



**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY  
ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**mgr inż. Małgorzata Moskal**

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

**OCENA ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW W UKŁADZIE GLEBA –  
ROŚLINA W WIELOLETNIM DOŚWIADCZENIU NAWOZOWYM**

*Assessment of the content of elements in a long-term static experiment  
in the soil-plant system*

**DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE**

**DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

**PROMOTOR PRACY: DR HAB. INŻ. TOMASZ KNAPOWSKI, PROF. PBŚ**

**Bydgoszcz, 2024**

**Słowa kluczowe:** wieloletnie doświadczenie statyczne, obornik, nawożenie mineralne, skład chemiczny gleby, skład chemiczny roślin

**Keywords:** long-term static experiment, manure, mineral fertilisation, soil chemical composition, plant chemical composition

## WSTĘP

Pierwsze teorie i początki doświadczeń rolniczych zapoczątkowane zostały w XVII wieku. Wtedy to rolnictwo zaczęło bazować na podstawach naukowych, pojawili się pierwsi badacze-eksperymentatorzy, próbujący odpowiadać na zagadnienia związane z tą dziedziną. Z kolei rozwój rolniczych stacji doświadczalnych, i jak się później okazało, wieloletnich eksperymentów polowych związany był z ukazaniem się w XIX wieku dzieła Liebiga pt. *Chemia w zastosowaniu do rolnictwa i fizjologii*, przedstawiającego podstawy naukowe odżywiania roślin (teoria mineralnego odżywiania roślin). Poza tym wpływ na powyższe mieli producenci-rolnicy, domagając się odpowiedzi na liczne, nurtujące ich kwestie związane ze stosowaniem nawożenia w uprawie roślin [Antonkiewicz i Łabętowicz, 2016; Łabętowicz, 2020, Viet, 2023].

Wieloletnie statyczne doświadczenia nawozowe stanowią cenne źródło wiedzy rolniczej. Ponadto są punktem wyjścia do wnioskowania na temat zmian zachodzących na skutek oddziaływania różnorodnych czynników [Blecharczyk i in., 2018, Thomas i in., 2019, Viet, 2023]. Mają one również olbrzymią wartość naukową i poznawczą. Jak podają Jaskulska i Urbanowski [2018], dają pełen obraz oddziaływania wielu sposobów nawożenia na poziom plonowania i jakość uprawianych gatunków. Dzięki nim możliwym stało się określenie wieloletnich zmian właściwości fizykochemicznych gleby decydujących o jej żyzności pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych [Jaskulska i Urbanowski, 2018, Bhatt i in., 2019, Liu i in. 2021]. Z omawianymi eksperymentami wiąże się wiele celów, które tłumaczą konieczność ich prowadzenia [Kopeć i Gonddek, 2016, Thomas i in., 2019]. Dzięki nim możliwe jest poznanie wzajemnych korelacji pomiędzy oznaczanymi parametrami gleby jak i uprawianej na niej roślinami [Kopeć i Gonddek, 2016; Blecharczyk i in., 2018; Marks i in., 2018, Bhatt i in., 2019, Liu i in., 2021, Viet, 2023, Bečka i in., 2024]. Problematyka ta poruszana jest w niewielu pracach naukowych, które wymagają dalszej kontynuacji powyższych badań. Według Jaskulskiej i Urbanowskiego [2018], poznanie kierunku zmian w glebie jest niezbędne, by wprowadzić zasady zrównoważonego rolnictwa. Aktualnie na świecie prowadzonych jest ponad 600 wieloletnich doświadczeń nawozowych [Marks i in., 2018].

Stosowanie nawozów i zmianowanie są kluczowymi zabiegami agrotechnicznymi [Jaskulska i Urbanowski, 2018, Bečka i in., 2024]. Intensywna uprawa roślin w połączeniu z uproszczonym zmianowaniem, a co za tym idzie przewagą zbóż w warunkach gleb lekkich, powoduje obniżenie zawartości próchnicy, która ma istotne znaczenie w utrzymaniu jej żyzności, struktury i wilgotności. Bardzo wartościowe źródło materii organicznej stanowią nawozy naturalne, spośród których najcenniejszym jest obornik [Bhatt i in., 2019, Terzić i in., 2019, Viet, 2023]. Zasady aplikacji, zarówno nawozów mineralnych jak i naturalnych oraz organicznych, są szczegółowo opisane w ustawie o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku. Ma to bezpośrednie przełożenie na opłacalność produkcji. Wieloletnie doświadczenia nawozowe dają też podstawy do rozważań na temat bezpieczeństwa żywności [Johnston i Poulton, 2018, Terzić i in., 2019].

Składniki mineralne są niezbędne dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. Jednak ich nadmiar w środowisku jest zjawiskiem niepożądanym. W wyniku intensywnych opadów deszczu w połączeniu z dawkami nawozów, dochodzić może do zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych. Przemiany azotu w glebie powodują powstawanie azotanów (V) i azotanów (III), które obok siarki, ołowiu i kadmu uważane są za najbardziej szkodliwe związki dla agrosystemu.

Jak podają Kuziemska i in. [2017], stosunkowo dużym zagrożeniem dla bezpieczeństwa ekologicznego i zdrowia ludzi jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego metalami ciężkimi. Ich cechą wspólną, przy dużych stężeniach, jest toksyczność dla biotycznych elementów środowiska. Wśród metali ciężkich należy wymienić, m.in., kadm, ołów, nikiel i chrom. O ich zawartości w środowisku decydują źródła naturalne, ale znacznie większy wpływ ma antropopresja (np. transport, nawożenie).

Wielu autorów [Szulc i in., 2007, Rutkowska i in., 2015, Blecharczyk i in. 2018, Johnston i Poulton, 2018, Marks i in., 2018, Stępień i in., 2018, Bhatt i in., 2019, Stępień i Kobiałka, 2019, Liu i in. 2021] jest zdania, że wszystkie zagadnienia związane ze statycznymi doświadczeniami nawozowymi nie zostały jeszcze do końca poznane. Podkreślić należy, że firmy wytwarzają i oferują coraz więcej nowych, bardziej ekologicznych preparatów stymulujących czy nowoczesnych nawozów. Są nimi, m. in., takie produkty jak: AzotoPower, Novobakt AzoFosfo czy Multi N, które posiadają zdolność wiązania azotu atmosferycznego, znacznie zwiększają przyswajalność fosforu poprzez rozpuszczanie związków wcześniej zablokowanych czy zawierają stymulatory wzrostu. W związku z powyższym

istnieje konieczność ciągłej kontynuacji tego typu doświadczeń w celu określenia ich długofalowego wpływu na uprawiane rośliny, w kontekście uzyskiwanego efektu plonotwórczego i jakości zebranego plonu, oraz na właściwości fizykochemiczne gleb, które determinują ich żyzność. Poza tym doświadczenia takie były i nadal będą podstawą, poprzez wieloletnią obiektywną ocenę stosowanych praktyk agronomicznych w wielu krajach świata, do modelowania technologii rolniczych opierających się na zrównoważonym rolnictwie [Berti i in., 2016, Johnston i Poulton, 2018, Bhatt i in., 2019, Łabętowicz i Niedziński, 2020, Liu i in. 2021]. Zatem, nie budzi wątpliwości fakt, że prowadzenie dalszych wieloletnich nawozowych doświadczeń statycznych jest uzasadnione.

## **HIPOTEZA I CEL BADAŃ**

### **Hipoteza badawcza**

Hipoteza badawcza zakładała, że stosowane systematycznie przez 44 lata, nawożenie obornikiem, mineralne - NPK oraz łączne (obornik + NPK) mogą korzystnie lub negatywnie oddziaływać i kształtować podstawowy skład mineralny gleby, a tym samym wpływać na wielkość plonu i determinować jego jakość, w tym skład chemiczny (pierwiastkowy). Zakładała również, że może decydować o zawartości metali ciężkich w glebie, a tym samym w plonie głównym testowanych roślin i negatywnie determinować przydatność uzyskanego surowca roślinnego w kontekście bezpieczeństwa dla przemysłu rolno-spożywczego.

### **Cel główny pracy i cele szczegółowe**

Głównym celem badań było oszacowanie zmian wartości wybranych parametrów gleby i wskaźników jakościowych plonu głównego badanych roślin uprawnych w 11. rotacji zmianowania, pod wpływem nakładającego się nieprzerwanie od 44. lat nawożenia (obornik, nawożenie mineralne NPK, obornik+NPK).

Na podstawie celu głównego sformułowano następujące cele szczegółowe:

- określenie zmian wartości wskaźników zakwaszenia gleby pod wpływem wieloletniego nakładającego się nawożenia,
- oszacowanie wpływu długotrwałego, nakładającego się nawożenia, szczególnie obornika, na zawartości N-ogółem i C-organicznego w glebie,
- określenie zmian w zawartości makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich w glebie pod wpływem badanego nawożenia,
- ustalenie, który z aplikowanych rodzajów nawożenia będzie decydował/świadczą o uzyskaniu największego efektu plonotwórczego plonu głównego roślin uprawianych w zmianowaniu,
- oszacowanie zmian w zawartości wybranych makro- i mikropierwiastków (N, P, K, Mg, Cu, Zn, Mn i Fe) oraz zawartości Pb, Cd, Cr i Ni w plonie głównym roślin uprawianych w zmianowaniu (ziemiak, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima).

## **MATERIAŁY I METODY BADAŃ**

### **Charakterystyka wieloletniego doświadczenia nawozowego**

Wieloletnie doświadczenie nawozowe zlokalizowane zostało w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej (poprzednio Wydziału Rolniczego Akademii Techniczno-Rolniczej) w Wierzchucinku (gmina Sicienko). Założył je w 1973 roku Pan prof. dr hab. inż. Wojciech Cwojdzński.

### **Lokalizacja doświadczenia i warunki glebowe**

Stacja Badawcza w Wierzchucinku, na terenie której prowadzone było doświadczenie, oddalona jest od Bydgoszczy około 28 kilometrów w kierunku północno-zachodnim. Doświadczenie zlokalizowano na działce numer 57/20, obręb ewidencyjny 0021, gmina Sicienko, powiat bydgoski.

