpłynąć na aktywność mikroorganizmów, a w konsekwencji na ich ilość i zróżnicowanie w glebie [Tan i Chang, 2007; Tan i in., 2008; Fray i in., 2009; Pupin i in., 2009; Silva i in., 2017]. Uzyskane współczynniki korelacji Pearsona oraz współczynniki korelacji przestrzennej potwierdzają istnienie zależności między zwięzłością gleby i występowaniem w niej mikroorganizmów. W glebach wszystkich badanych obiektów zaobserwowano spadek liczebności wszystkich badanych grup drobnoustrojów w profilu glebowym wraz ze wzrostem wartości jej zagęszczenia. Najwyższe wartości współczynników korelacji uzyskano dla profilu glebowego obiektu II (-0,79 ÷ -0,84), natomiast najniższe dla profilu glebowego obiektu III (-0,63 ÷ -0,66). Również w przypadku korelacji przestrzennej uzyskano zbliżone wyniki w poszczególnych warstwach profilu glebowego.

Wilgotność gleby jest ważnym czynnikiem wpływającym na wiele procesów biologicznych, chemicznych i fizycznych zachodzących w glebie. Zbyt wysoka wilgotność gleby może prowadzić do zwiększonej ilości gazów anaerobowych, co może prowadzić do ubytku tlenu i zmniejszenia aktywności mikroorganizmów. Może to skutkować degradacją gleby, a także wpływać na rozwój roślin. Natomiast zbyt niska wilgotność gleby może powodować jej suchość, co utrudnia korzeniom roślin wchłanianie wody i składników odżywczych [Górnik i Matyka, 2016]. W analizowanych wariantach technologii uprawy wartość wilgotności w profilu glebowym oscylowała wokół 10%. W badanych profilach glebowych, najwyższe wartości wilgotności gleby uzyskano dla gleby obiektu III, które mieściły się w zakresie 10,5 – 10,6 %. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu II – średnio 9,5 – 10,5%. Przeprowadzone analizy wykazały, że gleby obiektów I i III różniły się pod względem stopnia wilgotności od gleby obiektu II. Zaobserwowano jednak odmienny trend poziomu wilgotności gleby poszczególnych obiektów. W przypadku gleby obiektu I i III do głębokości 0,25m profilu glebowego wartości wilgotności rosły, natomiast poniżej wspomnianej głębokości nieznacznie malały. Jednak dla gleby obiektu III uzyskano mniejsze wahania wartości tego parametru. W glebie obiektu II spostrzeżono spadek poziomu wilgotności do warstwy gleby na głębokości 0,15m i jego wzrost w głębszych warstwach profilu glebowego. Małecka i in. [2007] uzyskali dla warstwy do 0,05m 18% wilgotności gleby przy zastosowaniu systemu tradycyjnego roli i 19,4% dla systemu uproszczonego. Wyższe wartości wilgotności odnotowano dla głębszej warstwy gleby do 0,2m, gdzie zarejestrowano 19,9% wilgotności gleby przy zastosowaniu systemu tradycyjnego i 20,4% przy wykorzystaniu systemu uproszczonego. W badaniach Małeckiej i in. [2012], autorzy odnotowali wzrost wilgotności gleby wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, gdzie na poziomie do 0,1m odnotowano wartość tego parametru wynoszącą 15,3% dla tradycyjnego systemu uprawy oraz 17,2% dla systemu uproszczonego, natomiast w głębszej warstwie do 0,2m, wartości wilgotności wzrosły odpowiednio do poziomu 17,9% i 19,8%. Natomiast Bleharczyk i wsp. [2007] uzyskali dla warstwy do 0,05m 15,9% wilgotności gleby przy zastosowaniu systemu tradycyjnego roli i agregatu ścierniskowego, 17,2% wilgotności przy zastosowaniu orki płytkiej i brony talerzowej. Wyższe wartości wilgotności odnotowano dla głębszej warstwy gleby do 0,2m, gdzie zarejestrowano 20,9% wilgotności gleby przy zastosowaniu systemu tradycyjnego, 17% przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego, 21,1% dla orki płytkiej i 18,5% dla brony talerzowej. Włodek i inni [2007] uzyskali średnią wartość wilgotności w profilu glebowym dla tradycyjnej uprawy wynoszącą 13,3% a dla uprawy uproszczonej 16,6%. Kiełbasa i współpracownicy [2017] uzyskali wartość wilgotności gleby w mieszczącej się w przedziale od 8% do 15%. W obrębie głębokości profilu glebowego do 0,05 m zmienność wilgotności gleby była niewielka i nie przekraczała w wartościach bezwzględnych 2%, nieco wyższą zmienność wilgotności gleby badacze zaobserwowali w jej głębszej warstwie, gdzie wynosiła 4%. Wilgotność gleby jest jednym z kluczowych parametrów wpływających na występowanie i aktywność drobnoustrojów w glebie. Zbyt sucha gleba hamuje wzrost i rozwój mikroorganizmów, co prowadzi do ograniczenia procesów biologicznych, takich jak mineralizacja, humifikacja, czy synteza związków organicznych. Brak dostępności wody powoduje również utratę aktywnych form życia glebowego, takich jak bakterie i grzyby, które w warunkach suchych przechodzą w stan uśpienia lub giną. Z drugiej strony, zbyt wysoka wilgotność gleby może prowadzić do zwiększenia aktywności mikroorganizmów, ale również do zakłócenia równowagi biologicznej w glebie, co może prowadzić do rozwoju chorób grzybowych [Pawluczuk 1998; Malicki 1980]. Wartości wilgotności gleby ograniczające wzrost mikroorganizmów wynoszą 30% w przypadku bakterii i 15% w odniesieniu do grzybów [Drażkiewicz 1989]. Odnotowany poziom wilgotności gleby badanych obiektów sprzyjał głównie rozwojowi grzybów. Gatunkami świadczącymi o wysokiej wilgotności gleby

są: *Nocardiosis alba* i grzyby: *Aspergillus flavus* i *Aspergillus niger*, które występują w glebie, szczególnie na obszarach o wysokim poziomie wilgotności [Voroney, 2007]. Można zatem wnioskować o podwyższonym poziomie wilgotności gleby na podstawie obecności w niej w/w gatunków drobnoustrojów. Potwierdzają to także otrzymane wartości współczynników korelacji Pearsona. W glebie obiektu I współczynnik korelacji między wilgotnością gleby a występowaniem w niej grzybów wyniósł 0,35, dla obiektu II -0,78 (w tym dla w/w gatunków -0,71 i -0,87), natomiast dla obiektu III współczynnik korelacji dla tej zależności wyniósł -0,8 (w tym dla gatunku *Aspergillus flavus* -0,6). Również współczynniki korelacji przestrzennej potwierdziły zbieżność występowania grzybów na terenach o wyższej wilgotności.

Z wilgotnością gleby związana jest także jej przewodność elektryczna. Przeprowadzona analiza wykazała różnice między stosowanymi technologiami uprawy w przypadku przewodności elektrycznej gleby. W profilach glebowych badanych obiektów widoczny jest trend wzrostowy wartości przewodności elektrycznej gleby wraz ze wzrostem głębokości. W badanych profilach glebowych, najwyższe wartości przewodności elektrycznej gleby uzyskano dla gleby obiektu I. Średnie wartości tego parametru mieściły się w zakresie 17,7 – 32,7 mS/m. Natomiast najniższe wartości przewodności elektrycznej gleby uzyskano w glebie obiektu II – średnio 12,8 – 24,4 mS/m. Kiełbasa i współpracownicy [2020] otrzymali nieco wyższe wartości przewodności elektrycznej gleby – do 40 mS/m w profilu glebowym. Ten zespół również odnotował liniowy wzrost wartości przewodności elektrycznej wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Zagórda i inni [2020a] badali przewodność elektryczną na dwóch polach w powierzchniowej warstwie gleby, gdzie uzyskali odpowiednio wartości z przedziału 218 – 253 mS/m dla obiektu pierwszego i 70 – 230 mS/m dla obiektu drugiego. Podobne badania przeprowadzili Zagórda i współpracownicy [2020b], którzy uzyskali wartości przewodności elektrycznej mieszczące się w przedziale 0 – 383 mS/m. Również Rutkowski i inni [2007] badali przewodność elektryczną gleby. Autorzy uzyskali średnie wartości tego parametru wynoszące 2,1 – 7,9 mS/m w profilu glebowym na głębokości 0-0,3m. Uzyskane przez autorkę dysertacji współczynniki korelacji Pearsona potwierdzają istnienie zależności między przewodnością elektryczną gleby i występowaniem w niej mikroorganizmów. Dla wszystkich badanych obiektów współczynniki korelacji Pearsona przyjęły wartości powyżej -0,9. Również uzyskane wartości współczynników korelacji przestrzennej potwierdzają istnienie tej zależności.

Wartość pH jest jednym z kluczowych parametrów glebowych, wpływającym na jakość gleby i wiele procesów w niej zachodzących. pH gleby wpływa na jej strukturę poprzez wpływ na agregację cząstek glebowych i lepkość gleby. Gleby o pH powyżej 7,5 mają tendencję do tworzenia glinianek wapniowych, co może prowadzić do spadku porowatości i zmniejszenia przepuszczalności wody. pH gleby wpływa także na dostępność składników odżywczych dla roślin, oddziałując na ich rozpuszczalność w glebie. W glebie o pH poniżej 5,5, azot i fosfor mogą być niedostępne dla roślin, a z kolei, w glebie o pH powyżej 7,5, niedostępne mogą być mikroelementy takie jak żelazo, miedź i cynk. pH gleby wpływa także na aktywność mikroorganizmów w glebie, ponieważ różne gatunki mikroorganizmów preferują różne zakresy pH [Voroney, 2007; Neina, 2019]. W analizowanych wariantach technologii uprawy wartość pH w profilu glebowym oscylowała wokół odczynu lekko kwaśnego (6). W badanych profilach glebowych, najwyższe wartości pH gleby uzyskano dla gleby obiektu I, które mieściły się w zakresie 6,1 – 6,4. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu III – średnio 5,3 – 6,3. Przeprowadzone analizy wykazały, że gleby obiektów II i III różniły się pod względem wartości pH od gleby obiektu I. Zauważono odmienny trend wartości pH gleby poszczególnych obiektów. W przypadku gleby obiektu I wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym wartości pH rosły, natomiast w profilu glebowym obiektu III malały. W glebie obiektu II spostrzeżono spadek

poziomu pH do warstwy gleby na głębokości 0,25m i jego wzrost w głębszych warstwach profilu glebowego. Małecka i in. [2007] uzyskali w profilu glebowym do 0,2m wartość pH utrzymującą się na poziomie 6,8 dla systemu tradycyjnego. Natomiast w przypadku systemu uproszczonego do głębokości 0,05m wartość pH wyniosła 6,5 a w głębszej warstwie 6,7. W badaniach Małeckiej i współpracowników [2012], wartość pH, w warstwie 10–20 cm kształtowała się na zbliżonym poziomie w obu wariantach uprawowych. Autorzy uzyskali wartości wynoszące 6,69 dla warstwy gleby do 0,1m i 6,71 dla warstwy gleby do 0,2m dla tradycyjnego systemu uprawowego oraz 6,28 dla warstwy gleby do 0,1m i 6,73 dla warstwy gleby do 0,2m dla systemu uproszczonego. Zbliżone wartości uzyskali także Blecharczyk i wsp. [2007]. W swoich badaniach zaobserwowali spadek wartości pH gleby wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, wyjątek stanowiła gleba uprawiana tradycyjnie, gdzie autorzy odnotowali wzrost wartości pH. Profilu glebowym do głębokości 0,2m wartości pH mieściły się w przedziale 5,46 – 5,49 przy uprawie tradycyjnej, 5,4 – 5,42 przy orce płytkiej, 5,35 – 5,4 przy zastosowaniu brony talerzowej i 5,36 – 5,42 przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego. Odczyn chemiczny ma ogromny wpływ na występowanie drobnoustrojów w glebie. Zakwaszenie gleby wpływa niekorzystnie na proporcje badanych grup drobnoustrojów, powodując zwiększenie liczebności grzybów w stosunku do bakterii, a zwłaszcza do promieniowców, co jest niekorzystnym zjawiskiem w glebie w kontekście jej żyzności. Obniżenie pH gleby nasila rozwój grzybów, szczególnie z rodzaju *Aspergillus*, *Fusarium* i *Penicillium*, których metabolity charakteryzują się szkodliwym wpływem na występowanie innych grup mikroorganizmów [Myśków, 1987; Voroney, 2007]. W glebie obiektu III, gdzie odnotowano najniższe wartości pH w profilu glebowym, zaobserwowano zwiększenie liczebności grzybów względem promieniowców. W glebie pozostałych dwóch obiektów takiej zależności nie zaobserwowano. W profilach glebowych wszystkich badanych obiektów stwierdzono obecność gatunków grzybów bytujących w glebach lekko kwaśnych. W glebie obiektu I odnotowano występowanie *Alternaria alternata*, *Fusarium sp.* oraz *Penicillium chrysogenum*, w glebie obiektu II *Aspergillus niger* i *Aspergillus flavus*, natomiast w glebie obiektu III *Aspergillus clavatus*, *Aspergillus flavus* oraz *Penicillium chrysogenum*. Można zatem wnioskować o obniżonym poziomie pH gleby na podstawie obecności w niej w/w gatunków drobnoustrojów. Zależność między pH gleby a występowaniem w niej drobnoustrojów potwierdzają uzyskane współczynniki korelacji Pearsona jak i korelacji przestrzennej.

Spośród wielu zabiegów agrotechnicznych mających niebagatelny wpływ na drobnoustroje glebowe jest nawożenie, w tym nawożenie naturalne i azotem mineralnym. Liczne i wieloletnie badania wyraźnie wskazują, że nawożenie mineralne ma duży wpływ na kształtowanie się struktury liczebności i różnorodności gatunkowej drobnoustrojów [Barabasz i Voříšek, 2002; Vetanovetza i Petersona, 1992]. Literatura podaje, że stosowanie dużych dawek nawozów azotowych istotnie modyfikuje skład gatunkowy populacji mikroorganizmów. Ograniczeniu wzrostu ulegają bakterie i promieniowce z rodzajów *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Streptomyces*, a zaczynają dominować głównie grzyby z klasy *Deuteromycetes* [Smyk i in., 1989]. Ogólnie rzecz biorąc, nawozy organiczne poprawiają strukturę gleby (pod względem frakcji wielkości cząstek i są odpowiedzialne za bardziej zrównoważone i stabilne zaopatrzenie w składniki odżywcze, które mogą utrzymać bardziej zróżnicowaną społeczność drobnoustrojów w porównaniu z nawozami mineralnymi. Ponadto stwierdzono, że nawożenie organiczne zwiększa aktywność drobnoustrojów oraz poprawia chemiczne i fizyczne właściwości gleby [Šimek i in., 1999; Luo i in., 2018; Dincă i in., 2022]. Azot jest jednym z najważniejszych składników odżywczych dla roślin i mikroorganizmów glebowych. Występowanie azotu w glebie ma kluczowe znaczenie dla jej jakości, ponieważ wpływa na wzrost i rozwój roślin oraz aktywność mikroorganizmów glebowych. Azot jest składnikiem białek i kwasów nukleinowych, które są niezbędne dla

wzrostu i metabolizmu mikroorganizmów. Mikroorganizmy glebowe wykorzystują różne formy azotu, w tym azot organiczny, amonowy i azotanowy. Azot organiczny jest źródłem azotu dla mikroorganizmów glebowych i jest uwalniany do gleby w procesie rozkładu materii organicznej. Azot amonowy czy azotanowy są bardziej dostępne dla roślin i mikroorganizmów, ale są mniej stabilne w glebie i mogą uciekać z niej wraz z wodą. Odpowiednia ilość azotu w glebie jest kluczowa dla wzrostu i rozwoju mikroorganizmów glebowych. Niedobór azotu może ograniczać wzrost mikroorganizmów i prowadzić do zaburzeń równowagi biologicznej w glebie. Z drugiej strony nadmiar azotu w glebie może prowadzić do wzrostu populacji niektórych mikroorganizmów, co może prowadzić do zakłócenia równowagi biologicznej i negatywnie wpływać na jakość gleby [Uziak i Klimowicz, 2002; Kwaśna, 2007e; Singh, 2018; Dincă i in., 2022]. W badanych profilach glebowych, najwyższe zawartości azotanów w glebie uzyskano dla gleby obiektu III, które mieściły się w zakresie 9,9 – 21,9 mg/100g gleby. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu I – średnio 5,2 – 6,7 mg/100g gleby. Przeprowadzone analizy wykazały, że gleby obiektów II i III różniły się pod względem stopnia zawartości azotanów od gleby obiektu I. Zaobserwowano odmienny trend poziomu zawartości azotanów w glebie poszczególnych obiektów. W glebach obiektu II i III odnotowano trend spadkowy zawartości azotanów w glebie wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Jednak dla gleby obiektu II uzyskano mniejsze wahania wartości tego parametru. Natomiast w przypadku profilu glebowego obiektu I, zaobserwowano naprzemienne wzrosty i spadki zawartości azotanów wraz ze wzrostem głębokości, co miało charakter przypadkowy. Zależność między występowaniem poszczególnych grup drobnoustrojów a obecnością w glebie azotanów potwierdzają współczynniki korelacji Pearsona. Dla gleby obiektu II uzyskano wartości współczynników korelacji mieszczące się w zakresie 0,58 - 0,61 natomiast dla gleby obiektu III aż 0,88 – 0,89. Również współczynniki korelacji przestrzennej wskazują na istnienie relacji między zawartością azotanów w profilu glebowym a występowaniem mikroorganizmów. Małecka i inni [2007] zaobserwowali spadek zawartości azotu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego dla tradycyjnej i uproszczonej uprawy. Zawartość azotu wyniosła odpowiednio 101 mg/100g gleby (0,05m) i 99 mg/100g gleby (0,2m) oraz 111 mg/100g gleby (0,05m) i 96 mg/100g gleby (0,2m). W warstwie gleby 0–10 cm Małecka i współpracownicy [2012], 98 mg/100g gleby azotu ogólnego w tradycyjnej uprawie roli i 119 mg/100g gleby w roli uproszczonej. Natomiast w warstwie gleby 10–20 cm zawartość azotu ogólnego była niższa i wyniosła odpowiednio 97 mg/100g gleby i 94 mg/100g gleby. Blecharczyk i wsp. [2007] w swoich badaniach zarejestrowali spadek zawartości azotu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, wyjątek stanowiła gleba uprawiana tradycyjnie, gdzie autorzy odnotowali wzrost zawartości azotu. Profilu glebowym do głębokości 0,2m zawartości azotu w glebie mieściła się w przedziale 91 – 93 mg/100g gleby przy uprawie tradycyjnej, 86 - 96 mg/100g gleby przy orce płytkiej, 84 - 105 mg/100g gleby przy zastosowaniu brony talerzowej i 80 - 103 mg/100g gleby przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego.