Wyżej wymieniony obiekt stanowił główne miejsce eksperymentów polowych prowadzonych przez pracowników Pracowni Chemii Rolnej. Teren ten wchodzi w skład Pojezierza Krajeńskiego, które z kolei stanowi część Pojezierza Południowo Pomorskiego. Obszar wyniesiony jest około 98 m n.p.m. Pod względem ukształtowania jest to równina płaska. Doświadczenie prowadzono na glebie płowej typowej, klasy bonitacyjnej III a, wytworzonej z gliny zwałowej falistej moreny dennej, zaliczanej do kompleksu żytniego bardzo dobrego. Zgodnie z klasyfikacją FAO-UNESCO to Typic Hapludalfs. Powstawaniu omawianych gleb sprzyja umiarkowanie wilgotny klimat. Dochodzi w nich do wymywania węglanów, a także częściowego wymywania niektórych związków próchnicy, glinu i żelaza. Ponadto poziom powierzchniowy na skutek migracji frakcji ilastej w głąb profilu ulega zubożeniu, zwłaszcza w cząstki o średnicy 0,2  $\mu\text{m}$ . Po przemieszczeniu z omawianych frakcji powstaje poziom Bt. Jego charakterystyczną cechą jest zwiększona zwięzłość, a także obecność cząstek ilastych na agregatach i w kanałach glebowych oraz występowanie połączeń między cząsteczkami pyłu i piasku.

Według aktualnie obowiązującej systematyki gleb, klasyfikacja gleboznawcza w rejonie doświadczenia przedstawia się następująco [Systematyka Gleb Polski, 2019]:

Rząd: Gleby płowoziemne

Typ: Gleby płowe

Podtyp: Gleby płowe typowe

Rodzaj: Wytworzone z gliny zwałowej

Gatunek: Piasek gliniasty mocny na glinie lekkiej pylastej.

## Stosowane nawożenie i zmianowanie roślin

Badanym czynnikiem w omawianym eksperymencie (11. rotacja wieloletniego doświadczenia, lata 2014-2017) był rodzaj nawożenia. Poletka doświadczalne miały powierzchnię 50 m<sup>2</sup>, na których stosowano nawożenie:

1. naturalne w postaci obornika (OB) w dawce 40 t·ha<sup>-1</sup> w ciągu jednej rotacji zmianowania, co stanowiło 424 kg·ha<sup>-1</sup> NPK
2. mineralne (NPK), tj. NPK w ilości 1339 kg·ha<sup>-1</sup> w ciągu jednej rotacji zmianowania,
3. naturalno-mineralne w postaci obornika w dawce 40 t·ha<sup>-1</sup> i nawozów mineralnych (OB+NPK), co stanowiło 1763 kg·ha<sup>-1</sup> NPK w ciągu jednej rotacji zmianowania.

W doświadczeniu uprawiano cztery rośliny w płodozmianie, obejmującym w jednej rotacji następujące gatunki: ziemniak jadalny, jęczmień jary, rzepak ozimy oraz pszenicę ozimą. Ustalając dawki nawożenia mineralnego, zgodnie z zaleceniami obowiązującymi w latach 70. ubiegłego wieku, zakładano plon odpowiadający 45 jednostkom zbożowym z 1 ha [Nowak i Majcherczak, 2002]. Dawki NPK pod ziemniaka jadalnego wynosiły odpowiednio 150, 52 i 249 kg·ha<sup>-1</sup>. Co 4 lata pod ziemniaki stosowano obornik w dawce około 40 t·ha<sup>-1</sup> (w zależności od zawartości w nim azotu). W uprawie jęczmienia jarego aplikowano dawki NPK, odpowiednio 70, 24 i 83 kg·ha<sup>-1</sup>. Z kolei pod rzepak ozimy dawki NPK zastosowano w ilości odpowiednio: 200, 70 i 166 kg·ha<sup>-1</sup>. W przypadku pszenicy ozimej, kończącej analizowaną w pracy 11. rotację zmianowania, aplikowano NPK w ilościach odpowiednio: 120, 39 i 116 kg·ha<sup>-1</sup> [Barczak i in., 1999].

Jak wspomniano powyżej w przeprowadzonym doświadczeniu uprawiano ziemniaka jadalnego, pod który aplikowano obornik. Po jego zastosowaniu wykonywana była orka zimowa na głębokość 20 cm. Wiosną, przed sadzeniem ziemniaka, wykonano zabieg bronowania. Z kolei po nim przeprowadzono sadzenie średniowczesnej odmiany 'Satina' (w II dekadzie kwietnia). Szerokość międzyrzędzi była dostosowana do rozstawy kół ciągnika i współpracujących z nim maszyn. Odległość roślin w rzędzie wynosiła od 30 do 32 cm, a ich ilość na hektarze około 43000. Zbiór plonu został wykonany we wrześniu 2014 roku. Po nim ponownie wykonywano orkę zimową na głębokość 20 cm, by przygotować pole pod siew jęczmienia.

Przed siewem jęczmienia jarego (w 11. rotacji zmianowania była to odmiana 'Stratus') wykonano uprawki wiosenne przy użyciu bron lub agregatu uprawowo-siewnego. W trzeciej dekadzie marca 2015 roku (26.03.) przeprowadzono siew jęczmienia jarego (na terenie województwa kujawsko-pomorskiego za optymalny uważa się termin od 26 marca do 5 kwietnia). Norma wysiewu dla zastosowanej w doświadczeniu odmiany wynosiła 150 kg·ha<sup>-1</sup>. Zbiór ziarna, przy pomocy kombajnu poletkowego, został przeprowadzony w pierwszej dekadzie sierpnia 2015 roku.

Po zbiorze jęczmienia jarego, a przed wysiewem rzepaku ozimego (w 11. rotacji zmianowania była to odmiana 'Chagall'), wykonywano uprawy późniwne przy użyciu brony talerzowej. Wysiew rzepaku w omawianym doświadczeniu wykonano na koniec sierpnia 2015 roku (28.08.), na głębokość 2,5 cm. Za optymalną normę wysiewu przyjęto 50 roślin na metr kwadratowy. Zbioru nasion omawianej odmiany dokonano jednoetapowo w miesiącu lipcu 2016 roku. Po zbiorze rzepaku wykonywano uprawki późniwne, czyli orkę siewną i bronowanie. Orka siewna wykonywana była na około 3 tygodnie przed siewem kolejnej rośliny w zmianowaniu, którą była pszenica ozima.

Siew pszenicy ozimej (w 11. rotacji była to odmiana 'Arkadia'), został wykonany w III dekadzie września 2016 roku. Norma wysiewu wynosiła  $190 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Z kolei zbiór zboża w omawianym eksperymencie odbył się w II. dekadzie sierpnia 2017 roku.

Azot stosowano pod wszystkie rośliny pogłównie, również ozime, zawsze dzieląc dawkę na dwie równe części ( $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ ). Terminy nawożenia tym składnikiem pokarmowym uzależnione były od gatunku uprawianej rośliny. Nawozy mineralne we wszystkich sezonach wegetacyjnych stosowano w formie saletry amonowej, superfosfatu potrójnego granulowanego oraz 60% soli potasowej. W doświadczeniu z zasady nie stosowano herbicydów, insektycydów, fungicydów, regulatorów wzrostu, itp., z wyjątkiem chemicznej walki ze stonką ziemniaczaną oraz zarazą ziemniaczaną w sytuacji, gdy istniała taka potrzeba.

Do badań, których wyniki znajdują się w niniejszej dysertacji, wykorzystano trzy próbki zbiorcze uzyskane z każdego obiektu doświadczalnego (jedna próbka zbiorcza uzyskana z trzech ze sobą zmieszanych próbek). Materiał glebowy pobierano z warstwy ornej (0-20 cm), a materiał roślinny w postaci plonu głównego z lat: 2014, 2015, 2016 i 2017 (11. rotacja zmianowania). Tak uzyskane próbki poddano analizom chemicznym.

Wyniki badań własnych odnotowane w 11. rotacji zmianowania, dotyczące materiału glebowego oraz roślinnego, porównywano odpowiednio do: zawartości określonych przed założeniem doświadczenia, po zakończeniu 6. i 10. rotacji zmianowania oraz zawartości odnotowanych w 6. rotacji zmianowania. Wyniki te zebrano z prac opublikowanych przez pracowników Katedry Chemii Rolnej (później Pracowni Chemii Rolnej, a obecnie Pracowni Chemii Środowiska i Chemii Rolnej), z prac magisterskich wykonywanych w Jednostce oraz wyników znajdujących się w zasobach wyżej wymienionej Jednostki [Cwojdzński i in., 1993; Cwojdzński i Majcherczak, 1996; Cwojdzński i Sychaj-Fabisiak, 1996; Barczak i in., 1999; Cwojdzński i Nowak, 2000ab; Cwojdzński i Nowak, 2002; Nowak i Majcherczak, 2002; Jakubowski, 2015]. Taki układ analizy uzyskanych wyników związany był również z oceną zmian oznaczonych wartości parametrów, który wymagał obliczenia indeksów absolutnych jednopodstawowych, gdzie niezbędny był wynik pochodzący z pomiaru cech po zakończeniu, m. in. 10. rotacji zmianowania.

## **Warunki pogodowe w okresie prowadzenia badań polowych**

Z Punktu Meteorologicznego zlokalizowanego w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Mochełku otrzymano dane dotyczące przebiegu warunków pogodowych w sezonach wegetacyjnych (2014, 2015, 2016 i 2017) w Wierzchucinku, w których uprawiano testowane rośliny oraz obejmujące wielolecie 1981-2010.

W pierwszym roku prowadzenia doświadczenia, gdy uprawiano ziemniaki stwierdzono, że średnia miesięczna temperatura od lutego do kwietnia oraz od września do grudnia 2014 roku przewyższała średnią z wielolecia. Najcieplejszymi miesiącami były czerwiec i lipiec, przy czym w tym ostatnim temperatura przewyższała średnią z wielolecia o około  $5^{\circ}\text{C}$ . Z kolei najzimniejszym miesiącem tego roku był styczeń. W marcu, kwietniu i maju 2014 roku suma opadów miesięcznych przewyższała średnią z wielolecia. Największą różnicę wynoszącą 34,5 mm odnotowano jednak w grudniu. Najbardziej suchymi miesiącami w 2014 roku, okazały się lipiec i wrzesień.