Także obecność potasu w glebie ma istotny wpływ na jej jakość. Potas wpływa na jakość gleby przede wszystkim poprzez swoje oddziaływanie na strukturę gleby i jej pH. Wpływa również na aktywność mikroorganizmów żyjących w glebie, ponieważ jest jednym z ważniejszych pierwiastków odżywczych dla bakterii glebowych. Wpływ potasu na mikroorganizmy glebowe zależy od jego ilości i stosunku do innych pierwiastków. Niskie poziomy potasu w glebie mogą ograniczać aktywność mikroorganizmów, co może prowadzić do obniżenia jakości gleby i wydajności upraw. Z drugiej strony, nadmiar potasu w glebie może prowadzić do zwiększenia pH gleby, co również może mieć negatywny wpływ na mikroorganizmy [Uziak i Klimowicz, 2002; Kwaśna, 2007g; Dincă i in., 2022; Chen i in., 2022]. W badanych profilach glebowych, najwyższe zawartości tlenu dipotasu



w glebie uzyskano dla gleby obiektu II, które mieściły się w zakresie 25,5 – 33,6 mg/100g gleby. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu I – średnio 5,3 – 10,4 mg/100g gleby. Przeprowadzone analizy wykazały, że gleby obiektów I i III różniły się pod względem stopnia zawartości tlenu dipotasu w glebie od gleby obiektu II. Zaobserwowano jednak odmienny trend poziomu zawartości tlenu dipotasu w glebie poszczególnych obiektów. Zarówno w glebie obiektów I i III odnotowano spadek zawartości tlenu dipotasu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Natomiast w przypadku profilu glebowego obiektu II, zaobserwowano naprzemienne wzrosty i spadki zawartości tlenu dipotasu wraz ze wzrostem głębokości, co miało charakter przypadkowy. Zależność między występowaniem poszczególnych grup drobnoustrojów a obecnością w glebie tlenu dipotasu potwierdzają współczynniki korelacji Pearsona. Dla gleby obiektu I uzyskano wartości współczynników korelacji mieszczące się w zakresie 0,74 – 0,76 natomiast dla gleby obiektu III aż 0,91 – 0,93. Dla gleby obiektu II również uzyskano istotne wartości współczynników korelacji (0,27-0,31), jednak tylko dla grupy bakterii wegetatywnych i spoczynkowych. Również współczynniki korelacji przestrzennej wskazują na istnienie relacji między zawartością tlenu dipotasu w profilu glebowym a występowaniem mikroorganizmów. Małecka i inni [2007] zaobserwowali spadek zawartości azotu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego dla tradycyjnej i uproszczonej uprawy. Zawartość azotu wyniosła odpowiednio 101 mg/100g gleby (0,05m) i 99 mg/100g gleby (0,2m) oraz 111 mg/100g gleby (0,05m) i 96 mg/100g gleby (0,2m). W warstwie gleby 0–10 cm Małecka i współpracownicy [2012], 98 mg/100g gleby azotu w tradycyjnej uprawie roli i 119 mg/100g gleby w roli uproszczonej. Natomiast w warstwie gleby 10–20 cm zawartość azotu była niższa i wyniosła odpowiednio 97 mg/100g gleby i 94 mg/100g gleby. Bleharczyk i wsp. [2007] w swoich badaniach zarejestrowali spadek zawartości azotu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego, wyjątek stanowiła gleba uprawiana tradycyjnie, gdzie autorzy odnotowali wzrost zawartości azotu. Profilu glebowym do głębokości 0,2m zawartości azotu w glebie mieściła się w przedziale 91 – 93 mg/100g gleby przy uprawie tradycyjnej, 86 - 96 mg/100g gleby przy orce płytkiej, 84 - 105 mg/100g gleby przy zastosowaniu brony talerzowej i 80 - 103 mg/100g gleby przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego.

Również obecność fosforu w glebie ma kluczowy wpływ na jej jakość, ponieważ jest to jeden z najważniejszych składników odżywczych dla roślin i mikroorganizmów glebowych. Fosfor jest niezbędny do prawidłowego rozwoju korzeni roślin i do syntezy DNA, a także odgrywa ważną rolę w przemianach energetycznych w komórkach roślinnych i mikroorganizmów. Niedobór fosforu w glebie może ograniczać wzrost roślin i mikroorganizmów oraz zmniejszać plony upraw. Nadmiar fosforu w glebie może również wpłynąć na skład mikrobiologiczny gleby, prowadząc do zwiększonej populacji bakterii i grzybów nitryfikacyjnych, które mogą wpłynąć na pH gleby i przyczynić się do zaburzeń równowagi biologicznej w glebie [Uziak i Klimowicz, 2002; Plante, 2007; Kwaśna, 2007f; Yu i in., 2021; Dincă i in., 2022]. W badanych profilach glebowych, najwyższą zawartość pentatlenku difosforu w glebie uzyskano dla gleby obiektu II, które mieściły się w zakresie 16 – 19,5 mg/ 100g gleby. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu I – średnio 6,2 – 7,8 mg/ 100g gleby. Badania wykazały, że poszczególne obiekty różnią się pod względem zawartości w glebie pentatlenku difosforu. Zauważono jednak odmienny trend zawartości pentatlenku difosforu w glebie poszczególnych obiektów. W przypadku gleby obiektu I i III wraz ze wzrostem głębokości w profilu glebowym odnotowane zawartości pentatlenku difosforu malały. Jednak dla gleby obiektu I uzyskano mniejsze wahania wartości tego parametru. Natomiast w glebie obiektu II spostrzeżono spadek poziomu zawartości pentatlenku difosforu do warstwy gleby na głębokości 0,25m i jego wzrost w głębszych warstwach profilu glebowego. Zależność między występowaniem

poszczególnych grup drobnoustrojów a obecnością w glebie pentatlenku difosforu potwierdzają współczynniki korelacji Pearsona. Dla gleby obiektu I uzyskano wartości współczynników korelacji mieszczące się w zakresie 0,2 – 0,23 natomiast dla gleby obiektu III aż 0,93 – 0,94. Również współczynniki korelacji przestrzennej wskazują na istnienie relacji między zawartością pentatlenku difosforu w profilu glebowym a występowaniem mikroorganizmów. Małecka i inni [2007] zaobserwowali spadek zawartości fosforu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego dla tradycyjnej uprawy – 184 mg/100g gleby (0,05m) i 179 mg/100g gleby (0,2m), natomiast dla uprawy tradycyjnej zarejestrowano wzrost zawartości fosforu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego – 195 mg/100g gleby (0,05m) i 220 mg/100g gleby (0,2m). W warstwie gleby 0–10 cm Małecka i współpracownicy [2012], odnotowali 215 mg/100g gleby fosforu w tradycyjnej uprawie roli i 203 mg/100g gleby w roli uproszczonej. Natomiast w warstwie gleby 10–20 cm zawartość fosforu była niższa i wyniosła odpowiednio 202 mg/100g gleby i 215 mg/100g gleby. Bleharczyk i wsp. [2007] w swoich badaniach zarejestrowali spadek zawartości fosforu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego przy zastosowaniu systemu tradycyjnego uprawy i orki płytkowej oraz wzrost zawartości fosforu przy wykorzystaniu brony talerzowej i agregatu ścierniskowego. Profilu glebowym do głębokości 0,2m zawartości fosforu w glebie mieściła się w przedziale 82 – 111 mg/100g gleby przy uprawie tradycyjnej, 86 – 87 mg/100g gleby przy orce płytkowej, 86 - 90 mg/100g gleby przy zastosowaniu brony talerzowej i 87 -89 mg/100g gleby przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego.

Jeden z najważniejszych efektów magnezu wywieranych na glebę dotyczy jego wpływu na strukturę gleby. Magnez wpływa na strukturę gleby poprzez wpływ na skład chemiczny i właściwości fizyczne gleby. Magnez jest ważnym elementem strukturalnym gleby, ponieważ pomaga utrzymać stabilność strukturalną, poprawiając przepuszczalność gleby i zapobiegając erozji glebowej. Magnez jest istotnym elementem dla roślin i mikroorganizmów w glebie. Wpływa na metabolizm roślin i reguluje wiele procesów biochemicznych, takich jak fotosynteza, oddychanie, transpiracja i transport składników odżywczych. Wpływ magnezu na mikroorganizmy w glebie polega na regulowaniu ich metabolizmu, co przekłada się na ich aktywność i różnorodność. Mikroorganizmy wykorzystują magnez jako kation niezbędny do wielu procesów metabolicznych, w tym do biosyntezy białek, stabilizacji błon komórkowych i transportu elektronów. Nadmierna obecność magnezu w glebie może prowadzić do zakwaszenia gleby i pogorszenia jej jakości. Z drugiej strony, niedobór magnezu może wpłynąć negatywnie na rozwój mikroorganizmów, prowadząc do zmniejszenia ich aktywności i różnorodności. Istnieją jednak pewne mikroorganizmy, które mają zdolność do przystosowania się do niskiego poziomu magnezu w glebie. Są to na przykład bakterie z rodzaju *Bacillus* i *Pseudomonas* oraz grzyby z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium*. Te mikroorganizmy są zdolne do syntetyzowania specjalnych białek i innych związków, które pozwalają na wykorzystanie magnezu w ograniczonej ilości [Uziak i Klimowicz, 2002; Wang i in., 2020]. W badanych profilach glebowych, najwyższe zawartości magnezu w glebie uzyskano dla gleby obiektu III, które mieściły się w zakresie 5,4 – 31,7 mg/100g gleby. Natomiast najniższe wartości tego parametru uzyskano w glebie obiektu II – średnio 7,3 – 7,6 mg/100g gleby. Przeprowadzone analizy wykazały, że gleby obiektów I i III różniły się pod względem stopnia zawartości magnezu od gleby obiektu II. Zaobserwowano jednak odmienny trend poziomu zawartości magnezu w glebie poszczególnych obiektów. W glebie obiektu I odnotowano trend wzrostowy zawartości magnezu w glebie, przeciwnie do profilu glebowego obiektu III. Natomiast zasobność gleby obiektu II w magnez utrzymywał się na zbliżonym poziomie. Zależność między występowaniem poszczególnych grup drobnoustrojów a obecnością w glebie magnezu potwierdzają współczynniki korelacji Pearsona. Dla gleby obiektu I uzyskano wartości współczynników korelacji mieszczące się w zakresie -0,66 ÷ -0,69 natomiast dla gleby

obiekty III aż 0,95 – 0,96. Również współczynniki korelacji przestrzennej wskazują na istnienie relacji między zawartością magnezu w profilu glebowym a występowaniem mikroorganizmów. W glebach badanych obiektów wyodrębniono obecność gatunków *Bacillus* oraz *Aspergillus* i *Penicillium*, choć zawartość magnezu w glebie była wysoka. Dla wymienionych gatunków dla obiektu I uzyskano wartości współczynników korelacji odpowiednio -0,61 ÷ -0,66 i -0,67 oraz dla obiektu III 0,82 0,84, 0,71 (*Penicillium chrysogenum*) i 0,9 (*Aspergillus flavus*). Małecka i inni [2007] zaobserwowali spadek zawartości magnezu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego dla tradycyjnej i uproszczonej uprawy. Zawartość potasu wyniosła odpowiednio 35 mg/100g gleby (0,05m) i 33 mg/100g gleby (0,2m) oraz 38 mg/100g gleby (0,05m) i 30 mg/100g gleby (0,2m). W warstwie gleby 0–10 cm Małecka i współpracownicy [2012], odnotowali 40,2 mg/100g gleby magnezu w tradycyjnej uprawie roli i 49,9 mg/100g gleby w roli uproszczonej. Natomiast w warstwie gleby 10–20 cm zawartość magnezu była niższa i wyniosła odpowiednio 39,8 mg/100g gleby i 30,2 mg/100g gleby. Bleharczyk i wsp. [2007] w swoich badaniach zarejestrowali spadek zawartości magnezu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Profilu glebowym do głębokości 0,2m zawartości magnezu w glebie mieściła się w przedziale 67 - 65 mg/100g gleby przy uprawie tradycyjnej, 77 – 68 mg/100g gleby przy orce płytkiej, 98 - 72 mg/100g gleby przy zastosowaniu brony talerzowej i 95 - 74 mg/100g gleby przy wykorzystaniu agregatu ścierniskowego.

## 10 WNIOSKI

Wyniki badań potwierdzają sformułowane w rozprawie hipotezy, zakładające, że istnieje możliwość przestrzennej identyfikacji zróżnicowania warunków wodno-powietrznych gleby na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych oraz, że można zidentyfikować konkretne rodzaje mikroorganizmów w profilu glebowym pozwalające ocenić stan przydatności produkcyjnej gleby oraz stopień jej zasobności w wybrane składniki mineralne, a także, że identyfikacja przestrzenna spektrum mikroorganizmów w profilu glebowym pozwala na rozszerzenie czynników decyzyjnych w planowaniu zabiegów uprawowych i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań polowych i laboratoryjnych sformułowano następujące wnioski:

1. Stwierdzono, że stosowana technologia uprawy wpływa na strukturę ilościowo-jakościową mikroorganizmów. W przypadku zastosowania zaawansowanych systemów rolnictwa precyzyjnego, które obejmowały m.in. precyzyjne nawożenie na podstawie map zasobności gleby oraz precyzyjne nawożenie pogłównie a także wykorzystywanie technologii jazdy równoległej do zabiegów uprawowych, zakres zmienności przestrzennej liczebności bakterii spoczynkowych w obrębie poligonu doświadczalnego był o 2,5 razy mniejszy w porównaniu do obszarów, gdzie w ramach technologii rolnictwa precyzyjnego stosowano jedynie jazdę równoległą i precyzyjne nawożenie. W przypadku promieniowców stopień zróżnicowania ich liczebności był 2-krotnie mniejszy w obrębie przestrzeni pola, gdzie stosowano zaawansowane systemy rolnictwa precyzyjnego (obiekt I) w stosunku do obiektu nr II. Nieco odmienną realcję zaobserwowano w przypadku liczebności grzybów gdzie stopień zaawansowania systemów precyzyjnego rolnictwa (obiekt I) nie przekładał się na zmniejszenie zróżnicowania liczebności grzybów w obrębie analizowanych pól doświadczalnych a nawet prowadził do wzrostu zróżnicowania o trzy razy większego w stosunku do obiektu III i prawie o 3,5 razy większego w stosunku do technologii, gdzie systemy rolnictwa precyzyjnego ograniczone były do nawożenia precyzyjnego (obiekt II)
2. Stwierdzono, że na podstawie zróżnicowania drobnoustrojów w obrębie danego pola można wskazać grupę drobnoustrojów stanowiącą „marker” stosowanego wariantu technologii rolnictwa precyzyjnego. Promieniowce wykazujące najniższe zróżnicowanie przestrzenne można wskazać jako biomarker stopnia zaawansowania technologii rolnictwa precyzyjnego. Natomiast grupy bakterii wegetatywnych i grzybów można uznać za markery stosowania mniej zaawansowanych systemów rolnictwa precyzyjnego.
3. Stwierdzono możliwość przestrzennej identyfikacji zróżnicowania warunków wodno-powietrznych gleby na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych. Zaobserwowano istotny związek między parametrami fizycznymi gleby a występowaniem mikroorganizmów w glebie – na obszarach o wysokim stopniu zagęszczenia, wilgotności oraz przewodności elektrycznej gleby odnotowuje się niskie liczebności drobnoustrojów w profilu glebowym. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego w przypadku zwięzłości gleby przyjęły wartości -0,73 dla bakterii wegetatywnych i spoczynkowych oraz promieniowców i -0,72 dla grzybów. W przypadku wariantu II technologii rolnictwa

precyzyjnego przyjęły wartości -0,82 dla bakterii vegetatywnych, -0,81 dla bakterii spoczynkowych, -0,84 dla promieniowców oraz -0,79 dla grzybów, a dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla zwięzłości przyjęły wartości -0,66 dla bakterii vegetatywnych oraz 0,63 dla bakterii spoczynkowych, promieniowców i dla grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla wilgotności gleby przyjęły wartości 0,41 dla bakterii spoczynkowych i promieniowców, 0,36 dla bakterii vegetatywnych i 0,35 dla grzybów. W przypadku wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego gleby przyjęły wartości -0,83 dla bakterii vegetatywnych, -0,75 dla bakterii spoczynkowych, -0,69 dla promieniowców oraz -0,78 dla grzybów, natomiast dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla wilgotności gleb przyjęły wartości -0,78 dla bakterii vegetatywnych, -0,84 dla bakterii spoczynkowych, -0,81 dla promieniowców i -0,8 dla grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla przewodności elektrycznej gleby przyjęły wartości -0,97 dla wszystkich badanych grup drobnoustrojów. W przypadku wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego przyjęły wartości -0,93 dla bakterii vegetatywnych i grzybów oraz -0,92 dla bakterii spoczynkowych i promieniowców, a dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla przewodności elektrycznej gleby przyjęły wartości -0,97 dla bakterii vegetatywnych, -0,96 dla bakterii spoczynkowych i promieniowców oraz -0,98 dla grzybów. Potwierdzają to również współczynniki korelacji przestrzennej.

4. Stwierdzono możliwość przestrzennej identyfikacji zróżnicowania zawartości makroelementów w glebie na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych. Zaobserwowano istotny związek między parametrami chemicznymi gleby a występowaniem mikroorganizmów w glebie - obszary o niskim stopniu zawartości azotu, fosforu, potasu i magnezu oraz niskim pH gleby charakteryzują się niską liczebnością drobnoustrojów w profilu glebowym. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości azotu w glebie przyjęły wartości 0,61 dla bakterii vegetatywnych, 0,58 dla spoczynkowych, 0,6 dla promieniowców i 0,59 dla grzybów, a dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego przyjęły wartości 0,89 dla bakterii vegetatywnych oraz 0,88 dla bakterii spoczynkowych, promieniowców i dla grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości fosforu w glebie przyjęły wartości 0,17 dla bakterii vegetatywnych, 0,23 dla spoczynkowych, 0,2 dla promieniowców i 0,21 dla grzybów, a dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego przyjęły wartości 0,94 dla bakterii vegetatywnych oraz 0,93 dla bakterii spoczynkowych, promieniowców i dla grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości potasu w glebie przyjęły wartości 0,74 dla bakterii vegetatywnych, 0,76 dla spoczynkowych, 0,75 dla promieniowców i grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego przyjęły wartości 0,31 dla bakterii vegetatywnych i 0,27 dla spoczynkowych, natomiast dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości potasu w glebie przyjęły wartości 0,92 dla bakterii vegetatywnych i spoczynkowych, 0,93 dla promieniowców i dla 0,91 grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości magnezu w glebie przyjęły wartości -0,69 dla bakterii vegetatywnych, -0,66 dla spoczynkowych, -0,67 dla promieniowców i -0,68 dla grzybów, a dla



wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości magnezu w glebie przyjęły wartości 0,96 dla bakterii wegetatywnych i spoczynkowych oraz promieniowców i dla 0,95 grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla pH gleby przyjęły wartości -0,49 dla bakterii wegetatywnych, -0,54 dla spoczynkowych, -0,51 dla promieniowców i -0,5 dla grzybów. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości potasu w glebie przyjęły wartości 0,31 dla bakterii spoczynkowych, 0,36 dla promieniowców i 0,3 dla grzybów, natomiast dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego dla zawartości potasu w glebie przyjęły wartości 0,68 dla bakterii wegetatywnych i promieniowców, 0,7 dla bakterii spoczynkowych i 0,65 dla grzybów. Potwierdzają to również współczynniki korelacji przestrzennej.

5. Zidentyfikowano gatunki mikroorganizmów na podstawie, których można dokonać oceny przydatności produkcyjnej gleby a także stopień jej zasobności w wybrane makroelementy. Na podstawie obecności w glebie grzybów z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium* można wnioskować o poziomie wilgotności i pH gleby. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego dla zależności między występowaniem *Penicillium chrysogenum* a wartością wilgotności i pH gleby wyniosły odpowiednio 0,39 i -0,5. Współczynniki korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego dla zależności między występowaniem *Aspergillus flavus* i *Aspergillus niger* a wartością wilgotności i pH gleby wyniosły odpowiednio -0,71 i 0,31 oraz -0,87 dla zależności między występowaniem *Aspergillus niger* a wartością wilgotności. Dla wariantu III technologii rolnictwa dla zależności między występowaniem *Aspergillus clavatus* a wartością wilgotności gleby współczynnik korelacji wyniósł -0,42, dla zależności między występowaniem *Aspergillus flavus* a wartością wilgotności i pH gleby wyniosły odpowiednio -0,6 i 0,62 oraz dla zależności między występowaniem *Penicillium chrysogenum* a wartością wilgotności i pH gleby wyniosły odpowiednio -0,29 i 0,48. O kwaśnym charakterze gleby świadczy także obecność grzybów z rodzaju *Fusarium*, współczynnik korelacji na poziomie -0,36. Potwierdzają to również współczynniki korelacji przestrzennej.
6. Na zasobność gleby w azot wskazuje obecność bakterii z rodzaju *Bacillus* - współczynnik korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego wyniósł -0,1, współczynniki korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego wyniosły 0,48 – 0,6, a współczynniki korelacji liniowej dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego wyniosły 0,76 – 0,9, promieniowców z rodzaju *Streptomyces* współczynnik korelacji liniowej dla wariantu II technologii rolnictwa precyzyjnego wyniósł 0,6, a dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego współczynniki korelacji wyniosły 0,82 i 0,9 dla poszczególnych gatunków oraz bakterii *A. denitrificans* (współczynnik korelacji równy -0,2), *A. buckelii* (współczynnik korelacji równy 0,63) i *N. alba* (współczynnik korelacji równy -0,19).
7. Gatunkami skorelowanymi z zasobnością gleby w magnez są bakterie z rodzaju *Bacillus* - współczynniki korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego wyniosły -0,61 ÷ -0,66, współczynniki korelacji liniowej dla wariantu

III technologii rolnictwa precyzyjnego wyniosły 0,82 - 0,94 oraz grzybów z rodzajów *Aspergillus* - współczynnik korelacji liniowej dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego wyniósł 0,9 i *Penicillium* - współczynnik korelacji liniowej dla wariantu I technologii rolnictwa precyzyjnego wyniósł -0,67, współczynnik korelacji liniowej dla wariantu III technologii rolnictwa precyzyjnego wyniósł 0,71. Potwierdzają to również współczynniki korelacji przestrzennej.