W sezonie wegetacyjnym uprawy jęczmienia jarego zauważono, że w lutym i marcu, a zwłaszcza w sierpniu 2015 roku średnia temperatura miesięczna była większa od średniej z wielolecia 1981-2010. W tym ostatnim miesiącu różnica ta wynosiła około  $3^{\circ}\text{C}$ . Pozostałe miesiące wegetacji charakteryzowały się zbliżonymi średnimi wartościami temperatury powietrza. W styczniu, marcu, wrześniu i listopadzie 2015 roku, średnia miesięczna suma opadów nieznacznie (w granicach od 4,6 do 6,9 mm) przewyższała średnią z wielolecia. W pozostałych miesiącach 2015 roku opady były niższe, przy czym najbardziej suchymi miesiącami okazały się maj i sierpień. W omawianym roku niskie opady

przypadały na okres intensywnego wzrostu roślin, co w konsekwencji doprowadzić mogło do spadku plonowania. Cały rok charakteryzował się średnio niższymi o około 29% opadami w stosunku do średniej z lat 1981-2010.

Podczas wegetacji rzepaku ozimego w lutym, marcu, maju, czerwcu 2016 roku średnia miesięczna temperatura przewyższała średnią z wielolecia. Z kolei styczeń był chłodniejszy od średniej z wielolecia. W przypadku opadów stwierdzono, że po wysianiu testowanej rośliny (IX.2015 r.) były one wyższe o 6,9 mm od średniej z wielolecia, ale w kolejnym miesiącu odnotowano mniejszą ich ilość i to o 13,9 mm w porównaniu do średniej z lat 1981-2010. Od stycznia do marca 2016 roku zauważono niższe opady od średniej z lat, natomiast kwiecień i maj charakteryzowały się wyższymi jedynie o 2 mm opadami w stosunku do danych z wielolecia. Zdecydowanie wyższa ilość opadów deszczu miała miejsce dopiero w czerwcu i lipcu, odpowiednio: 41,4 i 58,6 mm.

W sezonie wegetacyjnym pszenicy ozimej średnia temperatura miesięczna powietrza w lutym, a zwłaszcza w marcu 2017 roku przewyższała średnią temperaturę średnią miesięczną z wielolecia. Natomiast od kwietnia do zbioru zboża (sierpień) temperatury były zbliżone do średniej z lat 1981-2010. W 2017 roku było bardzo dużo opadów, a za najbardziej mokre można uznać lipiec i sierpień, w którym średnie miesięczne sumy opadów przewyższały te z wielolecia odpowiednio aż o: 43,7 i 63,6 mm. Wyższe opady były również w lutym, kwietniu i maju, natomiast niższe od wielolecia, w marcu i czerwcu.

Stwierdzono również, że średnie roczne sumy opadów w 2014 roku były porównywalne, w 2015 niższe o 30%, a w 2016 i 2017 roku wyższe o ponad odpowiednio: 30 i 45% w stosunku do średniej wieloletniej.

## **Metody badań chemicznych materiału glebowego i roślinnego**

W każdym roku prowadzenia badań 11. rotacji zmianowania, po zebraniu plonu głównego z poletek doświadczalnych, pobrano próbki glebowe z warstwy ornej (0-20 cm) do analiz chemicznych. W zgromadzonym materiale glebowym oznaczono:

- kwasowość hydrolytyczną (Hh) - zmodyfikowaną metodą Kappena,
- wartość pH w 1 M KCl·dm<sup>3</sup> metodą potencjometryczną (pH-metr),
- azot ogółem przy użyciu analizatora Vario Max NCS,
- węgiel organiczny przy użyciu analizatora Vario Max NCS,
- przyswajalne formy fosforu i potasu – metodą Egnera–Riehma (DL) (XION 500, Flapho 4),
- przyswajalne formy magnezu – metodą Schachtschabela, wykorzystując metodę atomowej spektrometrii absorpcyjnej (Varian AA240FS),
- przyswajalne formy wapnia i sodu – metodą fotometryczną (Flapho 4),
- przyswajalne formy miedzi, cynku, manganu i żelaza po ekstrakcji w 1 M HCl·dm<sup>-3</sup>, metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (Varian AA240FS),
- zawartości metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Ni) oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej w plazmie indukcyjnie sprzężonej ICP-OES po mineralizacji w wodzie królewskiej.

Natomiast w materiale roślinnym oznaczono skład mineralny plonu głównego, tj. zawartości:

- azotu metodą Kjeldahla (Tecator KJELTEC SYSTEM 1026),
- fosforu (metodą kolorymetryczną z molibdenianem amonu, analizator przepł. San++ firmy Skalar),
- potasu, wapnia i sodu - metodą fotometryczną (Flapho 4), po uprzedniej mineralizacji materiału roślinnego w stężonym kwasie H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- magnezu - metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (Varian AA240FS) – po uprzedniej mineralizacji materiału roślinnego w stężonym kwasie H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- miedzi, manganu, cynku i żelaza (metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, Varian AA240FS) po uprzedniej mineralizacji materiału roślinnego w mieszaninie stężonych kwasów HNO<sub>3</sub> i HCl,
- metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Ni) oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej w plazmie indukcyjnie sprzężonej ICP-OES po mineralizacji w odwróconej wodzie królewskiej.

## **Statystyczne metody opracowania wyników**

Wszystkie wyniki eksperymentu poddano analizie wariancji w układzie całkowicie losowym,

właściwym dla sposobu założenia eksperymentów w polu. Do oceny różnic między średnimi obiektowymi stosowano wielokrotny test rozstępu Tukey'a. Wyniki badań składu mineralnego gleby pobranej z warstwy ornej z pól płodozmianu po zbiorach oraz materiału roślinnego zebranego w trakcie zbiorów, opracowano jako jednoczynnikowe. Czynnikiem doświadczalnym był rodzaj nawożenia w poszczególnych latach 11. rotacji.

Plonowanie gatunków wyrażone w jednostkach zbożowych oraz plony białka, które posłużyły do oszacowania produktywności płodozmianu, poddano dwuczynnikowej analizie wariancji, gdzie pierwszym czynnikiem badawczym był sposób nawożenia ziemniaka, a drugim – gatunki uprawiane w kolejnych latach zmianowania.

Obliczono również macierz współczynników korelacji elementów składu mineralnego plonów roślin na obiektach nawożonych obornikiem, nawozami mineralnymi (NPK) i łącznie obornikiem+NPK. W tabeli podano wartości  $r_{obl.} > r_{tabl., p=0,05} = 0,576$ . Do wartości zestawionych współczynników korelacji prostych odwoływano się przy omawianiu i dyskusji wyników.

Na podstawie wyników badania składu mineralnego gleby, podczas trwania rozpatrywanego zmianowania, oszacowano kierunki zmian oznaczonych wartości cech. Wykorzystano tu elementy analizy dynamiki, stosując obliczenie indeksów absolutnych jednopodstawowych. Jako pierwszy w łańcuchu (X0) stosowano wynik pochodzący z pomiaru cech sprzed rozpoczęcia 11. rotacji zmianowania (z 2013 roku, po zakończeniu 10 rotacji zmianowania).

Wyniki badania składu mineralnego gleby oraz plonów roślin podsumowano w oparciu o podstawy analizy intraprofilowej, polegającej na porównaniu przebiegu profilów wielocechowych zestawianych w trzy linie odpowiadające zespołom wartości wszystkich cech stwierdzonych na obiektach z różnym sposobem nawożenia ziemniaka w I. roku rotacji. W celu wzajemnej porównywalności wartości cech poddano standaryzacji. Dla zobrazowania położenia poszczególnych profili obliczono ich średnie wartości. Rezultaty tego opracowania przedstawiono w formie graficznej.

Obliczenia wykonano na danych po standaryzacji, zgodnie z formułą:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

gdzie:  $z_i$  – wartość cechy po standaryzacji,  
 $x_i$  – wartość cechy obserwowana,  
– średnia cechy w próbie,  
 $s$  – odchylenie standardowe próby.

Podane w tabelach wyniki oznaczone różnymi literami (a, b, c ..... ) wskazują na statystycznie istotną różnicę, natomiast oznaczenie n.i. informuje o braku statystycznej istotności.

Wszystkie wymienione wyżej obliczenia oraz prezentację graficzną wykonano z wykorzystaniem pakietu programów statystycznych STATISTICA oraz MS Excel.

## WYNIKI

### WYBRANE PARAMETRY GLEBOWE

#### Wartości wskaźników zakwaszenia gleby (pH i Hh)

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że wartości pH gleby w trzech latach 11. rotacji zmianowania oraz po uprawie pszenicy ozimej kończącej 6. i 10. rotację, były istotnie determinowane wpływem rodzaju nawożenia uprawianych roślin. Odnotowano, że po 10. rotacji aplikacja obornika oraz łączna obornika i nawozów mineralnych skutkowała uzyskaniem większych wartości pH w stosunku do obiektu nawożonego wyłącznie mineralnie, odpowiednio o: 0,4 i 0,3 jednostki pH. Taką samą zależność stwierdzono po wcześniejszej, zakończonej w 1998 roku, 6. rotacji. Należy również nadmienić, że wartości pH gleby w tej rotacji dla poszczególnych obiektów badawczych były wyższe od odnotowanych zarówno w 10., jak w przypadku wszystkich lat 11. rotacji. Na podstawie uzyskanych wyników po zbiorze uprawianych roślin w 11. rotacji zmianowania wynika, że stosowanie obornika w największym stopniu przeciwdziało zakwaszaniu gleby. Z kolei aplikacja NPK wpływała w największym stopniu na obniżenie wartości pH badanej gleby.