8. Można wyróżnić mikroorganizmy, których obecność w glebie świadczy o wahaniach kilku parametrów jednocześnie – rodzaj *Aspergillus* (podwyższona wilgotność gleby, niskie pH, podwyższona zawartość magnezu w glebie), rodzaj *Penicillium* (niskie pH i podwyższona zawartość magnezu w glebie) oraz rodzaj *Bacillus* (podwyższona zawartość magnezu w glebie oraz intensywne przemiany azotu w glebie),
9. Zaobserwowano możliwość rozszerzenia czynników decyzyjnych w planowaniu uprawy i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego o identyfikację przestrzenną spektrum drobnoustrojów, która będzie uwzględniała stopień biologizacji gleby i lepsze wykorzystanie jej potencjału produkcyjnego.

Włączenie analiz mikrobiologicznych do listy czynników decyzyjnych w planowaniu uprawy i nawożenia umożliwi lepsze sterowanie jakością gleby uprawnej, co w konsekwencji przełoży bardziej selektywne niż dotychczas stosowanie zabiegów agrotechnicznych i nawożenia roślin, co korzystnie wpłynie na stan środowiska glebowego i przyczyni się do rozwoju technologii rolnictwa precyzyjnego.

## 11 LITERATURA

1. Abigail A, Salyers D, Whitt D. Ziemia: Planeta mikroorganizmów. In: Markiewicz Z, editor. *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość, środowisko*. Warszawa: PWN; 2005. pp. 3-5
2. Acosta-Martinez V., Mikha M.M., Vigil M.F., 2007. Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat-fallow for the Central Great Plains. *Appl. Soil Ecol.*, 37, 41-52
3. Alef K, Nannipieri P. *Methods in soil microbiology and biochemistry*. New York: Academic Press; 1995.
4. Anderson, A. S., & Wellington, E. (2001). The taxonomy of *Streptomyces* and related genera. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 51(3), 797–814. doi:10.1099/00207713-51-3-797
5. Aon M.A., Sarena D.E., Burgos J.L., Cortassa S., 2001. (Micro)biological, chemical and physical properties of soils subjected to conventional or no-till management: an assessment of their quality status. *Soil Til. Res.*, 60, 173-186.
6. Ashfaq M.Y., Da'na D.A., Al-Ghouti M.A. Application of MALDI-TOF MS for identification of environmental bacteria: A review, *Journal of Environmental Management*, Volume 305, 1 March 2022, 114359
7. Augustyniuk-Kram, A. (2012). Rolnictwo ekologiczne a właściwości gleby i jej różnorodność biologiczna. *Stud. Ecol. Bioeth.*, 10, 1, 45–63.
8. Augustynowicz J., Pietkiewicz S., Kalaji M.H., Russel S., Wpływ nawożenia osadem ściekowym na wybrane parametry biologii gleby oraz wydajności aparatu fotosyntetycznego ślazuwca pensylwańskiego (*Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby), *Nauka Przyroda Technologie* 2010, 4, 6, 1-10.
9. Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., Tóth, Z. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 1–7. doi:10.1016/j.agee.2018.05.028
10. Baltz R.H.: Renaissance in antibacterial discovery from actinomycetes. *Curr. Opin. Pharmacol.* 8, 557–563 (2008)
11. Barabasz W., Voříšek K. 2002. Bioróżnorodność mikroorganizmów w środowiskach glebowych. W: *Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach*. Barabasz W. (red.). Wyd. AR Kraków: 22–30.
12. Baranowski A.: Preparat „Efektywne Mikroorganizmy”- próby zastosowania w rolnictwie. *Przegląd hodowlany*, 2004, 4: 26-27
13. Barea J.M., Pozo M.J., Azcon R., Azcon-Aguilar C.: Microbial co-operation in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56, 1761–1778 (2005)
14. Behnke-Borowczyk J., Kwaśna H. 2010. Grzyby glebowe i ich znaczenie. *Sylwan* 154 (12): 846–850
15. Beneduzi, A., Passaglia, L.M.P. (2011). Genetic and Phenotypic Diversity of Plant Growth Promoting Bacilli. In: Maheshwari, D. (eds) *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20332-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20332-9_1)

16. Birkhofer K, Bezemer TM, Bloem J, Bonkowski M, Christensen S, et al. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008;40:2297-2308
17. Bissett A, Richardson AE, Baker G, Thrall PH. Long-term land use effects on soil microbial community structure and function. *Applied Soil Ecology*. 2011;51:66-78
18. Blecharczyk A., Małecka I., Sierpowski J. 2007. Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów uprawy roli na fizyko-chemiczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.* 24(1): 7–13.
19. Bloem J, Hopkins D, Benedetti A. *Microbiological methods for assessing soil quality*. Cambridge: CABI Publishing; 2006.
20. Bobola G., Sztampke M. 2008. Zastosowanie Systemów Informacji przestrzennej. *Inżynieria Rolnicza*, 11 (109), 7-15.
21. Brussaard L., van Faassen H.G. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes B.D. Soane, C. van Ouwerkerk (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production*, Elsevier Science B.V., Amsterdam (1994), pp. 215-235
22. Budyn P. 1993. Badanie wybranych właściwości powierzchniowych bulw ziemniaka z punktu widzenia ich znaczenia w procesie zbioru i obróbki pozbiorowej. *Zesz. Nauk. AR.*, nr. 178.
23. Busari MA, Kukul SS, Kaur A, Bhatt R, Dulazi AA. Conservation tillage impacts on soil, crop and environment. *International Soil and Water Conservation Research*. 2015;3:119-129
24. Buscot F.: What are soils? (in) *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*, red. F. Buscot, S. Varma, Springer-Verlag, Heidelberg, 2005, p. 3–18.
25. Campbell J. 1982. A review of the Cold Problem in potato production. *J. agric. Engng.* p. 373 – 395.
26. Caporali F, Mancinelli R, Campiglia E. Indicators of cropping system diversity in organic and conventional farms in central Italy. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2003;1(1):6772
27. Carbonnelle, E., Mesquita, C., Bille, E., Day, N., Dauphin, B., Beretti, J.L., Ferroni, A., Gutmann, L., Nassif, X., 2011. MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. *Clin. Biochem.* 44, 104–109.
28. Chakrabarty, S. et al. (2022). *Bacillus thuringiensis* Proteins: Structure, Mechanism and Biological Control of Insect Pests. In: Islam, M.T., Rahman, M., Pandey, P. (eds) *Bacilli in Agrobiotechnology. Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_25)
29. Chan K.Y., Barchia I. Soil compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south-eastern Australia *Soil and Tillage Research*, 94 (2007), pp. 75-82
30. Chen, Q.; Xin, Y.; Liu, Z. Long-Term Fertilization with Potassium Modifies Soil Biological Quality in K-Rich Soils. *Agronomy* 2020, 10, 771. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060771>
31. Crecchio C., Curci M., Pellegrino A., Ricciuti P., Tursi N., Ruggiero P., 2007. Soil microbial dynamics and genetic diversity in soil under monoculture wheat grown in different long-term management systems. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 1391-1400.

32. Crookston, K. (2006). A top 10 list of developments and issues impacting crop management and ecology during the past 50 years. *Crop Science*, 46, 2253-2262.
33. Darnhofer, I., Lindenthal, T., Bartel-Kratochvil, R., & Zollitsch, W. (2010). Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 67–81. doi:10.1051/agro/2009011
34. Derpsch R, Friedrich T. Development and current status of no-till adoption in the world. In: 18th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO); June 15-19, 2009; Izmir. Turkey: 2009. pp. 1-13
35. Dincă, L.C.; Grenni, P.; Onet, C.; Onet, A. Fertilization and Soil Microbial Community: A Review. *Appl. Sci.* 2022, 12, 1198. <https://doi.org/10.3390/app12031198>
36. Drążkiewicz M. 1989. Relacje pomiędzy stałą fazą gleby a mikroorganizmami. *Post. Mikrobiol.* 28(2/4): 161–172.
37. Doruchowski G. 2008. Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. *Inżynieria Rolnicza*, 9 (107), 19-31.
38. Drążkiewicz M. 1989. Relacje pomiędzy stałą fazą gleby a mikroorganizmami. *Post. Mikrobiol.* 28(2/4): 161–172.
39. Duda I. i in., 1995. Słownik pojęć towaroznawczych, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków, 71-72.
40. Dumontet S, Cavoski I, Ricciuti P, Mondelli D, Jarrar M, Pasquale V, Crecchio C. Metabolic and genetic patterns of soil microbial communities in response to different amendments under organic farming system. *Geoderma*. 2017;296:79-85
41. Faber A. 1998. System rolnictwa precyzyjnego. I. Mapy plonów. *Fragm. Agron.* Nr 1(57). s. 4-16.
42. Fließbach A., Oberholzer H.R., Gunst L., Mäder P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agric. Ecosys. Environ.* 118, 273-284.
43. Frąc M., Lipiec J., Rutkowska A., Oszust K., Półtorak M. 2011. Właściwości mikrobiologiczne gleby pod uprawą pszenicy ozimej w systemach ekologicznym i konwencjonalnym. *Acta Agrophysica* 18,2:245-254.
44. Frey B, Kremer J, Rüdte A, Sciacca S, Matthies D, Lüscher P (2009) Compaction of forest soils with heavy logging machinery affects soil bacterial community structure. *Eur J Soil Biol* 45:312–320
45. Furtak K., Gajda A.M. 2018. Biochemiczne metody oceny różnorodności funkcjonalnej i strukturalnej mikroorganizmów glebowych. *Post. Mikrobiol.* 57,2:194-202.
46. Furtak K., Gajda A. M. (2018). Activity and Variety of Soil Microorganisms Depending on the Diversity of the Soil Tillage System. *Sustainability of Agroecosystems*. doi:10.5772/intechopen.72966
47. Furtak J., Turska B. Wpływ różnych systemów uprawy soi na rozwój mikroorganizmów i zawartość fenoli w glebie pługowej, *Acta Agrophysica*, 2006, 8(1), 59-68
48. Gajda AM. Microbiological and Biochemical Indices of Quality of Soils under Winter Wheat Grown in Different Tillage Systems. Puławy: Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG; 2015



49. Gajda A.M.: Mikrobiologiczne i biochemiczne wskaźniki jakości gleb pod pszenicą w zależności od systemu uprawy roli. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB, 46, Puławy, 2015.
50. Gajda AM, Czyż EA, Dexter AR. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *International Agrophysics*. 2016;30:165-172
51. Gajda AM, Czyż EA, Stanek-Tarkowska J, Dexter AR, Furtak KM, Grządziel J. Effects of long-term tillage practices on the quality of soil under winter wheat. *Plant Soil Environment*. 2017;63(5):236-242. DOI: 10.17221/223/2017-PSE
52. Gałązka A, Gawryjołek K, Grządziel J, Frąc M, Księżak J. Microbial community diversity and the interaction of soil under maize growth in different cultivation techniques. *Plant Soil Environment*. 2017;63:264-270
53. Gałązka A, Łyszcz M, Abramczyk B, Furtak K, Grządziel J, Czaban J, Pikulicka A. Biodiversity of Soil Environment: Overview of Parameters and Methods in Soil Biodiversity Analyses. Puławy: Monografie i Rozprawy, IUNG; 2016. 100p
54. Gardener BBM (2004) Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* spp. in agricultural systems. *Phytopathol* 94:1252–1258
55. George, Z., Crickmore, N. (2012). *Bacillus thuringiensis* Applications in Agriculture. In: Sansinenea, E. (eds) *Bacillus thuringiensis* Biotechnology. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-3021-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3021-2_2)
56. Girvan MS, Bullimore J, Pretty JN, Osborn AM, Ball AS. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Applied Environmental Microbiology*. 2003;69:1800-7809
57. Gozdowski D., Samborski S., Sioma S. 2007. Wstęp [W:] Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 7-10.
58. Górnik A., Matyka M. 2016. Metody monitoringu wilgotności gleby. *Zagadnienia doradztwa rolniczego* nr 2/2016, 114-126.
59. Górńska E.B., Stępień W., Cunha A., Sierra-Garcia I.N., Szyszkowska K., Gozdowski D., Gworek B., Sas-Paszt L., Lisek A., Hewelke E., Prędecka A., Olejniczak I., Trzciniński P., Baczewska-Dąbrowska A.H., Microbial diversity as an indicator of a diversified cropping system for luvisols in a moderate climate. Case study – Long term experiments from Poland, *Ecological Indicators*, Volume 141, 2022, 109-133, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109133>.
60. Greń J. 1982. *Statystyka matematyczna modele i zadania*. PWN, Warszawa
61. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Warszawa: Arkady, 1976, s. 27-28.
62. Hopwood D.A.: *Streptomyces in Nature and Medicine. The Antibiotic Makers*. Oxford University Press, New York 2007, s. 8–23.
63. Horn R., van den Akker J.J.H., Arvidson J. (Eds.), *Subsoil Compaction–Distribution, Processes and Consequences*. *Advances in GeoEcology* 32, Catena Verlag, Reiskirchen (2000) 462 pp
64. Jabłońska, B. Optimization of Ni(II), Pb(II), and Zn(II) Ion Adsorption Conditions on Pliocene Clays from Post-Mining Waste. *Minerals* 2021, 11, 568. <https://doi.org/10.3390/min11060568>

65. Jabłońska, B., Drózd, T., Jabłoński, P., & Kiełbasa, P. (2022). Removal of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) Ions from Groundwater by Nonthermal Plasma. *Materials*, 15, 1–23. <https://doi.org/10.3390/ma15155426>
66. Jankowska M., Swedrzyńska D.: Analiza oddziaływań wybranych drobnoustrojów w środowisku glebowym. *Kosmos*, 1, 49–55 (2016)
67. Jauri, P.V., Altier, N., Kinkel, L.L. (2016). *Streptomyces for Sustainability*. In: Castro-Sowinski, S. (eds) *Microbial Models: From Environmental to Industrial Sustainability*. *Microorganisms for Sustainability*, vol 1. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6_12)
68. Johns C. 2017. Living Soils: The Role of Microorganisms in Soil Health. *Future Directions International* 2017, p. 1-7
69. Joniec J., Furczak J., Liczebność wybranych grup drobnoustrojów w glebie bielkowej pod uprawą wierzby użyźnionej osadem ściekowym w drugim roku jego działania, *Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska* 2007, 62, 1, 93-104
70. Kheyrodin H, Ghazvinian K, Taherian M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. *African Journal of Biotechnology*. 2012;11(81):14652-14659. DOI: 10.5897/AJB09.1335
71. Kiełbasa P., Zagórda M., Jabłoński P., Koronczok J. Porównanie zróżnicowania przewodności elektrycznej gleby wykonanej urządzeniem Topsoil Mapper i jej charakterystyk penetrometrycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 96 NR 1/2020, 146-150
72. Kiełbasa P., Pikul K., Kurpaska S., Ostafin M., Zagórda M. Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień eliminacji mikroorganizmów w wierzchniej warstwie gleby, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 12/2017, 107-110
73. Klavivko EJ. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*. 2001;61:61-76
74. Kloepper J.W., Zablotowick R.M., Tipping E.M., Lifshitz R.: Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizers (in) *The rhizosphere and plant growth*, eds. D.L. Keister, P.B. Cregan, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991, p. 315–326
75. Kloepper J.W.: Plant growth-promoting rhizobacteria (other systems) (in) *Azospirillum/plant associations*, ed. Y. Okon, CRC Press, Boca Raton, 1994, p. 111–118
76. Kołzwan B., Adamiak W., Grabas K., Pawełczyk A.. 2005. *Mikrobiologia gleby*. [W:] *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*. Oficyna wydawnicza Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 1-10.
77. Kosakowski K., Grzelak M., Kosakowski A. 2013. Wpływ zastosowania preparatów probiotycznych na zdrowotność, jakość oraz plon wybranych roślin. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2013, Vol. 58(3), 261- 266.
78. Krupa A. 2010. Mikoryzy i ich wielofunkcyjna rola w środowisku. *Chemistry, Environment, Biotechnology*, XIV,175-182.
79. Kuffner M, Pinar G, Hace K, Handschur M, Haslberger AG. DGGE-fingerprinting of arable soils shows differences in microbial community structure of conventional and organic farming systems. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2004;2:259-267

80. Kunicki- Goldfinger W.J.H. 1998. Bakterie w biosferze. [W:] Życie bakterii. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 405-411.
81. Kurcek A. 2011. Mikoryza. Protokół dostępu: <http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/mikoryza> (04.08.2019)
82. Kusz A., Marciniak A.W. 2009. Niepewność w reprezentacji zjawisk przestrzennych. Inżynieria Rolnicza. Nr. 5(114), s. 147-154.
83. Kwaśna H. 2007a. Znaczenie drobnoustrojów. [W:] Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań, 13.
84. Kwaśna H. 2007b. Glebotwórcza i geologiczna rola mikroorganizmów. [W:] Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań, 13.
85. Kwaśna H. 2007c. Wpływ człowieka na procesy mikrobiologiczne w glebie. [W:] Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań, 200-207.
86. Kwaśna H. 2007d. Metabolizm gleby, rozkład celulozy. Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Poznań, 2007. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, ISBN 978-83-7160-444-7, str. 241-242
87. Kwaśna H. 2007e. Metabolizm gleby, przemiany azotu. Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Poznań, 2007. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, ISBN 978-83-7160-444-7, str. 244-258
88. Kwaśna H. 2007f. Metabolizm gleby, przemiany fosforu. Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Poznań, 2007. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, ISBN 978-83-7160-444-7, str. 264-265
89. Kwaśna H. 2007g. Metabolizm gleby, przemiany potasu. Mikrobiologia dla studentów uczelni rolniczych. Poznań, 2007. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, ISBN 978-83-7160-444-7, str. 266-267
90. Larink O., Werner D., Langmaack M., Schrader S. Regeneration of compacted soil aggregates by earthworm activity *Biology and Fertility of Soils*, 33 (2001), pp. 395-401
91. Lemaire G, Franzluebbers A, Carvalho PC, Dedieu B. Integrated crop-livestock system: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 2014;190:4-8
92. Lenart S, Sławiński P. Wybrane właściwości gleby oraz występowanie dżdżownic w warunkach siewu bezpośredniego i płużnej uprawy roli. *Fragmenta Agronomica*. 2010; 27(4):86-93
93. Lenart-Boroń A., Banach T. 2014. Promieniowce glebowe z rodzaju *Streptomyces* w środowisku zanieczyszczonym metalami ciężkimi. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych*, 63,1(302),87-93.
94. Lindblom, J., Lundström, C., Ljung, M. et al. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. *Precision Agric* 18, 309–331 (2017) <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9491-4>
95. Loc N.T., Greinert H., Wpływ osadu ściekowego na mikroflorę gleby oraz wzrost i skład chemiczny grochu siewnego (*Pisum sativum* L.), *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura* 2000, 83, 119-124.