Należy również zwrócić uwagę, że przed założeniem wieloletniego doświadczenia nawozowego w



RZD w Wierzchucinku gleba charakteryzowała się odczynem obojętnym (wartość pH 6,8). Po 6. i 10. rotacji stwierdzono zmianę odczynu gleby. Na obiekcie, gdzie stosowano obornik zmienił się on na lekko kwaśny. Natomiast na poletkach, na których aplikowano nawozy mineralne lub łącznie obornik i NPK, stwierdzono kwaśny odczyn gleby. Z kolei po 11. rotacji zmianowania, niezależnie od stosowanego nawożenia, zauważono zmianę odczynu gleby z obojętnego (1974 r.) do kwaśnego lub bardzo kwaśnego. Stosowanie łącznie obornika i nawozów mineralnych po uprawie rzepaku ozimego w 11. rotacji, skutkowało największym obniżeniem wartości pH gleby (o 2,4 jednostki pH) w stosunku do wartości oznaczonej przez założeniem wieloletniego doświadczenia polowego.

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano, że wartość kwasowości hydrolitycznej po zbiorze pszenicy ozimej uprawianej w ostatnich latach 6. 10. i 11. oraz pozostałych trzech 11. rotacji była istotnie różnicowana zastosowanym sposobem nawożenia roślin uprawianych w zmianowaniu. Po 10. rotacji stwierdzono, że na skutek aplikacji obornika zwiększeniu uległa wartość Hh w stosunku do obiektu nawożonego mineralnie oraz mineralno-naturalnie, odpowiednio o 0,02 i 0,10 jednostki Hh. Zarówno po zakończeniu 11., jak i w 6. rotacji największe wartości kwasowości hydrolitycznej odnotowano na obiekcie nawożonym łącznie obornikiem i nawozami mineralnymi w stosunku do obiektu z samym obornikiem i były one wyższe o: 1,4 jednostki w 6. rotacji i 0,9 jednostki po zakończeniu 11. rotacji. Na podkreślenie zasługuje fakt, że po 6., 10. i 11. rotacji na wszystkich obiektach nawożonych wyłącznie mineralnie wartość Hh przyjmowała wartości pośrednie. Na podstawie uzyskanych wyników po zbiorze roślin uprawianych w 11. rotacji można stwierdzić, że aplikacja obornika łagodzi negatywne oddziaływanie nawożenia mineralnego w stosunku do kwasowości hydrolitycznej.

## **Zawartość składników mineralnych w glebie**

### Zawartość azotu ogółem

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych odnotowano, że zawartości azotu ogółem po zakończeniu 6. i 10. rotacji oraz w trakcie i po zakończeniu 11. rotacji były istotnie determinowane zastosowanym badaniem nawożeniem roślin uprawianych w zmianowaniu. Po uprawie pszenicy ozimej kończącej 10. rotację największą zawartość  $N_{og}$  stwierdzono po zastosowaniu obornika [ $0,73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]. Natomiast aplikacja NPK oraz obornika i NPK wpływała na obniżenie zawartości azotu ogółem odpowiednio o 0,1 i  $0,06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  w porównaniu do stosowania obornika. Taką samą tendencję odnotowano po zakończeniu 6. rotacji. Na podkreślenie zasługuje fakt, że zawartości  $N_{og}$  w glebie zarówno po 6. jak i po 10. rotacji były niższe od uzyskanej po zakończeniu 11. rotacji.

Na podstawie uzyskanych wyników po zbiorze roślin uprawianych w 11. rotacji można stwierdzić, że stosowanie obornika w największym stopniu przyczyniło się do wzrostu zawartości azotu ogółem w glebie.

Należy także podkreślić, że przed założeniem wieloletniego eksperymentu polowego w Stacji Badawczej PBS gleba charakteryzowała się zawartością azotu ogółem na poziomie  $0,99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Po 6. oraz 10. rotacji stwierdzono, że nawożenie mineralne i mineralno-naturalne skutkowało obniżeniem ilości omawianego składnika w glebie odpowiednio o: 0,28 i  $0,30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  oraz 0,36 i  $0,32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w porównaniu do wartości uzyskanej w 1974 roku.

Stwierdzono, że zawartość  $N_{og}$  w glebie zwiększała się wraz ze zmniejszaniem się kwasowości hydrolitycznej gleby, co zauważono w próbkach materiału glebowego pochodzącego z poletek z aplikacją obornika ( $r=-0,83$ ) lub łącznie obornika i nawozów mineralnych (NPK,  $r=-0,92$ ).

### Zawartość węgla organicznego

W przeprowadzonych badaniach zauważono, że po wszystkich latach 11. rotacji oraz po zakończeniu 6. i 10. rotacji aplikowane nawożenie istotnie wpływało na zawartość  $C_{org}$  w warstwie ornej gleby. Stwierdzono, że po 10. rotacji aplikacja obornika skutkowała uzyskaniem większej zawartości węgla w glebie w porównaniu ze stosowaniem NPK oraz nawożenia naturalno-mineralnego odpowiednio o 2,26 i  $1,35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Podobną tendencję odnotowano po zakończeniu 6. rotacji. Należy podkreślić, że zawartość omawianego składnika w glebie była w tej rotacji mniejsza od stwierdzonej w próbkach glebowych po uprawie pszenicy ozimej kończącej 10. rotację oraz pierwszym roku 11. rotacji.

W oparciu o uzyskane wyniki po zbiorze uprawianych roślin w 11. rotacji stwierdzono, że obornik w największym stopniu przyczynił się do wzrostu zawartości węgla organicznego w glebie. Natomiast aplikacja nawozów mineralnych lub łącznie obornika i NPK decydowały w największym stopniu o obniżeniu zawartości omawianego składnika. W ostatnim roku tej rotacji spadek wynosił odpowiednio 2,17 oraz 0,60 g·kg<sup>-1</sup> w stosunku do obiektów nawożonych obornikiem.

### Zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu

Zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu, zarówno we wszystkich badanych latach 11. rotacji, jak i po zakończeniu 6. i 10. rotacji, była istotnie różnicowana zastosowanym nawożeniem.

Udowodniono, że po zakończeniu 6. rotacji aplikacja obornika skutkowała uzyskaniem w warstwie ornej gleby większej zawartości fosforu w stosunku do łącznego nawożenia obornika i NPK o 6,40 mg·kg<sup>-1</sup> oraz po zastosowaniu wyłącznie NPK o 3,02 mg·kg<sup>-1</sup>. Należy również nadmienić, że zawartość tego makroelementu w 6. rotacji dla poszczególnych obiektów badawczych była wyższa od odnotowanej zarówno w 10. rotacji, jak i we wszystkich latach rotacji 11. Po zakończeniu uprawy pszenicy ozimej kończącej 10. rotację największą zawartość fosforu stwierdzono w próbkach glebowych, gdzie aplikowano nawożenie mineralne (50,90 mg·kg<sup>-1</sup>). Natomiast po nawożeniu obornikiem oraz łącznym stosowaniu obornika i NPK, zawartości omawianego składnika były niższe odpowiednio o: 18,7 i 18,4%. Z kolei po zbiorze roślin uprawianych w 11. rotacji stwierdzono, że stosowanie obornika w największym stopniu przyczyniło się do wzrostu zawartości przyswajalnych form fosforu w warstwie ornej gleby. Natomiast aplikacja nawozów mineralnych powodowała największe obniżenie zawartości omawianego makroelementu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że po zbiorze kolejnych roślin w 11. rotacji zmianowania, na wszystkich obiektach, gdzie aplikowano łącznie nawóz naturalny i NPK ilość przyswajalnych form fosforu osiągała wartości niższe w stosunku do uzyskanych po zastosowaniu obornika, natomiast wyższe - po aplikacji nawozów mineralnych.

Obliczone współczynniki korelacji prostej wskazały, że zawartość przyswajalnego fosforu w glebie po zastosowaniu wszystkich rodzajów nawożenia była ujemnie skorelowana z ilością przyswajalnego potasu. Przy czym największą zależność między tymi cechami stwierdzono po aplikacji nawozów mineralnych (NPK).

Należy również zwrócić uwagę, że przed rozpoczęciem wieloletniego eksperymentu w Stacji Badawczej w Wierchucinku gleba charakteryzowała się średnią zasobnością (III klasa) w fosfor przyswajalny (65,89 mg·kg<sup>-1</sup>). Po 24 latach prowadzenia doświadczenia klasa zasobności nie uległa zmianie. Natomiast po zakończeniu 10. rotacji stwierdzono zmianę klasyfikacji zawartości przyswajalnego fosforu w glebie do poziomu niskiego (IV klasa zasobności) na obiektach, gdzie stosowano obornik oraz łącznie obornik i NPK. Z kolei po zakończeniu niniejszych badań (po 44 latach) ponownie nastąpiły zmiany klasyfikacji na obiektach nawozowych. W glebie nawożonej obornikiem nastąpił wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu, a na obiekcie, gdzie aplikowano NPK spadek zawartości tego składnika, w porównaniu do ilości stwierdzonej po 10. rotacji. Skutkowało to zmianą klas zasobności, odpowiednio do klasy: III i IV. Natomiast w glebie, którą nawożono łącznie obornikiem i NPK nie stwierdzono zmiany jej klasyfikacji.

Po ostatnim roku 11. rotacji zmianowania zauważono spadek zawartości przyswajalnych form potasu w glebie na wszystkich obiektach nawozowych do poziomu niskiego w porównaniu do poziomu sprzed założenia doświadczenia. Największą ilością omawianego składnika w omawianej rotacji charakteryzowała się gleba nawożona obornikiem (43,04 mg·kg<sup>-1</sup>). Na poletkach, gdzie aplikowano nawożenie naturalno-mineralne oraz jedynie mineralne zawartość omawianego składnika pokarmowego zmniejszyła się odpowiednio o: o 30,3% oraz 32,5% w stosunku do obiektu nawożonego wyłącznie obornikiem. Takie same tendencje zaobserwowano również w 2014 i 2015 roku. Natomiast po zbiorze rzepaku ozimego (2016 r.) największą zawartość przyswajalnego potasu odnotowano w glebie nawożonej obornikiem, ale w dalszej kolejności były to obiekty z aplikacją obornika i NPK oraz nawożonego jedynie mineralnie. Po zbiorze pszenicy ozimej kończącej 6. rotację stwierdzono, że aplikacja obornika spowodowała wzrost poziomu przyswajalnych form potasu w glebie o 3,50 mg·kg<sup>-1</sup> w stosunku do obiektu nawożonego NPK oraz o 7,21 mg·kg<sup>-1</sup> w porównaniu z obiektem nawożonym łącznie obornikiem i NPK.

Przed założeniem wieloletniego eksperymentu statycznego w Stacji Badawczej w Wierchucinku, warstwa orna gleby charakteryzowała się średnią zawartością przyswajalnych form potasu ( $121,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) – III klasa zasobności. Po 6. i 10. rotacji odnotowano zmianę klasyfikacji zasobności gleby w przyswajalne formy omawianego składnika pokarmowego do poziomu niskiego. Z kolei w 2017 roku, po zakończeniu 11. rotacji, gleby na poletkach, gdzie stosowano NPK lub obornik+NPK zostały zaliczone do V klasy, o bardzo niskiej zasobności w omawiany składnik. Nie zmieniła się natomiast klasyfikacja gleby, którą nawożono obornikiem.

Uzyskane wyniki analiz próbek glebowych zebranych po zbiorze każdej z badanych roślin uprawianych w 11. rotacji zmianowania pozwalają na stwierdzenie, że w największym stopniu do wzrostu zawartości Mg w glebie przyczyniło się, na ogół, nawożenie obornikiem. Natomiast najmniejszą zawartość omawianego składnika w warstwie ornej gleby odnotowano po aplikacji nawozów mineralnych. Odnotowano, że po zakończeniu uprawy pszenicy ozimej kończącej 6. i 10. rotację zmianowania aplikacja obornika była również najkorzystniejsza w stosunku do zawartości Mg w glebie. Uzyskane wartości tej cechy były wyższe w porównaniu do odnotowanych w glebach, gdzie stosowano łączne nawożenie obornikiem i NPK oraz wyłącznie nawozy mineralne, odpowiednio o 33,8 i 14,3% oraz 6,6 i 25,1%.

Należy również zauważyć, że zawartość przyswajalnych form magnezu w glebie przed założeniem doświadczenia (1974 r.) wynosiła  $61,90 \text{ mg Mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  – II klasa zasobności. Po 24. latach prowadzenia eksperymentu gleba nawożona obornikiem i NPK zmieniła klasę na średnią (III klasa zasobności). Po 10. rotacji zmianowania, na wszystkich obiektach nawozowych gleby charakteryzowały się III klasą zasobności. Natomiast po 44 latach prowadzenia doświadczenia zmianę klasyfikacji gleby (IV klasa) – niska zasobność, zauważono jedynie na obiekcie, gdzie aplikowano nawozy mineralne.

### **Zawartość mikroelementów**

W przeprowadzonych badaniach własnych stwierdzono, że zawartość przyswajalnych form miedzi, cynku, manganu i żelaza we wszystkich latach 11. rotacji zmianowania była istotnie determinowana zastosowanym rodzajem nawożenia. Takie same zależności odnotowano po uprawie pszenicy ozimej kończącej 6. i 10. rotację.

Na podstawie uzyskanych wyników po zbiorze roślin uprawianych w trzech latach 11. rotacji zmianowania (2014-2016) stwierdzono, że stosowanie obornika w największym stopniu przyczyniło się do wzrostu zawartości przyswajalnych form miedzi w warstwie ornej gleby. Natomiast po zakończeniu eksperymentu (2017 r.) najwyższą wartością omawianego składnika mineralnego charakteryzowała się gleba, gdzie aplikowano nawozy mineralne. Należy również zwrócić uwagę, że wartości omawianej cechy jakościowej gleby, stwierdzone dla badanych obiektów badawczych po 11. rotacji zmianowania, nie odbiegały znacząco od zawartości przyswajalnych form miedzi oznaczonej w próbkach gleby przed założeniem doświadczenia (1974 r.). Przy czym były one niższe w granicach od 0,95 do 3,3%. Poza tym zauważono, że zarówno przed założeniem doświadczenia, jak i po 6., 10., i wszystkich latach 11. rotacji zmianowania, badane gleby nie zmieniły klasy zasobności (II klasa) – ocena zasobności średnia.

Aplikacja obornika przyczyniła się do uzyskania największych zawartości przyswajalnych form cynku w glebie. Przy czym wartości tej cechy uzyskane w kolejnych latach omawianej rotacji były wyższe w stosunku do obiektów, gdzie nawożono nawozami mineralnymi lub łącznie obornikiem i NPK w zakresie odpowiednio: do 15,2 do 23,2% (2014 r.), od 2,1 do 11,1% (2015 r.), od 8,4 do 20,9% (2016 r.) oraz od 0,4 do 17,0% (2017 r.). Zawartości przyswajalnych form Zn oznaczonych w próbkach glebowych z poszczególnych obiektów badawczych, po 24 latach prowadzenia wieloletniego doświadczenia nawozowego, były większe od stwierdzonych zarówno w 10. jak i wszystkich latach 11. rotacji. Poza tym stwierdzono, że gleba przed założeniem doświadczenia charakteryzowała się wysoką zawartością cynku (I klasa zasobności), po 6. rotacji odnotowano zmianę klasy gleby na II (średnia zawartość), za wyjątkiem gleby, gdzie aplikowano obornik. Po 40. latach eksperymentu oraz we wszystkich latach 11. rotacji zmianowania, rodzaj aplikowanego nawożenia nie spowodował zmiany klasyfikacji badanych gleb.

W trzech latach (2014, 2016 i 2017), najwyższe zawartości Mn uzyskano w glebach nawożonych obornikiem, natomiast w 2015 r. najkorzystniej na ilość przyswajalnego Mn działała łączna aplikacja obornika i NPK. Poza tym, od drugiego roku tej rotacji, zawartość manganu na wszystkich obiektach

nawozowych ulegała obniżeniu. Należy także podkreślić, że przed założeniem wieloletniego nawozowego eksperymentu statycznego w RZD w Wierzchucinku, zawartość przyswajalnych form Mn w warstwie ornej gleby wynosiła  $103,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Była ona, w zależności od stosowanego nawożenia, większa od stwierdzonych w glebach po zakończeniu 6. (5,3-34,6%), 10. (7,3-19,3%) i czterech latach 11. rotacji zmianowania (7,8-40,7%). Po zakończeniu badań polowych (2017 r.) ilość tego mikroelementu w glebie była najniższa i w stosunku do wartości wyjściowej odnotowano spadek w granicach od 37,9 do 40,7%. Po 24 latach prowadzenia wieloletniego doświadczenia nawozowego, zawartości przyswajalnych form manganu oznaczonych w glebach z poszczególnych obiektów badawczych, były większe od stwierdzonych zarówno w 10. jak i wszystkich latach 11. rotacji. Poza tym stwierdzono, że gleba przed założeniem doświadczenia charakteryzowała się II (średnią) klasą zawartości w stosunku do manganu i po 6., 10., i 11. rotacji zmianowania nie zmieniła się.

Po uprawie pszenicy ozimej kończącej 11. stwierdzono, że aplikacja nawozów mineralnych w największym stopniu przyczyniła się do wzrostu zawartości przyswajalnych form żelaza w glebie. W 2 i 3 roku 11. rotacji największym poziomem omawianego składnika charakteryzowały się objekty nawożone naturalno-mineralnie. Takie same tendencje uzyskano również po 6. i 10. rotacji zmianowania. Natomiast w 2016 r. i 2017 r. najkorzystniej na ilość Fe w glebie oddziaływało nawożenie łączne naturalno-mineralne lub aplikacja NPK. Przed założeniem doświadczenia w 1974 r. badana gleba charakteryzowała się średnią zawartością przyswajalnego żelaza ( $857,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) - II klasa. Po 6., 10. oraz w czterech latach 11. rotacji stwierdzono zmianę klasyfikacji zawartości omawianego składnika do poziomu niskiego (III klasa) - na obiektach nawożonych mineralnie oraz naturalno-mineralnie (za wyjątkiem 2016 r.). W trzecim roku 11. rotacji na obiekcie nawożonym obornikiem w połączeniu z nawozami mineralnymi zaobserwowano ponowną zmianę klasyfikacji zawartości w przyswajalne formy omawianego składnika do poziomu średniego (II klasa). Natomiast w pierwszym roku 11. rotacji zmianowania oraz po zakończeniu 6. i 10. rotacji po zastosowaniu aplikacji obornika, glebę zaliczono do II klasy zawartości w stosunku do Fe. Gleba w kolejnych latach 11. rotacji na obiektach, gdzie stosowano obornik zmieniła klasę na III – o niskiej zawartości Fe.

### **Zawartość ołowiu, kadmu, chromu i niklu**

W przeprowadzonym eksperymencie własnym, na początku i końcu 11. rotacji zmianowania, odnotowano brak statystycznie istotnego wpływu aplikowanych rodzajów nawożenia na zawartości przyswajalnych form ołowiu w glebie. Odmienne wyniki stwierdzono 20 lat wcześniej, tj. po zakończeniu 6. rotacji. Po zakończeniu 11. rotacji zmianowania stwierdzono, że zastosowanie obornika na poletku doświadczalnym przyczyniło się do niewielkiego wzrostu przyswajalnych form ołowiu w glebie (o  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) w porównaniu do wartości tej cechy odnotowanej na obiekcie, gdzie aplikowano NPK oraz o  $0,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w stosunku do nawożonego naturalno-mineralnie. Z kolei łączna aplikacja nawozu naturalnego i mineralnego przyczyniła się do spadku poziomu omawianego składnika w glebie w stosunku do wyżej wymienionych.

Przy zakładaniu wieloletniego doświadczenia nawozowego w 1974 r. zawartość przyswajalnych form ołowiu wynosiła  $13,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i w przedstawionych w celu porównania w pracy rotacjach (6 i 10) malała w stosunku do wartości początkowej. Po zakończeniu 6. rotacji zmianowania różnica ta mieściła się w granicach od 7,8 do 26,0%, po pierwszym roku 11. rotacji w zakresie od 18,7 do 25,3% oraz po zakończeniu badań w 2017 r. w zakresie od 36,4 do 42,2%.

Zawartości przyswajalnych form kadmu w glebie po zbiorze ziemniaków i pszenicy ozimej w analizowanych latach 11. rotacji zmianowania oraz po uprawie pszenicy ozimej kończącej 6. rotację, były na niskim poziomie. Należy zwrócić uwagę, że wartości te nie zostały precyzyjnie oznaczone ze względu na zbyt małą koncentrację tego składnika w badanych glebach.

Stwierdzono, że zawartość chromu była istotnie determinowana zastosowanym sposobem nawożenia roślin uprawianych w pierwszym i ostatnim roku 11. rotacji zmianowania. Nie odnotowano takiej tendencji w 6. rotacji. Największym poziomem przyswajalnych form chromu po uprawie ziemniaka zaczynającego 11. rotację zmianowania i uprawie pszenicy ozimej ją kończącej, charakteryzował się obiekt nawożony obornikiem. Po upływie 4 lat w tej rotacji poziom omawianego pierwiastka na tym obiekcie uległ zwiększeniu o  $1,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w stosunku do odnotowanego w 2014 roku. Natomiast najniższym poziomem omawianego składnika charakteryzowały się objekty, gdzie

aplikowano nawożenie mineralne – 11,81 mg·kg<sup>-1</sup>. Nie stwierdzono zmiany zawartości chromu po zakończeniu 11. rotacji w stosunku do poziomu z 2014 roku. Z kolei na poletku nawożonym naturalno-mineralnie po 4 latach stwierdzono wzrost ilości omawianego składnika o 1,34 mg·kg<sup>-1</sup>. Po uprawie pszenicy ozimej w 11. rotacji poziom Cr na obiekcie nawożonym obornikiem zwiększył się w stosunku do nawożonego mineralnie i naturalno-mineralnie, odpowiednio o: 18,8% i 10,4%. Nawożenie organiczne prowadzi do wzrostu zawartości przyswajalnych form chromu w glebie w stosunku do obiektów, gdzie go nie stosowano.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że ilość niklu nie była istotnie determinowana rodzajem zastosowanego nawożenia i zmianowania. Po uprawie pszenicy ozimej kończącej 6. rotację największym poziomem omawianego składnika charakteryzowały się obiekty nawożone obornikiem. Podobną tendencję stwierdzono po zakończeniu rotacji 11. a także po uprawie ziemniaka jadalnego w 2014 roku. Nawożenie mineralne w największym stopniu przyczyniło się do spadku poziomu przyswajalnych form niklu w glebie po zakończeniu 6. rotacji, a także w pierwszym i ostatnim roku rotacji 11. Na obiektach nawożonych naturalno-mineralnie w 6. rotacji poziom omawianego składnika przybrał wartości pośrednie. Podobną tendencję stwierdzono na ogół po uprawie ziemniaka i pszenicy ozimej w rotacji 11.

Przed założeniem wieloletniego eksperymentu nawozowego w RZD w Wierchucinku poziom przyswajalnych form niklu w glebie wynosił 6,20 mg·kg<sup>-1</sup>. Po 6. i w pierwszym roku 11. rotacji zawartość ta na wszystkich obiektach, bez względu na zastosowane nawożenie, obniżyła się w stosunku do poziomu wyjściowego z 1974 roku. Po uprawie pszenicy ozimej kończącej 11. rotację na obiekcie, gdzie aplikowano nawozy mineralnie lub naturalno-mineralne ilość omawianego pierwiastka obniżyła się w porównaniu z ilością uzyskaną przed założeniem eksperymentu statycznego, odpowiednio o: 20,3% i 20,9%. Natomiast na obiekcie nawożonym obornikiem jego zawartość była wyższa zaledwie o 0,8% od odnotowanego w 1974 roku.

Wieloletnie statyczne doświadczenie nawozowe znajduje się w terenie, gdzie w najbliższej odległości nie ma silnie rozwiniętego przemysłu i intensywnie wykorzystywanych arterii komunikacyjnych. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby i ziemi z dnia 9 września 2002 r. [Rozporządzenie... 2002], podano wartości graniczne dla metali ciężkich w glebach użytkowanych rolniczo. Porównując wyniki uzyskane z przeprowadzonego doświadczenia własnego odnotowano, że badane gleby spełniały standardy dla gleb użytkowanych rolniczo.

## **PLON GŁÓWNY ROŚLIN UPRAWIANYCH W ZMIANOWANIU I ICH SKŁAD MINERALNY**

### **Plon roślin**

W przeprowadzonych badaniach udowodniono, że poziom plonowania bulw ziemniaka w 11. rotacji był istotnie największy po łącznym nawożeniu obornikiem i nawozami mineralnymi, a na pozostałych testowanych obiektach stwierdzono niższe wartości tej cechy o 9,0% (NPK) i 46,4% (obornik).

W pozostałych latach 11. rotacji zmianowania, w stosunku do plonu ziarna jęczmienia i pszenicy oraz nasion rzepaku, tendencje były takie same jak w przypadku plonu ziemniaka. Obornik wyrzucony na pole łącznie z wysiewem nawozów mineralnych, determinował najwyższe wartości omawianej cechy. Z kolei stosowanie samego obornika skutkowało uzyskaniem najmniejszego plonu wszystkich gatunków roślin uprawianych w tej rotacji.

Plon jęczmienia jarego oraz pszenicy ozimej na poletkach nawożonych naturalno-mineralnie był większy od stwierdzonego na poletkach, gdzie aplikowano obornik lub nawozy mineralne odpowiednio o: 35,8 i 15,6% oraz 34,8 i 7,2%. W przypadku rzepaku ozimego także stwierdzono taką zależność (wzrost o: 55,7 i 18,6%).

Powyżej opisane zależności dotyczące wpływu zastosowanego nawożenia na efekt plonotwórczy badanych roślin stwierdzono w 6. rotacji zmianowania.

### **Skład mineralny plonu głównego**

#### Zawartość azotu ogólnego

Stwierdzono, że zawartość N-ogólnego w plonie głównym uprawianych roślin w 11. rotacji zmianowania była istotnie determinowana rodzajem zastosowanego nawożenia. Okazało się, że największe wartości badanej cechy w bulwach ziemniaka i ziarnie jęczmienia jarego uzyskano po łącznej aplikacji obornika i NPK, natomiast w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy ozimej po zastosowaniu nawozów mineralnych. W przypadku dwóch pierwszych roślin w 11. rotacji zmianowania, ilość azotu w plonie głównym uzyskanym po łącznym zastosowaniu obornika+NPK była najwyższa i to wyższa w porównaniu do wartości tej cechy odnotowanej po aplikacji nawożenia mineralnego oraz obornika, odpowiednio o: 7,1 i 16,2% (ziemniak) oraz 10,6 i 27,4% (jęczmień). Z kolei zawartość azotu w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy ozimej osiągnęły maksymalną ilość po wysianiu na poletkach NPK i były wyższe w stosunku do obiektów, gdzie łącznie zastosowano obornik+NPK oraz sam nawóz naturalny, odpowiednio o: 6,6 i 21,1% oraz 4,8 i 23,1%.

W 11. rotacji zmianowania najwyższą zawartość P-ogólnego stwierdzono w bulwach zebranych z poletek, gdzie aplikowano obornik oraz łącznie obornik i NPK, a w dalszej kolejności wyłącznie nawozy mineralne. W przypadku jęczmienia jarego największą zawartość tego składnika w ziarnie odnotowano na obiektach, gdzie aplikowano obornik i była ona wyższa od stwierdzonej w jęczmieniu pochodzącym z poletek nawożonych mineralnie i naturalno-mineralnie, odpowiednio o 28,2% i 28,8%. Takie same tendencje jak w ziarnie jęczmienia jarego, zauważono również w nasionach rzepaku ozimego i ziarnie pszenicy ozimej uprawianych w 11. rotacji zmianowania. Największym poziomem P-ogólnego charakteryzowały się nasiona rzepaku ozimego oraz ziarno pszenicy ozimej pochodzące ze zbioru z poletek nawożonych obornikiem, odpowiednio: 5,76 g·kg<sup>-1</sup> oraz 5,42 g·kg<sup>-1</sup>. W przypadku nasion rzepaku ozimego ilość omawianego składnika była większa od stwierdzonego plonie głównym pochodzącym z poletek nawożonych mineralnie i naturalno-mineralnie odpowiednio o: 22,4% i 25,9%.

Zauważono również, że zawartość P-ogólnego w plonie głównym była ujemnie skorelowana z plonem uprawianych roślin oraz ilością azotu ogólnego i potasu ogólnego po aplikacji każdego badanego w doświadczeniu rodzaju nawożenia. Z kolei dodatnie zależności odnotowano między P-ogólnym a zawartością w plonie głównym testowanych roślin Na, Zn, Mn, Cr i Ni.

W badaniach własnych stwierdzono, że zawartość potasu w plonie głównym roślin uprawianych w zmianowaniu w 11. była istotnie determinowana wpływem rodzaju zastosowanego nawożenia. Zależność ta dotyczyła również 6. rotacji zmianowania.

W bulwach ziemniaka, zaczynającego 11. rotację zmianowania, największą koncentrację potasu odnotowano po aplikacji obornika i był on większy od stwierdzonego w bulwach zebranych z poletek, na których aplikowano nawozy mineralne lub łącznie obornik+NPK. Z kolei w przypadku jęczmienia jarego największym poziomem omawianej cechy jakościowej w 11. rotacji zmianowania charakteryzowało się ziarno zebrane z poletek doświadczalnych nawożonych obornikiem. Podobną tendencję jak w przypadku jęczmienia jarego, stwierdzono w ziarnie rzepaku ozimego uprawianego w trzecim roku 11. rotacji. Największą zawartość potasu w nasionach tej rośliny odnotowano na obiekcie nawożonym obornikiem i był on wyższy od stwierdzonego w nasionach, gdzie aplikowano nawozy mineralne oraz naturalno-mineralne, odpowiednio o: 6,5 oraz 5,2%. W ostatnim roku 11. rotacji zmianowania aplikacja obornika istotnie determinowała uzyskanie największej zawartości potasu w ziarnie pszenicy ozimej. Przy czym w porównaniu z obiektem nawożonym NPK i łącznie obornikiem+NPK była ona wyższa, odpowiednio o: 2,3 i 3,3%.

Nawożenie obornikiem w 11. rotacji zmianowania, w największym stopniu przyczyniło się do wzrostu zawartości magnezu w bulwach ziemniaka. Ilość tego makroelementu była większa od odnotowanego w ziemniakach pochodzących z obiektu nawożonego NPK oraz łącznie obornikiem i NPK, odpowiednio o: 30,9 i 21,1%. Podobne tendencje stwierdzono w przypadku uprawy pozostałych testowanych roślin.

## **Zawartość mikroelementów**

### Zawartość miedzi ogólnej

W przeprowadzonych badaniach w 11. rotacji zmianowania stwierdzono, że istotnie największą zawartością miedzi charakteryzowały się bulwy ziemniaka oraz nasiona rzepaku ozimego pochodzące

z obiektu nawożonego naturalno-mineralnie, odpowiednio: 5,34 oraz 4,17 mg·kg<sup>-1</sup>. Po aplikacji wyłącznie obornika lub nawozów mineralnych ilość tego mikroelementu w plonie głównym tych roślin, w porównaniu do wyniku uzyskanego na w/w obiekcie, była niższa odpowiednio o: 4,9 i 8,1% oraz 11,3 i 9,6%. Ilość miedzi w ziarnie pszenicy ozimej była istotnie determinowana rodzajem zastosowanego nawożenia roślin uprawianych w zmianowaniu, a największy wpływ miała aplikacja obornika (7,38 mg·kg<sup>-1</sup>).

Zależności pomiędzy zawartością miedzi w plonie głównym poszczególnych roślin uprawianych w zmianowaniu, a aplikowanym rodzajem nawozu, zarówno w 6. jak i 11. rotacji, były takie same. Poza tym ilość tego mikroelementu stwierdzona w plonach roślin zebranych w 6. rotacji była większa od odnotowanej w bulwach, ziarnie i nasionach uzyskanych w rotacji 11.

Zawartość cynku w bulwach ziemniaka była istotnie determinowana rodzajem zastosowanego nawożenia, ale największy wpływ na nią miała łączna aplikacja obornika i nawozów mineralnych (15,45 mg Zn·kg<sup>-1</sup>). Po zastosowaniu obornika oraz nawozów mineralnych odnotowano mniejsze zawartości tego mikroelementu w stosunku do powyższego obiektu, odpowiednio o: 9,6 i 20,7%. Takiej zależności nie stwierdzono w 6. rotacji, w której największy wpływ na omawianą cechę miało nawożenie naturalne. W ziarnie jęczmienia jarego oraz pszenicy ozimej, podobnie jak w bulwach ziemniaka, największe ilości cynku (30,16 oraz 34,61 mg·kg<sup>-1</sup>) stwierdzono w plonach z obiektów nawożonych naturalno-mineralnie. Były one większe od odnotowanych w ziarnie zebranych z obiektów, gdzie aplikowano NPK oraz obornik, odpowiednio o: 22,6 i 24,1% dla jęczmienia oraz 10,4 i 51,9% dla pszenicy. Natomiast w 6. rotacji największy poziom cynku odnotowano w plonach głównych tych zbóż zebranych z obiektów nawożonych obornikiem. Odmienne wyniki niż dla w/w roślin odnotowano dla nasion rzepaku ozimego. Okazało się, że zastosowanie NPK przyczyniło się w największym stopniu do uzyskania najwyższej ilości cynku ogólnego w plonie głównym tej rośliny (29,48 mg·kg<sup>-1</sup>) uprawianej w trzecim roku 11. rotacji zmianowania. Rezygnacja z nawozów mineralnych i aplikowanie jedynie obornika doprowadziło do spadku ilości omawianego składnika w plonie głównym rzepaku ozimego o 9,8% w porównaniu z w/w obiektem. Natomiast łączne zastosowanie obornika i NPK skutkowało zmniejszeniem ilości tego mikroelementu o 1,28% w nasionach.

Zawartości manganu i żelaza w plonie głównym badanych roślin były istotnie różnicowane rodzajem zastosowanego nawożenia w zmianowaniu.

Największą zawartością Mn charakteryzował się plon bulw pochodzący z obiektu, gdzie aplikowano nawożenie naturalno-mineralne (9,42 mg·kg<sup>-1</sup>). Zastosowanie obornika zdecydowało o niższej o 19,4% jego zawartości w stosunku do wyżej wymienionego obiektu, a wysiew jedynie NPK - o 11,1%. Taką samą zależność zaobserwowano w bulwach zebranych w 6. rotacji zmianowania. W badaniach własnych najmniej manganu stwierdzono w bulwach nawożonych obornikiem, co potwierdza jego odkwaszające działanie, prowadząc tym samym do zmniejszenia ilości tego mikroelementu. Podobne zależności uzyskano dla testowanych w doświadczeniu zbóż. Z kolei najwyższą ilość omawianego składnika w plonie głównym rzepaku ozimego odnotowano po aplikacji nawozów mineralnych.

Największą ilość Fe w 11. rotacji odnotowano w bulwach ziemniaka i ziarnie testowanych zbóż pochodzących z obiektu, gdzie aplikowano nawożenie naturalno-mineralne (odpowiednio: 55,46; 58,04 i 40,85 mg·kg<sup>-1</sup>). Natomiast stosowanie wyłącznie nawozu naturalnego determinowało uzyskanie istotnie największej zawartości tego składnika (68,97 mg·kg<sup>-1</sup>) w plonie głównym rzepaku ozimego uprawianego w trzecim roku 11. rotacji zmianowania. Wartość tej cechy była wyższa w stosunku do ilości odnotowanych w nasionach zebranych z poletek nawożonych wyłącznie mineralnie oraz łącznie obornikiem i NPK, odpowiednio o: 9,7 oraz 15,8%. Taką samą zależność stwierdzono w nasionach rzepaku ozimego uprawianego w 6. rotacji zmianowania.

### **Zawartość ołowiu, kadmu, chromu i niklu**

W przeprowadzonych badaniach własnych stwierdzono, że ilości ołowiu i kadmu w uprawianych na plantacji roślinach nie były istotnie determinowane rodzajem zastosowanego nawożenia. We wszystkich latach rotacji 11., bez względu na rodzaj zastosowanego nawożenia, zawartości w/w składników w plonie głównym nie przekraczały 1 mg·kg<sup>-1</sup>. Z kolei zawartości pozostałych analizowanych metali ciężkich (Ni, Cr) zależały od rodzaju zastosowanego nawożenia. Przy czym

najmniejsze ich wartości w bulwach ziemniaka uzyskano po aplikacji nawozu naturalnego, a w ziarnie pszenicy ozimej po łącznym zastosowaniu obornika i NPK. Natomiast nawożenie obornikiem oraz jedynie NPK skutkowało stwierdzeniem najmniejszej ilości chromu, odpowiednio w nasionach rzepaku i ziarnie jęczmienia jarego. W ziarnie tego zboża po łącznej aplikacji obornika i NPK oraz w nasionach rzepaku ozimego po wysianiu nawozów mineralnych, odnotowano najmniej niklu.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono, że w 11. rotacji zmianowania wartości kwasowości hydrolitycznej w glebie były średnio istotnie najwyższe po łącznym zastosowaniu obornika i nawożenia mineralnego (NPK), niezależnie od roku badań, a tym samym od gatunku uprawianej rośliny. Natomiast takiej tendencji nie udokumentowano w przypadku wartości pH, bowiem najwyższe wskaźniki tego parametru uzyskano po zastosowaniu samego obornika, również niezależnie od lat badań. Należy zwrócić uwagę, że po 11. rotacji zmianowania, niezależnie od stosowanego nawożenia, odnotowano zmianę odczynu gleby z obojętnego (1974 r.) do kwaśnego lub bardzo kwaśnego.
2. Wykazano, że zawartości azotu ogółem oraz węgla organicznego były średnio istotnie najwyższe w glebach pobranych spod badanych roślin po aplikacji obornika, w stosunku do pozostałych stosowanych nawozów, za wyjątkiem zawartości Corg. po uprawie rzepaku ozimego.
3. Stwierdzono, że zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu były średnio istotnie najwyższe w glebach po zastosowaniu wyłącznie obornika, w stosunku do pozostałych obiektów nawozowych, za wyjątkiem zawartości Mg określonej w glebach spod uprawy pszenicy ozimej, gdzie najwyższą zawartość tej cechy odnotowano po łącznej aplikacji obornika i nawożenia mineralnego (NPK).
4. Na ogół średnio istotnie najwyższe zawartości przyswajalnych form miedzi, cynku i manganu w glebach, niezależnie od roku badań, uzyskano po zastosowaniu obornika, w porównaniu do pozostałych badanych nawozów. Takiego kierunku nie stwierdzono w przypadku zawartości żelaza. Średnio najwyższe jego zawartości wykazano zarówno po aplikacji obornika lub łącznej obornika i NPK, za wyjątkiem gleb po uprawie pszenicy ozimej.
5. Zawartości badanych metali ciężkich w analizowanych glebach były mało zróżnicowane. Jednak każdorazowo w przypadku ołowiu, chromu i niklu, średnio najwyższe ich zawartości, stwierdzono po zastosowaniu obornika. Nie dotyczyło to natomiast kadmu, którego zawartości wynosiły mniej niż  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , niezależnie od stosowanych rodzajów nawozów. Badane gleby spełniały standardy dla gleb użytkowanych rolniczo.
6. Wykazano, że plon główny uprawianych roślin w 11. rotacji zmianowania, był średnio istotnie najwyższy po łącznej aplikacji nawozu naturalnego i nawożenia mineralnego, w stosunku do pozostałych badanych nawozów.
7. Nie stwierdzono kierunkowych zmian w zawartościach podstawowych makroskładników w plonie głównym badanych roślin. Zależały one zarówno od rodzajów aplikowanego nawożenia jak i gatunku uprawianej rośliny. W przypadku azotu ogólnego średnio istotnie najwyższe jego zawartości uzyskano w bulwach ziemniaka i ziarnie jęczmienia jarego po łącznym zastosowaniu obornika i NPK, natomiast w nasionach rzepaku ozimego i ziarnie pszenicy ozimej – po aplikacji jedynie nawozów mineralnych.
8. Podobną zależność jak w przypadku azotu odnotowano dla zawartości fosforu, potasu i magnezu w plonie głównym. Najwyższe średnie istotne zawartości tych makroskładników stwierdzono po zastosowaniu obornika. Dotyczyło to na ogół wszystkich uprawianych roślin. Natomiast w przypadku wapnia, najwyższe jego zawartości uzyskano wyłącznie po łącznej aplikacji obornika i NPK.
9. Najwyższą istotną zawartość badanych mikroelementów w bulwach ziemniaka stwierdzono po łącznej aplikacji obornika i nawozów mineralnych. Nawożenie to wpłynęło również na uzyskanie istotnie najwyższej ilości Zn, Mn i Fe w ziarnie jęczmienia i pszenicy. Z kolei najwięcej miedzi w plonie zbóż odnotowano po aplikacji obornika. Nawożenie NPK determinowało uzyskanie



największej zawartości cynku i manganu, aplikacja obornika – żelaza, a łączne stosowanie obornika i NPK – miedzi, w nasionach rzepaku ozimego.

10. W plonie głównym ziemniaka, jęczmienia jarego i rzepaku ozimego najwyższą zawartość chromu stwierdzono pod wpływem łącznej aplikacji obornika i nawozów mineralnych, natomiast w ziarnie pszenicy po zastosowaniu obornika. Z kolei w wyniku łącznego nawożenia obornikiem i nawozami mineralnymi najwyższą zawartość niklu ogólnego odnotowano w bulwach ziemniaka i nasionach rzepaku, a aplikacja wyłącznie obornika determinowała jego najwyższą ilość w plonie głównym badanych zbóż. Uzyskane zawartości ołowiu i kadmu w plonach badanych roślin były mniejsze niż  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Zawartości powyższych metali nie przekraczały wartości granicznych dla uzyskanego surowca w kontekście jego bezpieczeństwa dla przemysłu rolno-spożywczego.

Reasumując należy stwierdzić, że wieloletnie (44 lata) nakładające się nawożenie obornikiem, nawozami mineralnymi NPK) oraz łączna ich aplikacja powodowały zmiany wartości wskaźników jakościowych gleby (zmniejszenie wartości pH gleby, wzrost wartości Hh, zmniejszenie zawartości  $N_{\text{og}}$ ,  $C_{\text{org}}$ , przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie). Przy czym najmniejszy ich spadek odnotowano po zastosowaniu obornika. Powyższe zmiany mogły mieć wpływ na uzyskane wartości cech ilościowych i jakościowych plonu głównego roślin uprawianych w 11. rotacji zmianowania.

## LITERATURA

- Antonkiewicz J., Łabętowicz J. 2016. Chemical innovation in plant nutrition in a historical continuum from ancient Greece and Rome until modern time. *Chem. Didact. Ecol. Metrol.*, (1-2), 29-43.
- Barczak B., Cwojdzński W., Nowak K. 1999. Wpływ nawożenia mineralnego i organicznego na niektóre właściwości gleby w statycznym doświadczeniu polowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 467, 177-183.
- Bečka D., Bečková L., Tomášek J., Mikšík V., Vicianová M. (2024): Effects of various nitrogen fertilisers applied in autumn on growth parameters, yield and quality of winter oilseed rape. *Plant Soil Environ.*, 70, 317–325. <https://doi.org/10.17221/68/2024-PSE>
- Berti A., Marta A.D., Mazzoncini M., Tei F. 2016. An overview on long-term agro-ecosystem experiments: Present situation and future potential. *Eur. J. Agron.*, 77, 236-241.
- Bhatt M., Singh A.P., Singh V., Kala D.C., Kumar V. 2019. Long-term effect of organic and inorganic fertilizers on soil physico-chemical properties of a silty clay loam soil under rice-wheat cropping system in Tarai region of Uttarakhand. *J. Pharm. Phytoch.*, 8(1), 2113-2118.
- Blecharczyk A., Małecka-Jankowiak I., Sawińska Z., Piechota T., Waniorek W. 2018. 60-letnie doświadczenie w Brodach z uprawą roślin w zmianowaniu i monokulturze. *Eksperymenty wieloletnie w badaniach rolniczych w Polsce. Wyd. Nauk. UWM, Olsztyn* 27–40.
- Cwojdzński W., Majcherczak E. 1996. Wpływ 20-letniego nawożenia mineralnego i organicznego na wielkość plonu i niektóre właściwości gleby. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Roln.*, 62(172), 77-84.
- Cwojdzński W., Nowak K. 2000 a. Wpływ nawożenia na wysokość i jakość plonu roślin w 6. rotacji statycznego doświadczenia nawozowego. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agricultura*, (84)211, 63-68.
- Cwojdzński W., Nowak K. 2000 b. Wpływ nawożenia na wybrane właściwości gleby w statycznym doświadczeniu nawozowym. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agricultura*, 84(211), 69-74.
- Cwojdzński W., Nowak K. 2002. Wybrane właściwości gleby w prowadzonym od 28 lat statycznym doświadczeniu nawozowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 484, 87-94.
- Cwojdzński W., Nowak K., Majcherczak E. 1993. Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na niektóre właściwości gleby w statycznym doświadczeniu nawozowym. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 278(37), 373-381.
- Cwojdzński W., Spychaj-Fabisiak E. 1996. Wpływ wieloletniego nawożenia mineralnego i mineralno-

organicznego na koncentrację rodników paramagnetycznych i wybrane elementy żyzności gleby. Zesz. Nauk. AR Szczecin, Rolnictwo, 62(172), 85-92.

- Jakubowski P. 2015. Plon i skład chemiczny bulw ziemniaka w warunkach zróżnicowanego nawożenia mineralnego i naturalnego. Praca magisterska 6.07.2015 r. WRiB, PBŚ Bydgoszcz.
- Jaskulska I., Urbanowski S. 2018. Wieloletnie doświadczenie nawozowe w Mochelku – źródło naukowej wiedzy rolniczej. [red.: Marks M., Jastrzębska M., Kostrzewska M.K. W: Eksperymenty wieloletnie w badaniach rolniczych w Polsce]. Wyd. Nauk. UWM, Olsztyn, 74-95.
- Johnston A.E., Poulton P.R. 2018. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experiment. Eur. J. Soil Sci. 69, 113-125.
- Kopeć M., Gondek K. 2016. Znaczenie długotrwałych doświadczeń i problem upływu czasu w metodach badawczych z obszaru nauk przyrodniczych. Pol. J Sust. Develop., 20, 93-104.
- Kuziemska B., Pakuła K., Pieniak-Lendzion K., Becher M. 2017. Metale ciężkie w glebach położonych wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Zesz. Nauk. UPH w Siedlcach, Ser. Administracja i Zarządzanie, 112(39), 98–107.
- Liu Y., Lv Z., Hou H., Lan X., Ji J., Liu X. 2021. Long-term effects of combination of organic and inorganic fertilizer on soil properties and microorganisms in a Quaternary Red Clay. PLoS ONE 16(12), e0261387. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261387>
- Łabętowicz J. 2020. Doświadczalnictwo rolnicze w Europie od XVII do XIX wieku. [red. Łabętowicz J., Radecki A., W: 100 lat doświadczalnictwa rolniczego na Wydziale Rolnictwa i Biologii SGGW]. Wyd. SGGW, Warszawa, 17-30.
- Łabętowicz J., Niedziński T. 2020. Znaczenie długotrwałych doświadczeń polowych dla nauki i praktyki rolniczej. [red. Łabętowicz J., Radecki A., W: 100 lat doświadczalnictwa rolniczego na Wydziale Rolnictwa i Biologii SGGW]. Wyd. SGGW, Warszawa, 281-293.
- Marks M., Rychcik B., Treder K., Tyburski J. 2018. 50.letnie badania nad uprawą roślin w płodozmianie i monokulturze – źródło wiedzy i pomnik kultury rolnej. [red.: Marks M., Jastrzębska M., Kostrzewska M.K. W: Eksperymenty wieloletnie w badaniach rolniczych w Polsce]. Wyd. Nauk. UWM, Olsztyn, 41–56.
- Nowak K., Majcherczak E., 2002. Skład aminokwasowy białka plonu roślin uprawianych w 4-letnim cyklu zmianowania w zależności od nawożenia i wapnowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 484, 441-449.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi z 9.09.2002 r. (Dz. U. z 4.10.2002 r., Dz.U.02.165.1359).
- Rutkowska B., Murawska B., Spychaj-Fabisiak E., Różański Sz., Szulc W., Piekut A. 2015. Evaluation of the mercury content of loamy sand soil after long-term nitrogen and potassium fertilization. Plant Soil Environ. 61, 12, 537-543.
- Stępień W., Kobiałka M. 2019. Effect of long-term organic and mineral fertilisation on selected physico-chemical soil properties in rye monoculture and five-year crop rotation . Soil Sci. Ann., 70(1), 34-38.
- Stępień W., Sosulski T., Szara E. 2018. Współdziałanie nawożenia mineralnego i organicznego w świetle trwałych doświadczeń nawozowych. [red.: Marks M., Jastrzębska M., Kostrzewska M.K. W: Eksperymenty wieloletnie w badaniach rolniczych w Polsce]. Wyd. Nauk. UWM, Olsztyn, 11-26.
- Szulc W., Rutkowska B., Bomze K., Felak E. 2007. The influence of long-term differentiated crop rotation and fertilization on content of microelements in soil. *Fragm. Agron.*, 24(93), 248-253.
- Systematyka gleb Polski. 2019. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Komisja Genezy Klasyfikacji i Kartografii Gleb. Wyd. UP Wrocław, PTG, Wrocław–Warszawa.
- Terzić D., Popović V.M., Malić N., Ikanović J., Rajčić V., Popović S., Lončar M., Lončarević V. 2019.

Effects of long-term fertilization on yield of siderates and organic matter content of soil in the process of recultivation. *J. Anim. Plant Sci.*, 29(3), 790-795.

Thomas C.L., Acquah G., Whitmore A.P., McGrath S.P., Haefele S.M. 2019. The effect of different organic fertilizers on yield and soil and crop nutrient concentrations. *Agronomy*, 9(12), 776, 1-16.

Viet H.Q., 2023. Influence of 96 years of mineral and organic fertilization on selected soil properties: a case study from long-term field experiments in Skierniewice, central Poland. *Soil Sci. Ann.*, 74(1), 161945, 1-11. doi.org/10.37501/soilsa/161945.