96. Luo, G.; Friman, V.-P.; Chen, H.; Liu, M.; Wang, M.; Guo, S.; Ling, N.; Shen, Q. Long-term fertilization regimes drive the abundance and composition of N-cycling-related prokaryotic groups via soil particle-size differentiation. *Soil Biol. Biochem.* 2018, 116, 213–223
97. Mahajan GR, Manjunath BL, Singh NP, Ramesh R, Verma RR, Latore AM, et al. Effect of organic and inorganic sources of nutrients on soil microbial activity and soil organic carbon build-up under rice in west coast of India. *Archives of Agronomy and Soil Science.* 2016;63(3):414-426. DOI: 10.1080/03650340.2016.1213813
98. Malicki J. 1980. Fizyczne właściwości gleb a ich mikrobiologiczna analiza. *Post. Nauk Rol.* 3: 45–67
99. Małecka I, Blecharczyk A., Dobrzeński T. 2007. Zmiany fizycznych i chemicznych właściwości gleby w wyniku stosowania uproszczeń w uprawie roli. *Fragm. Agron.* 24(1): 182–189.
100. Małecka, I., Swędryńska, D., Blecharczyk, A., Dytman-Hagedorn, M. (2012). Wpływ systemów uprawy roli pod groch na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. *Fragm. Agron.*, 29, 4, 106–116.
101. Marczuk A., Kamiński J.R., Viselga G., Turla V., Jasinskas A., Ugenkoe E. Soil compaction with wheels of manure spreader aggregates, *Transport*, 2022, 36(6), pp. 463–473
102. Marks M. 1986. Wpływ wybranych czynników na powstanie mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka. *Zesz. Nauk. AR Kraków nr. 108, Mech. I Energ. Roln. Z.3.*
103. Marks M., Buczyński G. 2002: Degradacja gleb spowodowana mechanizacją prac polowych oraz sposoby i możliwości jej zapobiegania. *Post. Nauk Rol.*, 4, 27-39.
104. Martinez-Selgado MM, Gutierrez-Romero V, Janssens M, Ortega-Blu R. Biological soil quality indicators: A review. In: Mendez-Vilas A, editor. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. Microbiology Series N 2.* 1st ed. Badajoz: Formatex Research Center; 2010. pp. 319-328
105. Martyniuk S. 2010. Wytwarzanie preparatów mikrobiologicznych na przykładzie bakterii symbiotycznych roślin motylkowatych. *J. Res. Aplicat. Agricult. Engineer.* 55, 20–23.
106. Martyniuk S. 2014. Czy rolnictwo konwencjonalne (intensywne) szkodzi mikroorganizmom? *Polish Journal of Agronomy*, 17,25-29.
107. Marytniuk S., Księżniak A., Jończyk K., Kuś J., 2007. Charakterystyka mikrobiologiczna gleby pod pszenicą ozimą uprawianą w systemie ekologicznym i konwencjonalnym. *J. Res. Appl. Agricult. Engineer.*, 52, 113-116
108. Martyniuk S, Stachyra A, Wróblewska B, Zięba S. Związki pomiędzy mikrobiologicznymi i enzymatycznymi właściwościami gleby a plonami ziemniaków. W: *Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie.* Barabasz W, redaktor. Kraków: Akademia Rolnicza w Krakowie; 1997;439-447.
109. Marquard VT, Roscher C, Schumacher J, Buchmann N, et al. Plant species richness and functional composition drive over yielding in a 6-year grassland experiment. *Ecology.* 2009;90:3290-3302
110. Mina B.L., Supradipa S., Narendraa K., Srivastva A.K., Gupta H.S., 2008. Changes in soil nutrient content and enzymatic activity under conventional and zero-

- tillage practices in an Indian sandy clay loam soil. *Nutr. Cycl. Agroecos.*, 82,3, 273-281.
111. Mukherjee, S., Pandey, V., Parvez, A., Qi, X., Hussain, T. (2022). *Bacillus* as a Versatile Tool for Crop Improvement and Agro-Industry. In: Islam, M.T., Rahman, M., Pandey, P. (eds) *Bacilli in Agrobiotechnology. Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_19)
  112. Mulla D.J. 2012. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114, 358-371.
  113. Murphy W.M., Mena Barreto A.D., Silman J.P., Dindal D.L. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in a smooth-stalked meadowgrass-dominant white clover sward *Grass and Forage Science*, 50 (1995), pp. 191-194
  114. Myśków W. 1987. Wpływ głębokiej uprawy i zmianowania roślin na właściwości biologiczne gleby. *Pam. Puł.* 90: 7–23.
  115. Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996. Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Roczniki gleboznawcze*, 47,1, 89-99.
  116. Namysłowska- Wilczyńska B. 2006. *Geostatystyka, Teoria i zastosowanie*. Politechnika Wroclawska. Wrocław. ISBN 83-7085-928-3.
  117. Nannipieri P., Ascher J. Ceccherini M.T.; Landi L., Pietramellara G., Renella G.: Microbial diversity and soil function. *Eur. J. Soil Sci.* 54, 655–670 (2003).
  118. Napora A., Grobelak A. 2014. Wpływ osadów ściekowych na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17,4, 619-630.
  119. Natywa M, Sawicka A, Wolna-Maruwka A. Microbial and enzymatic activity in the soil under maize crop in relation to differentiated nitrogen fertilisation. *Water-EnvironmentRural Areas*. 2010;2(30):111-120
  120. Nayak S., Samant S., Mukherjee K. Beneficial Role of *Aspergillus* sp. in Agricultural Soil and Environment. 2020 *Frontiers in Soil and Environmental Microbiology*, 17-35
  121. Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–9. doi:10.1155/2019/5794869
  122. Olenderek H., Będkowski K. 2004. *Systemy Informacji Przestrzennej w kształtowaniu środowiska przestrzeni wiejskiej*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
  123. Ozgoz E, Gunal H, Acir N, Gokmen F, Birol M, Budak M. Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a Typic Haplustoll. *Land Degradation & Development*. 2013;24:277-286. DOI: 10.1002/ldr.1126
  124. Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. Soil structure and the effect of management practices *Soil and Tillage Research*, 79 (2004), pp. 131-143
  125. Palmer KM, Young JPW. Higher diversity of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* populations in arable soils than in grass soils. *Applied Environmental Microbiology*. 2000;66:2445-2450
  126. Pawluczuk Z. 1998. Wpływ uwilgotnienia i temperatury na enzymatyczną aktywność gleb. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz* 145, Rol. 25: 19–30



127. Pierce F.J., Nowak P. 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances of Agronomy*, 67, 1-85.
128. Piotrowska M., Kusewicz D. 2010. Mikroflora gleby [W:] *Mikrobiologia techniczna tom 1, Mikroorganizmy i środowiska ich występowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 191-202.
129. Plante A.F. Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. [W:] E.A. Paul. Elsevier, USA 2007, 391 - 400
130. Pocijowska, M., Natywa, M., Majchrzak, L., Cłapa, T., Selwet, M. (2013). Wpływ sposobu przygotowania stanowiska pod pszenicę jara na liczebność mikroorganizmów i aktywność biochemiczną gleby. *Pol. J. Agron.*, 15, 21–26.
131. Popovic, N.T., Kazazic, S.P., Strunjak-Perovic, I., Coz-Rakovac, R., 2017. Differentiation of environmental aquatic bacterial isolates by MALDI-TOF MS. *Environ. Res.* 152, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.020>.
132. Pupin B, Freddi O, Nahas E (2009) Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. *Rev Bras Cienc Solo* 33:1207–1213
133. Richard G., Cousin I., Sillon J.F., Bruand A., Guérif J. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties *European Journal of Soil Science*, 52 (2001), pp. 49-58
134. Rutkowski K., Kollárová K., Krajčo J., Plačko M. Ocena zmienności przestrzennej wilgotności gleby na podstawie map konduktywności elektrycznej. Część II, *Inżynieria Rolnicza* 8(96)/2007, 225 – 232
135. Sala-Comorera L., Caudet-Segarra L., Galofre B., Lucena F., Blanch A.R., García-Aljaro C. Unravelling the composition of tap and mineral water microbiota: divergences between next-generation sequencing techniques and culture-based methods *Int. J. Food Microbiol.*, 334 (2020), p. 108850, [10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108850](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108850)
136. Santos I.C., Hildenbrand Z., Schug K.A. 2016. Applications of MALDI-TOF MS in environmental microbiology. *Royal Society of Chemistry*, 141(10): 2827-2837.
137. Sas-Paszt L., Malusa E., Sumorok B., Canfora L., Derkowska E., Głuszek S. 2015: The influence of bioproducts on mycorrhizal occurrence and diversity in the rhizosphere of strawberry plants under controlled conditions. *Advances in Microbiology*, nr 5, s. 40-53. DOI: 10.4236/aim.2015.51005
138. Sas-Paszt L., Sumorok B., Derkowska E., Trzcinski P., Lisek A., Grzyb S.Z., Sitarek M., Przybył M., Frac M. 2019: Effect of microbiologically enriched fertilizers on the vegetative growth of strawberry plants under field conditions in the first year of plantation. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, nr 64, s. 29-37
139. Schäffer B., Stauber M., Mueller T.L., Müller R., Schulin R. Soil and macropores under uniaxial compression. I. Mechanical stability of repacked soil and deformation of different types of macro-pores *Geoderma*, 146 (2008), pp. 183-191
140. Schäffer B., Stauber M., Mueller T.L., Müller R., Schulin R. Soil and macropores under uniaxial compression. II. Morphometric analysis of macro-pore stability in undisturbed and repacked soil *Geoderma*, 146 (2008), pp. 175-182

141. Scherer-Lorenzen M., Palmborg C., Prinz A., Schulze E.D.: The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands. *Ecology*, 84, 6, 1539–1552 (2003).
142. Schrey S.D., Tarkka M.T.: Friends and foes: streptomycetes as modulators of plant disease and symbiosis. *Antonie van Leeuwenhoek*, 94, 11–19 (2008).
143. Scinner F, Öhlinger R, Kandeler E, Margesin R. *Methods in soil biology*. New York: Berlin: Springer Verlag; 1995.
144. Silva, S. M. A., Lancellotti, C. L., & Eltz, F. L. F. (2017). Soil compaction and microbial activity: a review. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 727-737
145. Singh M. Organic Farming for Sustainable Agriculture *Indian Journal of Organic Farming* Volume 1 Issue 1 2021,p. 1-9.
146. Šimek, M.; Hopkins, D.W.; Kalčík, J.; Pícek, T.; Šantrůčková, H.; Staňa, J.; Trávník, K. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biol. Fertil. Soils* 1999, 29, 300–308.
147. Singh, B. Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? *Agronomy* 2018, 8, 48. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040048>
148. Singh J.S., Pandey V.C., Singh D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 339-353.
149. Singh K, Mishra AK, Singh B, Singh RP, Patra DD. Tillage effects on crop yield and physicochemical properties of sodic soils. *Land Degradation & Development*. 2016;27(2): 223-230. DOI: 10.1002/ldr.2266
150. Sipilä TP, Yrjälä K, Alakukku L, Palojärvi A. Cross-site soil microbial communities under tillage regimes: Fungistasis and microbial biomarkers. *Applied and Environmental Microbiology*. 2012;78(23):8191-8201
151. Smyk B., Czachor M., Awiz N.H. 1989. Występowanie grzybów toksynotwórczych w glebach i ich wpływ na produktywność biologiczną agrosystemów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 380: 143–150
152. Sobczyk M. 1996. *Statystyka*. PWN. Warszawa
153. Soane B.D., van Ouwerkerk C. (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production*, Elsevier Science B.V., Amsterdam (1994) 684 pp
154. Solecka J. Ziemska J., Rajnisz A., Laskowska A., Guśpiel A. 2013. Promieniowce – występowanie i wytwarzanie związków biologicznie czynnych. *Post. Mikrobiol.*, 52,1,83-91.
155. Srinivasan, R., Prabhu, G., Prasad, M., Mishra, M., Chaudhary, M., & Srivastava, R. (2020). *Penicillium*. Beneficial Microbes in Agro-Ecology, 651–667. doi:10.1016/b978-0-12-823414-3.00032-0
156. Starościak B.J., Stefańska J., Betlejeska K., Laudy A.E., Filipek J., Kurzątkowski W., Solecka J., Rozbicka B.: Wybrane Zagadnienia z Mikrobiologii Farmaceutycznej. Zeszyt 2. Promieniowce. Akademia Medyczna w Warszawie 1998
157. Stępień M., Pudełko R. 2018. Zmienność pól jako podstawa zastosowania rolnictwa precyzyjnego w produkcji roślinnej. [W:] *Rolnictwo precyzyjne*. Red. Sambor S. PWN, Warszawa, 21-59.

158. Stępień M., Sambor S. 2018. Ocena właściwości gleby na potrzeby rolnictwa precyzyjnego. [W:] Rolnictwo precyzyjne. Red. Sambor S. PWN, Warszawa, 191-228.
159. Tabatabai M.A., Dick W.A.: Enzymes in soil: Research and developments in measuring activities (w) Enzymes in the Environment, red. R.G. Bums, R.P. Dick, Marcel Dekker, New York, 2002, 21, s. 567–996.
160. Tan X, Chang S (2007) Soil compaction and forest litter amendment affect carbon and net nitrogen mineralization in a boreal forest soil. *Soil Till Res* 93:77–86
161. Tan X, Chang S, Kabzems R (2008) Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. *Biol Fert Soils* 44:471–479
162. Techen, A.-K., Helming, K., Brüggemann, N., Veldkamp, E., Reinhold-Hurek, B., Lorenz, M., Vogel, H.-J. (2020). *Soil research challenges in response to emerging agricultural soil management practices. Advances in Agronomy*, 179–240. doi:10.1016/bs.agron.2020.01.002.
163. Tintor B, Milošević N, Vasin J. Microbiological properties of chernozem of southern Backa (Serbia) according to different methods of land use. *Field and Vegetable Crop Research*. 2009;46:189-198
164. Tomkowiak, A., Starzyk, J., Kosicka-Dziechciarek, D., Karwatka, K. (2017). Wpływ systemów uprawy roli na stan mikrobiologiczny gleby. *Nauka Przyr. Technol.*, 11, 4, 355–364.
165. Torsvik, V., Ovreas, L., and Thingstad, T.F. 2002. Prokaryotic diversity--magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science* 296, 1064–1066.
166. Tran Ba L, Le Van K, Van Elsacker S, Cornelis W. Effect of cropping system on physical properties of clay soil under intensive rice cultivation. *Land Degradation and Development*. 2016;27:973-982
167. Uziak S., Klimowicz Z. 2002 Pierwiastki chemiczne gleb. *Elementy geografii gleb i gleboznastwa*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, 117-122
168. Wagg C., Bender S.F., Widmerc F., van der Heijdena M.G.A.: Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 111, 14, 5266–5270 (2014).
169. Walczykowa M., Zagórda M., Aboud Z. 2005. Zmienność przestrzenna gleby w aspekcie jej wybranych właściwości fizycznych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10(70). s. 375-384.
170. Walczykowa M., Kielbasa P., Zagórda M. 2016. Pozyskiwanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, 9-10, 15, 17, 18, 46.
171. Walewski W. i in. 1995. *Słownik towaroznawczy*, tom IV, Polskie Wydawnictwa Gospodarcze, Warszawa, s. 947.
172. Wang, Z., Hassan, M. U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F., & Li, X. (2020). Magnesium Fertilization Improves Crop Yield in Most Production Systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi:10.3389/fpls.2019.01727
173. Weber K.P., Legge R.L.: Community-level physiological profiling. *Methods Mol Biol*. 599, 263–281 (2010).

174. Werner D., Werner B. Verdichtung und Regeneration des Gefüges eines schluffigen Tonbodens (Tschernosem): Bodenphysikalische, computertomographische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164 (2001), pp. 79-90
175. Weyman-Kaczmarkowa W., Pędziwilk Z. 1996: Wilgotność środowiska i występowanie promieniowców i ich form fungistycznych w glebach o odmiennej teksturze. *Acta Microbiologica Polonica.*, 45(3/4), 85-90.
176. Whalley W.R., Dumitru E., Dexter A.R. Biological effects of soil compaction *Soil and Tillage Research*, 35 (1995), pp. 53-68
177. Wiermann C., Way T.R., Horn R., Bailey A.C., Burt E.C. Effect of various dynamic loads on stress and strain behaviour of a Norfolk sandy loam *Soil and Tillage Research*, 50 (1999), pp. 127-135
178. Wieser, A., Schneider, L., Jung, J., & Schubert, S. (2011). *MALDI-TOF MS in microbiological diagnostics—identification of microorganisms and beyond (mini review)*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(3), 965–974. doi:10.1007/s00253-011-3783-4
179. Włodek S., Biskupski A., Pabin J., Kaus A. 2007. Plonowanie zbóż i właściwości fizyczne gleby w różnych systemach uprawy roli. *Fragm. Agron.* 24(1): 262–268
180. Wolińska A, Górniak D, Zielenkiewicz U, Goryluk-Salmonowicz A, Kuźniar A, Stępniewska Z, Błaszczuk M. Microbial biodiversity in arable soils is affected by agricultural practices. *International Agrophysics.* 2017;31:259-271. DOI: 10.1515/intag-2016-0040
181. Wolińska A, Szafranek-Nakonieczna A, Banach A, Błaszczuk M, Stępniewska Z. The impact of agricultural soil usage on activity and abundance of ammonifying bacteria in selected soils from Poland. *SpringerPlus.* 2016a;5:565-578. DOI: 10.1186/s40064-016-2264-8
182. Wolińska A, Szafranek-Nakonieczna A, Zielenkiewicz U, Tomczyk-Żak K, Banach A, Błaszczuk M, Stępniewska Z. Quantified characterization of soil biological activity under crop cultivation. *Journal of Advances in Biology.* 2016b;8(3):1655-1665
183. Woźniak M., Gałązka A. 2019. The rhizosphere microbiome and its beneficial effects on plants – current knowledge and perspectives. *Post. Mikrobiol.* 58,1,59-69.
184. Vetanovetz R., Peterson J. 1992. Effect of carbon source and nitrogen on urease activity in a sphagnum peat medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 379–388.
185. Voroney R.P. The soil habitat. [W:] *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry.* Elsevier, Oxford, 2007, 25.
186. Yu, X., Keitel, C., & Dijkstra, F. A. (2021). Global analysis of phosphorus fertilizer use efficiency in cereal crops. *Global Food Security*, 29, 100545. doi:10.1016/j.gfs.2021.100545
187. Zawadzki J. 2005. Wykorzystanie metod geostatystycznych w badaniach środowiska. *Prace naukowe Inżynieria środowiska, Z.* 49, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s.47.
188. Zagórda M., Drózd T., Miernik A., Popardowski E., Trzyniec K., Nawara P., Juliszewski T., Kovalyshyn O., Oblicki M. Analiza przestrzennego zróżnicowania

- przewodności elektrycznej gleby w zależności od warunków mikroklimatycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 96 NR 1/2020a, 202 – 205
189. Zagórda M., Kurpaska S., Drózd T., Kiełbasa P., Žitňák M. Identyfikacja zróżnicowania struktury reologicznej gruntu na podstawie map przewodności elektrycznej, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 96 NR 2/2020b, 67 – 70
190. Zdera J. 2022. Znaczenie Atomowej Spektroskopii Absorpcyjnej w mineralogii i geochemii. Protokół dostępu: <http://laboratoria.net/artukul/17407.html> (04.05.2022)
191. Zhang QC, Shamsi IH, Xu DT, Wang GH, Lin XY, Jilani G, Hussain N, Chaudhry AN. Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure. *Applied Soil Ecology*. 2012;57:1-8
192. Zhang N., Wang M., Wang N. 2002. Precision agriculture- a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 36, 113-132

Akty normatywne:

1. BN-78/9180-11 Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne
2. PN-ISO 10381-6:1998 Jakość gleby. Pobieranie próbek. Zasady dotyczące pobierania, postępowania z próbkami i przechowywania próbek gleby przeznaczonych do badania tlenowych (aerobowych) procesów mikrobiologicznych w warunkach laboratoryjnych
3. PN-ISO 10390:1997 Jakość gleby. Oznaczanie pH
4. PN-R-04023:1996 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych
5. PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby, pobieranie próbek i oznaczanie zawartości jonów azotowych i amonowych w glebach mineralnych.
6. PN-R-04022:1996+Az1:2002 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych
7. PN-R-04020:1994+Az1:2004 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu