

NW

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

Rozprawy
nr 75

JAN KOPER

ZMIANY ZAWARTOŚCI
FOSFORU ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH
I JEGO FRAKCJI W GLEBIE
WYWOŁANE WIELOLETNIM NAWOŻENIEM ORGANICZNYM

1.5/9

per, Jan.
iany zawartości fosforu

6.

BYDGOSZCZ - 1996

634.5/9

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

Rozprawy
nr 75

JAN KOPER

ZMIANY ZAWARTOŚCI
FOSFORU ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH
I JEGO FRAKCJI W GLEBIE
WYWOŁANE WIELOLETNIM NAWOŻENIEM ORGANICZNYM

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



00000008725

BYDGOSZCZ - 1996

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
prof. dr hab. Ojcumiła Stefaniak

OPINIODAWCY

prof. zw. dr hab. Eugeniusz Gorlach
prof. zw. dr hab. Stanisław Kalembasa

REDAKTOR NAUKOWY

prof. zw. dr hab. inż. Wojciech Cieśla
prof. dr hab. Sławomir Gonet

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Joanna Ekstowicz-Mąka, Zbigniew Gackowski



Wydano za zgodą Rektora
Akademii Techniczno-Rolniczej
w Bydgoszczy

80416

ISSN 0209-0597

WYDAWNICTWO UCZELNIANE
AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ W BYDGOSZCZY

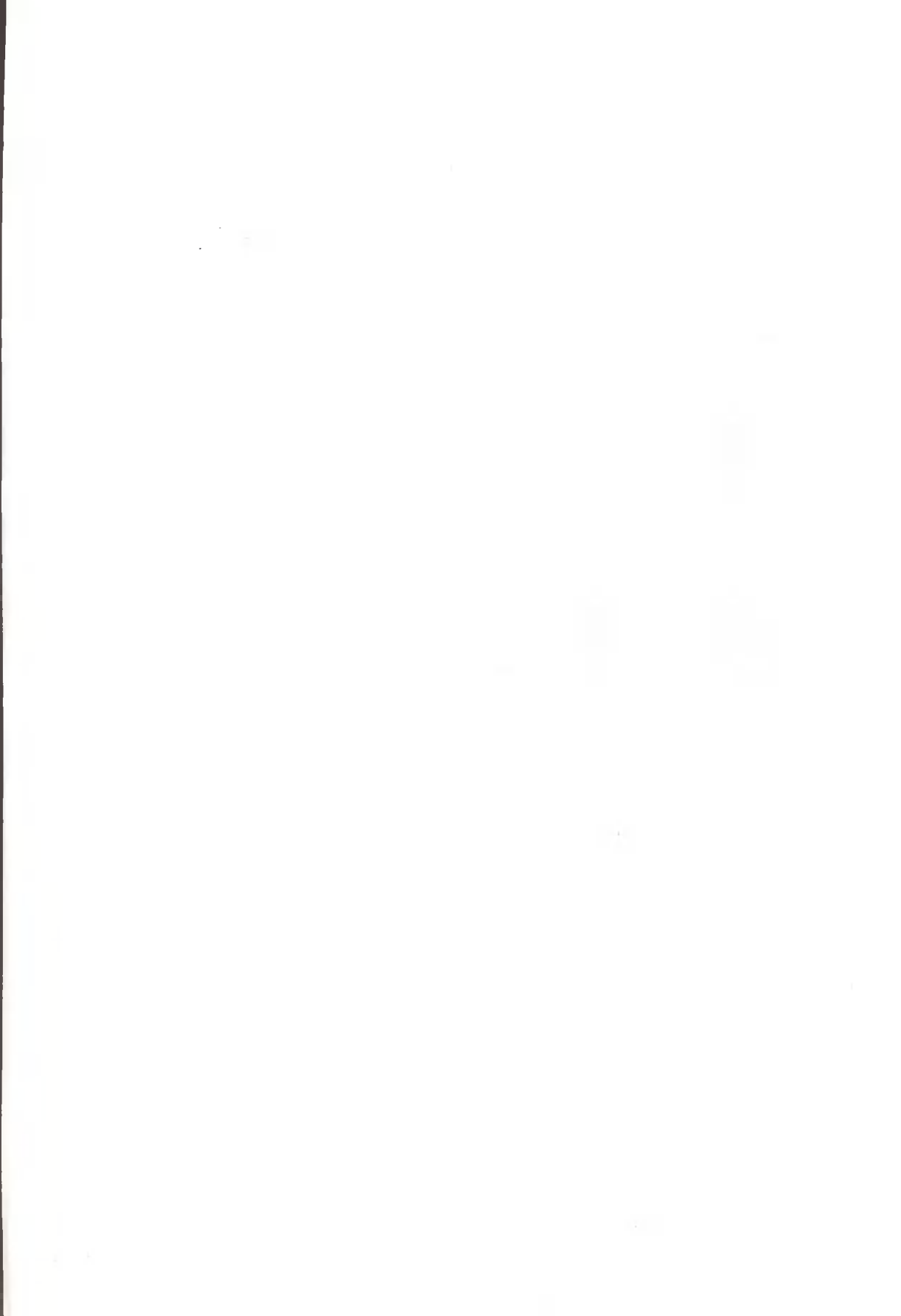
Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. aut. 6,15. Ark. druk. 6,5. Papier druk. kl. III.
Oddano do druku w lipcu 1996 r. Druk ukończono w lipcu 1996 r.
MEN

Zakład Poligraficzny Kubik & Krause, 85-184 Bydgoszcz, ul. Cmentarna 84, tel.719-546

97 D 52/6

Spis treści

	str.
I. WSTĘP I CEL PRACY	7
II PRZEGLĄD LITERATURY	9
II.1. Obieg fosforu w ekosystemach lądowych oraz znaczenie wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ w procesach zachodzących w glebach	9
II.2. Fosfor związków organicznych i jego frakcje w glebach	11
II.3. Wpływ nawożenia na zawartość fosforu związków organicznych w glebach	12
II.4. Frakcje fosforu związków organicznych i zawartość $P_{org.}$ w gnojowicy i oborniku	13
II.5. Znaczenie fosfoesteraz w regulowaniu zawartości przyswajalnych dla roślin form fosforu w glebach	14
III. MATERIAŁ I METODY	15
III.1. Materiał glebowy	15
III.2. Metody badań	20
IV. WYNIKI BADAŃ	23
IV.1. Ogólna charakterystyka badanych gleb	23
IV.2. Zawartość węgla ($C_{org.}$) i fosforu związków organicznych ($P_{org.}$) oraz wartości stosunków $C_{org.}/P_{org.}$ i $P_{org.}/P_{og}$	30
IV.3. Zawartość frakcji fosforu związków organicznych	38
IV.4. Udział procentowy poszczególnych frakcji (PFI-PFIV) w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych ($P_{org.}$) i fosforu ogółem (P_{og})	54
IV.5. Zawartość niższych (IP ₁₋₄) i wyższych (IP ₅₋₆) estrów fosforanowych inozytoli i ich udział w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych ($P_{org.}$)	61
IV.6. Zawartość różnych form fosforu w glebach w zależności od aktywności fosfatasy kwaśnej (P.A.) i pH gleby	69
V. DYSKUSJA WYNIKÓW	80
VI. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	88
LITERATURA	90
STRESZCZENIA	101



Wykaz symboli i skrótów stosowanych w pracy

min. - mineralizacja

immob. - immobilizacja

symbol dawki:

0 - nawożenie NPK w nawozach mineralnych

B1 - 50% N w gnojowicy bydłowej + 50% N w formie mineralnej

B2 - 100% N w gnojowicy bydłowej

B3 - 200% N w gnojowicy bydłowej

T1 - 50% N w gnojowicy trzody chlewnej + 50% N w formie mineralnej

T2 - 100% N w gnojowicy trzody

T3 - 200% N w gnojowicy trzody

zmianowanie Z1 - zmianowanie zubożające glebę z materii organicznej

zmianowanie Z2 - zmianowanie wzbogacające glebę w materię organiczną

FYM - farmyard manure

C_{org.} - węgiel organiczny

P_{org.} - fosfor związków organicznych

P_{og.} - fosfor ogółem

P_{tot.} - total phosphorus

P_{E-R} - fosfor przyswajalny wg Egnera-Riehma

PFI - fosfor frakcji I (lipidowy)

PFII - fosfor frakcji II (kwasu RNA)

PFIII - fosfor frakcji III (kwasu DNA)

PFIV - fosfor frakcji IV (inozytolowy)

IP₁₋₄ - fosfor niższych estrów inozytolu

IP₅₋₆ - fosfor wyższych estrów inozytolu

I-6-P - 6-fosforan inozytolu

P.A. - aktywność fosfatazy

PNP - fosforan p-nitrofenolu

I. WSTĘP I CEL PRACY

Fosfor jest bardzo ważnym makroskładnikiem ze względu na biogeny charakter tego pierwiastka. W literaturze naukowej dotyczącej zawartości fosforu związków organicznych w glebach Polski są pewne braki. Odnoszą się one zwłaszcza do rozmieszczenia oraz ilości związków organicznych zawierających fosfor. Jeszcze mniej wiadomo o roli określonych frakcji tych związków oraz ich zawartości w zależności od sposobu użytkowania gleb. Każda zatem praca, chociaż w rzeczywistości dotyczyć może bezpośrednio zagadnienia form fosforu w związkach organicznych, faktycznie zawsze poszerza naszą wiedzę o ich przemianach w glebach. Temu szerokiemu problemowi poświęcono jak dotąd chyba zbyt mało uwagi, przynajmniej w nauce polskiej.

Fosfor związków organicznych stanowi 30-50% ogólnej zawartości fosforu występującego w większości gleb uprawnych [11,18]. Tymczasem większość badań dotyczących fosforu koncentruje się na jego formach mineralnych i problemie ich chemicznego uwsteczniania. W rezultacie tak ważne ogniwo przemian fosforu, jak mineralizacja jego form organicznych jest zdecydowanie zbyt mało poznana.

W intensywnej gospodarce rolnej istnieje potrzeba ciągłego nawożenia gleb nawozami, które zawierają składniki pokarmowe dla roślin, do których należy także fosfor. W niektórych sytuacjach gnojowica zastępuje obornik tradycyjny, a w fermach typu przemysłowego staje się ona jedyną formą stosowanego nawożenia organicznego [105].

Aktualnie nie posiadamy jednoznacznych danych na temat wpływu zróżnicowanego i długoletniego stosowania gnojowicy na właściwości fizyczne, chemiczne i biochemiczne gleby. Śledzenie skutków i zmian zachodzących w środowisku glebowym na skutek długotrwałego stosowania gnojowicy na tych samych polach staje się interesującym tematem badań chemii i biochemii gleby. W badaniach należy jednakże uwzględnić również fosfor związków organicznych, który dostaje się do gleby wraz z resztkami pozbiorowymi oraz szczątkami flory i fauny glebowej. Bardzo ważnym elementem tego typu badań jest określanie charakteru współzależności pomiędzy zawartością fosforu związków organicznych a zawartością innych pierwiastków biogenych w glebie, a więc węgla, azotu i siarki.

Przy określaniu wpływu nawożenia organicznego na zawartość frakcji i formę związków fosforowych w glebach należy tak opracowywać zagadnienia, aby jednocześnie uwzględniać ich funkcję i przemiany. Jednym z elementów takiego sposobu interpretacji tego problemu może być wprowadzanie do badań pomiarów aktywności enzymatycznej gleb, co może stanowić ich interesującą i perspektywiczną stronę.

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zróżnicowanych dawek gnojowicy bydłowej i trzody chlewnej oraz obornika na zawartość fosforu związków organicznych oraz fosforu frakcji lipidowej, kwasów nukleinowych i inozytolu w glebie.

W badaniach własnych porównano również działanie nawozowe gnojowicy, obornika i nawozów mineralnych w celu określenia zasobności gleby w fosfor związków organicznych, fosfor ogółem i przyswajalny.

Dla uwidocznienia wpływu długotrwałych zabiegów agrotechnicznych zbadano zależność pomiędzy uziarnieniem gleby, rodzajem zmianowania a składem frakcyjnym fosforu związków organicznych wywołanych warunkami doświadczenia.

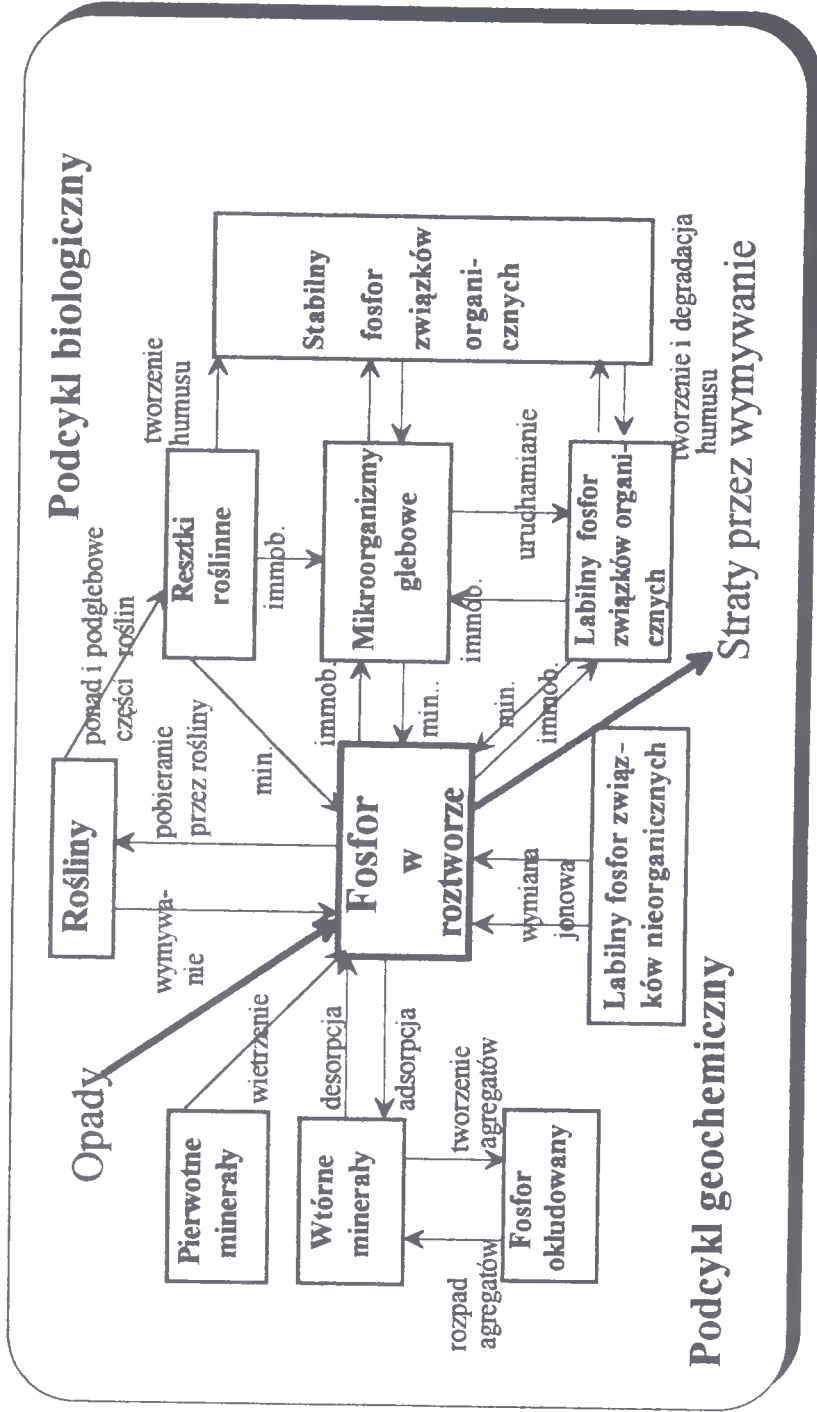
Istotnym elementem badawczym było możliwie wszechstronne określenie wpływu wieloletniego nawożenia organicznego na warunki sprzyjające mineralizacji bądź imobilizacji fosforu związków organicznych. Dla zrealizowania tego celu określono związki między aktywnością fosfatazy a zawartością różnych form fosforu oraz zależność pomiędzy zawartością fosforu i węgla w związkach organicznych w glebie w wyniku wieloletniego oddziaływania nawozów organicznych.

II. PRZEGLĄD LITERATURY

II.1. Obieg fosforu w ekosystemach lądowych oraz znaczenie wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ w procesach zachodzących w glebach

Zawartość w glebach fosforu przyswajalnego dla roślin jest stymulowana przez procesy bio- i geochemiczne oraz nawożenie. Badania nad stopniem żyzności gleb o niskiej zawartości fosforu mogą dostarczyć wartościowych informacji o tym, w jaki sposób ilość fosforu przyswajalnego wpływa na prawidłowe funkcjonowanie ekosystemu [170]. W celu właściwego opisanie dynamiki fosforu związków organicznych w glebach ważnym jest zrozumienie wzajemnego współdziałania mikroorganizmów, fauny i flory, od których to uzależnione są procesy obiegu związków fosforu. Opisując dynamikę fosforu związków organicznych, należy jednocześnie mieć na względzie obieg fosforu ogółem, ponieważ unieruchomienie, mineralizacja oraz ponowne przemieszczanie fosforu w glebie zależy od właściwości fizyko-chemicznych, takich jak: sorpcja fosforu przez powierzchnie koloidalne, a także od pobierania fosforu przez drobnoustroje. Jak podaje Walbridge [170], pierwotne minerały ulegają powolnemu rozpuszczaniu dostarczając fosforanów, które dostają się do labilnego lub znajdującego się w roztworze fosforu nieorganicznego (rys.1). Centralnym punktem wzajemnego oddziaływania jest roztwór glebowy o pewnej zawartości fosforu przyswajalnego, który łączy wszystkie ważne procesy podcyklu biologicznego i geochemicznego [95]. Część fosforu zostaje wytrącona jako minerały wtórne i w końcu ulega przemianom w formy okludowane w wyniku sorpcji na powierzchniach wodorotlenków glinu i żelaza oraz na cząsteczkach $CaCO_3$ [42,177]. Głównym źródłem fosforu związków organicznych w glebie jest biomasa, która może być pobrana bezpośrednio przez drapieżniki lub saprofity. Fosfor ze związków organicznych może być uwolniony przez sekrecję lub lizę komórkową do środowiska glebowego, skąd po uprzedniej hydrolizie może być pobrany przez rośliny. Może zostać również ustabilizowany w formie połączeń mineralno-organicznych: substancje humusowe - reszty fosforanowe - koloidy mineralne [107,153].

O stopniu mineralizacji bądź immobilizacji fosforu w glebie informują wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$, które w znacznym stopniu zależą od wprowadzanej do gleby substancji organicznej (obornik, gnojowica, resztki roślin itp.) [136,150,151,164, 165]. Według różnych autorów podawane są nieco rozbieżne wartości tego stosunku dla obu wymienionych procesów. Dalal [29] obserwował mineralizację przy wartości $C_{org.}/P_{org.}=200:1$, Enwezor [37,38] przy 112:1, natomiast przy wyższych wartościach tego stosunku dominowała immobilizacja, czyli tworzenie się form organicznych. Znaczącość wartości stosunków $C_{org.}/P_{org.}$ ma również duże znaczenie w procesie glebotwórczym [33,95,161,162, 171]. Wartość liczbowa stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ wzrasta w miarę postępującego wietrzenia minerałów glebowych [2,47,140,142,149]. Zawartość fosforu związków organicznych powinna zatem zmniejszać się wraz z zaawansowaniem procesów wietrzenia minerałów pierwotnych.



Rys.1. Model obiegu różnych składników fosforowych ekosystemu ziemskiego wg Walbridge'a (1991)

Fig.1. Model of important components of the phosphorus cycle of a terrestrial ecosystem by Walbridge (1991)

11.2. Fosfor związków organicznych i jego frakcje w glebach

Źródłami fosforu związków organicznych w glebach są szczątki roślinne i zwierzęce oraz wprowadzone do gleby nawozy organiczne. W literaturze naukowej dotyczącej tego problemu podaje się, że w glebach uprawnych 30-40% [11,18,20,83,143,146], a nawet 30-80% [63,159] fosforu występuje w formach organicznych. Fosfor związków organicznych nagromadza się zwykle w powierzchniowych warstwach gleby, a jego zawartość maleje wraz z głębokością [12,18,115]. Znajdujący się w glebach fosfor związków organicznych tworzy kompleksowe połączenia z kwasami fulwowymi i huminowymi. Wyniki badań tych kompleksowych połączeń pozwalają sugerować, że fosfor prawdopodobnie zastępuje grupy karboksylowe lub inne aktywne rodniki substancji humusowych oraz że może być połączony z tymi kwasami przez jon metalu [39,49,98,99,114,138,141,160,168]. Dotychczas przeprowadzone badania definitywnie nie wyjaśniły struktury połączenia fosforu z materią organiczną gleb. Powoduje to trudności w wydzieleniu i ilościowym oznaczaniu znanych związków fosforu.

Powszechnie wyróżnia się następujące frakcje fosforu związków organicznych gleb: fosfor lipidowy, kwasów nukleinowych, inozytolowy oraz białek, węglowodanów i wolnych nukleotydów.

Fosfor lipidowy

Fosfolipidy stanowią w większości gleb najczęściej 1% fosforu związków organicznych, a w zależności od typu gleby i sposobu jej użytkowania udział ten wynosi 0,5-7,0% [6,35]. W glebach przeważają fosfoglikolipidy, w których lecytyny stanowią 40%, a kefaliny 30% [62]. Ponadto lecytyny często stanowią 1% ogólnej zawartości fosforu znajdującego się w glebie [9]. Fosfolipidy, występujące we florze i faunie glebowej, biorą udział w wielu procesach związanych z ich wzrostem i rozwojem. Są składnikami struktur membranowych, biorą udział w transporcie białek do wnętrza mitochondrium przez błonę mitochondrialną [148]. Fosfolipidy są związkami na ogół łatwo rozkładanymi przez enzymy glebowe, a zatem mogą być dobrym źródłem fosforu przyswajalnego dla roślin [1,14,57,59,126].

Fosfor kwasów nukleinowych

Fosfor związany w polinukleotydach kwasów DNA i RNA stanowi od kilku do kilkudziesięciu procent fosforu związków organicznych gleby [7,9,20,25,53,69,90,144]. Obecność tych związków w środowisku glebowym potwierdza występowanie zasad purynowych i pirymidynowych identyfikowanych w wyciągach glebowych [6,7,50,144]. Badania ekstraktów kwasów huminowych potwierdziły, że występują tam wszystkie zasady w ilościach charakterystycznych dla DNA i to nie tylko w stanie wolnym, lecz także w postaci polinukleotydów [7,8,48,49].

Fosfor inozytolowy

Fosforany inozytowe stanowią 20-50% ogólnej zawartości fosforu związków organicznych gleb [108,113,134,144,175]. W glebach występują one jako: myo-, scyllo-, neo-, L i D-, chiro- oraz muco- estry inozytolu [7,96,97,134]. Sześćiofosforan myo-inozytolu występuje w tkankach roślinnych w postaci soli wapniowo-magnezowych, czyli fityn [69,108,109]. Fosfatydylo-inozytole biorą udział w regulacji wzrostu i podziale komórek w obecności kinaz i fosfolipaz [58] oraz w procesie transportu błonowego [58]. Fosforany inozytowe występują jako niższe (IP₁₋₄) i wyższe (IP₅₋₆) estry,

a ich stosunek często zależy od stopnia zwietrzenia minerałów glebowych [60,69, 108,109], jak również od sposobu użytkowania gleby [4,19,22,68,84].

Fosfor biały, węglowodanów i wolnych nukleotydów

W badaniach frakcji glebowych polisacharydów stwierdzono obecność glukozy-6-fosforanu i fruktozy-6-fosforanu, a ponadto fosforany aldehydu glicerynowego, mannozy i innych cukrów [36,61,69]. Stwierdzono, że znaczna część fosforu wchodzi w skład 6-fosforanu kwasu muraminowego, który jest główną jednostką budulcową w polisacharydowym szkielecie bakteryjnych ścian komórkowych [123]. Osobną grupę związków fosforoorganicznych w glebach tworzą fosfoproteiny pochodzenia roślinnego i zwierzęcego [6,7,9,114,115], a także fosfor nukleotydów powstający w czasie rozkładu resztek roślin i mikroorganizmów oraz difosforanów nukleotydów biorących udział w przenoszeniu energii chemicznej w ich komórkach [5,8,131].

II.3. Wpływ nawożenia na zawartość fosforu związków organicznych w glebach

Zróżnicowanie zawartości fosforu związków organicznych w glebach jest wywołane wieloma czynnikami, takimi jak: typ gleby i rodzaj skały macierzystej, warunki klimatyczne, wilgotność, pH, sposób i rodzaj upraw, czy zmiany sezonowe [2,17,24,34, 36,64,65,66,67,106,111,129,130,132,142,166]. Jednakże jednym z dominujących czynników warunkujących stan fosforu związków organicznych w glebach jest nawożenie [70,124,125,133,135,137,167].

Systematyczne nawożenie, głównie organiczne, najczęściej sprzyja nagromadzeniu się fosforu w glebie [27,31,40,41,82,88,137,156,177]. Na kierunek przemian fosforanów nawozowych mają wpływ właściwości gleby powiązane z jej typem [127]. Wieloletnie nawożenie fosforem, nawet w małych dawkach, może nie tylko zabezpieczyć potrzeby pokarmowe roślin, ale może również przeciwdziałać obniżeniu się rezerwy tego składnika w glebie [42,43]. Może prowadzić również do zmian produktywności i żyzności gleby [44]. Często na zawartość fosforu związków organicznych ma wpływ wapnowanie gleb [20,56,163] oraz dodatek obornika i resztek roślinnych [30,57]. Fosfor zawarty w oborniku jest trudniej dostępny dla roślin niż zawarty w nawozach mineralnych. Stwierdzono, że na ekstrakowanie fosforu z obornika wzbogaconego mineralnymi nawozami fosforowymi wpływało pH i stężenie jonów wapnia. Szybka mineralizacja labilnych związków organicznych zawartych w oborniku powoduje wzrost wartości pH poprzez procesy dezaminacji i tworzenie się amoniaku. Ponadto nawożenie azotowe, które oddziałuje na odczyn gleby z uwagi na proces hydrolizy i nityfikacji, może wpłynąć również na rozpuszczalność związków organicznych zawierających fosfor [57]. Badania wykazały, że nawożenie obornikiem zwiększało zawartość fosforu łatwo rozpuszczalnego [57,135], a obornik z dodatkiem superfosfatu spowodował równoczesny wzrost zawartości fosforu w związkach organicznych [135].

Stosowanie gnojowicy prowadzi do pewnych zmian chemicznych i biologicznych gleb [77,79,89,91,100,102,120,122,154,155]. Składniki mineralne i substancje organiczne zawarte w gnojowicy wpływają dodatnio na poprawę żyzności i produktywności gleb [16,28,42,73,75,103,104,121,139]. Stwierdzono, że przy systematycznym stosowaniu gnojowicy następowało wzbogacenie warstwy ornej gleby w magnez przyswajalny, a przy stosowaniu większych jej dawek (ponad 100% pokrycia potrzeb roślin na azot) - także w fosfor i potas [72,169], podobnie jak zróżnicowane, wieloletnie nawożenie mineralne [52]. Nawożąc gnojowicą wprowadzamy do gleby znaczne ilości substancji

organicznej, co może prowadzić do zwiększania zawartości próchnicy. Jednak duża ilość azotu mineralnego zawartego w gnojowicy może w określonych sytuacjach sprzyjać częściowemu rozkładowi próchnicy glebowej [78,92,118,147].

Ze względów sanitarnych obornik jest lepszym nawozem niż gnojowica. Jego działanie jest szczególnie korzystne w połączeniu z nawozami mineralnymi [12,13, 54,76, 173]. Ze względu na różną wartość nawozową, obornik i gnojowicę stosuje się według odmiennych zasad. W zależności od sposobu ustalania dawek przyjmuje się, że stosowanie gnojowicy pozwala na zwiększenie zasobności gleb w $C_{org.}$, $N_{og.}$, $P_{og.}$, jednak wyraźniejsze efekty osiąga się stosując obornik, co jest konsekwencją korzystniejszego składu chemicznego [55,86,87,94,120,174].

II.4. Frakcje fosforu związków organicznych i zawartość $P_{og.}$ w gnojowicy i oborniku

Badania dotyczące fosforu związków organicznych zawartych w gnojowicy przeprowadził między innymi Gerritse [48,49,50,51]. Podaje on, że fosfor związków organicznych, w zależności od rodzaju gnojowicy, stanowi 1-15% ogólnej zawartości fosforu [48]. Z innych badań tego autora [50] wynika, że nawet 10-30% fosforu zawartego w gnojowicy trzody chlewnej znajdowało się w formie organicznej, z czego tylko nieznaczna część występowała w formie sześćfosforanu inozytoli. Z badań sączenia na żelach wynika, że ponad 50% fosforu związków organicznych zawartych w gnojowicy trzody chlewnej było wiązane w cząsteczki o wysokiej masie cząsteczkowej, które mogły się tworzyć z połączeń DNA z polifosforanami i metalami, takimi jak Ca i Cu [49].

Gerritse i Vriesema [51] stwierdzili następującą zawartość fosforu związków organicznych w różnych gnojowicach (w % s.m.): gnojowica cielęca 0,1, bydlęca 0,1-0,15, trzody chlewnej 0,1-0,3, ptasia 0,1-0,2. Fosfor związków organicznych stanowił od 1 do 15% całkowitej zawartości fosforu w gnojowicach.

Z badań zawartości form fosforu w gnojowicy bydlęcej i trzody, przeprowadzonych przez Mazura i Sądej [119], wynika, że ponad 40% fosforu ogółem występuje w związkach łatwo hydrolizujących. Fosfor lipidów, estrów, białek i nukleotydów stanowi 52,9% $P_{og.}$ w gnojowicy bydlęcej oraz 62,4% $P_{og.}$ w gnojowicy trzody chlewnej [119].

Na zawartość fosforu ogółem w gnojowicy, a tym samym jego części organicznej, ma wpływ zarówno sposób żywienia zwierząt, jak również ich wiek i gatunek [101,105]. Wedekind i Koriath [172] podali, że zawartość P_2O_5 (w % świeżej masy) wynosiła: w gnojowicy bydlęcej 0,09-0,39 (najmniej cielęta, najwięcej bukaty) oraz 0,04-0,27 w gnojowicy trzody chlewnej (najmniej prosięta, najwięcej tuczniaki). Natomiast Mazur i wsp. [117] w przeprowadzonych badaniach składu chemicznego gnojowic stwierdzili zawartość fosforu średnio 0,15% P_2O_5 w gnojowicy bydlęcej i 0,11 % P_2O_5 w gnojowicy trzody chlewnej (w % świeżej masy).

Fosfor ogółem w świeżej masie obornika stanowi przeciętnie 0,14% [120], z czego jak podaje Sauerlandt [146], w zależności od gatunku zwierząt i sposobu przygotowania obornika, fosfor związków organicznych stanowi 0,1-0,2% $P_{og.}$. Natomiast w wyniku rozfrakcjonowania fosforu związków organicznych stwierdzono, że fosfor rozpuszczalny w C_2H_5OH stanowił 2-3%, fosfor fitynowy 6-11%, fosfor kwasów nukleinowych 17-47%, a pozostałe związki fosforoorganiczne 25-80% $P_{org.}$

II.5. Znaczenie fosfoesteraz w regulowaniu zawartości przyswajalnych dla roślin form fosforu w glebach

Enzymy glebowe, prowadząc rozkład i syntezę związków organicznych, wpływają na gromadzenie się głównych składników pokarmowych, w tym również fosforu przyswajalnego [152]. Działalność fosfoesteraz zależy od sposobu i rodzaju nawożenia, typu gleby i składu roztworu glebowego, a także od zmian sezonowych i uwarunkowań klimatycznych [2,15,23,25,26,45,46,63,85,110,112]. Niska dostępność fosforu związków organicznych dla roślin może być spowodowana sorpcją, jak i wiązaniem związków fosforoorganicznych (np. I-6-P) przez koloidy glebowe, a także przez powstanie nierozpuszczalnych kompleksów z jonami glinu i żelaza [29,110]. Fosfatazy mają ogromne znaczenie w udostępnianiu roślinom części fosforu związków organicznych zarówno w glebach uprawnych, jak i leśnych, gdzie stanowi on nawet 80-95% P_{og} [145]. Organiczne związki fosforu gromadzone są w postaci polifosforanów, które hydrolizowane są lepiej w warunkach niesterylnych niż sterylnych [32]. Dlatego też często prowadzone są badania nad możliwością zwiększania dostępności fosforu związków organicznych przez zainfekowanie korzeni roślin grzybami [10,71,116]. Nie zawsze jednak uzyskiwano zadowalające efekty wpływu mikroflory korzeniowej na rozkład I-6-P i wzrost aktywności enzymu [74,158,176]. Jeżeli aktywność fosfatazy nie wzrastała i w efekcie nie przybywało fosforu przyswajalnego z frakcji fosforu inozytolowego, tłumaczono to tym, że czynnikiem warunkującym mineralizację tego związku jest prawdopodobnie nieodpowiednia liczebność glebowej mikroflory [116, 158].

III. MATERIAŁ I METODY

III.1. Materiał glebowy

Do badań pobrano próbki gleb z dwóch wieloletnich doświadczeń prowadzonych przez IUNG w Puławach na terenie RZD w Baborówku. Stacja doświadczalna w Baborówku zlokalizowana jest na Nizinie Wielkopolskiej w pobliżu Poznania. Gleby tego regionu wytworzyły się z utworów pochodzenia polodowcowego, głównie glin lekkich. Zgodnie z "Systematyką gleb Polski" * gleby, na których przeprowadzono oba doświadczenia, reprezentują gleby płowe typowe. Zaliczyć je można do następujących jednostek hierarchicznych systematyki gleb: rząd - gleby brunatnoziemne, typ - gleby płowe, podtyp - gleby płowe typowe, rodzaj - wytworzone z gliny zwałowej, gatunek - glina średnia i piasek gliniasty lekki. Pod względem przydatności rolniczej glebę z doświadczenia 1 zalicza się do kompleksu pszennego dobrego (klasa bonitacyjna IIIa) i żytniego słabego (klasa bonitacyjna V), natomiast glebę z doświadczenia 2 zalicza się do kompleksu żytniego dobrego (klasa bonitacyjna IVa). Gleby obszaru Niziny Wielkopolskiej będące od wielu lat w intensywnej uprawie rolniczej charakteryzują się stosunkowo wysoką produktywnością, pomimo niezbyt korzystnych warunków meteorologicznych. W latach 1990-1991 średnie temperatury dla tego obszaru wynosiły odpowiednio 9,4°C i 8,3°C, a średnie roczne sumy opadów wynosiły odpowiednio 483,7 mm i 399,5 mm. Natomiast średnia temperatura za wielolecie wynosiła 8,2°C, a suma opadów za wielolecie kształtowała się na poziomie 504 mm.

Doświadczenie 1

Zostało założone w 1976 roku na glebie płowej typowej z cechami poziomu agric o następującej budowie profilu: A₁ - E (agric) - Eet - Bt - C z charakterystyczną, stosunkowo dużą miąższością poziomu akumulacji próchnicy, co może być związane z intensywną uprawą gleb tego obszaru, na którym wcześniej stosowano do orki pługi parowe, a obecnie znajdują się poletka doświadczalne. O przemieszczaniu się i kumulacji materii organicznej i innych składników pokarmowych dla roślin w głębsze warstwy profilu glebowego informują wcześniejsze badania dotyczące tej gleby [154]. Przykładowo dla próbek gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą uzyskiwano w warstwie gleby 30-50cm 0,74-0,82% C_{org.}, podczas gdy w warstwie 5-20cm zawartość C_{org.} wynosiła 0,81-0,85%. Doświadczenie prowadzono na dwóch obiektach różniących się składem granulometrycznym: glin średnich i lekkich oraz piasków gliniastych (tab.1). W dalszej części pracy oraz w opisie tabel i rysunków będą one nazywane jako gleby: gliniasta i piaszczysta.

Gleba płowa typowa o składzie granulometrycznym gliny, nawożona nawozami mineralnymi, charakteryzowała się zawartością części spalwalnych od 33 do 35%, odczynem lekko kwaśnym (pH w H₂O 6,4-6,5) i zawartością C_{org.} około 0,7% (tab.1, tab.3, tab.9). Próbki gleby gliniastej z poletek nawożonych obu gnojowicami różniły się zawartością frakcji koloidalnej, (od 16% do 31%), przy czym warstwa 5-15cm gleby

* Systematyka gleb Polski (wyd.IV), 1989. Roczn. Glebozn., XL, 3/4

nawożonej gnojowicą bydlęcą była bogatsza w tę frakcję niż warstwa 25-35cm. W glebie nawożonej gnojowicą trzody chlewnej wystąpiła zależność odwrotna. Ponadto gleba ta zawierała nieco więcej frakcji łu pyłowego grubego i drobnego (10-11%) (tab.1).

Gleba płowa typowa o składzie granulometrycznym piasków gliniastych, nawożona nawozami mineralnymi, w poziomie akumulacji próchnicy charakteryzowała się zawartością części spławalnych 12%, odczynem kwaśnym (pH w H₂O 5,0-5,1) i zawartością C_{org.} około 0,6% (tab.1, tab.3, tab.9). Próbkę gleby piaszczystej z poletek nawożonych obu gnojowicami charakteryzowały się zawartością frakcji koloidalnej od 2 do 5%, przy czym warstwa 5-15cm była bogatsza w tę frakcję niż warstwa 25-35 cm zarówno w glebie nawożonej gnojowicą bydlęcą, jak i trzody chlewnej (tab.1).

Do nawożenia organicznego używano gnojowicy: bydlęcej i trzody chlewnej o następującym średnim składzie chemicznym (% świeżej masy):

Zawartość w %	Gnojowica bydlęca	Gnojowica trzody
N _{og}	0,30	0,36
P	0,12	0,17
K	0,20	0,14
s.m.	6,8	6,0

W doświadczeniu stosowano po 5 dawek obu gnojowic. Jednakże do badań niniejszej pracy pobrano próbki gleb tylko z poletek, na których obie gnojowice stosowano w dawkach odpowiadających 50%, 100% i 200% dawki azotu stosowanego pod rośliny w nawozach mineralnych. Nawożenie gnojowicą od bydła i trzody chlewnej stosowano każdego roku jesienią pod orkę siewną lub wiosną pod kultywator, w zależności od aktualnie uprawianej rośliny w zmianowaniu, jednak nie później niż dwa tygodnie przed siewem lub sadzeniem.

Doświadczenie było prowadzone metodą split-split-plot w 4 powtórzeniach (ze wszystkimi roślinami jednocześnie):

Gleba gliniasta	Gleba piaszczysta
1) burak cukrowy	1) ziemniaki
2) jęczmień jary	2) owies
3) rzepak + poplon	3) żyto na ziarno
4) kukurydza (na kiszonkę)	4) żyto na paszę + kukurydza w plonie wtórnym

Doświadczenie obejmowało również poletka, na których nie stosowano nawożenia gnojowicą, lecz nawożenie NPK w nawozach mineralnych. Dawki NPK stosowanych nawozów mineralnych pod poszczególne rośliny były następujące (w kg · ha⁻¹):

Składnik	Gleba gliniasta					Gleba piaszczysta				
	burak cukrowy	jęczmień jary	rzepak	poplon	kukurydza na kiszonkę	ziemniaki	owies	żyto na ziarno	żyto na paszę	kukurydza w plonie wtórnym
N	160	80	160	80	160	120	80	80	120	140
P	44	31	44	17	35	35	31	33	31	31
K	166	66	125	50	125	125	66	66	66	66

Tabela 1. Skład granulometryczny gleb (Doświadczenie 1)

Table 1. Particle size analysis of soil samples (Experiment №1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry	Gleba Soil	Głębokość pobrania Depth of sampling [cm]	Średnia zawartość frakcji [%] Percentage of soil fractions				Gatunek gleby Texture
			1-0,1	0,1- 0,02	0,02- 0,002	<0,00 2	
0	Gliniasta Loamy	5-15	44	21	5	30	gś
		25-35	45	22	4	29	gś
	Piaszczysta Sandy	5-15	67	21	7	5	pgl
		25-35	68	20	8	4	pgl
Bydłęca Cattle	Gliniasta Loamy	5-15	44	21	4	31	gś
		25-35	53	20	4	23	gl
	Piaszczysta Sandy	5-15	65	22	9	4	pgl
		25-35	64	27	7	2	psgpp
Trzody chlewnej Pig	Gliniasta Loamy	5-15	54	20	10	16	gl
		25-35	42	21	11	26	gś
	Piaszczysta Sandy	5-15	68	20	7	5	pgl
		25-35	71	19	6	4	psg

Tabela 2. Skład granulometryczny gleby (Doświadczenie 2)

Table 2. Particle size analysis of soil samples (Experiment №2)

Rodzaj nawozu Kind of manure	Dawka t · ha ⁻¹ Dose	Głębokość pobrania Depth of sampling [cm]	Średnia zawartość frakcji [%] Percentage of soil fractions				Gatunek gleby Texture
			1-0,1	0,1- 0,02	0,02- 0,002	<0,002	
0	0	5-15	63	23	9	5	pgl
		25-35	58	28	8	6	pglp
Obornik FYM	20	5-15	68	21	7	4	pgl
		25-35	66	26	4	4	psgpp
	40	5-15	61	28	5	6	pglp
		25-35	65	23	5	7	pgl
	60	5-15	62	25	6	7	pgl
		25-35	55	30	7	8	pglp
	80	5-15	63	25	6	6	pgl
		25-35	61	28	9	2	pglp
Gnojowica trzody Pig slurry	20	5-15	63	28	4	5	psgpp
		25-35	73	20	5	2	psg
	40	5-15	61	25	10	4	pgl
		25-35	60	27	6	7	pglp
	60	5-15	59	29	7	5	pglp
		25-35	62	25	7	6	pgl
	80	5-15	66	24	6	4	psg
		25-35	66	24	8	2	psg

W dalszej części pracy (w tabelach i przy opisie rysunków) dla poszczególnych dawek gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej stosowanych w nawożeniu gleby gliniastej i piaszczystej przyjęto następujące symbole:

Symbol dawki Symbol of dose	Nawożenie Fertilization
0	nawożenie NPK w formie mineralnej - fertilization NPK in mineral form
B1	50% N w formie mineralnej + 50% N w gnojowicy bydlęcej 50% N in mineral form + 50% N in cattle slurry
B2	100% N w gnojowicy bydlęcej - 100% N in cattle slurry
B3	200% N w gnojowicy bydlęcej - 200% N in cattle slurry
T1	50% N w formie mineralnej + 50% N w gnojowicy trzody chlewnej 50% N in mineral form + 50% N in pig slurry
T2	100% N w gnojowicy trzody chlewnej - 100% N in pig slurry
T3	200% N w gnojowicy trzody chlewnej - 200% N in pig slurry

Ilość makroskładników i suchej masy wniesiona do gleby w gnojowicy w ciągu jednej rotacji wynosiła (średnia z 4 rotacji):

Symbol dawki	N kg · ha ⁻¹				P kg · ha ⁻¹			
	gleba gliniasta		gleba piaszczysta		gleba gliniasta		gleba piaszczysta	
	gnojowica		gnojowica		gnojowica		gnojowica	
	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody
B1, T1	129	135	132	132	167	190	175	194
B2, T2	258	258	264	264	237	322	262	317
B3, T3	576	516	527	527	398	620	467	609

Symbol dawki	K kg · ha ⁻¹				s.m. kg · ha ⁻¹			
	gleba gliniasta		gleba piaszczysta		gleba gliniasta		gleba piaszczysta	
	gnojowica		gnojowica		gnojowica		gnojowica	
	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody	bydlęca	trzody
B1, T1	648	520	650	546	8,6	5,6	8,5	6,1
B2, T2	1082	698	1096	752	17,1	11,1	16,7	12,4
B3, T3	2112	1261	2146	1370	33,9	21,8	33,5	24,1

Doświadczenie 2

Doświadczenie założono w 1982 roku na glebie płowej typowej z poziomem agric o następującej budowie profilu: A₁ - E (agric) - Eet - Bt - C, charakteryzującej się składem granulometrycznym głównie piasku gliniastego lekkiego (tab.2). W poziomie akumulacji próchnicy gleba z poletek nawożonych nawozami mineralnymi charakteryzowała się mniejszą zawartością frakcji koloidalnej w warstwie 5-15cm (5%) niż w warstwie 25-35cm (8%), kwaśnym odczynem (pH w H₂O 5,0-5,4) oraz zawartością C_{org} od 0,5 do 0,6% (tab.2, tab.4, tab.10).

Glebę nawożoną obornikiem lub gnojowicą trzody chlewnej w doświadczeniu 2 (tab 2) można zaliczyć do gatunku od piasku słabogliniastego do piasku gliniastego py-

lastego. Z danych zamieszczonych w tabeli 2 wynika, że mimo dużego zróżnicowania gleba nie wykazywała znacznych różnic w zawartości frakcji koloidalnej. Zwykle ilość tej frakcji mieściła się w granicach 2-8%. Zawartość frakcji iltu mieściła się w zakresie od 4% do 10%, natomiast frakcja pyłu w zakresie 20-30%. W schemacie doświadczenia 2 uwzględniono nawożenie obornikiem w ilościach 20, 40, 60, 80 t · ha⁻¹ świeżej masy oraz nawożenie gnojowicą trzody chlewnej. Gnojowicę stosowano również w 4 dawkach odpowiadających pod względem suchej masy odpowiednim dawkom suchej masy obornika. Jest to doświadczenie dwuczynnikowe w układzie losowanych podbloków z poletkiem kontrolnym (bez obornika lub gnojowicy - tylko NPK w nawozach mineralnych), przeprowadzone w 4 powtórzeniach.

Skład chemiczny stosowanych nawozów organicznych kształtował się (w % świeżej masy średnio w ciągu rotacji) następująco:

%	obornik	gnojowica
N _{og}	0,45	0,50
P	0,15	0,16
K	0,58	0,25
s.m.	24	6,7

Doświadczenie przeprowadzone było w dwóch wariantach różniących się doбором roślin w zmianowaniu:

Zmianowanie Z1 zubożające glebę z substancji organicznej	Zmianowanie Z2 wzbogacające glebę w substancję organiczną
1) ziemniaki	1) ziemniaki
2) jęczmień jary	2) jęczmień jary z wsiewką koniczyny z trawami
3) kukurydza na paszę	3) koniczyna z trawami
4) pszenica ozima	4) pszenica ozima + poplon niemotylkowy (rzodkiew oleista lub słonecznik do przeorania)

Nawożenie NPK stosowane w nawozach mineralnych było następujące:

kg · ha ⁻¹	ziemniaki	jęczmień	kukurydza	koniczyna	pszenica
N	80	40	140	180	120
P	24	26	26	0	31
K	100	58	58	0	83

Ilość wniesionego do gleby azotu, fosforu, potasu i suchej masy, średnio w ciągu 1 rotacji wynosiła:

Dawka nawozu t · ha ⁻¹	N kg · ha ⁻¹		P kg · ha ⁻¹		K kg · ha ⁻¹		s.m. t · ha ⁻¹	
	obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	obornik	gnojowica
20	90	360	31	112	116	178	4,8	4,8
40	180	720	61	224	232	356	9,6	9,6
60	270	1080	92	336	348	534	14,4	14,4
80	360	1440	122	448	464	712	19,2	19,2

W dalszej części pracy gleba z obu wariantów doświadczenia będzie omawiana jako gleba ze zmianowaniem Z1 i Z2.

Obornik stosowano raz w ciągu rotacji zmianowania - pod ziemniaki, na jesieni pod orkę zimową. Gnojowicę stosowano pod dwie pierwsze rośliny w zmianowaniu w proporcjach - 3/4 dawki pod ziemniaki i 1/4 dawki pod jęczmień. Wielkość dawki gnojowicy obliczano tak, aby na poszczególnych poletkach z gnojowicą wnieść do gleby taką samą ilość suchej masy, jak w odpowiednich poletkach w wersji z obornikiem. Gnojowicę stosowano jesienią pod orkę zimową lub wiosną przed sadzeniem ziemniaków lub siewem jęczmienia - pod kultywator.

Przed przystąpieniem do oznaczania zawartości fosforu związków organicznych w glebie przeprowadzono analizę zawartości fosforu ogółem, fosforu związków organicznych i jego frakcji w gnojowicy bydłczej i trzody chlewnej oraz oborniku, które to pomięściły się w następujących zakresach:

	s.m. [%]	P _{og} [% świe- żej masy]	P _{org} [% P _{og}]	PFI [% P _{org}]	PFII [% P _{org}]	PFIII [% P _{org}]	PFIV [% P _{org}]
Gnojowica bydłcza	7-9	0,09-0,12	30-40	1-2	45-50	5-8	20-25
Gnojowica trzody chlewnej	6-8	0,15-0,17	20-30	1-3	35-45	6-7	18-25
Obornik	21-25	0,11-0,15	30-50	2-4	50-60	8-9	30-35

Zwykle gnojowica trzody chlewnej charakteryzowała się wyższą zawartością P_{og} w porównaniu do gnojowicy bydłczej. Jednakże należy zaznaczyć, że gnojowica bydłcza zawierała znacznie więcej fosforu związków organicznych. Najwyższe zawartości fosforu w związkach organicznych stwierdzono w oborniku (30-50% P_{og}).

III.2. Metody badań

Próbki gleb do badań pobrano jesienią 1991 roku (po 15 latach od założenia) z doświadczenia 1 (nawożenie gnojowicą bydłczą i trzody chlewnej) oraz jesienią 1990 roku (po 8 latach od założenia) z doświadczenia 2 (nawożenie obornikiem i gnojowicą). W obu przypadkach próbki pobrano z dwóch głębokości gleby: z warstwy powierzchniowej (5-15cm) i warstwy podpowierzchniowej (25-35cm). W doświadczeniu 1 pobrano próbki gleb ze wszystkich poletek zmianowania i 4 powtórzeń doświadczenia. Następnie próby z powtórzeń łączono w próby zbiorcze, dla których wykonywano analizy chemiczne. W ten sposób każdą analizę wykonywano dla 4 próbek z gleby gliniastej oraz dla 2 próbek z gleby piaszczystej. W doświadczeniu 2 pobrano próbki gleby osobno dla każdego zmianowania i 4 powtórzeń każdej dawki nawozu organicznego. Następnie próby z powtórzeń łączono w próby zbiorcze, na których wykonano oznaczenia chemiczne. Każdą analizę chemiczną powtarzano 3-krotnie.

W powietrze suchym materiale glebowym

- a) przesianym przez sito o oczkach 1 mm oznaczono:
 - skład granulometryczny metodą Boycousse-Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego;
 - pH w H₂O elektrometrycznie;

b) przesianym przez sito o oczkach 0,25 mm oznaczono:

- fosfor ogółem ($P_{og.}$) ekstrahowany metodą Mehta (za Dalal [29]), która polega na traktowaniu materiału glebowego kolejno stężonym HCl (w temperaturach: pokojowej i 100°C) oraz 0,5M NaOH (w temperaturach: pokojowej i 100°C). Po połączeniu i dokładnym wymieszaniu obu ekstraktów pobierano próbkę do mineralizacji, w której następnie oznaczano zawartość fosforu;
- fosfor przyswajalny (P_{E-R}) metodą Egnera-Riehma;
- węgiel organiczny ($C_{org.}$) metodą Tiurina;
- zawartość fosforu związków organicznych (P_{org}) obliczono z różnicy pomiędzy zawartością fosforu ogółem w mineralizowanych a nieminerlizowanych próbkach ekstraktów glebowych; do mineralizacji ekstraktu w celu oznaczenia fosforu ogółem użyto mieszaniny stężonych kwasów: azotowego, nadchlorowego i siarkowego, mineralizację ekstraktów przeprowadzano w aluminiowym bloku do spalań;
- 4 frakcje fosforu związków organicznych: lipidową (PFI), kwasu RNA (PFII), kwasu DNA (PFIII) oraz inozytolową (PFIV). Rozdziału fosforu związków organicznych na frakcje PFI-PFIV dokonano według procedury zastosowanej we wcześniejszych badaniach [144], która została opracowana na bazie metod izolacji organicznych związków fosforu według Schmidta -Thanhausera oraz Mc Kerchera [108] i Andersona [6]. Metoda ta zakłada oddzielenie fosforu lipidowego i fosforu kwasów nukleinowych od fosforu związanego z inozytolem;
- niższe estry (IP_{1-4}) i wyższe estry (IP_{5-6}) fosforu inozytolowego przy zastosowaniu techniki chromatografii kolumnowej jonowymienniej;

Po uzyskaniu ekstraktu zawierającego fosforany inozytowe przeprowadzono ich rozdział, stosując chromatografię kolumnową. Kolumnę o wymiarach 160 x 12 mm wypełniano żywicą kationowymienną Dowex A-1 (100 - 200 mesh), w formie mrówczanowej. Do rozdziału przygotowano uśrednioną próbkę każdego ekstraktu reprezentującą gleby poszczególnych obiektów nawozowych obu doświadczeń. Po połączeniu tych ekstraktów zagęszczono je do objętości 5 cm³ przy użyciu wyparki próżniowej. Na kolumnę nanoszono 1cm³ tak przygotowanej próbki. Przemycanie naniesionej na kolumnę frakcji inozytolowej, o znanej ilości fosforu przeprowadzono, używając do tego mrówczanu amonowego o stężeniach kolejno 0,6M i 1,2M o pH 7. Uzyskane estry po eluacji 0,6M mrówczanem amonowym określane są jako niższe estry, czyli zawierające od 1 do 4 grup ortofosforanowych (IP_{1-4}), natomiast estry eluowane 1,2M mrówczanem amonu to wyższe estry, czyli zawierające 5 i 6 grup PO_4^{-3} (IP_{5-6}).

Porcje przesączu o objętości 10cm³ zbierano za pomocą kolektora frakcji z szybkością przepływu 0,5cm³ na minutę, stosując przystawkę objętościową. Fosfor we frakcjach oraz próbkach eluatu z rozdziału chromatograficznego frakcji inozytolowej oznaczano kolorymetrycznie, po uprzedniej mineralizacji ekstraktów mieszaniną stężonych kwasów HNO₃, HClO₄ i H₂SO₄ w stosunku 20:5:1;

- aktywność fosfatazy kwaśnej (P.A.) metodą Tabatabai - Bremnera [157].

Analiza statystyczna:

- analizę wariancji przeprowadzono w układzie split-plot-split-block dla wyników analiz próbek gleb z doświadczenia 1 oraz w układzie całkowicie losowym dla wyników uzyskanych z doświadczenia 2;
- w celu znalezienia związków między badanymi cechami przeprowadzono analizę korelacji liniowej;
- dla określenia wpływu wzrastających dawek obornika i gnojowicy na zawartość frakcji fosforu związków organicznych (doświadczenie 2) zastosowano metodę analizy regresji wielomianowej;
- do oceny istotności średnich obiektowych wykorzystano test Tukey'a.

IV. WYNIKI BADAŃ

IV.1. Ogólna charakterystyka badanych gleb

Kwasowość gleb

Gleba gliniasta nawożona gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej charakteryzowała się nieznacznie wyższymi wartościami pH w H₂O w porównaniu z glebą piaszczystą (doświadczenie 1, tab.3), różnice wynosiły zwykle średnio 1 jednostkę pH. Nie zauważono różnic wartości pH w zależności od stosowanego rodzaju gnojowicy. Dla obu badanych gleb można zauważyć nieznaczny wzrost wartości pH wraz ze wzrostem dawki stosowanych gnojowic. Nieznacznie wyższymi wartościami pH charakteryzowały się próbki gleb pobrane z warstwy 25-35 cm w porównaniu z próbkami pobranymi z warstwy 5-15 cm. Tendencja ta jest widoczna w obu badanych glebach zarówno nawożonych gnojowicami, jak i nawozami mineralnymi. Wartości pH gleb nawożonych gnojowicami były wyższe niż nawożonych nawozami mineralnymi.

Gleba z doświadczenia 2 (ze zmianowaniem Z1 i Z2), (tab.4) charakteryzowała się podobnymi wartościami pH jak gleba piaszczysta w doświadczeniu 1 (tab.3). Nie stwierdzono większego zróżnicowania odczynu między próbkami pobranymi z dwu warstw. Gleba z doświadczenia ze zmianowaniem Z2 charakteryzowała się nieco wyższymi wartościami pH w porównaniu z glebą ze zmianowaniem Z1. Zaobserwowano podwyższenie się wartości pH wraz ze wzrostem dawki obornika lub gnojowicy. Wystąpiło małe zróżnicowanie wartości pH w przypadku zastosowania takiej samej dawki obornika lub gnojowicy.

W próbkach gleb nawożonych nawozami mineralnymi wartości pH były niższe niż w glebach z nawożeniem organicznym. Znaczne podwyższenie wartości pH zaobserwowano dla gleby nawożonej obornikiem i gnojowicą w dawce 80 t · ha⁻¹ w zmianowaniu Z2, w stosunku do gleby z nawożeniem mineralnym.

Zawartość fosforu ogółem

Większą zawartość fosforu ogółem pod wpływem nawożenia gnojowicą stwierdzono w glebie gliniastej niż w glebie piaszczystej (tab.5). Niekiedy uzyskiwano wyższe wartości o 10-20 mg P · 100g⁻¹. W glebie gliniastej zawartość P_{og}, średnio dla obu warstw, wynosiła od 34,7-56,1 mg P · 100g⁻¹ (przy nawożeniu gnojowicą bydlęcą) oraz 33,9-49,5 mg P · 100g⁻¹ (przy nawożeniu gnojowicą trzody chlewnej). Natomiast zawartość tej formy fosforu w glebie piaszczystej, również średnio dla obu warstw utrzymywała się w zakresie 24,8-35,4 mg P · 100g⁻¹ (dla gleb nawożonych gnojowicą bydlęcą) i 23,3-33,4 mg P · 100g⁻¹ (dla gleb nawożonych gnojowicą trzody chlewnej). Największą zawartość fosforu ogółem (56,7 mg P · 100g⁻¹) oznaczono w próbkach pobranych z warstwy 5-15 cm gleby gliniastej przy nawożeniu dawką B3 gnojowicy bydlęcą. Różnica zawartości P_{og} w glebach nawożonych gnojowicą bydlęcą w stosunku do nawożonych gnojowicą trzody chlewnej była nieistotna (NIR, tab.5). Z reguły, wraz ze wzrostem dawek obu gnojowic, następowało zwiększenie zawartości P_{og} w glebach. Różnica wynosiła od kilku do kilkunastu mg. Przykładowo dla próbek gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą różnica zawartości fosforu wynosiła 26% pomiędzy dawkami B1 a B2, 62% pomiędzy dawkami B1 a B3 oraz 28% dla dawek B2 i B3. Nato-

Tabela 3. Wartości pH w H₂O (Doświadczenie 1)Table 3. pH values in H₂O (Experiment №1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry	Symbol dawki Symbol of dose	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		5-15	25-35	5-15	5-15	25-35	5-15
Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm]							
	0	6,4	6,5	5,0	5,1		
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	6,9	7,1	5,4	5,6		
	B2	7,0	7,2	5,7	5,7		
	B3	7,3	7,4	5,9	5,9		
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	6,8	7,1	5,4	5,4		
	T2	7,0	7,2	5,7	5,8		
	T3	7,2	7,5	5,8	5,9		

Tabela 4. Wartości pH w H₂O (Doświadczenie 2)Table 4. pH values in H₂O (Experiment №2)

Rodzaj nawozu Kind of manure	Dawka t ha ⁻¹ Dose	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		5-15	25-35	5-15	5-15	25-35	5-15
Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm]							
	0	5,2	5,0	5,4	5,4	5,4	5,4
Obornik FYM	20	5,5	5,4	5,6	5,6	5,6	5,6
	40	5,5	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7
	60	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8
Gnojowica trzody Pig slurry	80	5,9	6,1	6,3	6,3	6,7	6,7
	20	5,4	5,2	5,6	5,6	5,6	5,6
	40	5,5	5,5	5,7	5,7	5,7	5,7
Gnojowica trzody Pig slurry	60	5,7	5,5	6,0	6,0	5,9	5,9
	80	5,8	6,3	6,7	6,7	6,8	6,8

Tabela 5. Zawartość fosforu ogółem (P_{og}) [mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)Table 5. Total phosphorus content (P_{tot}) [mg P·100g⁻¹ of soil] (Experiment N°1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	29,1	26,0	26,2	20,0	20,4	20,2
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	33,9	35,6	34,7	24,7	25,0	24,8
	B2	43,2	44,4	43,8	28,5	27,1	27,8
	B3	56,7	55,5	56,1	35,3	35,5	35,4
	\bar{x}	44,6	45,2	44,9	29,5	29,2	29,3
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	32,9	34,9	33,9	22,7	24,0	23,3
	T2	41,6	42,8	42,2	28,0	29,2	28,6
	T3	49,7	49,3	49,5	31,9	34,9	33,4
	\bar{x}	41,4	42,3	41,9	27,5	29,4	28,4
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	33,4	35,2	34,3	23,7	24,5	24,1
	B2,T2	42,4	43,6	43,0	28,2	28,1	28,1
	B3,T3	53,2	52,4	52,8	33,6	35,2	34,4
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		43,0	43,7	43,3	28,5	29,3	28,9
NIR - LSD P=0,05 Interakcje Interactions	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	2,6			3,6		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/II, II/I	2,7 , 5,4			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 6. Zawartość fosforu ogółem (P_{og}) [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)
 Table 6. Total phosphorus content (P_{tot}) [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment №2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	26,3	26,5	26,4	28,5	28,5	28,5
Obornik FYM	20	30,8	29,8	30,3	32,7	32,7	32,7
	40	38,0	37,1	37,6	40,2	40,0	40,1
	60	43,6	42,7	43,1	45,1	45,0	45,0
	80	49,2	47,1	48,2	50,6	50,9	50,7
	\bar{x}	40,4	39,2	39,8	42,1	42,2	42,2
Gnojowica Slurry	20	26,1	29,0	27,6	27,9	29,6	28,7
	40	28,3	29,5	28,9	30,4	30,3	30,3
	60	33,1	34,1	33,6	35,2	35,5	35,3
	80	35,9	36,6	36,3	39,7	42,5	41,1
	\bar{x}	30,8	32,3	31,6	33,3	34,4	33,9
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	28,5	29,4	28,9	30,3	31,1	30,7
	40	33,1	33,3	33,2	35,3	35,1	35,2
	60	38,4	38,4	38,4	40,1	40,2	40,2
	80	42,6	41,9	42,2	45,1	46,7	45,9
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		35,6	35,7	35,7	37,7	38,3	38,0
NIR - LSD P=0,05	I	0,7			0,5		
	II	1,3			0,9		
	III	n.i.-n.s.			0,5		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	1,8 ,1,4			1,2 , 0,9		
	II/II, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	1,0 ,1,0			0,6 , 0,7		

miast dla próbek gleby piaszczystej, również średnio z obu warstw, nawożonych także gnojowicą bydlęcą, różnica ta wynosiła: 12% dla dawek B1 i B2, 43% dla B1 i B3 oraz 27% dla dawek B2 i B3.

Stwierdzono niewielkie zróżnicowanie w zawartości P_{og} w próbkach gleb pobranych z obu rozpatrywanych warstw. Najczęściej były to różnice rzędu 2-3 mg. Niekiedy stwierdzono większą zawartość P_{og} w glebie z warstwy 25-35 cm, zwłaszcza przy najwyższych dawkach gnojowic. Wyraźny wzrost zawartości P_{og} stwierdzono w glebach nawożonych gnojowicami w stosunku do gleb nawożonych nawozami mineralnymi.

W glebie doświadczenia 2, nawożonej nawozami mineralnymi stwierdzono zdecydowanie niższe zawartości P_{og} niż w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą (tab.6). Nawożenie organiczne powodowało różnice zawartości P_{og} w glebie od kilku do kilkunastu mg P w zależności od stosowanej dawki. W glebie ze zmianowaniem Z1, dla dawki $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika, różnica ta wynosiła prawie $23 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ w porównaniu do gleby nawożonej nawozami mineralnymi. Podobnie było w glebie ze zmianowaniem Z2, gdzie różnica ta wynosiła 76%, dla tej samej dawki obornika. Stosowanie obornika w większym stopniu niż gnojowicy zwiększało zawartość P_{og} w glebie.

Różnica zawartości fosforu ogółem w glebie wynosiła, średnio w obu warstwach, 59% dla zmianowania Z1 i 55% dla zmianowania Z2 pomiędzy najniższą a najwyższą dawką obornika oraz odpowiednio 32% i 43% pomiędzy tymi samymi dawkami gnojowicy.

Zawartość fosforu ogółem w glebie nawożonej obornikiem była z reguły wyższa w warstwie 5-15 cm, natomiast dla gleby nawożonej gnojowicą niekiedy większe ilości P_{og} stwierdzono w próbkach pobranych z warstwy 25-35 cm. Tendencja takiego rozmieszczenia się zawartości P_{og} wystąpiła w próbkach gleb z obu wariantów zmianowania (Z1 i Z2).

Zawartość fosforu przyswajalnego wg Egnera-Riehma

Większe zawartości fosforu ekstrahowanego mleczanem wapnia oznaczono w próbkach gleby gliniastej niż w próbkach gleby piaszczystej (tab.7). Najwyższą zawartość ($11,6 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$) tej formy fosforu stwierdzono w warstwie 25-35 cm gleby gliniastej, nawożonej dawką B3 gnojowicy bydlęcej. Najniższą natomiast zawartość oznaczono w próbkach gleb nawożonych dawką T1 gnojowicy trzody chlewnej ($4,0 \text{ mg}$ w warstwie 25-35 cm w glebie piaszczystej i $4,6 \text{ mg}$ w glebie gliniastej, w warstwie 5-15 cm). Jeszcze niższe wartości w granicach $3,1-3,7 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ uzyskano dla gleb nawożonych nawozami mineralnymi, średnio dla obu warstw. Różnica zawartości fosforu przyswajalnego między glebą nawożoną nawozami mineralnymi a nawożoną gnojowicami w dawce B3 i T3 wynosiła ponad 6 mg , co stanowiło odpowiednio 303 % i 273% przyrostu względnego, średnio dla obu warstw.

Wraz ze wzrostem dawek stosowanych gnojowic następował wzrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie. Różnica zawartości fosforu w glebie gliniastej i piaszczystej wynosiła odpowiednio 100% i 85% dla dawki B3 gnojowicy bydlęcej, w porównaniu z dawką B1, średnio dla obu warstw. Natomiast dla najniższej i najwyższej dawki gnojowicy trzody chlewnej różnica ta wynosiła 115% w glebie gliniastej i 97% w glebie piaszczystej, również średnio dla obu warstw. Istotnie zróżnicowana była zawartość fosforu przyswajalnego w próbkach gleb z obu rozpatrywanych warstw. Zarówno w glebie gliniastej, jak i piaszczystej (przy nawożeniu obu gnojowicami) zwykle wyższe zawartości tej formy fosforu wystąpiły w próbkach z warstwy 25-35 cm. Natomiast dla

Tabela 7. Zawartość fosforu przyswajalnego (P_{E-R}) wg Egnera-Riehma [$\text{mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ gleby] (Doświadczenie 1)

Table 7. Available phosphorus (P_{E-R}) content determined by Egner-Riehm's method [$\text{mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ of soil] (Experiment N°1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	3,8	3,7	3,7	3,2	3,0	3,1
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	5,3	5,9	5,6	4,4	5,1	4,7
	B2	7,4	8,0	7,7	6,2	6,5	6,4
	B3	10,8	11,6	11,2	8,5	9,0	8,7
	\bar{x}	7,8	8,5	8,2	6,4	6,9	6,6
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	4,6	4,8	4,7	4,1	4,0	4,0
	T2	6,1	7,4	6,7	5,9	6,6	6,2
	T3	9,7	10,5	10,1	7,8	8,0	7,9
	\bar{x}	6,8	7,6	7,2	5,9	6,2	6,0
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	4,9	5,4	5,1	4,2	4,5	4,3
	B2,T2	6,7	7,7	7,2	6,0	6,5	6,2
	B3,T3	10,2	11,0	10,6	8,1	8,5	8,3
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		7,3	8,0	7,6	6,1	6,5	6,3
NIR - LSD $P=0,05$	I	0,4			0,1		
	II	0,5			0,4		
	III	0,3			0,2		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 8. Zawartość fosforu przyswajalnego (P_{E-R}) wg Egnera-Riehma [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

Table 8. Available phosphorus (P_{E-R}) content by Egner-Riehman's method [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	2,1	1,8	2,0	2,4	2,1	2,2
Obornik FYM	20	5,6	5,2	5,4	6,0	5,7	5,8
	40	5,9	5,6	5,8	6,3	6,2	6,3
	60	6,6	6,3	6,4	7,5	6,7	7,1
	80	7,2	6,7	6,9	8,5	7,7	8,1
	\bar{x}	6,3	5,9	6,1	7,1	6,6	6,8
Gnojowica Slurry	20	5,9	6,2	6,1	6,2	6,5	6,4
	40	6,4	6,7	6,6	6,7	7,0	6,9
	60	6,7	7,1	6,9	7,1	7,4	7,3
	80	7,2	7,8	7,5	7,9	8,4	8,1
	\bar{x}	6,6	6,9	6,7	7,0	7,3	7,1
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	5,8	5,7	5,7	6,1	6,1	6,1
	40	6,2	6,2	6,2	6,5	6,6	6,6
	60	6,7	6,7	6,7	7,3	7,0	7,2
	80	7,2	7,2	7,2	8,2	8,0	8,1
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		6,4	6,4	6,4	7,0	6,9	6,9
NIR - LSD	I	0,1			0,2		
P=0,05	II	0,2			0,3		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	0,1 , 0,1			0,2 , 0,2		

próbek gleb nawożonych nawozami mineralnymi, w głębszej warstwie było zwykle mniej fosforu przyswajalnego.

Również mniejsza zawartość fosforu przyswajalnego była w glebie z obu wariantów zmianowania (Z1 i Z2) nawożonych nawozami mineralnymi (tab.8). W glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2, przy ich nawożeniu gnojowicą wyższą zawartość P_{E-R} stwierdzono w warstwie 25-35 cm. W przypadku nawożenia obornikiem większą zawartością tej formy fosforu charakteryzowały się próbki gleby pobrane z warstwy 5-15 cm. Nie stwierdzono istotnej różnicy zawartości P_{E-R} w próbkach gleby pobranej z obu głębokości (NIR tab.8). Istotny natomiast okazał się wpływ rodzaju nawożenia organicznego na ukształtowanie się zawartości fosforu przyswajalnego w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2. W sposób istotny na wzrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie obu wariantów zmianowania wpływały również wzrastające dawki obornika i gnojowicy. W glebie nawożonej obornikiem ze zmianowaniem Z1 różnica zawartości fosforu przyswajalnego w próbkach z obu warstw, dla dawek $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wynosiła 28%. Natomiast dla tych samych dawek gnojowicy różnica ta była rzędu 23%. W glebach ze zmianowaniem Z2 te same dawki powodowały różnice zawartości fosforu przyswajalnego o 27%, podczas gdy nawożenie obornikiem aż 40%, średnio dla obu warstw. Różnica zawartości fosforu przyswajalnego w glebie ze zmianowaniem Z2, nawożonej gnojowicą wynosiła 323%, a nawożonej obornikiem 309%, w stosunku do gleby nawożonej nawozami mineralnymi, średnio dla obu warstw.

IV.2. Zawartość węgla ($C_{org.}$) i fosforu związków organicznych ($P_{org.}$) oraz wartości stosunków $C_{org.}/P_{org.}$ i $P_{org.}/P_{og.}$

Nawożenie gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej korzystniej wpływało na zawartość $C_{org.}$ w glebie gliniastej w porównaniu z glebą piaszczystą (tab.9). Najwyższą zawartość $C_{org.}$ stwierdzono w próbkach gleby gliniastej: 992-994 $\text{mg C} \cdot 100\text{g}^{-1}$ dla dawki B3 gnojowicy bydlęcej i 909-916 $\text{mg C} \cdot 100\text{g}^{-1}$ dla dawki T3 gnojowicy trzody chlewnej. W pozostałych próbkach tej gleby nawożonej zarówno gnojowicą bydlęcą, jak i trzody chlewnej zawartość ta utrzymywała się w granicach 802 - 872 $\text{mg C} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (średnio dla gnojowic). Nieco niższa była zawartość $C_{org.}$ w próbkach gleby piaszczystej i występowała, średnio dla obu warstw, w zakresie 623- 815 $\text{mg C} \cdot 100\text{g}^{-1}$, dla stosowanych dawek gnojowicy bydlęcej oraz 630-758 $\text{mg C} \cdot 100\text{g}^{-1}$, dla gnojowicy trzody chlewnej. Zawartość węgla organicznego istotnie wzrastała (NIR, tab.9) wraz ze wzrostem dawek obu gnojowic. Wynosiła ona najczęściej kilkadziesiąt mg zarówno w próbkach gleby gliniastej, jak i piaszczystej. Różnice zawartości $C_{org.}$ w próbkach gleb, na których stosowano najniższe i najwyższe dawki gnojowic, wynosiły średnio 20-30%. Bardzo wyraźne różnice zawartości $C_{org.}$ wystąpiły w obu glebach nawożonych gnojowicami, w stosunku do gleb nawożonych nawozami mineralnymi. Wynosiły one przykładowo 37% dla gleby gliniastej z warstwy 5-15 cm, nawożonej najwyższą dawką gnojowicy bydlęcej i 45% dla tej samej dawki gnojowicy trzody chlewnej, w przypadku gleby piaszczystej z warstwy 25-35 cm.

Zastosowanie obornika i gnojowicy korzystnie wpłynęło na glebę również w doświadczeniu 2, zwiększając w niej zawartość węgla organicznego (tab.10). Różnice te były bardziej widoczne w przypadku nawożenia gleb obornikiem. W glebie ze zmiano-

Tabela 9. Zawartość węgla organicznego (C_{org}) [mg C·100g⁻¹gleby] (Doświadczenie 1)
 Table 9. Organic carbon content (C_{org}) [mg C·100g⁻¹ of soil] (Experiment N°1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	726	712	719	587	565	576
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	844	826	835	626	620	623
	B2	910	888	899	711	706	708
	B3	994	992	993	812	819	815
	\bar{x}	916	902	909	716	715	715
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	767	772	769	635	626	630
	T2	844	849	846	711	693	702
	T3	916	909	912	788	729	758
	\bar{x}	842	843	842	711	683	697
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	805	799	802	630	623	626
	B2,T2	877	868	872	711	699	705
	B3,T3	955	950	952	800	774	787
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		879	872	875	714	699	706
NIR - LSD P=0,05 Interakcje Interactions	I	30			n.i.-n.s.		
	II	36			23		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/II, II/I	n.i.-n.s.			23 , 16		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			21 , 29		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 10. Zawartość węgla organicznego (C_{org}) [mg C-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)Table 10. Organic carbon (C_{org}) content [mg C-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	500	485	493	563	527	545
Obornik FYM	20	545	563	554	658	678	668
	40	683	690	686	736	733	735
	60	753	769	761	874	873	873
	80	823	813	818	997	929	963
	\bar{x}	701	709	705	816	803	809
Gnojowica Slurry	20	579	558	569	617	667	642
	40	621	626	624	740	738	739
	60	675	668	671	793	788	790
	80	728	737	733	877	849	863
	\bar{x}	651	647	649	757	760	758
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	562	560	561	637	672	654
	40	652	658	655	738	735	736
	60	714	718	716	833	830	831
	80	775	775	775	937	889	913
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		676	678	677	786	781	783
NIR - LSD	I	12			14		
P=0,05	II	22			26		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	32 , 24			37 , 28		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			24, 32		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

waniem Z1, dla dawki $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika różnice te wynosiły 10%, a dla dawki (tab. 8) $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ odpowiednio 65%, w stosunku do gleby nawożonej nawozami mineralnymi, w warstwie 5-15 cm. W glebie ze zmianowaniem Z2 różnice te były wyraźniejsze i wynosiły odpowiednio: 17% (w warstwie 5-15 cm) i 29% (w warstwie 25-35 cm) dla dawki $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz 77% (w warstwie 5-15 cm) i 76% (w warstwie 25-35 cm) dla dawki $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika. Zawartość P_{org} wzrastała również wraz ze wzrostem dawki stosowanej gnojowicy. Przykładowo dla dawki $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, średnio dla obu warstw, różnica zawartości wynosiła średnio 49% (w zmianowaniu Z1) i 58% (w zmianowaniu Z2), w stosunku do gleby nawożonej nawozami mineralnymi. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania zawartości węgla w obu badanych warstwach gleby (NIR, tab.10).

Większą kumulację P_{org} stwierdzono w glebie gliniastej niż w glebie piaszczystej (tab.11). Wartości tej formy fosforu utrzymywały się w zakresach $16,0\text{-}21,8 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ w glebie gliniastej oraz $14,7\text{-}18,5 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ w glebie piaszczystej, przy nawożeniu gnojowicą bydlęcą, średnio dla obu warstw. Natomiast przy zastosowaniu gnojowicy trzody chlewnej, wartości te wynosiły odpowiednio: $15,6\text{-}18,7 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ dla gleby gliniastej i $12,1\text{-}15,5 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ dla gleby piaszczystej, również średnio dla obu warstw.

Zwykle wraz ze wzrostem dawki obu stosowanych gnojowic występował wzrost zawartości P_{org} w glebach. Różnice te wynosiły około $2\text{-}3 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$, co stanowiło przykładowo dla próbek gleby gliniastej 14% różnicy pomiędzy zawartością P_{org} dla dawki B1 i B2 gnojowicy bydlęcej, 36% różnicy pomiędzy dawką B1 a B3 oraz 19% dla dawki B2 i B3 (średnio dla obu warstw).

Wystąpiły znaczne różnice zawartości fosforu w obu glebach nawożonych zarówno gnojowicą bydlęcą, jak i trzody chlewnej, w porównaniu do zawartości, którą oznaczono w glebach nawożonych nawozami mineralnymi. Dla najwyższych dawek gnojowic różnice te były prawie 2-krotne. Przykładowo dla próbek gleby gliniastej z warstwy 5-15 cm, nawożonej dawką B3 gnojowicy bydlęcej, różnica ta wynosiła 96% w porównaniu z glebą nawożoną nawozami mineralnymi. Nieco niższe różnice zawartości fosforu uzyskano w glebie piaszczystej, nawożonej gnojowicami w porównaniu do gleby nawożonej nawozami mineralnymi.

Zawartość P_{org} w glebie nawożonej obornikiem lub gnojowicą (doświadczenie 2) (tab.12) była nieco wyższa od zawartości, którą oznaczono w próbkach gleby gliniastej pobranej z doświadczenia 1 (tab.11). W kilku przypadkach, zwłaszcza dla gleby nawożonej obornikiem, wartości te były znacznie wyższe, szczególnie dla gleby zmianowania Z2. Najwyższą koncentrację P_{org} ($29,5 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$) stwierdzono w próbce gleby z warstwy 25-35 cm nawożonej obornikiem w dawce $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, w zmianowaniu Z2. Zawartość P_{org} była istotnie wyższa w glebie nawożonej obornikiem niż gnojowicą. Zawsze wyższe wartości P_{org} były w próbkach gleby ze zmianowania Z2. Dla gleby nawożonej obornikiem różnica ta, w stosunku do ilości P_{org} w glebie ze zmianowania Z1, kształtowała się na średnim poziomie ok.12%, a w przypadku dawki $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla próbek z warstwy 25-35 cm wynosiła nawet 19%. Zawartość P_{org} zwiększała się jednocześnie ze wzrostem dawki obornika lub gnojowicy w glebie obu wariantów zmianowania. Różnica zawartości P_{org} dla gleby ze zmianowaniem Z1 (średnio dla obu warstw) wynosiła 44% dla najniższej i najwyższej dawki obornika oraz 49% również dla tych samych dawek gnojowicy. W glebie ze zmianowaniem Z2, dla tych samych dawek,

Tabela 11. Zawartość fosforu związków organicznych (P_{org}) [mg P-100g⁻¹ gleby]
(Doświadczenie 1)

Table 11. Organic phosphorus (P_{org}) content [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N^o1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	11,3	11,1	11,2	9,5	9,6	9,5
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	16,4	15,7	16,0	15,1	14,4	14,7
	B2	18,6	18,1	18,3	17,8	15,8	16,8
	B3	22,2	21,4	21,8	18,9	18,2	18,5
	\bar{x}	19,1	18,4	18,7	17,3	16,1	16,7
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	15,1	16,1	15,6	12,2	12,0	12,1
	T2	17,0	16,0	16,5	14,6	13,5	14,0
	T3	19,1	18,4	18,7	16,3	14,8	15,5
	\bar{x}	17,1	16,8	16,9	14,4	13,4	13,9
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	15,7	15,9	15,8	13,6	13,2	13,4
	B2,T2	17,8	17,0	17,4	16,2	14,6	15,4
	B3,T3	20,6	19,9	20,2	17,6	16,5	17,0
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		18,0	17,6	17,8	15,8	14,8	15,3
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	1,4			1,1		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	1,6 , 6,1			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 12. Zawartość fosforu związków organicznych (P_{org}) [mg P-100g⁻¹ gleby]
(Doświadczenie 2)

Table 12. Organic phosphorus (P_{org}) content [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
		Głębokość pobrania próbek [cm] - Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
	0	11,8	11,7	11,8	12,9	12,8	12,8
Obornik FYM	20	17,7	17,2	17,4	19,8	19,1	19,4
	40	19,4	18,7	19,0	22,7	22,3	22,5
	60	22,9	22,0	22,4	25,5	25,4	25,4
	80	25,3	24,7	25,0	28,7	29,5	29,1
	\bar{x}	21,3	20,6	21,0	24,1	24,1	24,1
Gnojowica Slurry	20	15,2	15,6	15,4	16,9	17,7	17,3
	40	17,6	17,5	17,6	19,9	20,0	19,9
	60	20,8	21,0	20,9	22,3	24,1	23,2
	80	22,7	23,4	23,0	26,0	27,5	26,8
	\bar{x}	19,1	19,4	19,2	21,3	22,3	21,8
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	16,5	16,4	16,4	18,3	18,4	18,4
	40	18,5	18,1	18,3	21,3	21,2	21,2
	60	21,8	21,5	21,7	23,9	24,7	24,3
	80	24,0	24,0	24,0	27,3	28,5	27,9
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		20,2	20,0	20,1	22,7	23,2	22,9
NIR - LSD	I	0,2			0,2		
P=0,05	II	0,3			0,5		
	III	0,2			0,2		
Interakcje	I/II, II/I	0,5 , 0,3			n.i.-n.s.		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			0,4 , 0,6		
	I/III, III/I	0,2 , 0,2			0,3 , 0,3		

Tabela 13. Wartości stosunku C_{org}/P_{org} oraz P_{org}/P_{og} (Doświadczenie 1)Table 13. C_{org}/P_{org} and P_{org}/P_{og} ratios (Experiment N°1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry	Symbol dawki Symbol of dose	Gleba gliniasta Loamy soil						Gleba piaszczysta Sandy soil					
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm]											
		5-15		25-35		5-15		25-35					
C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}	C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}	C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}	C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}	C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}	C_{org}/P_{org}	P_{org}/P_{og}		
	0	66,7	0,38	66,4	0,39	67,1	0,40	63,9	0,40	63,9	0,40		
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	51,4	0,48	53,4	0,44	41,5	0,61	43,1	0,58	43,1	0,58		
	B2	49,0	0,44	48,8	0,41	40,0	0,62	44,7	0,58	44,7	0,58		
	B3	44,8	0,41	46,3	0,39	42,8	0,54	45,0	0,51	45,0	0,51		
	\bar{x}	48,4	0,44	49,5	0,41	41,4	0,59	44,3	0,56	44,3	0,56		
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	50,9	0,46	47,6	0,47	52,2	0,54	52,2	0,49	52,2	0,49		
	T2	49,6	0,41	53,1	0,37	48,7	0,52	51,4	0,46	51,4	0,46		
	T3	47,9	0,38	49,1	0,38	48,3	0,51	49,2	0,42	49,2	0,42		
	\bar{x}	49,5	0,42	49,9	0,41	49,7	0,52	50,9	0,46	50,9	0,46		

w obu warstwach, różnica ta wynosiła 50% dla gleby nawożonej obornikiem i 55% dla nawożonej gnojowicą. Wystąpiło małe zróżnicowanie zawartości $P_{org.}$ w obu badanych warstwach gleby, istotne było tylko w glebie ze zmianowaniem Z2. W przypadku zastosowania gnojowicy wystąpiło większe nagromadzenie się $P_{org.}$ w warstwie gleby 25-35 cm. Różnica ta wynosiła 3% dla gleby ze zmianowaniem Z1 i 6% dla gleby ze zmianowaniem Z2, dla najwyższej dawki gnojowicy. Gleba nawożona obornikiem i gnojowicą charakteryzowała się znacznie większą zawartością $P_{org.}$ w stosunku do gleby nawożonej nawozami mineralnymi. Różnice te wynosiły od kilku do kilkunastu $mg\ P \cdot 100g^{-1}$, w zależności od dawki nawozów organicznych, co stanowiło od 50 do 130%, w glebie z obu wariantów zmianowania.

Wyższe wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ otrzymano w próbkach gleby gliniastej nawożonej obu gnojowicami, w porównaniu z tymi, które uzyskano dla próbek gleby piaszczystej (tab.13). Mieściły się one w przedziale 44,8-53,4 dla gleby gliniastej oraz 40,0-45,0 dla gleby piaszczystej, w zależności od dawki gnojowicy bydłowej. Wartości tego stosunku dla gleb nawożonych gnojowicą trzody chlewnej mieściły się w podobnym zakresie. Natomiast w glebach nawożonych wyłącznie nawozami mineralnymi stwierdzono wyższe wartości obliczonego stosunku w porównaniu z glebami nawożonymi gnojowicami. Najwyższą wartość tego stosunku (67,1) uzyskano dla próbek gleby piaszczystej z warstwy 5-15 cm, nawożonych nawozami mineralnymi. Z reguły występował spadek wartości tego stosunku wraz ze wzrostem dawki obu stosowanych gnojowic.

Podobne tendencje zmian wielkości wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ wystąpiły w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 w doświadczeniu 2 (tab.14). Wartości tego stosunku w glebie dla poszczególnych dawek obu nawozów były jednak znacznie niższe niż w glebach nawożonych gnojowicami z doświadczenia 1 (tab.13). Również najwyższe wartości tego stosunku (41,3-43,8) stwierdzono w glebie nawożonej nawozami mineralnymi. Wraz ze wzrostem dawki gnojowicy występował spadek wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ w glebie obu wariantów zmianowania, nie stwierdzono jednak różnic wynikających z rodzaju zmianowania.

IV.3. Zawartość frakcji fosforu związków organicznych

Zawartość fosforu frakcji lipidowej (PFI) w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą bydłową i trzody chlewnej mieściła się w zakresie 0,4-0,6 $mg\ P \cdot 100g^{-1}$ (średnio dla obu warstw) (tab.15). Zawartość fosforu lipidowego w glebie piaszczystej (tab.15) była nieco wyższa od tej, którą oznaczono w większości próbek gleby gliniastej i mieściła się w zakresie 0,5-0,8 $mg\ P \cdot 100g^{-1}$ (średnio dla obu warstw). Największą koncentrację fosforu tej frakcji (0,8 $mg\ P \cdot 100g^{-1}$) stwierdzono w próbkach z warstwy 5-15 cm gleby piaszczystej nawożonej dawką B3 gnojowicy bydłowej. Wraz ze wzrostem dawki obu gnojowic wzrastała zawartość fosforu tej frakcji zarówno w glebie gliniastej, jak i piaszczystej. Dla próbek gleby gliniastej, średnio z obu warstw zawartość fosforu lipidowego była wyższa średnio o 25% dla dawki B2 w porównaniu z dawką B1 oraz 50% dla dawki B3 w porównaniu z dawką B1. Nieco niższe różnice zawartości fosforu lipidowego zaobserwowano w glebie piaszczystej nawożonej obu gnojowicami. Wynosiły one, średnio w obu warstwach 33% pomiędzy dawkami B1 a B3 oraz 20% dla dawek T1 i T3.

Tabela 15. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji I (PFI)
[mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)

Table 15. Organic phosphorus content in fraction I (PFI) [mg P-100g⁻¹ of soil]
(Experiment N°1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6
	B2	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6
	B3	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
	\bar{x}	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	T2	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5
	T3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	\bar{x}	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	B2,T2	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5
	B3,T3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,2			0,1		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 16. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji I (PFI) [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

Table 16. Organic phosphorus content in fraction I (PFI) [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

		Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t·ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Obornik FYM	20	1,1	0,9	1,0	1,3	1,0	1,1
	40	0,9	1,1	1,0	1,2	1,2	1,2
	60	1,1	1,2	1,1	1,4	1,5	1,4
	80	1,5	1,5	1,5	2,0	1,9	1,9
	\bar{x}	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
Gnojowica Slurry	20	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
	40	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0
	60	1,0	1,2	1,1	1,3	1,4	1,3
	80	1,4	1,5	1,4	1,8	1,9	1,9
	\bar{x}	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,2
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	0,9	0,8	0,8	1,1	0,9	1,0
	40	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1
	60	1,1	1,2	1,1	1,3	1,4	1,4
	80	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3
NIR - LSD	I	0,1			0,1		
P=0,05	II	0,2			0,2		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Istotne różnice zawartości fosforu lipidowego (50-100%) stwierdzono w glebach nawożonych gnojowicami w stosunku do nawożonych NPK w nawozach mineralnych. Zwykle wyższe zawartości frakcji PFI stwierdzono w próbkach gleb pobranych z warstwy 5-15 cm. Tendencje do gromadzenia większej ilości fosforu frakcji I (PFI) w próbkach z warstwy 25-35 cm zauważono w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 (tab.16). Zawartość fosforu lipidowego w glebie obu wariantów zmianowania była znacznie wyższa od tej, którą oznaczono w glebach nawożonych gnojowicą bydłą i trzody chlewnej w doświadczeniu 1 (tab.15). W próbkach gleby ze zmianowaniem Z1 zawartość fosforu tej frakcji (PFI) mieściła się w zakresie 0,8-1,5 mg P · 100g⁻¹ gleby, a dla gleby ze zmianowaniem Z2 1,0-1,9 mg P · 100g⁻¹ gleby (średnio dla obu nawozów). Zawartość fosforu lipidowego w glebie z tego doświadczenia była niekiedy 2-krotnie wyższa od tej, którą oznaczono w glebach gliniastej i piaszczystej nawożonych gnojowicami bydłą i trzody chlewnej z doświadczenia 1 (tab.15). Zawartość fosforu frakcji I (PFI) była zwykle istotnie wyższa w glebie nawożonej obornikiem w porównaniu do zawartości, którą oznaczono w glebie nawożonej tymi samymi dawkami gnojowicy. Różnica ta wynosiła średnio 10%. Istotnie wzrastała zawartość fosforu lipidowego (PFI) wraz ze wzrostem dawki obornika i gnojowicy, przy czym znaczniejsze różnice miały miejsce w przypadku prób ze zmianowania Z2.

Zawartość fosforu frakcji II (PFII) w glebie gliniastej nawożonej obu gnojowicami była nieco wyższa od ilości, którą oznaczono w glebie piaszczystej (tab.17). Najwyższą zawartość tej formy fosforu wynoszącą 12,4 mg P · 100g⁻¹ stwierdzono w próbce gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydłą w dawce 200%N (gleby nawożone nawozami mineralnymi miały znacznie niższą zawartość fosforu frakcji II) (PFII). Różnice wynosiły, średnio dla obu warstw 66-128% dla dawek gnojowicy bydłowej i 51-81% dla dawek gnojowicy trzody chlewnej, w porównaniu do gleby nawożonej NPK w formie mineralnej. Podobne różnice zawartości fosforu frakcji II (PFII) występowały w glebie piaszczystej.

Wraz ze wzrostem dawki stosowanych gnojowic zachodził jednoczesny wzrost zawartości fosforu frakcji PFII. Istotne różnice występowały zwykle dla najwyższej i najniższej dawki gnojowicy (NIR, tab.17). Dla gleby gliniastej różnica zawartości fosforu frakcji PFII wynosiła 15% przy nawożeniu dawką B1 i B2, 20% dla dawek B2 i B3 oraz 37% pomiędzy dawką B1 a B3, średnio dla obu warstw.

W próbkach z warstwy 5-15 cm dla gleby piaszczystej i gliniastej stwierdzono zwykle wyższą kumulację fosforu frakcji PFII, jednakże różnice te były nieistotne statystycznie.

Zawartość fosforu frakcji II (PFII) w glebie nawożonej obornikiem lub gnojowicą w poszczególnych wariantach zmianowania była mało zróżnicowana (tab.18). Jego zawartość mieściła się w zakresie 8,1-11,1 mg P · 100g⁻¹ dla gleby ze zmianowaniem Z1 i nieznacznie wyższym przedziale 8,3-12,1 mg P · 100g⁻¹ dla gleby ze zmianowaniem Z2 (średnio dla obu nawozów). Istotnie wyższe zawartości fosforu tej frakcji uzyskano w glebie nawożonej obornikiem niż w glebie nawożonej gnojowicą. W glebie spod obu zmianowań wystąpiły istotne różnice zawartości frakcji fosforu związków organicznych w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą w porównaniu do gleby nawożonej nawozami mineralnymi. Różnica ta była wyraźniejsza w przypadku stosowania obornika i wynosiła 80% dla dawki 80 t · ha⁻¹, średnio dla obu warstw, w glebie ze zmianowaniem Z2.

Tabela 17. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji II (PFII)
[mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)

Table 17. Organic phosphorus content in fraction II (PFII) [mg P·100g⁻¹ of soil]
(Experiment N°1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynn timer - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynn timer - II Factor)	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynn timer - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	5,4	5,3	5,3	3,8	3,8	3,8
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	9,1	8,6	8,8	7,6	7,1	7,3
	B2	10,4	9,9	10,1	9,2	7,9	8,5
	B3	12,4	11,8	12,1	9,7	9,0	9,3
	\bar{x}	10,6	10,1	10,3	8,8	8,0	8,4
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	7,9	8,2	8,0	5,8	5,5	5,6
	T2	8,7	8,2	8,4	7,4	6,4	6,9
	T3	9,7	9,5	9,6	8,2	6,9	7,5
	\bar{x}	8,8	8,6	8,7	7,1	6,3	6,7
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	8,5	8,4	8,4	6,7	6,3	6,5
	B2,T2	9,5	9,0	9,2	8,3	7,1	7,7
	B3,T3	11,0	10,6	10,8	8,9	7,9	8,4
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		9,7	9,3	9,5	8,0	7,1	7,5
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,9			1,3		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	1,0 , 3,4			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			2,1 , 1,3		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 18. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji II (PFII) [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

Table 18. Organic phosphorus content in fraction II (PFII) [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	6,5	6,5	6,5	7,1	7,0	7,0
Obornik FYM	20	8,6	8,6	8,6	8,8	9,0	8,9
	40	9,6	8,4	9,0	10,1	10,0	10,1
	60	11,0	10,8	10,9	11,2	10,8	11,0
	80	11,7	11,1	11,4	12,7	12,8	12,6
	\bar{x}	10,2	9,7	10,0	10,7	10,7	10,7
Gnojowica Slurry	20	7,6	7,8	7,7	7,6	7,8	7,7
	40	8,3	8,6	8,4	8,7	8,7	8,7
	60	9,7	10,0	9,8	9,9	10,9	10,4
	80	10,6	11,0	10,8	11,2	11,8	11,5
	\bar{x}	9,1	9,3	9,2	9,3	9,8	9,6
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	8,1	8,2	8,1	8,2	8,4	8,3
	40	8,9	8,5	8,7	9,4	9,3	9,4
	60	10,4	10,4	10,4	10,6	10,9	10,7
	80	11,1	11,0	11,1	12,0	12,3	12,1
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		9,6	9,5	9,6	10,0	10,2	10,1
NIR - LSD	I	0,1			0,1		
P=0,05	II	0,2			0,3		
	III	0,1			0,2		
Interakcje	I/II, II/I	0,3 , 0,2			0,5 , 0,3		
Interactions	II/III, III/II	0,2 , 0,3			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	0,2 , 0,2			0,2 , 0,2		

W glebie obu wariantów zmianowania wystąpił istotny wpływ dawki nawozów organicznych na wzrost zawartości fosforu związanego z kwasem RNA. Różnica ta wynosiła 33% pomiędzy dawkami obornika 20 a 80 t · ha⁻¹ w glebie ze zmianowaniem Z1 i 42% w glebie ze zmianowaniem Z2 (średnio w obu warstwach). Natomiast rozpatrując odpowiednie dawki gnojowicy, to w glebie ze zmianowaniem Z1 wzrost ten wynosił 40%, a w glebie ze zmianowaniem Z2 49% (średnio w obu warstwach). Zawartość tej frakcji fosforu związków organicznych w próbkach z obu głębokości była podobna. Istotne zróżnicowanie wystąpiło w glebie ze zmianowaniem Z2 (NIR, tab.18).

Zawartość fosforu frakcji PFIII (kwasu DNA) utrzymywała się w glebie gliniastej w zakresie 1,1-1,4 mg P · 100g⁻¹ (średnio dla obu warstw) (tab.19). Nieco większą zawartość fosforu tej frakcji oznaczono w glebie piaszczystej 1,3-1,7 mg P · 100g⁻¹, średnio w obu warstwach.

Nawożenie gleby gliniastej gnojowicą powodowało wzrost zawartości fosforu frakcji PFIII o 22-56% (w stosunku do nawożenia NPK w formie mineralnej). Różnice te były znacznie większe w przypadku gleby piaszczystej, szczególnie nawożonej gnojowicą bydłą. Dla analogicznych porównań wynosiły one 62 i 112%. W próbkach gleb zarówno gliniastej, jak i piaszczystej wystąpił wzrost zawartości fosforu kwasu DNA (PF III) wraz ze wzrostem dawki obu gnojowic. Różnice te najczęściej wynosiły średnio 0,1-0,2 mg P · 100g⁻¹ pomiędzy glebami o nawożeniu sąsiednimi dawkami. Istotne różnice wystąpiły tylko między najwyższą a najniższą dawką oraz między nawożeniem mineralnym a organicznym. Dla gleby piaszczystej nawożonej gnojowicą bydłą różnica zawartości fosforu frakcji PFIII wynosiła 15% dla gleb nawożonych dawką B1 i B2 oraz 31% dla dawek B1 i B3 (średnio w obu warstwach). Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania zawartości fosforu tej frakcji w obu warstwach zarówno dla gleby gliniastej, jak i piaszczystej.

Zawartość fosforu frakcji PFIII w glebie z doświadczenia 2 (tab.20) była zdecydowanie większa w porównaniu z zawartością w glebach nawożonych gnojowicą bydłą i trzody chlewnej w doświadczeniu 1 (tab.19). Zawartość fosforu frakcji PFIII w zmianowaniu Z1 utrzymywała się w zakresie 1,3-2,4 mg P · 100g⁻¹ (średnio dla obu nawozów). Gleby nawożone obornikiem zawierały zwykle istotnie więcej tej frakcji fosforu. W próbce z warstwy 5-15 cm zmianowania Z1 (dla dawki obornika 80 t · ha⁻¹) zawartość PFIII wynosiła 2,8 mg P · 100g⁻¹, natomiast przy tej samej dawce gnojowicy stwierdzono tylko 2,2 mg P · 100g⁻¹. Stanowiło to 27% różnicy zawartości tej formy fosforu w przypadku zastosowania obornika do nawożenia gleby.

Zdecydowanie wyższe zawartości fosforu tej frakcji stwierdzono w glebie ze zmianowaniem Z2, zwykle o około 1,0 mg P · 100g⁻¹. Przyjmując średnią zawartość 2,8 mg P · 100g⁻¹ z obu warstw dla dawki 80 t · ha⁻¹ w zmianowaniu Z1 i 3,8 mg P · 100g⁻¹ w zmianowaniu Z2, to różnica ta wynosiła około 36%. Porównując zawartość tej frakcji w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą z ilością PFIII, którą oznaczono w glebie nawożonej nawozami mineralnymi zauważa się duże nagromadzenie się PFIII w warunkach nawożenia organicznego. Dla dawki obornika 80 t · ha⁻¹ w glebie ze zmianowaniem Z2 wzrost ten był ponad 3-krotny.

Wraz ze wzrostem dawki obornika i gnojowicy istotnie wzrastała zawartość fosforu frakcji PFIII w glebie obu wariantów nawożenia (NIR tab.20). Różnice zawartości fosforu w glebie nawożonej obornikiem dawką 20 t · ha⁻¹ a dwoma następnymi wynosiła 21 i 64%, natomiast dla gleby nawożonej obornikiem w dawce 80 t · ha⁻¹ wynosiła 86%,

Tabela 19. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji III (PFIII)
[mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)

Table 19. Organic phosphorus content in fraction III (PFIII) [mg P·100g⁻¹ of soil]
(Experiment N^o1)

		Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-1	25-35	\bar{x}
	0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3
	B2	1,3	1,2	1,2	1,6	1,4	1,5
	B3	1,5	1,3	1,4	1,7	1,7	1,7
	\bar{x}	1,3	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
	T2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	T3	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
	\bar{x}	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
	B2,T2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3
	B3,T3	1,5	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		1,3	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3
NIR - I.LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,2			0,2		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 20. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji III (PFIII) [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

Table 20. Organic phosphorus content in fraction III (PFIII) [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N°2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2
Obornik FYM	20	1,5	1,2	1,4	2,8	2,5	2,7
	40	1,8	1,5	1,7	2,7	2,8	2,7
	60	2,4	2,1	2,3	3,1	3,1	3,1
	80	2,8	2,4	2,6	3,8	3,8	3,8
	\bar{x}	2,1	1,8	2,0	3,1	3,0	3,0
Gnojowica Slurry	20	1,2	1,3	1,3	2,2	2,3	2,3
	40	1,5	1,6	1,5	2,6	2,6	2,6
	60	1,9	1,9	1,9	2,9	3,3	3,1
	80	2,2	2,3	2,3	3,5	3,6	3,5
	\bar{x}	1,7	1,8	1,7	2,8	3,0	2,9
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	1,3	1,3	1,3	2,5	2,4	2,5
	40	1,7	1,5	1,6	2,6	2,7	2,7
	60	2,1	2,0	2,1	3,0	3,2	3,1
	80	2,5	2,4	2,4	3,6	3,7	3,7
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		1,9	1,8	1,8	2,9	3,0	2,9
NIR - LSD	I	0,1			0,1		
P=0,05	II	0,2			0,1		
	III	0,1			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	n.i.-n.s.			0,3 , 0,2		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	0,1 , 0,1			0,1 , 0,1		

średnio dla obu warstw. Również dla gleby ze zmianowaniem Z2 nawożonej obornikiem wystąpił szczególnie istotny wzrost zawartości fosforu PFIII pomiędzy dawkami 20 a 80 t · ha⁻¹, ponad 40%. W próbkach gleby z obu głębokości pobrania, fosfor tej frakcji występował w zbliżonym zakresie. Przy nawożeniu gleby gnojowicą w obu wariantach zmianowania zawartość fosforu frakcji PFIII była nieco większa w próbkach pobranych z głębokości 25-35 cm. Zazwyczaj różnice te były istotne. Przykładowo dla próbek gleby nawożonej dawką gnojowicy 60 t · ha⁻¹ w zmianowaniu Z2 wynosiła ona nawet 14%.

Fosfor inozytolowy (PFIV) (tab.21) zarówno w glebie gliniastej, jak i piaszczystej nawożonych gnojowicami utrzymywał się na dość wyrównanym poziomie, w granicach 5-7 mg P · 100g⁻¹, a jego zawartość była istotnie determinowana jedynie wysokością dawki nawożenia organicznego. Istotne różnice zawartości fosforu tej frakcji występowały w glebach nawożonych gnojowicami w porównaniu do gleb nawożonych NPK w nawozach mineralnych. Dla gleby gliniastej nawożonej dawką B3 wynosiła ona 67% (średnio dla obu warstw) w porównaniu do gleby nawożonej NPK w nawozach mineralnych. Wartości NIR (tab.21) świadczą, że wraz ze wzrostem dawek gnojowic nie zawsze występowały istotne różnice zawartości fosforu inozytolowego. Różnice te najczęściej wynosiły od kilkanaście do kilkadziesiąt procent. Dla próbek gleby piaszczystej (średnio w obu warstwach) nawożonej gnojowicą bydłą różnice te wynosiły 10% pomiędzy dawką B1 a B2 oraz 22% dla dawek gnojowicy B1 i B3. Natomiast dla gleby gliniastej również w próbkach z obu warstw, różnice te wynosiły odpowiednio: 16% dla dawki B1 i B2 oraz 40% dla dawki B1 i B3.

Analizując zawartości fosforu frakcji PFIV, uzyskane dla obu warstw pobrania prób, należy podkreślić brak wyraźnego zróżnicowania zawartości fosforu tej frakcji. Średnio dla obu warstw pobrania zawartość PFIV wynosiła 5,9 mg P · 100g⁻¹ gleby gliniastej i 5,0 mg P · 100g⁻¹ gleby piaszczystej.

Dla zawartości fosforu inozytolowego w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą w obu wariantach zmianowania nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w badanych warstwach (NIR tab.22). Zawartość fosforu tej frakcji była niższa w glebie ze zmianowaniem Z1, w porównaniu do gleby ze zmianowaniem Z2. Dla dawki obornika 20 t · ha⁻¹ różnica zawartości fosforu PFIV wynosiła 7% w glebie z warstwy 5-15 cm w zmianowaniu Z2, w porównaniu do odpowiedniej próbki gleby ze zmianowania Z1. Natomiast dla dawki obornika 80 t · ha⁻¹ różnica ta wynosiła aż 18% na korzyść gleb ze zmianowaniem Z2. Dla próbek gleby z warstwy 5-15 cm nawożonej gnojowicą, dla tych samych dawek wystąpiła również różnica zawartości fosforu tej frakcji w obu wariantach zmianowania. Wynosiła ona dla dawki gnojowicy 20 t · ha⁻¹ - 20% i dla dawki 80 t · ha⁻¹ - 18%. Wraz ze wzrostem dawki obornika i gnojowicy następował jednoczesny wzrost zawartości fosforu związków organicznych we frakcji IV, chociaż nie zawsze istotny (NIR tab.22). Natomiast istotny wzrost zawartości fosforu frakcji PFIV wynoszący 44% wystąpił w glebie ze zmianowaniem Z1, dla najwyższych i najniższych dawek obornika (średnio dla obu warstw). Natomiast dla tych samych dawek gnojowicy, różnica zawartości fosforu frakcji PFIV również w glebie ze zmianowaniem Z1 wynosiła 58%.

W próbkach gleby ze zmianowaniem Z2 różnica zawartości fosforu frakcji PFIV pomiędzy glebą nawożoną dawkami 20 t · ha⁻¹ a 80 t · ha⁻¹ obornika i gnojowicy wynosiła, średnio dla obu warstw, odpowiednio 55% i 61%. Duża różnica zawartości fosfo-

Tabela 21. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji IV (PFIV) [mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)

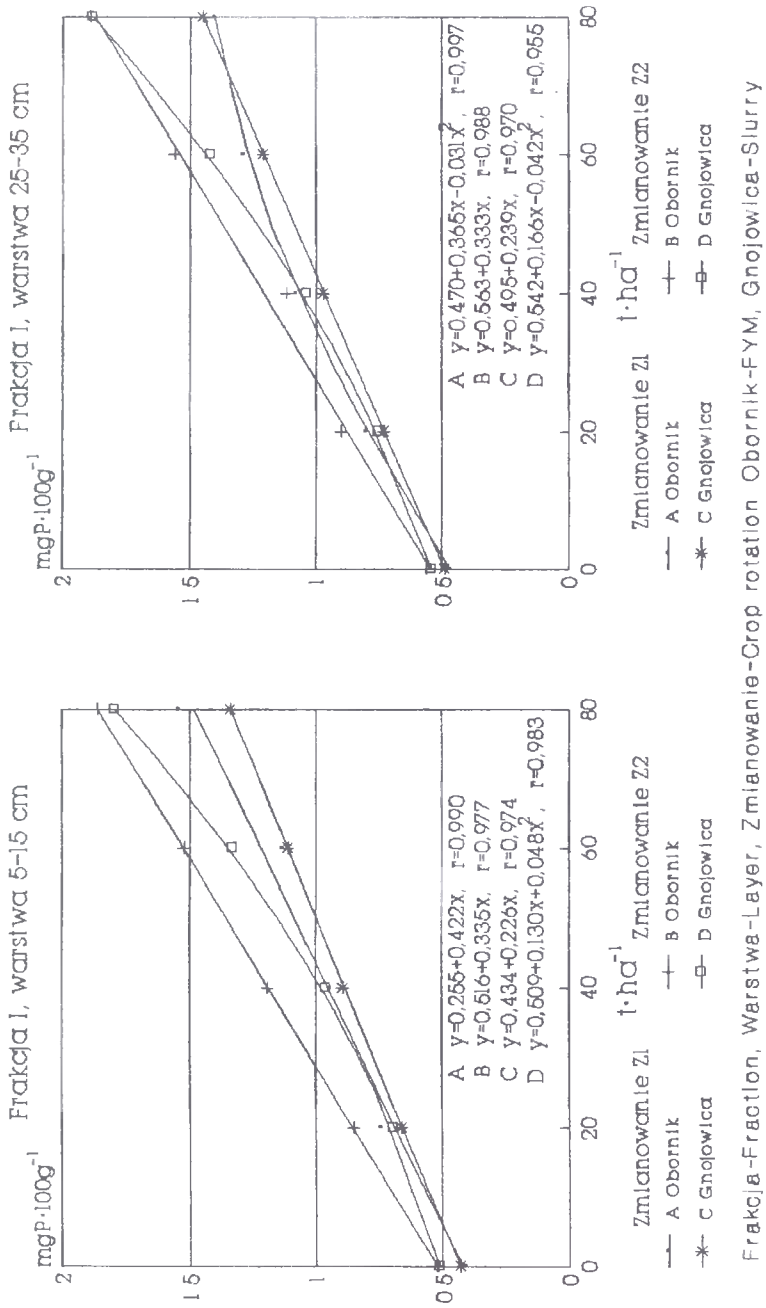
Table 21. Organic phosphorus content in fraction IV (PFIV) [mg P-100g⁻¹ of soil] (Experiment N^o1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynn timer - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynn timer - II Factor)	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynn timer - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	5,1	5,0	5,0	5,1	5,0	5,0
	B2	5,7	6,0	5,8	5,8	5,3	5,5
	B3	6,9	7,2	7,0	6,2	6,0	6,1
	\bar{x}	5,9	6,1	6,0	5,7	5,4	5,5
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	5,0	5,7	5,3	4,2	4,1	4,1
	T2	5,9	5,6	5,7	4,8	4,7	4,7
	T3	6,5	6,7	6,6	5,1	5,0	5,0
	\bar{x}	5,8	6,0	5,9	4,7	4,6	4,6
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	5,0	5,3	5,1	4,6	4,5	4,5
	B2,T2	5,8	5,8	5,8	5,3	5,0	5,1
	B3,T3	6,7	6,9	6,8	5,6	5,5	5,5
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		5,8	6,0	5,9	5,1	5,0	5,0
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,6			0,6		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 22. Zawartość fosforu związków organicznych we frakcji IV (PFIV) [mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

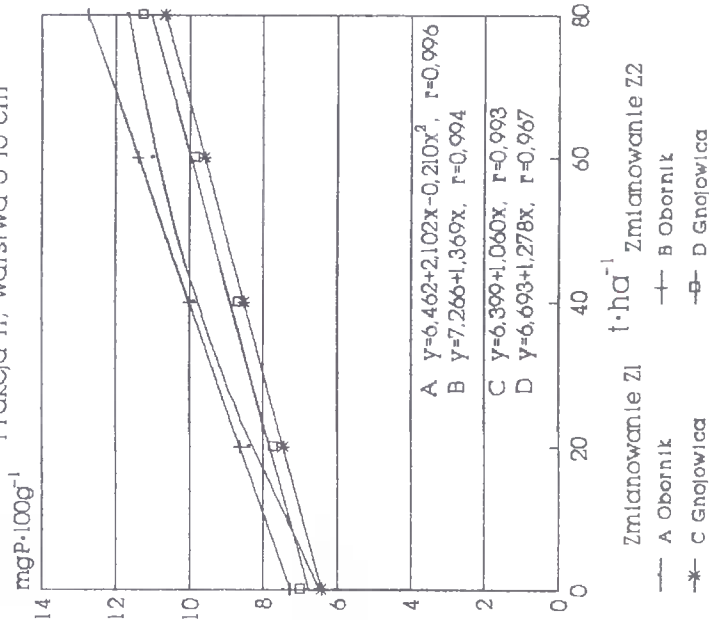
Table 22. Organic phosphorus content in fraction IV (PFIV) [mg P·100g⁻¹ of soil] (Experiment №2)

		Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t·ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,2	3,2
Obornik FYM	20	5,9	5,6	5,7	6,3	6,3	6,3
	40	6,3	6,1	6,2	7,6	7,4	7,5
	60	7,2	7,1	7,1	8,6	8,6	8,6
	80	8,2	8,3	8,2	9,7	9,8	9,8
	\bar{x}	6,9	6,8	6,8	8,1	8,0	8,0
Gnojowica Slurry	20	4,4	5,6	5,0	5,3	5,4	5,4
	40	5,9	6,7	6,3	6,5	6,6	6,6
	60	6,8	7,7	7,2	7,6	7,5	7,5
	80	7,2	8,7	7,9	8,5	8,8	8,7
	\bar{x}	6,1	7,2	6,6	7,0	7,1	7,0
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	5,1	5,6	5,4	5,8	5,8	5,8
	40	6,1	6,4	6,3	7,1	7,0	7,0
	60	7,0	7,4	7,2	8,1	8,1	8,1
	80	7,7	8,5	8,1	9,1	9,3	9,2
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		6,5	7,0	6,7	7,5	7,6	7,5
NIR - LSD	I	n.i.-n.s.			0,1		
P=0,05	II	0,1			0,1		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	0,8 , 0,8			n.i.-n.s.		

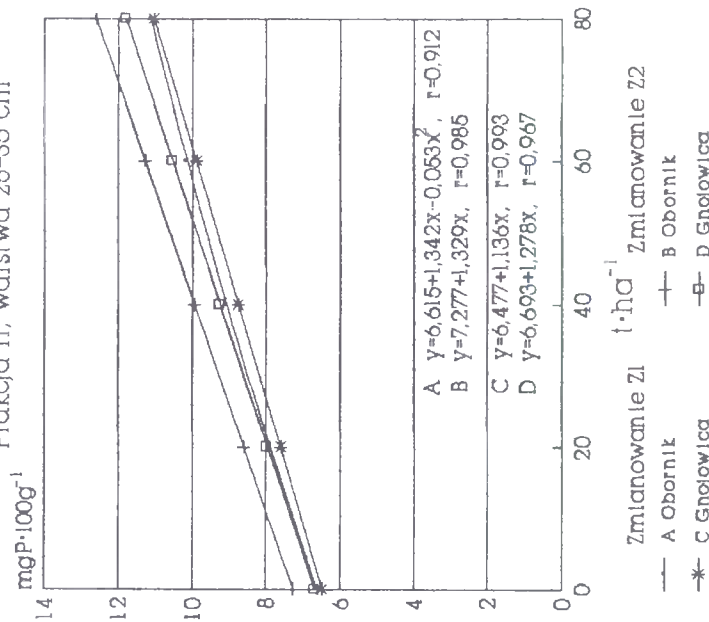


Rys. 2. Liniove i kwadratove krzyve regresji i wspólczyynniki korelacji wielokrotnej dla zawartości fosforu frakcji lipidowej (PFI) - Dośw.2
 Fig. 2. Linear and quadratic regression and correlation coefficients for the lipid phosphorus fraction content (PFI) - Exp.No 2

Frakcja II, warstwa 5-15 cm



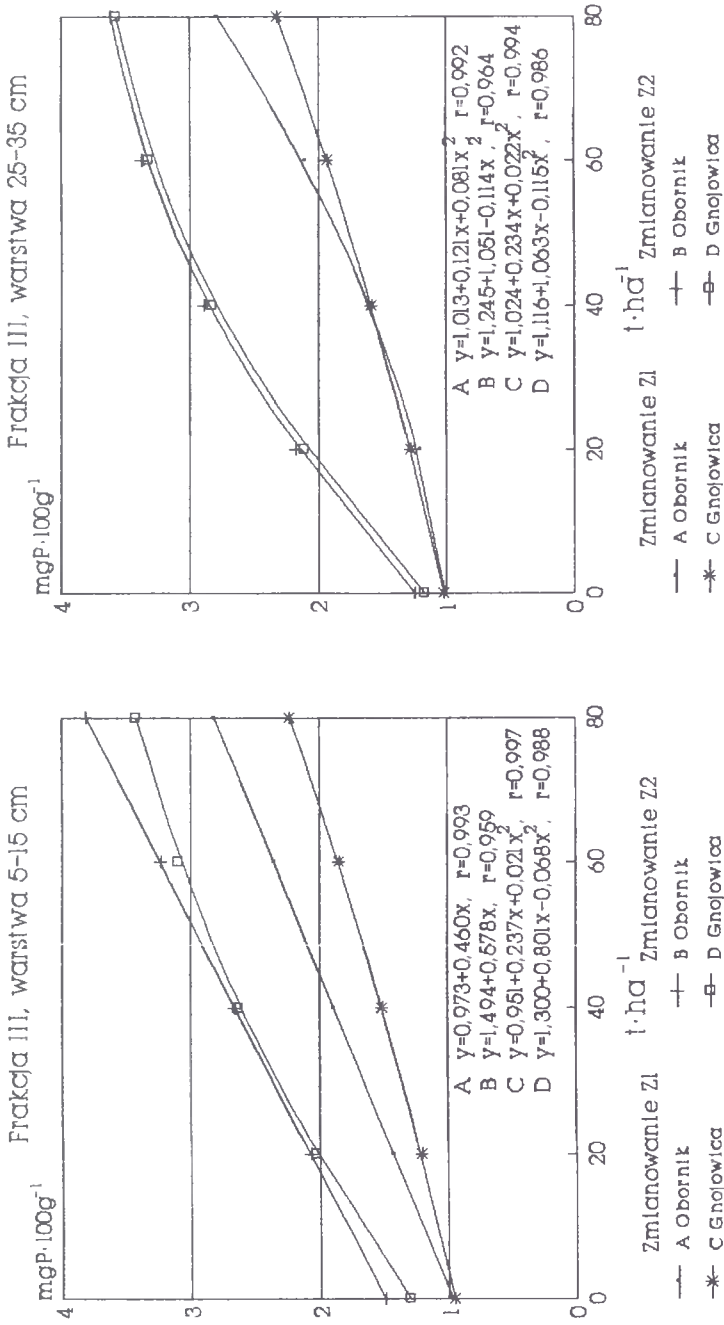
Frakcja II, warstwa 25-35 cm



Frakcja - Fraction, Warstwa - Layer, Zmianowanie - Crop rotation, Obornik - FYM, Gnojowica - Slurry

Rys.3. Liniowe i kwadratowe krzywe regresji i współczynniki korelacji wielokrotnej dla zawartości fosforu frakcji RNA (PFII) - Dośw.2

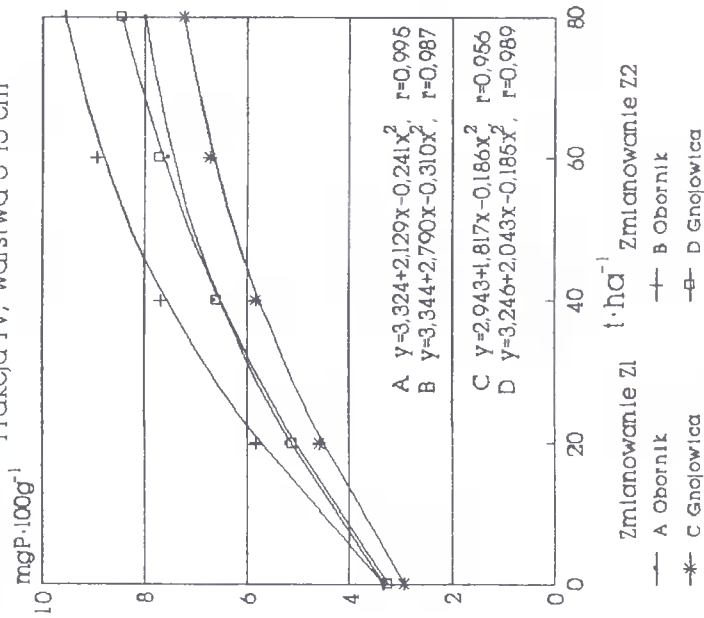
Fig.3. Linear and quadratic regression and correlation coefficients for the RNA phosphorus fraction content (PFII) - Exp.No 2



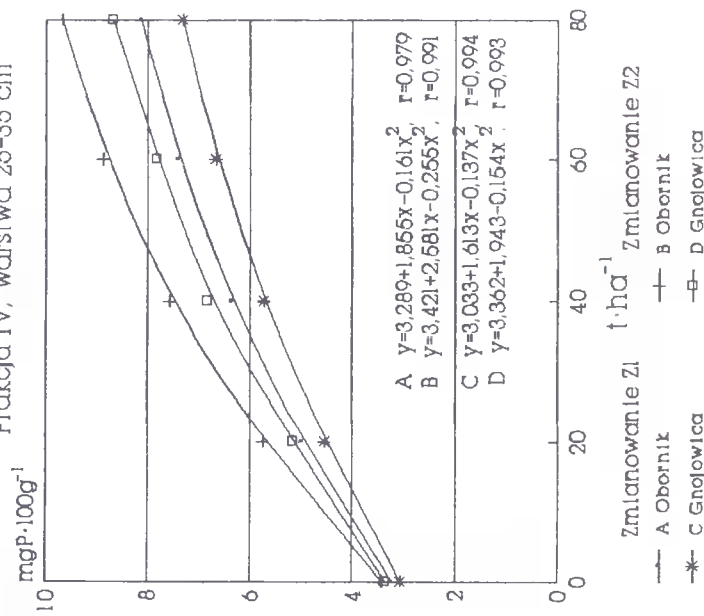
Frakcja-Fraction, Warstwa-Layer, Zmianowanie-Crop rotation Obornik-FYM, Gnojowica-Slurry

Rys.4. Liniiowe i kwadratowe krzywe regresji i współczynniki korelacji wielokrotnej dla zawartości fosforu frakcji DNA (PFIII) - Dośw. 2
 Fig.4. Linear and quadratic regression and correlation coefficients for the DNA phosphorus fraction content (PFIII)- Exp.No 2

Frakcja IV, warstwa 5-15 cm



Frakcja IV, warstwa 25-35 cm



Frakcja-Fraction, Warstwa-Layer, Zmianowanie-Crop rotation, Obornik-FYM, Gnojowica-Slurry

Rys.5. Kwadratowe krzywe regresji i współczynniki korelacji wielokrotnej dla zawartości fosforu frakcji inozytolowej (PFIV) - Dośw.2

Fig.5. Linear and quadratic regression and correlation coefficients for the inositol phosphorus fraction content (PFIV) - Exp. No 2

ru inozytolowego występowała w glebie nawożonej nawozami organicznymi w porównaniu do gleby nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi. Wynosiła ona 90-173% dla gleb nawożonych obornikiem oraz 67-163% dla gleb nawożonych gnojowicą w zmianowaniu Z1, średnio dla obu warstw. Nieco wyraźniejsza różnica zawartości fosforu frakcji PFIV była w glebie ze zmianowaniem Z2, szczególnie dla gleb nawożonych obornikiem, gdzie wynosiła 97%-206%.

Dla porównania tendencji wywołanych warunkami doświadczenia w zmianowaniu Z1 i Z2 przeprowadzono analizę regresji zawartości fosforu związków organicznych w wydzielonych frakcjach z warstwy ornej i podornej badanych gleb (rys.2-5). Wzrost zawartości fosforu frakcji PFI, PFII, PFIII i PFIV w glebie zachodził z jednoczesnym wzrostem dawki obornika lub gnojowicy. Zależności te układały się krzywoliniowo (wg funkcji kwadratowych) lub prostoliniowo.

Zawartości frakcji fosforu związków organicznych można uszeregować w następujący ciąg:

P-lipidowy (PFI) < P-DNA (PFIII) < P-inozytolowy (PFIV) < P-RNA (PFII).

Tendencja takiego kształtowania się zawartości fosforu w poszczególnych frakcjach występowała w próbkach glebowych obu doświadczeń niezależnie od rodzaju nawożenia, dawki nawozów czy rodzaju zmianowania.

IV.4. Udział procentowy poszczególnych frakcji (PFI - PFIV) w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych ($P_{org.}$) i fosforu ogółem ($P_{og.}$)

Dominującą frakcją fosforu związków organicznych ($P_{org.}$) ogółem była frakcja II (PFII), czyli fosfor kwasu RNA. Jej udział w całkowitej ilości $P_{org.}$ w próbkach gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydłą wahał się w dość wąskim zakresie 55-56% (rys.6). Udział ten był podobny w próbkach gleby z obu warstw i nie zależał od dawki gnojowicy. W glebie piaszczystej, również nawożonej gnojowicą bydłą udział fosforu tej frakcji w $P_{org.}$ był nieco mniejszy i wynosił około 50-51%. Udział fosforu frakcji kwasu RNA w glebie nawożonej gnojowicą trzody chlewnej był nieco niższy i wynosił dla gleby gliniastej 50-52% oraz 47-49% dla gleby piaszczystej. Udział tej formy fosforu w próbkach gleby nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi (NPK) wynosił 47-48% w próbkach gleby gliniastej oraz 40-44% w próbkach gleby piaszczystej.

Zawartość frakcji PFII w $P_{org.}$ była również największa dla gleb nawożonych obornikiem i gnojowicą w doświadczeniu 2 (rys.7). Jej udział wynosił 45-49% $P_{org.}$ w próbkach gleby ze zmianowaniem Z1 nawożonej obornikiem oraz 46-50% $P_{org.}$ w próbkach gleby nawożonej gnojowicą. Nieco niższe wartości udziału tej frakcji uzyskano dla gleby ze zmianowaniem Z2 (rys.7). Zarówno dla gleby nawożonej gnojowicą, jak i obornikiem udział ten wynosił 43-45%. Zwykle udział ten wzrastał przy nawożeniu organicznym gleby dawką $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najwyższe udziały tej frakcji fosforu, stanowiące 55% $P_{org.}$ stwierdzono w glebach nawożonych nawozami mineralnymi ze zmianowaniem Z2.

Drugą w kolejności co do udziału w całkowitej zawartości $P_{org.}$ była frakcja inozytolowa (PFIV) (rys.7). Stanowiła ona 30% ogółu $P_{org.}$ w próbkach gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydłą i 37% w próbkach gleby gliniastej nawożonej gnojowicą trzody chlewnej.

W glebie piaszczystej udział tej frakcji fosforu w całkowitej ilości $P_{org.}$ był podobny do tego, który uzyskano dla gleby gliniastej i wynosił 35% przy nawożeniu gleby gnojowicą bydlęcą oraz 36% przy nawożeniu gnojowicą trzody chlewnej. Nie stwierdzono większego zróżnicowania wielkości udziału w zależności od warstwy pobrania próbek i dawek stosowanych gnojowic. Udział fosforu inozytolowego był najwyższy w glebach nawożonych wyłącznie nawozami mineralnymi i wynosił 38% $P_{org.}$ w glebie gliniastej oraz 44% w glebie piaszczystej.

Udział fosforu frakcji III (PFIII) w glebie piaszczystej był większy od udziału tej frakcji fosforu w glebie gliniastej (rys.6). Wynosił on około 10% (dla wszystkich dawek łącznie) w glebie piaszczystej nawożonej gnojowicą bydlęcą oraz 9% dla gleby nawożonej gnojowicą trzody chlewnej. W glebie gliniastej udział tej frakcji fosforu w $P_{org.}$ wynosił około 8% przy nawożeniu gnojowicą bydlęcą i 7% przy nawożeniu gnojowicą trzody chlewnej (również średnio dla 3 stosowanych dawek).

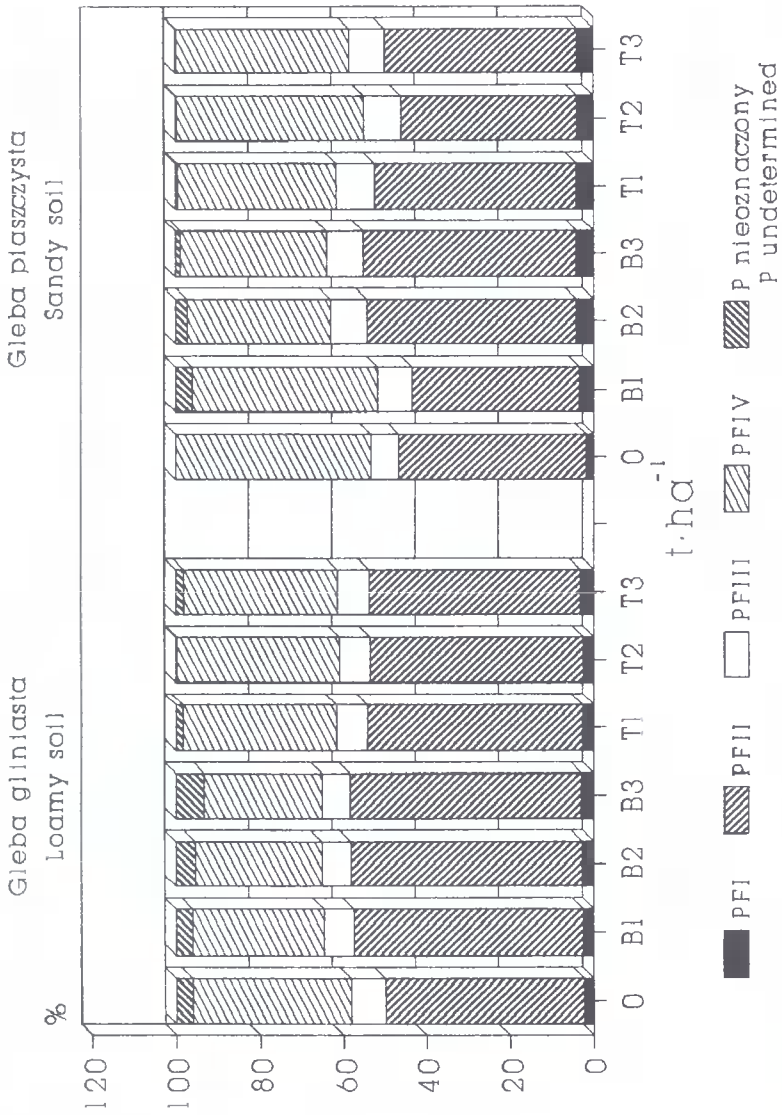
Fosfor frakcji III (PFIII) w glebie ze zmianowaniem Z1 stanowił 8-11% ogółu $P_{org.}$ dla nawożenia obornikiem i 8-10% dla nawożenia gnojowicą (rys.7). Udział tej frakcji w $P_{org.}$ był większy dla gleby ze zmianowaniem Z2 i wynosił średnio 12-13% (rys.7) niezależnie od rodzaju nawozu organicznego. Udział tej frakcji był niekiedy 2-krotnie większy od tego, który uzyskano dla PFIII gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej (rys.6).

Fosfor lipidowy (PFI) stanowił od 2,5-3,3% ogółu $P_{org.}$ w glebie gliniastej dla obu stosowanych gnojowic. Udział fosforu PFI w całkowitej ilości $P_{org.}$ wzrastał do około 4,2% dla gleby piaszczystej (rys.6) nawożonej gnojowicą bydlęcą oraz 3,9% dla nawożonej gnojowicą trzody chlewnej. Wartości te były podobne dla obu warstw pobierania prób i nie zmieniały się wraz ze wzrostem dawek gnojowic. Udział tej frakcji fosforu w $P_{org.}$ wzrastał średnio do 5-7% w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 (rys.7). Udział ten nieznacznie wzrastał wraz ze wzrostem dawki i zawsze był najwyższy przy zastosowaniu dawki $80 t \cdot ha^{-1}$ obornika lub gnojowicy. Uzyskane wyniki wykazały, że udział frakcji fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości $P_{org.}$ był niezależny od rodzaju nawożenia i zmianowania.

Udział fosforu frakcji lipidowej (PFI) (rys.8) w $P_{org.}$ w glebie gliniastej był niższy od jego udziału w glebie piaszczystej. Wynosił on 1,1-1,2% dla gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą oraz 1,0-1,3% nawożonej gnojowicą trzody chlewnej. W glebie piaszczystej nawożonej gnojowicą bydlęcą udział ten wynosił około 2,2-2,5%. Nieco niższy udział tej frakcji (1,9-2,0%) był w glebie piaszczystej nawożonej gnojowicą trzody chlewnej.

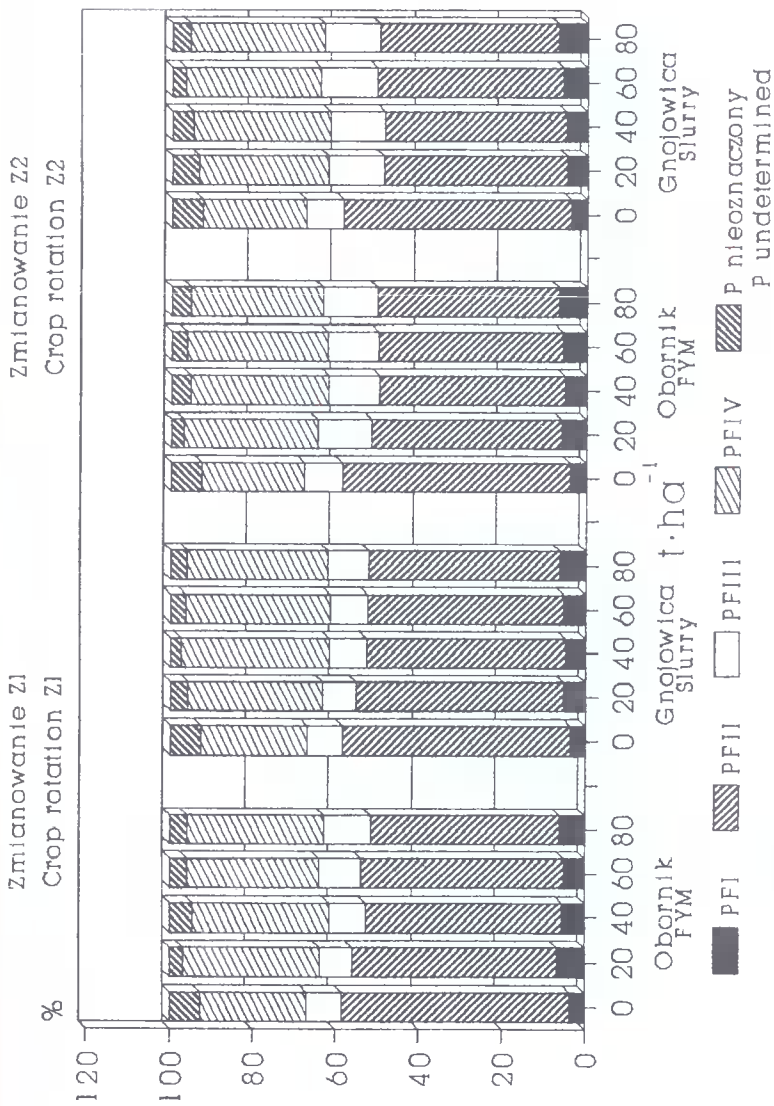
Fosfor frakcji RNA (PFII) (rys.8) stanowił 23-25% $P_{org.}$ w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą. Natomiast dla gleby nawożonej gnojowicą trzody chlewnej, udział ten wynosił 19-24% fosforu ogółem. W glebie gliniastej zauważono spadek udziału frakcji fosforu RNA wraz ze wzrostem dawki obu gnojowic.

Udział frakcji DNA (PFIII) (rys.8) w fosforze ogółem mieścił się w zakresie 2,6-3,3% dla gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą. Podobny udział tej frakcji (2,9-3,5%) był przy nawożeniu gleby gnojowicą trzody chlewnej. W glebie piaszczystej udział fosforu tej frakcji nieco wzrastał, zwłaszcza przy zastosowaniu gnojowicy bydlęcej (rys.8). Wynosił on 4,9-5,5% przy nawożeniu gnojowicą bydlęcą oraz 4,1-4,6% przy nawożeniu gleby gnojowicą trzody chlewnej. Z reguły najniższe udziały tej frakcji fosforu w $P_{org.}$ stwierdzono przy zastosowaniu najwyższych dawek obu gnojowic.



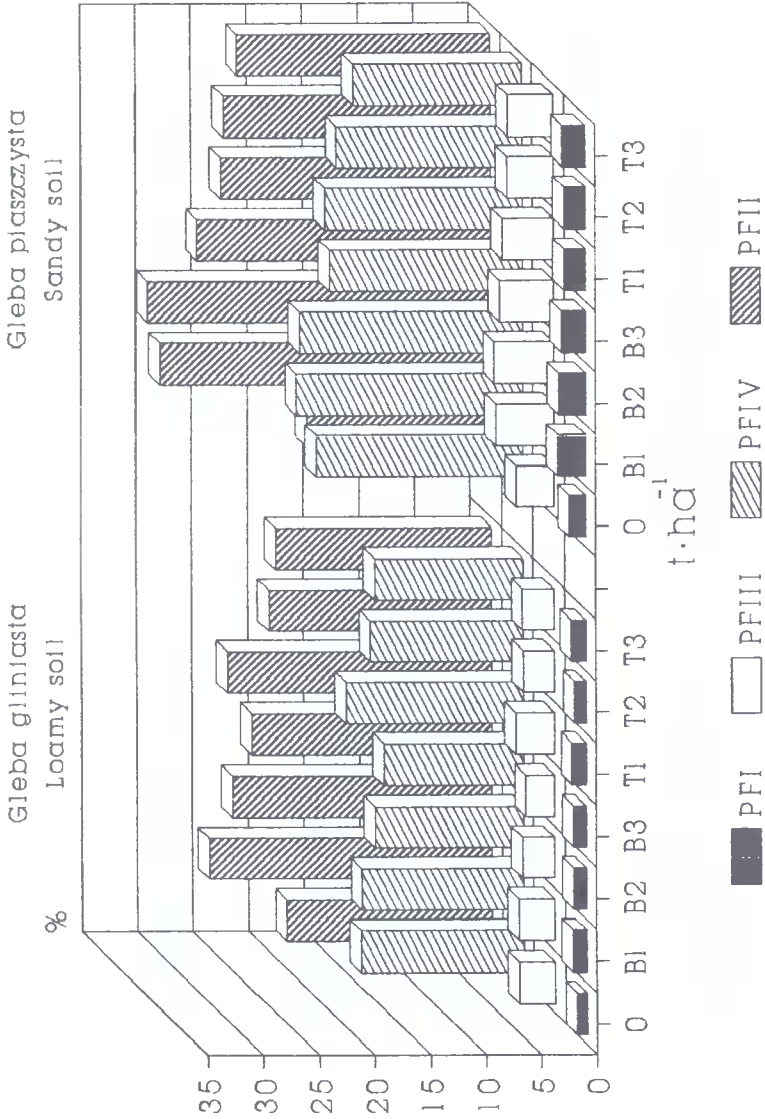
Rys.6. Udział procentowy fosforu poszczególnych frakcji (PFI-PFIV) w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (P_{org}) (średnio dla obu warstw) (Dośw.1)

Fig.6. Percentage of phosphorus in particular fractions (PFI-PFIV) in organic phosphorus content (P_{org}) (mean for both layers) (Exp.No 1)



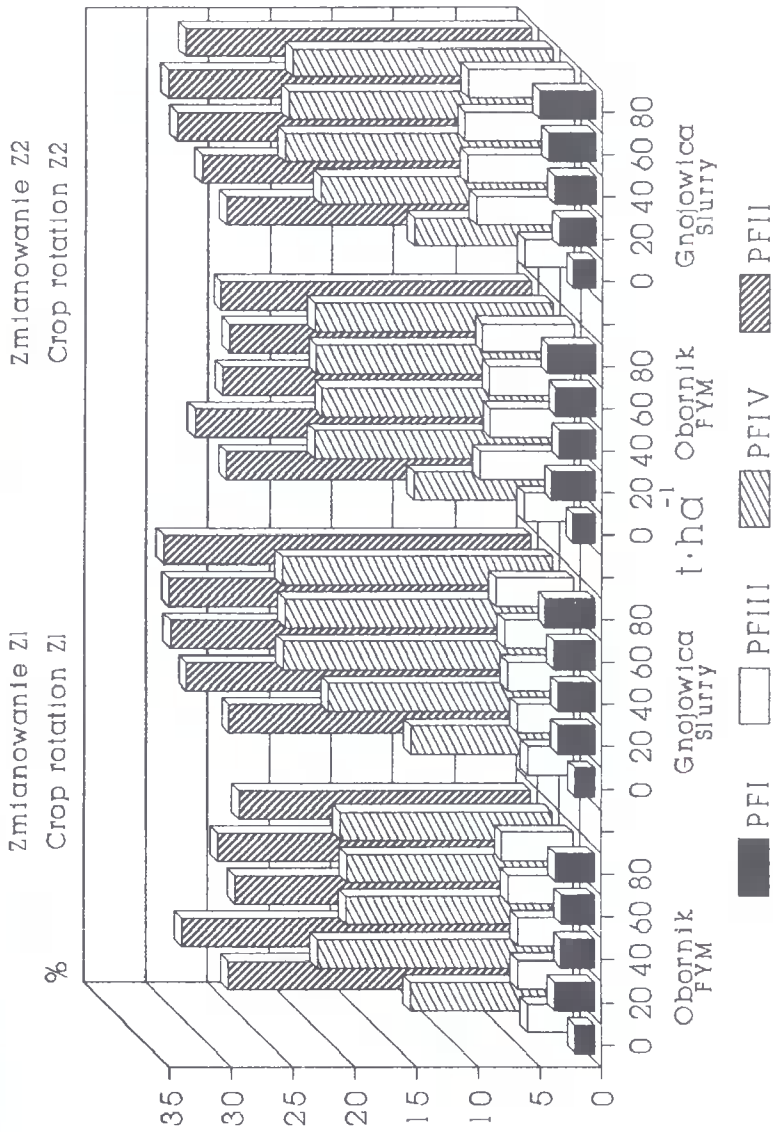
Rys. 7. Udział procentowy fosforu poszczególnych frakcji (PFI-PFIV) w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (P org.) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 2)

Fig. 7. Percentage of phosphorus in particular fractions (PFI-PFIV) in organic phosphorus content (P org.) (mean for both layers) (Exp. No 2)



Rys.8. Udział procentowy poszczególnych frakcji (PFI-PFIV) fosforu związków organicznych w zawartości fosforu ogółem ($P_{og.}$) (średnio dla obu warstw) (Dośw.1)

Fig.8. Percentage of particular fractions (PFI-PFIV) of organic phosphorus in total phosphorus ($P_{tot.}$) content (mean for both layers) (Exp.No.1)



Rys.9. Udział procentowy poszczególnych frakcji (PFI-PFIV) fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości fosforu (P_{og}) (średnio dla obu warstw) (Dośw.2)

Fig.9. Percentage of particular fractions (PFI-PFIV) of organic phosphorus in total phosphorus (P_{tot}) content (mean for both layers) (Exp. N^o2)

Fosfor inozytolowy (PFIV) stanowił większą część fosforu ogółem w glebie piaszczystej (rys.8) w porównaniu do gleby gliniastej. Stanowił on 17-20% $P_{og.}$ w glebach nawożonych gnojowicą bydłą i 16-18% w glebach nawożonych gnojowicą trzody chlewnej. Najwyższym procentowo udziałem frakcji PFIV w $P_{og.}$ 15-16% charakteryzowały się próbki gleby gliniastej nawożonej dawką B1 i T1. Dla pozostałych dawek gnojowic udział fosforu frakcji PFIV w całkowitej ilości fosforu w glebie wynosił 12-13%. Wraz ze wzrostem dawki gnojowic następował spadek tego udziału.

Udział fosforu frakcji lipidowej (PFI) w $P_{og.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 nawożonej obornikiem wynosił od 2,7-3,2%, natomiast w przypadku nawożenia gnojowicą 2,9-3,9% (rys.9). Udział tej formy fosforu w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 był znacznie większy od uzyskanych dla gleb z doświadczenia 1 nawożonych gnojowicą bydłą i trzody chlewnej (rys.8). Udział fosforu lipidowego w $P_{og.}$ nieznacznie wzrastał wraz ze wzrostem dawki gnojowicy bydłowej i trzody chlewnej.

Fosfor RNA (PFII) stanowił 24-28% $P_{og.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 nawożonej obornikiem i 28-30% w glebie nawożonej gnojowicą. Zdecydowanie niższy był udział tej frakcji w glebie nawożonej wyłącznie mineralnie w stosunku do gleby nawożonej gnojowicą. Udział tej frakcji dla gleby nawożonej obornikiem wynosił 25%, natomiast dla gleby nawożonej gnojowicą 29% $P_{og.}$.

Udział procentowy fosforu frakcji DNA (PFIII) w $P_{og.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 wynosił 4,5-5,8% (rys.9) w glebie nawożonej obornikiem i był wyższy od wartości, które uzyskiwano w glebie gliniastej (rys.8). Natomiast dla gleby nawożonej gnojowicą, udział ten wynosił średnio dla dawek 5,5% $P_{og.}$. Udziały fosforu inozytolowego (PFIV) w zawartości $P_{og.}$ mieściły się w granicach 17-19% dla gleby nawożonej obornikiem. Wyższe wartości tego udziału 18-22% $P_{og.}$ stwierdzono w przypadku nawożenia gleby gnojowicą. Również wysokie udziały tej frakcji wystąpiły w próbach gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydłą (rys.8).

Podobnie kształtowały się udziały fosforu poszczególnych frakcji w glebie ze zmianowaniem Z2 (rys.9). Fosfor frakcji lipidowej (PFI) miał udział w $P_{og.}$ w zakresie 2,9-3,8% dla gleby nawożonej obornikiem i 2,9-4,5% dla gleby nawożonej gnojowicą. Udział fosforu frakcji RNA (PFII) był rzędu 25-30%, przy czym większe wartości występowały w glebie nawożonej gnojowicą (rys.9). Udział fosforu frakcji (PFIV) w glebie obu wariantów zmianowania był podobny. Wystąpiło małe zróżnicowanie wartości udziału pomiędzy dawkami nawozów organicznych, wynosiło ono 25% średnio dla dawek obornika i 28% dla dawek gnojowicy. Udział fosforu frakcji DNA (PFIII) w $P_{og.}$ dla gleby nawożonej obornikiem był mało zróżnicowany pomiędzy dawkami. Wynosił on średnio dla dawek obornika 7,2% $P_{og.}$ oraz 8,5% $P_{og.}$ dla gleby nawożonej gnojowicą. Procentowy udział fosforu frakcji PFIV mieścił się w granicach 18-19% dla gleby nawożonej obornikiem i 19-21% dla gleby nawożonej gnojowicą. Wystąpiło małe zróżnicowanie wartości udziału tej frakcji w $P_{og.}$ w zależności od dawki obu nawozów. Natomiast duże różnice udziału tej frakcji ujawniły się pomiędzy glebą nawożoną obornikiem i gnojowicą a glebą nawożoną nawozami mineralnymi, gdzie udział ten wynosił 11% zawartości $P_{og.}$. Niezależnie od warunków, w jakich prowadzone były doświadczenia 1 i 2, udział procentowy frakcji fosforu związków organicznych w całkowitej zawartości fosforu w glebie wzrastał w następującej kolejności:

$$PFII > PFIV > PFIII > PFI.$$

IV.5. Zawartość niższych (IP₁₋₄) i wyższych (IP₅₋₆) estrów fosforanowych inozytolu i ich udział w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (P_{org.})

Niższe estry fosforanowe inozytolu IP₁₋₄ w obu badanych glebach nawożonych gnojowicą bydłą i trzody chlewnej występowały w podobnym zakresie 3,1-4,5 mg P · 100g⁻¹ (tab.23), niezależnie od rodzaju stosowanej gnojowicy. Z reguły wraz ze wzrostem dawki gnojowicy występował istotny wzrost zawartości niższych estrów IP₁₋₄. Zwykle znacznie niższe stężenia tych estrów fosforanowych inozytolu stwierdzono w glebach nawożonych wyłącznie nawozami mineralnymi. Zawartość fosforu niższych estrów w glebach nawożonych gnojowicą była o 20-60% wyższa w stosunku do gleb nawożonych NPK w nawozach mineralnych.

Zawartość niższych estrów w glebie ze zmianowaniem Z1 (tab.24) kształtowała się w podobnym zakresie, który otrzymano w glebie gliniastej. W glebie z tego doświadczenia wyższą zawartość IP₁₋₄ stwierdzono w glebie nawożonej obornikiem w stosunku do nawożonej tymi samymi dawkami gnojowicy (1 czynnik istotny, NIR tab.24). Taka różnica zawartości niższych estrów wystąpiła w glebie obu wariantów zmianowania, chociaż szczególnie widoczna była w zmianowaniu Z2. Przykładowo, dla dawki 20 t · ha⁻¹ gnojowicy i obornika w glebie ze zmianowaniem Z2 z warstwy 5-15 cm ilość tych estrów wynosiła odpowiednio 3,5 i 4,1 mg P · 100g⁻¹. Zawartości fosforu tych estrów w próbkach gleby nawożonej obornikiem były wyższe o około 17% niż w próbkach gleby nawożonej gnojowicą trzody chlewnej. Ogólnie, średnia zawartość fosforu niższych estrów dla wszystkich dawek obornika w poziomie 5-15 cm gleby ze zmianowaniem Z2 wynosiła 5,3 mg P · 100g⁻¹, natomiast dla nawożenia obornikiem 4,6 mg P · 100g⁻¹, co stanowiło 15% różnicy zawartości. Wraz ze wzrostem dawki obornika i gnojowicy następował istotny wzrost zawartości IP₁₋₄ w glebie obu wariantów doświadczenia. Średnia różnica zawartości IP₁₋₄ fosforu w próbkach gleby nawożonej wzrastającymi dawkami nawozów wynosiła 10-20%. Natomiast różnica zawartości fosforu IP₁₋₄ w glebie nawożonej najniższą i najwyższą dawką wynosiła ponad 2 mg P · 100g⁻¹, co stanowiło 58-60% różnicy zawartości, tak jak w przypadku gleby z obu warstw nawożonej obornikiem i gnojowicą w zmianowaniu Z2 (tab.24).

Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie zawartości niższych estrów w próbkach gleby z obu warstw, dla zmianowania Z1. Różnice te były niewielkie, a zawartość tych estrów w próbkach gleby z obu warstw utrzymywała się na dość wyrównanym poziomie.

Stwierdzono nieco większe zawartości wyższych estrów IP₅₋₆ (tab.25) w glebie gliniastej, 1,8-2,3 mg P · 100g⁻¹, w stosunku do zawartości, którą oznaczono w glebie piaszczystej (1,6-1,9 mg P · 100g⁻¹) (średnio dla gnojowic). Rodzaj stosowanej gnojowicy nie wpływał na zawartość wyższych estrów fosforanowych. Największą zawartość wyższych estrów stwierdzono w próbkach gleby gliniastej nawożonej gnojowicą trzody chlewnej w dawce 200%N w gnojowicy. We wszystkich próbkach stwierdzono wzrost zawartości IP₅₋₆ wraz ze wzrostem dawki stosowanej gnojowicy. Różnica ta wynosiła przeciętnie od 6-10% pomiędzy wzrastającymi dawkami, natomiast osiągała niekiedy 25-38% pomiędzy glebami z nawożeniem organiczno-mineralnym (B1 i T1) a najwyż-

Tabela 23. Zawartość fosforu niższych estrów inozytolowych (IP₁₋₄) [mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 1)

Table 23. Lower inositol phosphorus esters (IP₁₋₄) content [mg P·100g⁻¹ of soil] (Experiment N°1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	3,4	2,8	3,1	3,3	3,3	3,3
	B2	3,4	3,6	3,5	3,8	3,5	3,6
	B3	4,5	4,5	4,5	4,1	3,9	4,0
	\bar{x}	3,8	3,6	3,7	3,7	3,6	3,6
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	3,3	4,0	3,6	2,7	2,7	2,7
	T2	4,0	4,0	4,0	3,1	3,1	3,1
	T3	4,4	4,7	4,5	3,3	3,2	3,2
	\bar{x}	3,9	4,2	4,0	3,1	3,0	3,0
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	3,3	3,4	3,3	3,0	3,0	3,0
	B2,T2	3,7	3,8	3,7	3,4	3,3	3,3
	B3,T3	4,4	4,6	4,5	3,7	3,5	3,6
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		3,8	3,9	3,8	3,4	3,3	3,3
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,3			0,3		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 24. Zawartość fosforu niższych estrów inozytolowych (IP₁₋₄)
[mg P-100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie 2)

Table 24. Lower inositol phosphorus esters (IP₁₋₄) content [mg P-100g⁻¹ of soil]
(Experiment N^o2)

		Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t·ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
Obornik FYM	20	3,9	3,7	3,8	4,1	4,1	4,1
	40	4,2	4,1	4,1	5,0	4,9	5,0
	60	4,8	4,7	4,7	5,7	5,7	5,7
	80	5,4	4,5	5,0	6,4	6,5	6,4
	\bar{x}	4,6	4,2	4,4	5,3	5,3	5,3
Gnojowica Slurry	20	2,9	3,1	3,0	3,5	3,6	3,6
	40	3,9	3,7	3,8	4,3	4,4	4,3
	60	4,5	4,4	4,5	5,0	5,0	5,0
	80	4,7	4,7	4,7	5,6	5,8	5,7
	\bar{x}	4,0	4,0	4,0	4,6	4,7	4,6
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	3,4	3,4	3,4	3,8	3,8	3,8
	40	4,1	3,9	4,0	4,7	4,6	4,7
	60	4,7	4,6	4,6	5,4	5,3	5,4
	80	5,1	4,6	4,9	6,0	6,1	6,1
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		4,3	4,1	4,2	5,0	5,0	5,0
NIR - LSD	I	0,1			0,1		
P=0,05	II	0,1			0,1		
	III	0,1			n.i.-n.s.		
	Interakcje Interactions	I/II, II/I	0,2 , 0,1			n.i.-n.s.	
	II/III, III/II	0,1 , 0,1			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	0,1 , 0,1			n.i.-n.s.		

Tabela 25. Zawartość fosforu wyższych estrów inozytolowych (IP_{5,6})
[mg P·100g⁻¹ gleby] (Doświadczenie I)

Table 25. Higher inositol phosphorus esters (IP_{5,6}) content [mg P·100g⁻¹ of soil]
(Experiment N°1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
Gnojowica bydłęca Cattle slurry	B1	1,7	1,6	1,6	1,8	1,7	1,7
	B2	1,9	1,8	1,8	2,0	1,8	1,9
	B3	2,3	2,3	2,3	2,1	2,1	2,1
	\bar{x}	2,0	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	1,7	2,0	1,9	1,4	1,4	1,4
	T2	2,0	2,1	2,0	1,6	1,7	1,6
	T3	2,3	2,4	2,3	1,8	1,7	1,7
	\bar{x}	2,0	2,2	2,1	1,6	1,6	1,6
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	1,7	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6
	B2,T2	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7
	B3,T3	2,3	2,3	2,3	1,9	1,9	1,9
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		2,0	2,0	2,0	1,8	1,7	1,7
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	0,2			0,2		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

Tabela 26. Zawartość fosforu wyższych estrów inozytolowych (IP_{5,6}) [mg P·100g⁻¹gleby] (Doświadczenie 2)

Table 26. Higher inositol phosphorus esters (IP_{5,6}) content [mg P·100g⁻¹of soil] (Experiment N°2)

		Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
Obornik FYM	20	2,0	1,9	1,9	2,1	2,1	2,1
	40	2,1	2,0	2,1	2,6	2,5	2,5
	60	2,4	2,4	2,4	2,9	2,9	2,9
	80	2,8	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3
	\bar{x}	2,3	2,3	2,3	2,7	2,7	2,7
Gnojowica Slurry	20	1,5	1,6	1,5	1,8	1,8	1,8
	40	2,0	1,9	1,9	2,2	2,2	2,2
	60	2,3	2,3	2,3	2,6	2,6	2,6
	80	2,4	2,5	2,4	2,9	2,6	2,7
	\bar{x}	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	1,7	1,7	1,7	2,0	1,9	2,0
	40	2,1	2,0	2,0	2,4	2,3	2,4
	60	2,4	2,3	2,3	2,7	2,7	2,7
	80	2,6	2,6	2,6	3,1	2,9	3,0
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5
NIR - LSD	I	0,1			0,1		
P=0,05	II	0,1			0,2		
	III	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
Interakcje	I/II, II/I	0,2 , 0,1			n.i.-n.s.		
Interactions	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

szymi dawkami gnojowic (B3 i T3). W glebach nawożonych nawozami mineralnymi zawartość tych estrów była zdecydowanie niższa od zawartości, która była w glebach nawożonych organicznie. Różnice zawartości estrów w glebie gliniastej były rzędu 21-64%, a w glebie piaszczystej 7-27% w stosunku do gleby nawożonej NPK w nawozach mineralnych (średnio dla gnojowic).

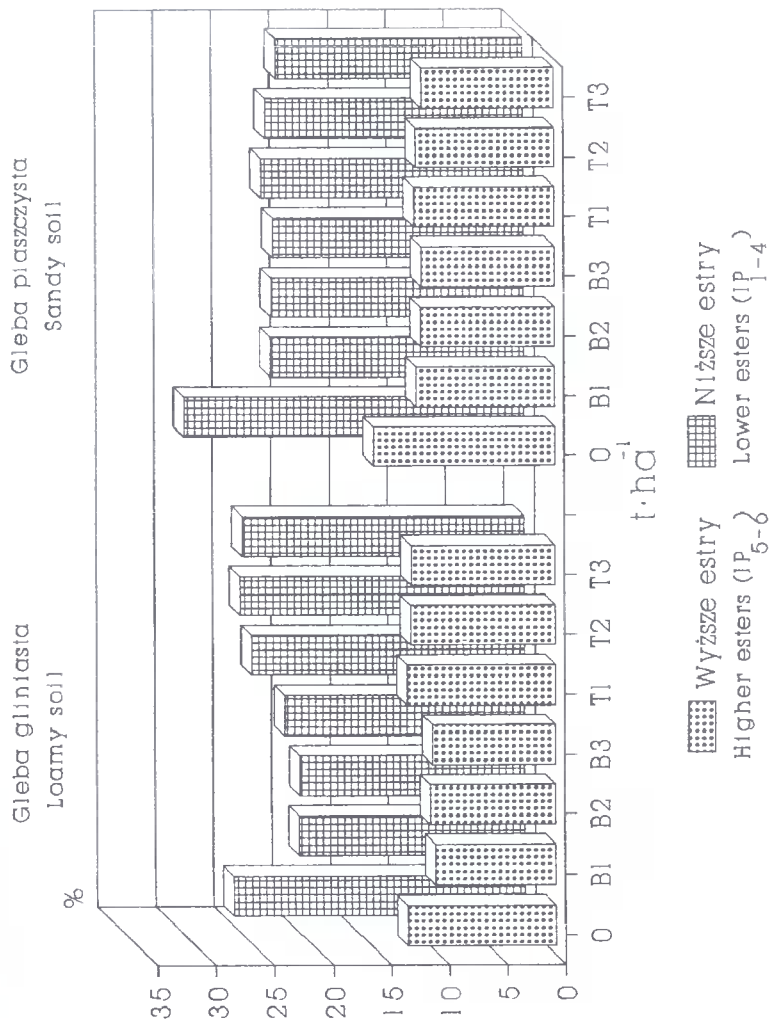
Zawartość wyższych estrów była większa w glebie ze zmianowaniem Z2 w porównaniu do zmianowania Z1 i wynosiła $2,7 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ średnio dla dawek obornika oraz $2,3 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ średnio dla dawek gnojowicy (tab.26). Zawartość fosforu tej frakcji wzrastała wraz ze wzrostem dawek obu nawozów. Różnica zawartości dla najniższej i najwyższej dawki obornika wynosiła 47% w glebie ze zmianowaniem Z1 i 57% w glebie ze zmianowaniem Z2. Dla gleby nawożonej gnojowicą różnica ta wynosiła odpowiednio dla zmianowania Z1 60% i 50% dla zmianowania Z2 (średnio dla obu warstw). Różnica zawartości fosforu tej frakcji w glebie ze zmianowaniem Z1 wynosiła: 180% i 140% dla gleby nawożonej obornikiem i gnojowicą w dawce $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu do zawartości IP_{5-6} w glebie nawożonej nawozami mineralnymi. Natomiast dla tej samej dawki obornika i gnojowicy dla gleby ze zmianowaniem Z2, różnica ta wynosiła odpowiednio 200% i 145% (średnio dla obu warstw). Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania zawartości wyższych estrów inozytoli w zależności od głębokości pobrania próbek.

Gleby obu doświadczeń charakteryzowały się większą zawartością niższych estrów inozytoli (IP_{1-4}), w porównaniu do zawartości wyższych estrów (IP_{5-6}). Zawartości obu grup estrów wzrastały wraz ze wzrostem dawki obornika i gnojowicy. Rodzaj zmianowania znacząco wpływał na zawartość zarówno niższych, jak i wyższych estrów inozytoli.

Udział niższych estrów inozytoli w P_{org} w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą wynosił 19-21%, a przy nawożeniu gleby gnojowicą trzody chlewnej 23-24% (rys.10). Niższe estry inozytoli w glebie piaszczystej stanowiły 21-22% P_{org} bez względu na rodzaj gnojowicy. Udział tych estrów w glebach nawożonych nawozami mineralnymi był wyższy i wynosił 24% w glebie gliniastej i 29% w glebie piaszczystej nawożonej NPK w nawozach mineralnych.

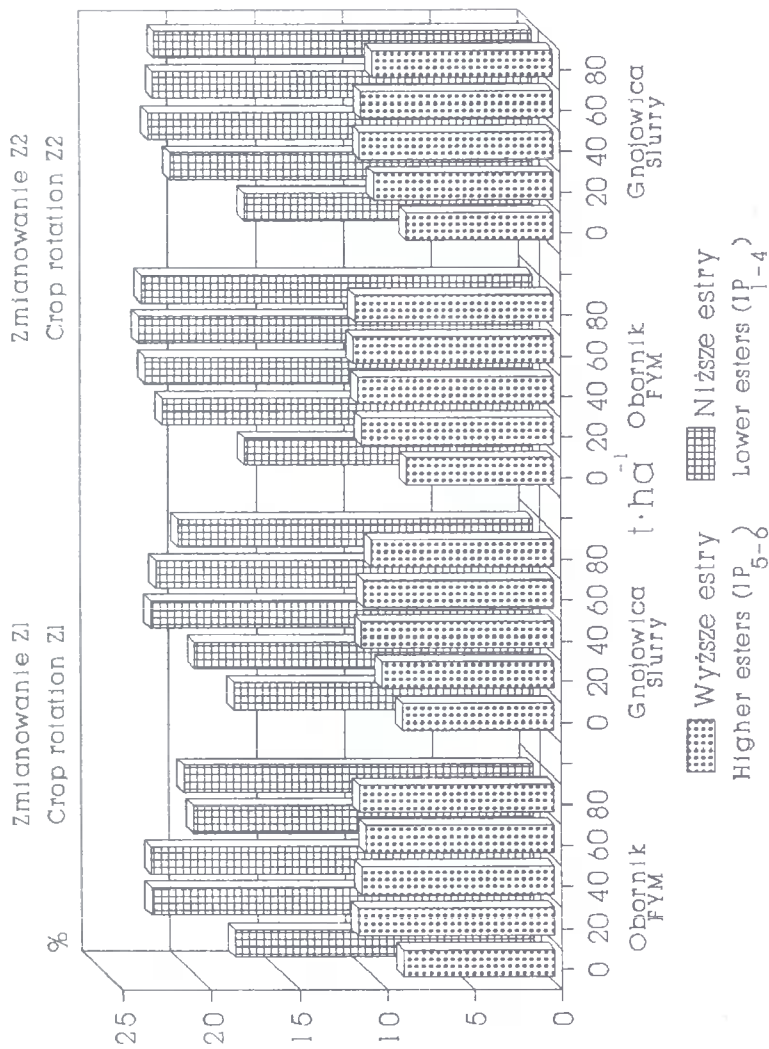
Niższe estry, w glebie nawożonej nawozami mineralnymi z obu wariantów zmianowania, stanowiły zawsze mniejszą część P_{org} w stosunku do gleby nawożonej obornikiem i gnojowicą (rys.11). Niższe estry stanowiły 20-22% P_{org} w glebie nawożonej obornikiem ze zmianowaniem Z1. Udział ten był wyższy (22-23% P_{org}) w glebie ze zmianowaniem Z2 nawożonej również tymi samymi dawkami obornika. Udział tych estrów w P_{org} w glebie nawożonej gnojowicą był podobny do udziału w glebie nawożonej obornikiem. Zwykle największy był dla dawki $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w glebie obu wariantów zmianowania, z wyjątkiem nawożenia obornikiem w zmianowaniu Z2, gdzie największy udział stwierdzono dla dawki $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Procentowy udział wyższych estrów inozytoli w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą wynosił 11% P_{org} , średnio dla dawek (rys.10). Udział tych estrów w tej samej glebie nawożonej gnojowicą trzody chlewnej (średnio dla dawek) był nieznacznie wyższy i wynosił 12% P_{org} . W glebie piaszczystej dla obu stosowanych gnojowic udział ten utrzymywał się w granicach 11-12% P_{org} niezależnie od ich dawek. Gleby nawożone nawozami mineralnymi charakteryzowały się większym procentowym udziałem IP_{5-6} w P_{org} , średnio od 2 do 8%, w porównaniu do gleb nawożonych obu gnojo-



Rys.10. Udział procentowy fosforu niższych i wyższych estrów inozytoli w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (P_{org.}) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 1)

Fig. 10. Percentage of lower and higher inositol phosphorus esters in organic phosphorus content (P_{org.}) (mean for both layers) (Exp. No. 1)



Rys.11. Udział procentowy fosforu niższych i wyższych estrów inozytoli w całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (P_{org}) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 2)

Fig.11. Percentage of lower and higher inositol phosphorus esters in total organic phosphorus esters (P_{org}) (mean for both layers) (Exp.№2)

wicami. Natomiast udział wyższych estrów w glebie nawożonej nawozami mineralnymi był niższy w porównaniu do udziału tej frakcji fosforu w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą w obu wariantach zmianowania (rys.11). Estry IP_{5-6} inozytolu stanowiły nieco większą część $P_{org.}$ w glebie nawożonej obornikiem. Udział ten wynosił 11% $P_{org.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 (średnio dla dawek obornika).

W glebie nawożonej gnojowicą udział tej formy fosforu był nieznacznie niższy niż w glebie nawożonej obornikiem i wynosił 10% $P_{org.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 i 11% $P_{org.}$ w glebie ze zmianowaniem Z2, również średnio dla dawek gnojowicy. W glebie nawożonej gnojowicą udział wyższych estrów był najniższy przy zastosowaniu dawki $20 t \cdot ha^{-1}$, natomiast najwyższy przy nawożeniu dawką $40 t \cdot ha^{-1}$. Dla pozostałych dawek gnojowicy było małe zróżnicowanie udziału procentowego wyższych estrów fosforanowych inozytolu w fosforze związków organicznych.

IV.6. Zawartość różnych form fosforu w glebach w zależności od aktywności fosfatazy kwaśnej (P.A.) i pH gleby

Aktywność fosfatazy kwaśnej była średnio 2-krotnie wyższa w glebie gliniastej niż w glebie piaszczystej (tab.27). Wysoką aktywnością charakteryzowała się gleba gliniasta nawożona najwyższą dawką gnojowicy bydłowej B3 oraz gnojowicy trzody chlewnej - T3 (szczególnie w warstwie 5-15 cm). Aktywność ta wynosiła odpowiednio 226 i 224 $\mu g PNP \cdot 100g^{-1}$ gleby. Zdecydowanie niższą aktywność oznaczono w glebach nawożonych NPK w nawozach mineralnych (117-122 $\mu g PNP \cdot 100g^{-1}$ dla gleby gliniastej i 63-71 $\mu g PNP \cdot 100g^{-1}$ dla gleby piaszczystej) w stosunku do gleb, które były nawożone gnojowicami. Zwykle wraz ze wzrostem dawek gnojowic stosowanych w nawożeniu obu gleb podnosiła się wielkość aktywności fosfatazy, lecz wzrost ten nie zawsze był istotny (NIR tab.27). W próbkach gleby piaszczystej również aktywność enzymatyczna wzrastała wraz ze wzrostem dawki obu gnojowic, aczkolwiek wartości aktywności były znacznie mniejsze niż w glebie gliniastej.

Aktywność P.A. gleby ze zmianowaniem Z1 nawożonej obornikiem była wyższa od nawożonej gnojowicą (tab.28). Stosując obornik w dawce $80 t \cdot ha^{-1}$ uzyskano aktywność 23% wyższą od tej, którą uzyskano dla próbek gleby z warstwy 25-35 cm dla tej samej dawki gnojowicy. Podobnie było w większości przypadków dla gleby ze zmianowaniem Z1 i Z2. Stosując najwyższą dawkę obornika dla zmianowania Z2 aktywność enzymatyczna gleby wzrosła o 38 jednostek wyrażonych w $\mu g PNP \cdot g^{-1}$, w stosunku do gleby nawożonej najwyższą dawką gnojowicy w próbkach z warstwy 5-15 cm. Istotny wzrost aktywności zauważono w próbkach glebowych zmianowania Z2, nawożonych tą samą dawką obornika lub gnojowicy, w stosunku do aktywności próbek w zmianowaniu Z1. Różnica ta była zwykle rzędu kilkudziesięciu $\mu g PNP \cdot g^{-1}$. Dla gleby ze zmianowaniem Z2 nawożonej dawką $80 t \cdot ha^{-1}$ uzyskano wartość aktywności o 55% wyższą w stosunku do tej, którą oznaczono w glebie ze zmianowaniem Z1, dla tej samej dawki obornika (średnio dla obu warstw). Jednakże zmiany ilościowe w poziomie aktywności w zależności od rodzaju nawożenia okazały się w większości statystycznie nieistotne (NIR tab.28).

Zwykle ze wzrostem dawki obu nawozów organicznych uzyskiwano w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 istotny wzrost aktywności enzymatycznej. Najwyższa różnica wystąpiła przy stosowaniu w nawożeniu gleby najniższej i najwyższej dawki obu nawo-

Tabela 27. Aktywność fosfatazy kwaśnej (P.A.) [$\mu\text{g PNP}\cdot\text{Ig}^{-1}$ gleby] (Doświadczenie 1)Table 27. Acid phosphatase (P.A.) activity [$\mu\text{g PNP}\cdot\text{Ig}^{-1}$ of soil] (Experiment N°1)

Rodzaj gnojowicy Kind of slurry (I Czynniki - I Factor)	Symbol dawki Symbol of dose (II Czynniki - II Factor)	Gleba gliniasta Loamy soil			Gleba piaszczysta Sandy soil		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	122	117	120	71	63	67
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	B1	147	155	151	80	71	75
	B2	170	168	169	85	77	81
	B3	226	211	218	92	84	88
	\bar{x}	181	178	179	86	77	81
Gnojowica trzody Pig slurry	T1	177	163	170	77	73	75
	T2	208	179	193	84	80	82
	T3	224	202	213	94	89	91
	\bar{x}	203	181	192	85	81	83
Średnio dla gnojowic Mean for slurries	B1,T1	162	159	160	79	72	75
	B2,T2	189	173	181	85	79	82
	B3,T3	225	206	216	93	86	90
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		192	180	186	86	79	82
NIR - LSD P=0,05	I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II	24			5		
	III	13			2		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	II/III, III/II	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			3 , 66		

Tabela 28. Aktywność fosfatazy kwaśnej (P.A.) [$\mu\text{g PNP}\cdot\text{1g}^{-1}$ gleby] (Doświadczenie 2)Table 28. Acid phosphatase (P.A.) activity [$\mu\text{g PNP}\cdot\text{1g}^{-1}$ of soil] (Experiment N^o2)

Rodzaj nawozu Kind of manure (I Czynniki - I Factor)	Dawka t ha ⁻¹ Dose (II Czynniki - II Factor)	Zmianowanie Z1 Crop rotation Z1			Zmianowanie Z2 Crop rotation Z2		
		Głębokość pobrania próbek [cm] Depth of sampling [cm] - (III Czynniki - III Factor)					
		5-15	25-35	\bar{x}	5-15	25-35	\bar{x}
	0	87	88	88	113	105	109
Obornik FYM	20	107	105	106	135	124	130
	40	123	122	122	155	131	143
	60	136	152	144	185	192	188
	80	141	177	159	236	259	247
	\bar{x}	127	139	133	178	176	177
Gnojowica Slurry	20	103	102	102	156	139	147
	40	115	113	114	173	170	172
	60	130	131	130	186	189	187
	80	154	144	149	198	197	198
	\bar{x}	125	122	124	178	174	176
Średnio dla nawozów Mean for manures	20	105	104	104	146	132	139
	40	119	118	118	164	151	157
	60	133	142	137	185	190	187
	80	148	161	154	217	228	222
Średnio dla głębokości pobrania Mean for depth of sampling		126	131	128	178	175	176
NIR - LSD	I	11			n.i.-n.s.		
P=0,05	II	22			6		
	III	11			n.i.-n.s.		
		n.i.-n.s.			8 , 6		
Interakcje Interactions	I/II, II/I	n.i.-n.s.			5 , 7		
	II/III, III/II	20 , 27			n.i.-n.s.		
	I/III, III/I	n.i.-n.s.			n.i.-n.s.		

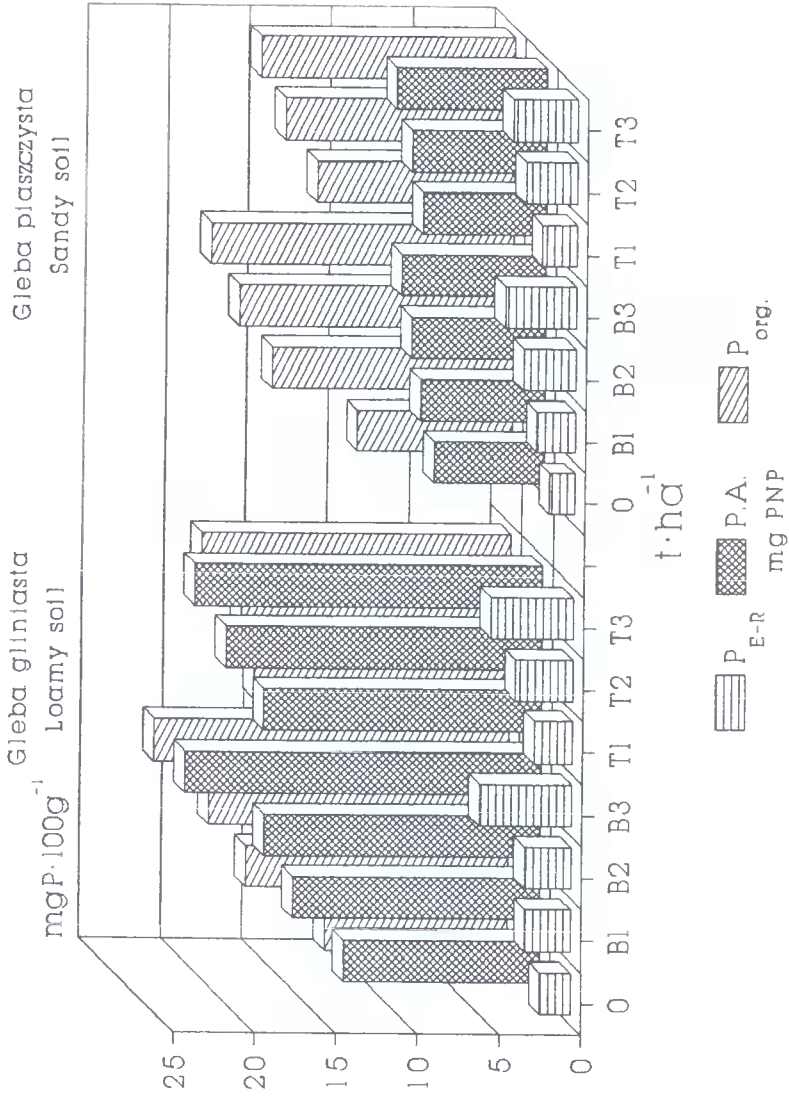
zów organicznych. Dla tych dawek obornika w glebie ze zmianowaniem Z1 różnica ta wynosiła około 50% oraz około 90% dla gleby ze zmianowaniem Z2 (średnio w obu warstwach). Natomiast dla najniższej i najwyższej dawki gnojowicy, wzrost aktywności w glebie ze zmianowaniem Z1 wyniósł 46%, a dla zmianowania Z2 35%. W glebie obu wariantów zmianowania aktywność enzymu, w obu badanych warstwach, utrzymywała się w podobnym zakresie. W glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 stwierdzono nieznacznie wyższą aktywność enzymu w próbkach pobranych z głębokości 25-35 cm, przy nawożeniu obornikiem w dawce 60 i 80 t · ha⁻¹.

Gleba nawożona nawozami mineralnymi charakteryzowała się zdecydowanie niższą aktywnością fosfatazy od gleby nawożonej organicznie (tab.28). Jej aktywność w porównaniu z aktywnością gleby nawożonej najwyższą dawką obornika i gnojowicy była niekiedy 2-krotnie niższa. Było tak m.in. w próbkach gleby ze zmianowania Z1 pobranych z warstwy 25-35 cm - aktywność gleby nawożonej nawozami mineralnymi wynosiła 88 μg PNP · g⁻¹, a gleby nawożonej obornikiem w dawce 80 t · ha⁻¹ wynosiła 177 μg PNP · g⁻¹. Podobnie było w próbkach gleby ze zmianowaniem Z2 z warstwy 5-15 cm, gdzie aktywność gleby nawożonej nawozami mineralnymi wynosiła 113 μg PNP · g⁻¹, a gleby nawożonej obornikiem w dawce 80 t · ha⁻¹ wynosiła 236 μg PNP · g⁻¹.

Wiadomo, że dla fosfomonoesteraz, do których należy fosfataza, substratem są związki fosforoorganiczne występujące w glebie. W dużym stopniu zatem znajomość wielkości tych dwóch parametrów (aktywność P.A. i zawartość P_{org.}) powinna umożliwiać oszacowanie kształtowania się zawartości fosforu dostępnego dla roślin, za który można uważać fosfor oznaczony metodą Egnera-Riehma. Na rys.12 zobrazowano tendencje zmian ilościowych tych form fosforu i aktywności fosfatazy, które wywołało wieloletnie nawożenie gleb gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej. Z rysunku widać wyraźnie, że często wraz ze wzrostem zawartości P_{org.} w glebie wzrastała aktywność fosfatazy i znacząco zwiększała się zawartość fosforu przyswajalnego.

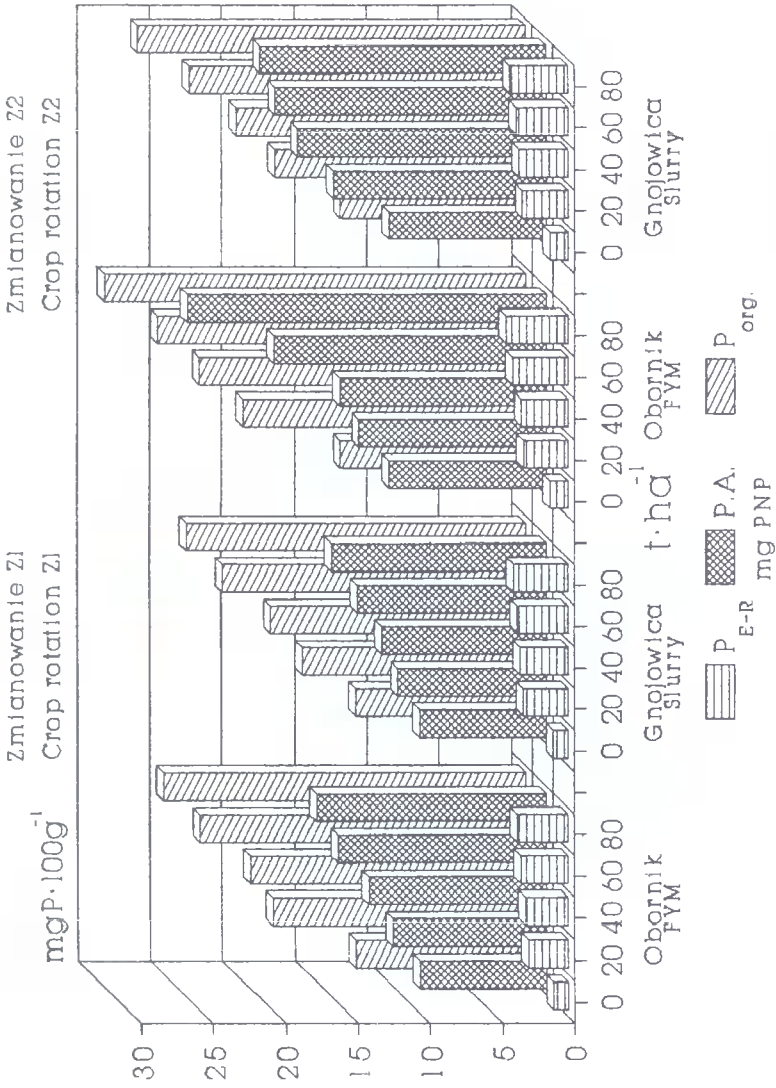
W sposób podobny przedstawiono zawartość P_{org.} i P_{E-R} oraz aktywność fosfatazy dla gleby nawożonej wzrastającymi dawkami obornika i gnojowicy (rys.13). Rysunek ten sporządzony został ze średnich wartości tych parametrów z obu rozpatrywanych warstw pobierania próbek glebowych. Tu również widać, że wraz ze wzrostem zawartości P_{org.} wzrasta poziom aktywności enzymu i zawartość P_{E-R}. Ponadto rysunek ten uwidacznia, że prowadzenie doświadczenia ze zmianowaniem Z2, przyczynia się do wzrostu zawartości badanych składników oraz że wzrost ten jest intensywniejszy wraz z jednoczesnym zwiększaniem dawek obornika, w porównaniu do tych samych dawek gnojowicy.

Wydzielone z ekstraktów glebowych frakcje P_{org.} (PFI-PFIV) to substraty dla fosfatazy. Często właściwa ilość substratu przyspiesza reakcje enzymatycznego rozkładu związków organicznych w glebie. Zatem niejako w podsumowaniu wyników niniejszej pracy sporządzono rys.14 i 15, które mają zobrazować dynamikę fosforu we frakcjach i poziom aktywności enzymu w zależności od sposobu nawożenia i użytkowania gleby. Z przedstawionych rysunków widać jednocześnie, która frakcja fosforu była dominująca, a które występowały w mniejszych ilościach. Ponadto można zaobserwować, jak zmieniały się zawartości fosforu tych frakcji wraz ze wzrostem dawek gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej (rys.14), a jak wraz ze wzrostem dawki obornika i różnymi zmianowaniami (rys.15). Z obu rysunków wynika również, że tam, gdzie wzrastała za-



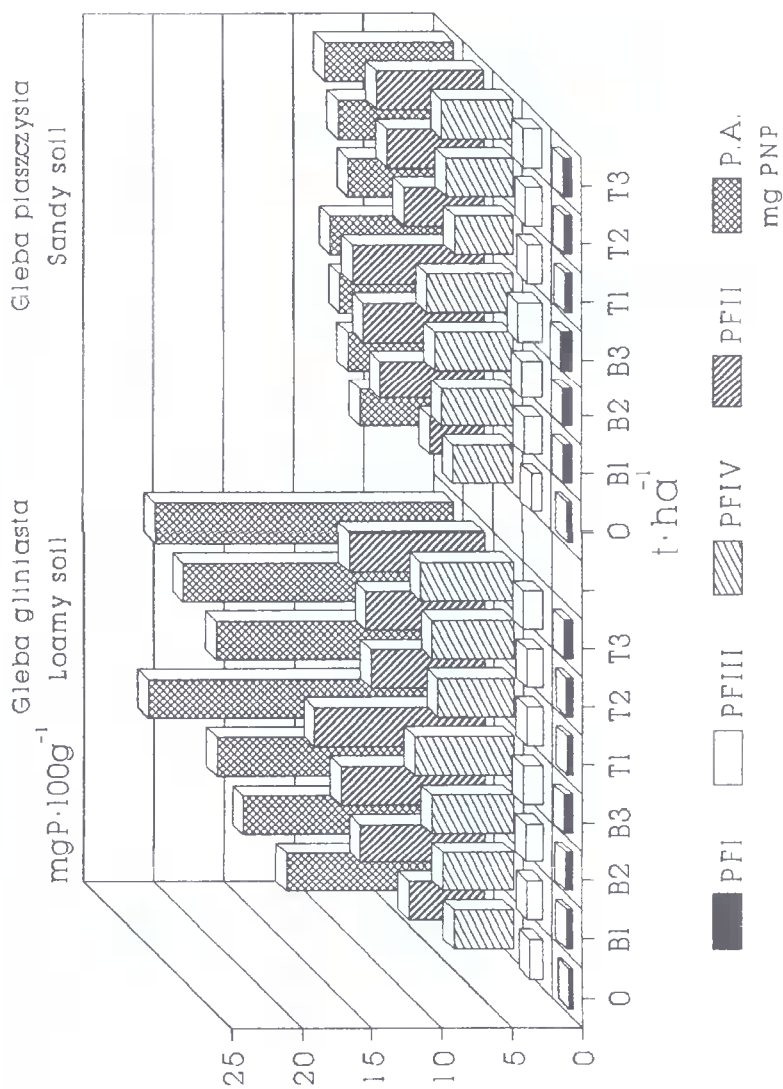
Rys. 12. Zawartość fosforu związków organicznych (P_{org}) i przyswajalnego ($\text{P}_{\text{E-R}}$) oraz aktywność fosforu kwasnej (P.A.) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 1)

Fig. 12. Organic (P_{org}) and available ($\text{P}_{\text{E-R}}$) phosphorus contents and acid phosphatase activity (P.A.) (mean for both layers) (Exp. No. 1)



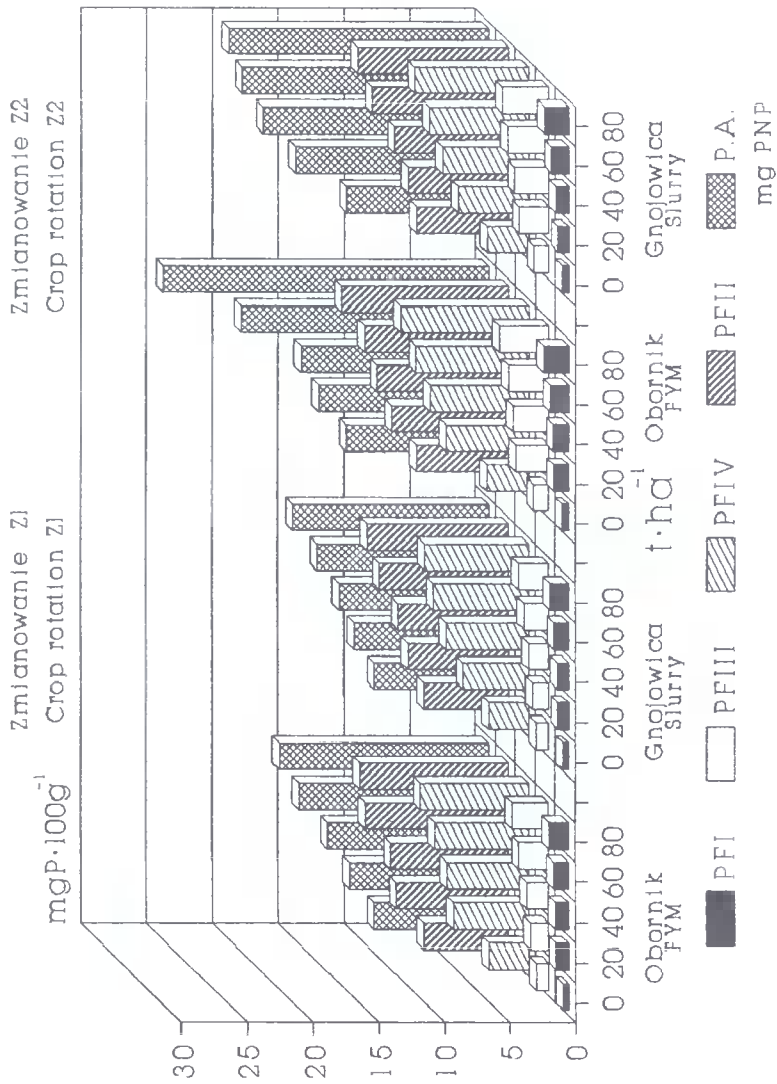
Rys.13. Zawartość fosforu związków organicznych ($\text{P}_{\text{org.}}$) i fosforu przyswajalnego ($\text{P}_{\text{E-R}}$) oraz aktywność fosfatazy kwaśnej ($\text{P}_{\text{A.}}$) (średnio dla obu warstw) (Dośw.2)

Fig.13. Organic ($\text{P}_{\text{org.}}$) and available ($\text{P}_{\text{E-R}}$) phosphorus contents and acid phosphatase activity ($\text{P}_{\text{A.}}$) (mean for both layers) (Exp. N^o 2)



Rys.14. Fosfor związków organicznych w wydzielonych frakcjach (PFI-PFIV) oraz aktywność fosfatazy kwasnej (P.A.) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 1)

Fig.14. Organic phosphorus in separated fractions (PFI-PFIV) and acid phosphatase activity (P.A.) (mean for both layers) (Exp. №0 1)



Rys.15. Fosfor związków organicznych w wydzielonych frakcjach (PFI-PFIV) oraz aktywność fosfatazy kwasnej (P.A.) (średnio dla obu warstw) (Dośw. 2)

Fig.15. Organic phosphorus in separated fractions (PFI-PFIV) and acid phosphatase activity (P.A.) (mean for both layers) (Exp. № 2)

wartość fosforu w poszczególnych frakcjach, zawsze wzrastała również aktywność enzymatyczna badanych gleb o zróżnicowanym nawożeniu organicznym. W żadnym przypadku nie stwierdzono obniżenia się poziomu aktywności enzymu przy wzroście zawartości fosforu związków organicznych w wydzielonych frakcjach.

Uzyskane z obliczeń statystycznych wartości współczynników korelacji ujawniły w większości przypadków istotną zależność między badanymi parametrami gleby piaszczystej i gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej a aktywnością fosfatazy kwaśnej (tab.29). Nie stwierdzono jedynie istotnej zależności pomiędzy aktywnością fosfatazy a zawartością fosforu frakcji I (PFI) i frakcji III (PFIII), dla rodzaju stosowanej gnojowicy i głębokości pobierania materiału glebowego. Istotnie skorelowane były zawartości fosforu dwóch dominujących frakcji w badanych glebach, czyli fosforu frakcji RNA (PFII) i fosforu inozytolowego (PFIV) a aktywnością fosfatazy. Zachodzi tu wyraźna zależność pomiędzy stężeniem substratu a aktywnością enzymatyczną. Współczynniki korelacji dla wszystkich badanych zależności mieściły się w przedziale $r=0,63^{**}-0,97^{**}$. Wysokie wartości współczynników ($r=0,58^{**}-0,87^{**}$) uzyskano również między zawartością fosforu przyswajalnego a wartościami aktywności fosfatazy kwaśnej. Zawartość węgla organicznego była istotnie skorelowana z zawartością fosforu związków organicznych ($r=0,86^{**}-0,97^{**}$), (tab.29).

Analizę korelacji przeprowadzono również dla zawartości frakcji fosforu związków organicznych w glebie nawożonej wzrastającymi dawkami obornika i gnojowicy ze zmianowaniem Z1 i Z2 (tab.31). Dla wszystkich rozpatrywanych czynników uzyskano bardzo wysokie wartości współczynników korelacji ($r=0,82^{**}-0,99^{**}$). Uzyskanie wysokich współczynników korelacji dla zawartości fosforu lipidowego (PFI) i fosforu kwasu DNA (PFIII) a aktywności fosfatazy w doświadczeniu 2 jest związane prawdopodobnie z większą zawartością fosforu w tych frakcjach, w porównaniu do zawartości w próbkach gleb z doświadczenia 1.

Dla uzyskanych wyników zawartości fosforu w poszczególnych frakcjach w glebach nawożonych gnojowicami przeprowadzono analizę korelacji pomiędzy zawartością fosforu tych frakcji (tab.30). Dla poszczególnych zależności uzyskano wysoko istotne wartości współczynników, które mieściły się w przedziale $r=0,67^{**}-0,99^{**}$. Przeprowadzono również analizę korelacji zawartości fosforu związków organicznych w wydzielonych frakcjach dla gleby ze zmianowaniem Z1 i Z2 (tab.32). Dla wszystkich zależności stwierdzono wysoko znamienne zależności przy wysokich wartościach współczynników korelacji w zakresie $r=0,89^{**}-0,99^{**}$. Dodatnie wartości współczynników korelacji świadczą o tym, że zawartość wszystkich frakcji wzrastała proporcjonalnie w różnych warunkach doświadczenia.

Istotna zależność wystąpiła w glebach pomiędzy ich odczynem (pH w H_2O) a zawartością P_{org} . (tab.29,31). Wzrost zawartości P_{org} wraz ze wzrostem dawki obornika lub gnojowicy zachodził proporcjonalnie do podwyższania się odczynu gleb.

Tabela 29. Współczynniki korelacji liniowej między parametrami gleb
(Doświadczenie 1)

Table 29. Correlation coefficients between soil parameters (Experiment N^o1)

Czynnik Factor	Liczba danych Number of data n	Współczynniki korelacji P=0,05 Correlation coefficients P=0,05						
		PF I/ P.A.	PFII/ P.A.	PFIII/ P.A.	PFIV/ P.A.	P _{E-R} / P.A.	C _{org} / P _{org}	pH/ P _{org}
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	20	n.i. n.u.	0,73	n.i. n.s.	0,63	0,63	0,86	0,56
Gnojowica trzody Pig slurry	20	n.i. n.u.	0,80	n.i. n.s.	0,80	0,59	0,92	0,67
Warstwa 5-15cm Layer	16	n.i. n.u.	0,67	n.i. n.s.	0,72	0,63	0,85	0,59
Warstwa 25-35cm Layer	16	n.i. n.u.	0,74	n.i. n.s.	0,73	0,59	0,91	0,65
Gleba gliniasta Loamy soil	16	0,91	0,88	0,84	0,94	0,87	0,97	0,79
Gleba piaszczysta Sandy soil	16	0,87	0,87	0,86	0,81	0,82	0,89	0,75

Tabela 30. Współczynniki korelacji między zawartością frakcji fosforu związków
organicznych (Doświadczenie 1)

Table 30. Correlation coefficient between content of organic phosphorus fractions
(Experiment N^o1)

Czynnik Factor	Liczba danych Number of data n	Współczynniki korelacji P=0,05 Correlation coefficients P=0,05					
		PF I/ PFII	PF I/ PFIII	PF I/ PFIV	PF II/ PFIII	PF II/ PFIV	PF III/ PFIV
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	20	0,76	0,94	0,82	0,84	0,94	0,86
Gnojowica trzody Pig slurry	20	0,79	0,90	0,76	0,85	0,94	0,81
Warstwa 5-15cm Layer	16	0,77	0,89	0,74	0,82	0,91	0,79
Warstwa 25-35cm Layer	16	0,67	0,94	0,72	0,78	0,95	0,79
Gleba gliniasta Loamy soil	16	0,89	0,88	0,93	0,87	0,91	0,91
Gleba piaszczysta Sandy soil	16	0,97	0,99	0,96	0,97	0,94	0,97

Tabela 31. Współczynniki korelacji liniowej między parametrami gleb
(Doświadczenie 2)

Table 31. Correlation coefficients between soil parameters (Experiment №2)

Czynnik Factor	Liczba danych Number of data n	Współczynniki korelacji P=0,05 Correlation coefficients P=0,05						
		PFI/ P.A.	PFII/ P.A.	PFIII/ P.A.	PFIV/ P.A.	P _{E-R} / P.A.	C _{org.} / P _{org.}	pH/ P _{org.}
Obornik 1 Z I FYM	15	0,94	0,99	0,97	0,97	0,93	0,94	0,95
Obornik 2 Z I FYM	15	0,93	0,95	0,98	0,94	0,83	0,96	0,92
Gnojowica 1 Z I Slurry	15	0,97	0,97	0,98	0,93	0,80	0,90	0,94
Gnojowica 2 Z I Slurry	15	0,95	0,98	0,98	0,96	0,82	0,98	0,88
Obornik 1 Z II FYM	15	0,97	0,96	0,93	0,91	0,86	0,95	0,79
Obornik 2 Z II FYM	15	0,94	0,93	0,83	0,87	0,77	0,98	0,85
Gnojowica 1 Z II Slurry	15	0,92	0,90	0,99	0,99	0,95	0,98	0,91
Gnojowica 2 Z II Slurry	15	0,92	0,91	0,97	0,98	0,92	0,97	0,86

Tabela 32. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością frakcji fosforu związków
organicznych (Doświadczenie 2)

Table 32. Correlation coefficients between content of organic phosphorus fractions
(Experiment №2)

Czynnik Factor	Liczba danych Number of data n	Współczynniki korelacji P=0,05 Correlation coefficients P=0,05					
		PFI/ PFII	PFII/ PFIII	PFII/ PFIV	PFII/ PFIII	PFII / PFIV	PFIII/ PFIV
Obornik 1 Z I FYM	15	0,96	0,98	0,94	0,98	0,98	0,95
Obornik 2 Z I FYM	15	0,92	0,89	0,98	0,92	0,96	0,91
Gnojowica 1 Z I Slurry	15	0,98	0,97	0,92	0,99	0,96	0,95
Gnojowica 2 Z I Slurry	15	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97
Obornik 1 Z II FYM	15	0,98	0,97	0,95	0,98	0,98	0,98
Obornik 2 Z II FYM	15	0,99	0,96	0,98	0,97	0,98	0,99
Gnojowica 1 Z II Slurry	15	0,97	0,95	0,95	0,94	0,94	0,99
Gnojowica 2 Z II Slurry	15	0,96	0,92	0,95	0,91	0,93	0,99

1 Z I - warstwa 5-15cm, zmianowanie Z1 - layer 5-15cm, crop rotation Z1

2 Z I - warstwa 25-35cm, zmianowanie Z1 - layer 25-35cm, crop rotation Z1

1 Z II - warstwa 5-15cm, zmianowanie Z2 - layer 5-15cm, crop rotation Z2

V. DYSKUSJA WYNIKÓW

Na podstawie uzyskanych wyników zawartości węgla organicznego, fosforu ogółem i fosforu związków organicznych oraz ich frakcji poddanych analizie wariancji można stwierdzić, że nawożenie gnojowicami, obornikiem i nawozami mineralnymi istotnie wpłynęło na ukształtowanie się ich wielkości zarówno w glebie gliniastej, jak i piaszczystej. Zawartość fosforu związków organicznych i jego frakcji oraz C_{org} w badanych warstwach obu gleb była zdeterminowana składem chemicznym stosowanych nawozów organicznych i resztek pozbiorowych oraz prawdopodobnie różnymi zdolnościami migracyjnymi tych związków. We wcześniejszych badaniach wykazano, że zarówno dawka, jak i rodzaj stosowanej gnojowicy istotnie wpływają na kierunek i intensywność przemian materii organicznej wprowadzonej do gleby [92,94]. Kierunek tych przemian ponadto zależy od wielu innych czynników między innymi od odczynu gleby, zmianowania i zabiegów agrotechnicznych [100,103,104,122,154].

Nawożenie gnojowicą wpływało na podwyższenie się wartości pH gleby, które wzrastało wraz ze wzrostem dawki (tab.3). Gleba gliniasta wykazywała odczyn obojętny lub słabo zasadowy. Gleba piaszczysta natomiast miała odczyn kwaśny w zależności od dawki nawozu. Gleba ze zmianowaniem Z1 i Z2 z doświadczenia 2 (tab.4) wykazywała odczyn kwaśny lub lekko kwaśny. W glebie nawożonej obornikiem w dawce $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pH wzrastało do obojętnego w próbkach gleby z warstwy 25-35 cm. Dechnik [30] stwierdził, że nadmierne dawki gnojowicy powodowały zakwaszenie głębszych warstw gleby. Mazur [120] podaje, że nawożenie gnojowicą i obornikiem nie powoduje większych zmian w odczynie gleby. Natomiast wzrost wartości pH w wyniku wieloletniego stosowania gnojowicy, który uzależniony był również wielkością jej dawki, stwierdzono w innych wcześniejszych pracach [80,93,104,128]. Fakt alkalizacji głębszych warstw gleby nawożonej gnojowicą Koc i wsp.[80] tłumaczą większym nagromadzeniem się azotu amonowego niż azotanów.

Nawożenie gnojowicą gleby gliniastej i piaszczystej przyczyniło się do zwiększenia zawartości węgla organicznego, w zależności od dawki gnojowicy. Zastosowanie obornika w nawożeniu gleby w doświadczeniu 2 zwiększało zawartość węgla organicznego, w porównaniu z glebą nawożoną nawozami mineralnymi, szczególnie w glebie ze zmianowaniem Z2. Gnojowica zastosowana w tych samych dawkach jak obornik, również znacząco wpływała na zwiększenie się zawartości węgla organicznego. Badana gleba z obu doświadczeń w Baborówku charakteryzowała się małym zróżnicowaniem zawartości węgla w poziomie 5-15 cm i 25-35 cm. Podobne rezultaty uzyskali wcześniej Strączyńska i Maćkowiak [154], również nie stwierdzając znaczących różnic w kumulacji C_{org} w głębszej warstwie gleby (30-50 cm) w porównaniu do zawartości C_{org} w warstwie 5-20 cm profilu gleby gliniastej nawożonej gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej. Dodatni wpływ obornika na zwiększenie się zawartości węgla organicznego stwierdzili Krzywy i wsp.[94]. Autorzy ci stwierdzili ponadto, że zastosowanie gnojowicy nie wpłynęło znacząco na zwiększenie się zawartości węgla organicznego z wyjątkiem dawki gnojowicy $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pod wpływem której zawartość węgla organicznego w glebie wzrosła o 5%. Na zwiększenie się zawartości węgla organicznego korzystniej działał obornik w porównaniu z gnojowicą i nawozami mineralnymi w do-

świadczeniu przeprowadzonym przez Mazura i Sądej [120]. Znaczący wpływ gnojowicy na zwiększenie się zawartości węgla organicznego stwierdzili natomiast Maćkowiak i Warta [104]. Kukurenda i Warta [92] doszli do podobnego wniosku stwierdzając, że wzrastające dawki gnojowicy powodowały systematyczne zwiększenie się zawartości $C_{org.}$, szczególnie w warstwach ornych (0-30 cm), a w mniejszym zakresie w podornych (30-60 cm).

Wartość stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ uważana jest za dobry wskaźnik mineralizacji fosforu związków organicznych [33,37,46]. Z przeprowadzonych badań wynika, że gleby z doświadczenia 1 nawożone gnojowicą posiadały wartość tego stosunku w zakresie 50-70, natomiast gleby nawożone gnojowicą zarówno w zmianowaniu Z1, jak i Z2 (doświadczenie 2) charakteryzowały się wartościami tego stosunku w zakresie 30-37. Zwykle gleby nawożone obornikiem lub gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej charakteryzowały się niższą wartością tego stosunku od gleb nawożonych nawozami mineralnymi. Świadczy to o większym nagromadzeniu fosforu związków organicznych w glebach nawożonych obornikiem i gnojowicami. Wyższe wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ uzyskiwano w glebach, na których stosowano zmianowanie Z2 niż w glebach, gdzie stosowano zmianowanie Z1. Wpływ intensywnej uprawy zauważył również w swoich badaniach Rosell i wsp. [142]. Po 20 latach uprawy soi stosunek $C_{org.}/P_{org.}$ w glebie równał się 97-99, podczas gdy w glebach łąkowych jego wartość wynosiła 106. Fakt ten autor wiąże z sugestią, że w badanych przez niego obu glebach istniały różne mechanizmy mineralizacji węgla i fosforu związków organicznych.

Z wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ uzyskanych dla gleby gliniastej i piaszczystej z Baborówka należy sądzić, że istnieją tam sprzyjające warunki do mineralizacji fosforu. Wartości tego stosunku, które uzyskano dla gleby ze zmianowaniem Z1 i Z2, podobne były do tych, które uzyskano we wcześniejszych badaniach gleby płowej z Mochelka, gdzie przy wariacie nawożenia: obornik + nawożenie mineralne + wapnowanie uzyskano wartość stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ równą 34,5 [83]. Świadczyć to może o tym, że nawożenie obornikiem przyczyniło się do wyraźniejszego zwiększenia się zawartości fosforu związków organicznych niż nawożenie gleb gnojowicami, przy założeniu, że ilość węgla wzrastała proporcjonalnie.

Przeprowadzona analiza korelacji (tab.29,31) zawartości węgla i fosforu związków organicznych w glebach potwierdziła wcześniejsze doniesienia o wysoko istotnym związku tych dwóch parametrów w glebach Ghany [134], Kujaw [142], gdzie wartość stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ wynosiła 30-90 przy współczynniku korelacji wynoszącym $r = 0,37^{**}$, i Mochelka [83], gdzie uzyskano wysoko istotną korelację zawartości fosforu związków organicznych i materii organicznej ($r = 0,91^{**}$).

Zawartość fosforu związków organicznych w glebach była zróżnicowana gatunkiem gleby oraz rodzajem jej nawożenia. Gleba płowa nawożona gnojowicą bydlęcą zawierała więcej $P_{org.}$ niż gleba nawożona gnojowicą trzody chlewnej. Taka tendencja gromadzenia się fosforu związków organicznych w glebie jest prawdopodobnie konsekwencją składu chemicznego gnojowic. Zwykle wyższe zawartości fosforu w związkach organicznych wykazują gnojowice bydlęce. W zależności od sposobu użytkowania zwierząt fosfor związków organicznych może stanowić nawet 50% $P_{org.}$, jak wykazały wstępne badania dotyczące składu frakcyjnego fosforu związków organicznych w gnojowicach i oborniku (dane dotyczące składu chemicznego str. 20). Wyższą kumulację $P_{org.}$ w wyniku nawożenia gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej stwierdzono

w glebie gliniastej niż w glebie piaszczystej (tab.11). Wcześniej wpływ gatunku i typu gleby oraz zabiegów agrotechnicznych na zawartość fosforu związków organicznych stwierdził m.in. Condron [24]. Autor ten stwierdził ponadto, że gleby płowe użytkowane rolniczo zawierały mniej $P_{org.}$ ($24 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$) od tych, które były nieuprawiane ($73,1 \text{ mg P} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), co łączy się z większą mineralizacją materii organicznej w glebach uprawnych.

Z analizy wariancji uzyskanych zawartości fosforu związków organicznych (tab.11) wynika, że szczególnie istotny wpływ na zawartość $P_{org.}$ w glebie gliniastej i piaszczystej wywierało nawożenie wysokimi dawkami gnojowic w porównaniu z nawożeniem nawozami mineralnymi. Zwiększenie się zawartości $P_{org.}$ stwierdzono również w glebie nawożonej obornikiem, szczególnie dawką $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W przypadku stosowania obornika potwierdzono już we wcześniejszych badaniach istotne zwiększenie się zawartości różnych form fosforu związków organicznych [20,54,56,67,81,82,83,134,135].

Zawartość fosforu związków organicznych nie była istotnie zależna od głębokości pobrania próbki. Należy podkreślić, że zawartość $P_{org.}$ w próbkach gleb z warstwy 25-35 cm utrzymywała się w podobnym zakresie, a niejednokrotnie przewyższała nawet zawartość, która była w próbkach z głębokości 5-15 cm, co szczególnie widoczne było zwłaszcza w warunkach stosowania dużych dawek gnojowicy. Występowanie fosforu związków organicznych w dużych zawartościach w głębszych poziomach profilu glebowego stwierdził również Trasar-Cepeda [161] z tym, że autor rozpatrywał nieco inne poziomy 0-30 cm ($22,7-39,5 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$) i 30-60 cm ($16,9-44,1 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$). W glebie z Baborówka najwyższą zawartość $P_{org.}$ ($29,5 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$) stwierdzono w warstwie gleby 25-35 cm, przy nawożeniu jej obornikiem w dawce $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zmianowaniu Z2 (tab.12).

Zwiększenie się ogólnej zawartości fosforu w porównaniu do zawartości fosforu związków organicznych w glebach zwykle wyraża się wielkością stosunku $P_{org.}/P_{og.}$. Wartości te uzyskane dla gleby nawożonej niskimi dawkami gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej były przeważnie najwyższe. Dla gleb nawożonych nawozami mineralnymi i dla wysokich dawek gnojowicy wartości stosunku $P_{org.}/P_{og.}$ mieściły się w przedziale 0,38-0,41 (tab.13). Wartości tego stosunku obniżały się wraz ze wzrostem dawki gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej (tab.13) lub obornika w glebie ze zmianowaniem Z1 (tab.14).

Dla niektórych gleb Hiszpanii Rosell [142] uzyskał wartości $P_{org.}/P_{og.}$ w zakresie 0,45-0,49, a zatem podobne do tych, które uzyskano dla gleby gliniastej i piaszczystej z doświadczenia 1 w Baborówku. Natomiast Sparrow [151] otrzymał wartość tego stosunku równą 0,64 dla gleb nawożonych obornikiem i nawozami mineralnymi oraz 0,24-0,31 dla gleb nienawożonych. Gleba płowa z Baborówka z warstwy 5-15 cm ze zmianowaniem Z2, nawożona obornikiem posiadała wartość tego stosunku w granicach 0,56-0,60, podczas gdy w glebach nawożonych nawozami mineralnymi tego wariantu wartość stosunku $P_{org.}/P_{og.}$ wynosiła 0,45. Jak podaje Brogowski [18], gleby należące do piasków zawierają najczęściej od kilku do kilkunastu procent fosforu związków organicznych w stosunku do ogólnej ilości fosforu. W tym kontekście gleby nawożone nawozami mineralnymi oraz niektóre nawożone nawozami organicznymi z Baborówka, mając ten udział w granicach 35-45% (tab.13, tab.14), wykazują podobieństwo do gleb uprawnych z Kujaw, gdzie udział ten mieścił się w przedziale 30-40% [144].

Zawartość fosforu ogółem (tab.5) w glebie gliniastej z Baborówka wynosiła średnio $43,4 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$, a nieco niższą zawartość stwierdzono w glebie piaszczystej ($28,9 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$), niezależnie od rodzaju gnojowicy i głębokości pobrania próbek. Natomiast w próbkach gleby ze zmianowaniem Z1 i Z2 nawożonej obornikiem, zawartość P_{og} mieściła się w zakresie od $30,3\text{--}50,7 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$, a nawożonej gnojowicą $27,6\text{--}41,1 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$, średnio dla obu warstw. Znaczący wpływ obornika na wzrost zawartości fosforu ogółem stwierdził m.in. Czekala i wsp. [27]. Różnice zawartości P_{og} w glebach nawożonych obornikiem w stosunku do gleb nienawożonych wynosiły 47-78%. O wiele większą różnicę P_{og} stwierdzono w glebie z Baborówka. Wynosiła ona nawet 113% w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą bydłą w najwyższej dawce, w stosunku do gleb nawożonych nawozami mineralnymi. Gleby nawożone nawozami mineralnymi zawierały znacznie mniej fosforu ogółem.

Wyższe zawartości fosforu przyswajalnego stwierdzono w glebie gliniastej niż piaszczystej (tab.7). Również wyższe zawartości tej formy fosforu uzyskano w glebie przy stosowaniu tej samej dawki obornika i gnojowicy. W glebie ze zmianowaniem Z1 wyższe wyniki uzyskano w próbkach gleby nawożonej gnojowicą (tab.8). Zarówno w glebie gliniastej, jak i piaszczystej wyższe wartości fosforu przyswajalnego uzyskiwano dla najwyższej dawki obu gnojowic. Dodatni wpływ obornika i gnojowicy na podwyższenie zawartości fosforu przyswajalnego był odnotowany we wcześniejszych pracach [28,57,72,81,91,93,104,121,128,139].

Jarecki i Meller [72] stwierdzili, że nawozy organiczne po 8 latach ich stosowania wywarły wyraźny wpływ na zawartość fosforu, nieco większy w glebach nawożonych gnojowicą niż obornikiem. Podobną tendencję zwiększania się zawartości fosforu przyswajalnego na korzyść nawożenia gnojowicą stwierdzono w glebach obu wariantów zmianowania doświadczenia w Baborówku. Po 8 latach stosowania gnojowicy w nawożeniu gleby płowej w doświadczeniu 2, wzrost zawartości fosforu przyswajalnego wyniósł 330%, dla dawki $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast dla tej samej dawki obornika 280%. Wartości te uzyskano dla próbek glebowych pobranych z warstwy 25-35 cm. Wcześniej Maćkowiak [104] donosił o znaczącym wzroście zawartości fosforu przyswajalnego w głębszych warstwach gleby w wyniku nawożenia gleb gnojowicą.

Zawartość fosforu lipidowego w glebie gliniastej i piaszczystej nawożonej gnojowicą bydłą i trzody chlewnej mieściła się w zakresie $0,4\text{--}0,8 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (tab.15). Niekiedy większą zawartość fosforu tej frakcji stwierdzono przy nawożeniu gleby gnojowicą trzody chlewnej. Taki rezultat koresponduje z danymi Mazura i Sądej [119], którzy stwierdzili, że gnojowica trzody chlewnej zawiera więcej fosforu lipidowego (ok. 8% P_{og}) niż gnojowica bydłą ($3,5\% P_{\text{og}}$). W glebie płowej z Baborówka, nawożonej obornikiem zawartość fosforu lipidowego mieściła się w zakresie $1,0\text{--}1,9 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$, średnio dla obu warstw (tab.16). Jak podaje Cieśla i wsp.[22], w glebie płowej nawożonej obornikiem i różnymi kombinacjami nawozów mineralnych frakcja ta stanowiła 3% fosforu związków organicznych. Natomiast gleby z Baborówka nawożone gnojowicą bydłą i trzody chlewnej charakteryzowały się udziałem tej frakcji w granicach $2,6\text{--}4,1\% P_{\text{org}}$ (rys.6). Sparrow i in.[151] oraz Sauerlandt [146] stwierdzili, że pomimo, iż frakcja ta stanowi zwykle niewielką część fosforu związków organicznych, to wszystkie związki lipidowe są z reguły łatwo dostępne dla roślin, co wynika z dostatecznej na ogół ilości fosfolipaz w glebach.

Fosfor frakcji RNA (PFII) w glebie gliniastej nawożonej gnojowicą stanowił około 50-60% $P_{org.}$ (rys.6). W glebie piaszczystej oraz w glebie z doświadczenia 2 udział tej frakcji był nieco niższy i wynosił 47-50%, tak więc wynik ten był podobny do rezultatów, które otrzymano we wcześniejszych badaniach dotyczących wpływu wieloletniego nawożenia organiczno-mineralnego na zawartość fosforu frakcji kwasu RNA [21].

Fosfor frakcji DNA (PFIII) stanowił w przypadku gleby gliniastej i piaszczystej nawożonej gnojowicami ok. 7-8% całkowitej zawartości fosforu związków organicznych (rys.6) i 4-5% w ogólnej ilości fosforu w glebie (rys.8). Natomiast w glebie ze zmianowaniem Z1, udziały te wynosiły odpowiednio 8-11% w $P_{org.}$ (rys.7) i 5-6% w $P_{og.}$ (rys.9). Dla gleb ze zmianowaniem Z2 udział ten był nieco wyższy i wynosił 12-13% w $P_{org.}$ (rys.7), oraz 7-8% w $P_{og.}$ (rys.9). Frakcja DNA w glebie z Mochelka [21] stanowiła 13-15% $P_{org.}$. To podwyższenie wielkości udziału frakcji DNA w $P_{org.}$ ma związek prawdopodobnie nie tylko z zastosowaniem w doświadczeniach w Mochelku i w Baborówku obornika, lecz również dodatku CaO i MgO. Jak podaje Gerritse [49,50], jony te tworzą polifosforanowe kompleksowe związki z DNA przyczyniając się do zwiększenia ilości fosforu tej frakcji. Kudzin [90] w glebach czarnoziemnych nawożonych obornikiem stwierdził, że fosfor DNA i RNA stanowił aż 96% $P_{org.}$. W glebach z Baborówka, w doświadczeniu 2 ze zmianowaniem Z1, frakcje DNA i RNA stanowiły w sumie średnio 45-50% $P_{org.}$. Natomiast w wersji ze zmianowaniem Z2 50-60% $P_{org.}$. Podobne rezultaty uzyskano wcześniej dla gleby płowej z Mochelka, gdzie fosfor obu kwasów nukleinowych stanowił w sumie 60% $P_{org.}$ [21]. Zwykle wyższe zawartości fosforu nukleotydowego uzyskiwano w glebach nawożonych gnojowicą bydlęcą, w porównaniu do nawożonej gnojowicą trzody chlewnej (tab.17 i 19). Wynika to prawdopodobnie ze składu chemicznego obu gnojowic. Mazur i Sądej [119] oznaczyli bowiem, że w gnojowicy bydlęcej fosfor nukleotydowy stanowił 12,9% $P_{og.}$, natomiast w gnojowicy trzody chlewnej 7,3 % $P_{og.}$.

Drugą pod względem ilościowym frakcją fosforu związków organicznych w glebie płowej zarówno nawożonej gnojowicami, jak i obornikiem okazała się frakcja inozytolowa (tab.21 i 22). Udział tej frakcji wynosił około 30-44% $P_{org.}$ w glebie gliniastej i piaszczystej nawożonej gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej (rys.6) i 32-35% $P_{org.}$ w glebie ze zmianowaniem Z1 i Z2 przy nawożeniu gnojowicą oraz 32-33% w $P_{org.}$ obu wariantów przy nawożeniu obornikiem (rys.7). Fosfor tej frakcji stanowił średnio około 17-22% ogółu fosforu występującego w glebie z obu wariantów zmianowania (rys.8 i 9).

Fosfor frakcji inozytolowej (PFIV) w glebach nawożonych gnojowicą był niższy niż w glebie nawożonej obornikiem (tab.22). Wcześniej stwierdzono, że gleba płowa z Mochelka nawożona obornikiem i dodatkowo pełnym nawożeniem mineralnym (NPK) zawierała $11 \text{ mg P} \cdot 100\text{g}^{-1}$ jako fosfor inozytolowy [21]. Mniejsze ilości tej formy fosforu przy nawożeniu gleby gnojowicą wynikają prawdopodobnie z tego, że w gnojowicy trzody chlewnej związki fosforoorganiczne stanowią wprawdzie niekiedy 10-30% $P_{og.}$, lecz tylko mała część przypada na I-6-P [48]. Większy udział fosforu tej frakcji wynoszący 34-36% $P_{org.}$ podał Cieśla [21] dla gleby płowej z Mochelka. Nieco większy udział tej frakcji fosforu (49% $P_{org.}$) uzyskała Rzeźniowiecka-Sulimierska i wsp. [144] dla gleb brunatnych i 52% $P_{org.}$ dla czarnoziemów z Kujaw. Natomiast Ivankowa [69] stwierdziła jeszcze większy udział fosforanów inozytolu w całkowitej

ilości P_{org} mieszczący się w przedziale 50-70%. Jednakże należy wspomnieć, że były to gleby nawożone obornikiem z nawożeniem NPK w nawozach mineralnych.

Uzyskiwane niekiedy nieco niższe zawartości fosforu poszczególnych frakcji w próbkach z warstwy 5-15 cm niż w próbkach z warstwy 25-35 cm mogą być spowodowane szybszym przemieszczaniem się w glebie fosforu wnoszonego w gnojowicy niż w postaci nawozów mineralnych [169]. Vetter i Klassink [169] zauważyli znaczny wzrost zawartości P_{og} i fosforu przyswajalnego w głębszych warstwach gleby wraz ze wzrostem stosowanych dawek gnojowicy. Zjawiskiem tym należy prawdopodobnie tłumaczyć fakt braku wzrostu udziału procentowego fosforu wydzielonych frakcji w fosforze ogółem wraz ze wzrostem gnojowicy dla gleb z obu doświadczeń z Baborówka (rys.8 i 9). W przypadku nie stosowania gnojowicy przypuszcza się, że powstałe nadwyżki fosforu glebowego są słabo przemieszczane do warstw głębszych ze względu na specyficzną sorpcję jonu fosforanowego [31,127].

We frakcji inozytolowej częścią dominującą były jego niższe estry (IP_{1-4}). Stanowiły one około 20-22% P_{org} w glebie piaszczystej i 21-25% P_{org} w glebie gliniastej (rys.6). Wyższe estry w glebach nawożonych gnojowicą bydłą i trzody chlewnej występowały w ilościach 10-12% P_{org} . W glebach kanadyjskich wartość ta dochodziła do 11-17% [108], natomiast inne badania donoszą aż o 50% udziale tej frakcji w P_{org} [144]. Gleba płowa z Mochełka charakteryzowała się udziałem wyższych estrów (9,4% w P_{org}), przy nawożeniu obornikiem + NPK [84]. Podobne rezultaty uzyskiwano przy nawożeniu gleby obornikiem, w której wyższe estry stanowiły około 11% P_{org} , natomiast przy nawożeniu gnojowicą stanowiły około 10% P_{org} (rys.7).

Wpływ nawożenia obornikiem na zawartość wyższych estrów IP_{5-6} stwierdził Oniani i wsp.[135]. Nastąpił 21% wzrost zawartości fosforu tej frakcji w stosunku do gleb kontrolnych w doświadczeniu trwającym 100 lat. W glebie z Baborówka ze zmianowaniem Z1 i Z2 stwierdzono 9% wzrost zawartości fosforu wyższych estrów inozytolu pod wpływem dawek 20-40 t · ha⁻¹ w glebie ze zmianowaniem Z1 oraz wzrost o 18% dla tych samych dawek obornika w glebie ze zmianowaniem Z2 (średnio dla obu warstw). Wartości te uzyskano już po 11 latach trwania eksperymentu. Przypuszczać zatem należy, że wzrost zawartości tej formy fosforu związków organicznych w glebach z Baborówka wiąże się z intensywnym ich nawożeniem nawozami organicznymi.

Dla zawartości fosforu poszczególnych frakcji przeprowadzono analizę korelacji stwierdzając prawie we wszystkich badanych próbkach wysoko istotną zależność ($r=0,67^{**}-0,99^{**}$) tych parametrów (tab.30 i 32). Dla gleby płowej z Mochełka we wcześniejszych badaniach [84] również uzyskano znamienne korelację dla tych samych parametrów ($r=0,68^{**}-0,91^{**}$).

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wyższą aktywność fosfatazy kwaśnej w próbkach gleby gliniastej od tej, którą oznaczono w próbkach gleby piaszczystej (tab.27). Gleba ze zmianowaniem Z1 miała niższą aktywność od tej, którą oznaczono w glebie ze zmianowaniem Z2 (tab.28). Nawożenie obornikiem bardziej podwyższało aktywność kwaśnej fosfatazy niż nawożenie takimi samymi dawkami gnojowicy. Dla gleby ze zmianowaniem Z1 i Z2 nie zawsze stwierdzano istotność wzrostu aktywności wraz ze wzrostem dawki obornika czy gnojowicy (NIR tab.27, tab.28).

Kucharski [89] stwierdził, że w glebie brunatnej nawożenie gnojowicą wywarło istotny wpływ na poziom aktywności fosfatazy, lecz gleby badane przez autora charakteryzowały się zdecydowanie niższą aktywnością enzymu (50-53 μg PNP · g⁻¹) zarówno od gleby gliniastej, jak i piaszczystej nawożonej gnojowicami oraz gleb nawo-

zonych gnojowicą i obornikiem z różnym wariantem zmianowania z Baborówka (tab.27 i 28). Wzrost aktywności fosfatazy kwaśnej wraz ze wzrostem dawki związku organicznego (substratu) dodawanego do gleby zauważył Tarafdar i wsp.[158,159]. Autor ten zaobserwował również, że niekiedy dla najwyższej dawki substratu następował spadek aktywności enzymu. W badaniach gleby z Baborówka nie zauważono inhibicyjnego wpływu wysokich dawek stosowanych nawozów organicznych na aktywność fosfatazy.

Z przeprowadzonych porównań zawartości fosforu związków organicznych, fosforu wydzielonych frakcji, fosforu przyswajalnego i aktywności fosfatazy (rys.12-15) wynikają jednakowe kierunki co do zmian ilościowych tych parametrów, niezależnie od rodzaju nawożenia i zmianowania. Prawie zawsze ze wzrostem aktywności enzymu stwierdzono jednoczesny wzrost zawartości poszczególnych form fosforu. Natomiast Helal i Sauerbeck [65] zauważyli wzrost aktywności fosfatazy w bliskości korzeni kukurydzy, lecz nie zaobserwowali jednocześnie istotnych zmian w zawartości fosforu związków organicznych w glebach.

Wyniki analizy wariancji wykazały istotną zależność między aktywnością fosfatazy a głębokością pobrania próbek glebowych. Jest to zgodne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów [20,23,46].

Z przeprowadzonej analizy korelacji pomiędzy zawartością fosforu poszczególnych frakcji a aktywnością fosfatazy brak istotności stwierdzono tylko dla fosforu frakcji lipidowej i fosforu kwasu DNA, rozpatrując głębokość pobrania próbek dla gleb nawożonych gnojowicą bydlęcą i trzody chlewnej (tab.29). Dla pozostałych parametrów tego doświadczenia z wyliczonych zależności uzyskano istotne współczynniki korelacji $r=0,56^{**}-0,94^{**}$. Natomiast dla wszystkich parametrów w glebie z doświadczenia z różnym zmianowaniem uzyskano istotne zależności pomiędzy zawartością fosforu we frakcjach a aktywnością fosfatazy ($r=0,82^{**}-0,99^{**}$) (tab.31). Dodatkowo wartości uzyskanych współczynników korelacji świadczą, że zawartości frakcji fosforu związków organicznych oraz aktywność fosfatazy wzrastały proporcjonalnie w warunkach prowadzenia doświadczenia 1 i 2. Ponadto należy przypuszczać, że fosforany w wydzielonych frakcjach P_{org} są łatwo dostępne dla enzymu. Podobne rezultaty uzyskała Rzeźniowiecka-Sulimierska i wsp. [144] dla gleb czarnoziemnych i brunatnoziemnych. Autorka sugeruje, że brak istotnej korelacji zawartości frakcji fosforu inozytolowego z aktywnością fosfatazy uzyskanych zarówno dla gleb uprawnych, jak i leśnych, spowodowany był prawdopodobnie dużą zawartością kwasów huminowych.

Na przyswajalność związków organicznych fosforu istotny wpływ wywiera ich rozpuszczalność i odczyn roztworu glebowego [20]. Najlepszą rozpuszczalność organicznych związków fosforu stwierdza się przy odczynie bliskim obojętnemu lub słabo kwaśnemu. Tylko w warunkach gleb kwaśnych mogą tworzyć się nierozpuszczalne fosforany żelaza i glinu, przez co obniża się zawartość fosforu dostępnego dla roślin. Wartości pH w glebie nawożonej obornikiem i gnojowicą z różnym doбором roślin w zmianowaniu (tab.4) oraz wartości pH gleby piaszczystej (tab.3) mogą sugerować o sprzyjających temu procesowi warunkach. Ponadto niewielka alkalizacja gleby w miarę zwiększania się dawek obornika lub gnojowicy nie wskazuje na szczególnie dogodne warunki do tworzenia się soli wapniowych i magnezowych wyższych estrów inozytolowych (IP_{5-6}) trudno dostępnych dla fitaz.

W podsumowaniu uzyskanych wyników dotyczących wartości aktywności fosfatazy kwaśnej oraz wartości stosunku $C_{org.}/P_{org.}$ można stwierdzić, że w glebach obu doświadczeń, w nawożeniu których uwzględniano zwiększające się dawki gnojowicy i obornika oraz różne warianty zmianowania, istniały dobre warunki sprzyjające mineralizacji fosforu zawartego w związkach organicznych.

VI. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Rezultaty przeprowadzonych badań niektórych właściwości gleb pługowych z Baborówka, długotrwale nawożonych zróżnicowanymi dawkami gnojowicy i obornika oraz nawozami mineralnymi pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Nawożenie obornikiem wpływa wyraźniej na zawartość fosforu związków organicznych gleby niż jej nawożenie taką samą dawką gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej. Zasobność gleby w fosfor będący w połączeniach organicznych jest w ścisłej zależności z zawartością tych związków występujących w stosowanych nawozach.
2. Zawartość fosforu związków organicznych zmienia się w zależności od uziarnienia gleby pługowej typowej; gleba pługowa o składzie granulometrycznym glin wykazuje większe możliwości jego kumulowania niż gleba pługowa o składzie granulometrycznym piasków.
3. Stosowanie płodozmianu wzbogacającego glebę w materię organiczną prowadzi do zwiększenia zasobności gleby w fosfor związków organicznych. Długoletnie nawożenie gleby obornikiem, w szczególności ze zmianowaniem wzbogacającym glebę w materię organiczną, powoduje wyraźniejsze podwyższenie się zawartości fosforu w związkach organicznych niż nawożenie jej gnojowicą.
4. Dynamika glebowego fosforu ogółem, przyswajalnego, fosforu związków organicznych i jego frakcji jest uzależniona od dawki obornika lub gnojowicy oraz od rodzaju stosowanego nawozu. Szczególnie istotna różnica w zawartości frakcji fosforu związków organicznych występuje między glebą nawożoną nawozami mineralnymi a glebą nawożoną wysokimi dawkami gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej oraz obornika.
5. Zawartość frakcji fosforu związków organicznych w glebie pługowej nawożonej obornikiem lub gnojowicą kształtuje się następująco:

$P\text{-lipidowy (PFI)} < P\text{-DNA (PFIII)} < P\text{-inozytolowy (PFII)} < P\text{-RNA (PFIII)}$

Zawartość frakcji fosforu związków organicznych oraz ich udział w całkowitej zawartości fosforu występującego w połączeniach organicznych jest determinowana składem frakcyjnym związków fosforoorganicznych i dawką nawozu organicznego, ponadto zależy od gatunku gleby oraz rodzaju zmianowania.

6. Wieloletnie nawożenie gleby obornikiem lub gnojowicą z różnym zmianowaniem nie wpływa znacząco na zmianę zawartości niższych i wyższych estrów inozytolu. Wartość stosunku $IP_{1-4} : IP_{5-6}$ wynosi około 2 : 1 i jest niezależna od dawek stosowanych nawozów organicznych.
7. Udział frakcji fosforu związków organicznych w ogólnej zawartości fosforu w glebie gliniastej i piaszczystej, nawożonej gnojowicą bydlęcą i trzody mieści się w przedziale 40-55%. W glebach nawożonych obornikiem lub gnojowicą z różnym zmianowaniem udział ten stanowi 50-60% fosforu ogółem. Udział fosforu frakcji związków organicznych na ogół wzrasta wraz ze wzrostem dawki obornika lub gnojowicy, z wyjątkiem fosforu frakcji inozytolowej (PFIV).

8. Istotne korelacje występują pomiędzy zawartością poszczególnych frakcji fosforu związków organicznych oraz pomiędzy zawartością fosforu poszczególnych frakcji a aktywnością fosfatazy kwaśnej. Aktywność fosfatazy kwaśnej skorelowana jest również z zawartością fosforu związków organicznych oraz fosforu przyswajalnego w glebie.

9. Wartości aktywności fosfatazy świadczą o braku negatywnego oddziaływania wieloletniego stosowania wysokich dawek gnojowicy na warunki biochemiczne gleb. Wartości liczbowe C_{org}/P_{org} mieszczą się w zakresie, który uważany jest za korzystny dla mineralizacji organicznych związków fosforu występujących w glebie.

LITERATURA

- [1] Acquaye D.K. (1963): Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant Soil* 19, 65-80
- [2] Adams J.A., Walker T.W. (1975): Some properties of a chrono-toposequence of soils from granite in New Zealand, 2. Forms and amounts of phosphorus. *Geoderma* 13, 41-52
- [3] Adams M.A. (1992): Phosphatase activity and phosphorus fractions in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forest soils. *Biol.Fertil.Soils* 14, 200-204
- [4] Ahmed B., Islam A. (1978): Occurrence of inositol hexaphosphate in some humid tropical soils. *Trop.Agric.* 55, 149-152
- [5] Ahmed M., Oades J.M., Ladd J.N. (1982): Determination of ATP in soils: effects of soil treatments. *Soil. Biol.Biochem.* 14, 273-279
- [6] Anderson G., Hance R.J. (1963): The nature of alkali-soluble soil organic phosphate. *Plant Soil* 19, 296-303
- [7] Anderson G. (1967): Nucleic acids derivatives and organic phosphates. *Soil Biochem.* 3, 67-90
- [8] Anderson G. (1970): The isolation of nucleotide diphosphate from alkaline extracts of soil. *J.Soil Sci.* 21, 96-104
- [9] Anderson G., Malcolm R.E. (1974): The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. *J.Soil Sci.* 25, 282-297
- [10] Baath E., Soderstron B. (1979): Fungal biomass and fungal immobilization of plant nutrients in Swedish coniferous forest soil. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 16, 477-489
- [11] Barrow N.J. (1961): Phosphorus in soil organic matter. *Soils Fert.* 24, 3, 169-173
- [12] Babarina E.A. (1971): Wlijanie systematyczeskowo primenenja nawoza i mineralnych udobrenij na rosprodielienije fosfornych sojedinenij po profilu rozlicznych poczw. *Agrochimija* 6, 21-25
- [13] Basibekow B.S., Torszina O.B. (1975): Wlijanije dlitel'nogo primieneniya fosfornych udobrenij na fosfatnyj režim swetlokasztanowej poczwy i produktywnost kultur sweklowicznowo sewoobrota. *Agrochimija* 7, 22-27
- [14] Bei-Bienko N.W. (1970): O wlijani mineralnych azotnych udobrenij na aktiwnost fermentow w poczwie. *Poczwow.* 2, 87-90
- [15] Birch F.H. (1961): Phosphorus transformations during plant decomposition. *Plant Soil* 15, 347-366
- [16] Blecharczyk A., Grzebisz W. (1992): Plonotwórcze działanie obornika i nawożenia mineralnego w wieloletnim statycznym doświadczeniu płodozmiennym. *Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin* 1, 14-19
- [17] Bowman R.A. (1991): Spatial variability of selected carbon, nitrogen and phosphorus parameters on acid and calcareous rangeland soils. *Commun. Soil Sci.Plant Anal.* 22, 3/4, 205-212
- [18] Brogowski Z. (1966): Fosfor organiczny i mineralny w niektórych glebach piaskowych Polski. *Roczn.Glebozn.* 16, 1, 209-239

- [19] Cieśla W., Koper J. (1990): Inositolic phosphorus in some soils under traditional cultivation and fertilization in soils subjected to a long-term static fertilization experiment. *Polish J. Soil Sci.* 41, 45-50
- [20] Cieśla W., Koper J. (1990): Wpływ wieloletniego nawożenia mineralno-organicznego na ukształtowanie się poziomu fosforu organicznego i przyswajalnego oraz aktywność enzymatyczną gleby. *Roczn. Glebozn.* 41, 3/4, 73-83
- [21] Cieśla W., Koper J. (1990): Wpływ wieloletniego nawożenia gleby na dynamikę niektórych frakcji fosforu organicznego. *Roczn. Glebozn.* 41, 3/4, 85-93
- [22] Cieśla W., Koper J., Laskowski J. (1993): Fosfor organiczny i jego frakcje w glebach z wieloletnich doświadczeń polowych. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 277/37, cz. I, 97-108
- [23] Cieśla W., Pech K., Pawluczuk Z., Rześniowiecka-Sulimierska G. (1977): Wstępne badania nad sezonową zmiennością aktywności fosfatazy i ureazy w czarnoziemach kujawskich. *Zesz. Nauk. ATR* 44, 23-35
- [24] Condron L.M. i in. (1990): Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. *J. Soil Sci.* 41, 41-50
- [25] Cosgrove D.J. (1967): Metabolism of organic phosphates in soil. *Soil Biochem.* 3, 216-228
- [26] Cosgrove D.J. (1977): Microbial transformations in the phosphorus cycle. *Adv. Microb. Ecol.* 1, 95-134
- [27] Czekąła J., Bleharczyk A., Szukała J. (1992): Wieloletnie badania nad wpływem obornika i nawozów mineralnych na zawartość kilku form fosforu w glebie. *Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin* 2, 133-138
- [28] Cwojdziański W., Chmara R. (1989): Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na wielkość plonu i niektóre właściwości gleby. *Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin* 1, 51-56
- [29] Dalal R.C. (1977): Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy*, 29, 83-117
- [30] Dechnik I., Chmielewska B. (1988): Wpływ nawożenia obornikiem i odpadami organicznymi monokultury żyta na przemiany związków próchnicznych w glebie. *Roczn. Glebozn.* 39, 4, 199-209
- [31] Delczewa-Walewa D., Moskal R. (1968): Wpływ długoletniego zróżnicowanego nawożenia na zawartość różnych fosforanów w glebie. *Roczn. Glebozn.* 18/2, 525-533
- [32] Dick R.T., Tabatabai M.A. (1986): Hydrolysis of polyphosphates by corn roots. *Plant Soil* 94, 247-256
- [33] Doddamani V.S., Seshagiri R.T. (1988): Forms of phosphorus in soils of Karnataka. *Ind. J. Agric. Sci.* 58, 760-765
- [34] Doran J.W. (1980): Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Sci.* 44, 519-524
- [35] Dormaar J.F. (1970): Phospholipides in chernozemic soils of southern Alberta. *Soil Sci.* 110, 136-139

- [36] Enwezor W.O. (1967): Significance of the C: organic P ratio in the mineralization of the soil organic phosphorus. *Soil Sci.* 103, 62-66
- [36] Enwezor W.O. (1976): The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C:N and C:P ratios. *Plant Soil* 44, 237-240
- [39] Fokin A.D., Sincha M.K. (1969): Swiazywanie fosfata gumusowymi wieszczeniami poczw. *Izw. Timirjazew. Sel.-Choz. Akad.* 4, 175-181
- [40] Fotyma M., Kęsik K. (1978): Skutki intensywnego nawożenia fosforem. *Post. Nauk Roln.* 2, 45-62
- [41] Fotyma M., Maćkowiak Cz. (1978): Kierunki stosowania nawozów organicznych oraz system nawożenia organicznego i mineralnego z uwzględnieniem żyzności gleby w Polsce. *Post. Nauk Roln.* 6, 53-72
- [42] Fotyma M., Mercik S., Faber A. (1987): Fosfor. Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia. *PWRiL*, 96-126
- [43] Fotyma M., Naglik E. (1986): Wartość nawozowa rezerw fosforu i potasu nagromadzonych w glebie w wyniku wieloletniego nawożenia. *Roczn. Glebozn.* 37/4, 115-140
- [44] Fotyma M., Naglik E., Pietrasz-Kęsik G. (1989): Zmiany produktywności i żyzności gleby wytworzonej z gliny lekkiej pod wpływem wieloletniego nawożenia fosforem i potasem. *Roczn. Glebozn.* 40, 83-99
- [45] Gahoonia T.S., Nielsen N.E. (1992): The effects of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere. *Plant Soil* 143, 185-191
- [46] Gawriłowa A.N., Sawczenko N.J., Szimko N.A. (1975): Soderzaniye organofosfatow i aktiwnost fosfatazy w dernomo podzolistych poczwach. *Poczwow. 1*, 81-85
- [47] Gil-Sotres F., Zech W., Alt A.H. (1990): Characterization of phosphorus fraction in surface horizons of soil from Galicia. *Soil Biol. Biochem.* 22, 75-79
- [48] Gerritse R.G., Zugec I. (1977): The phosphorus cycle in pig slurry measured from $^{32}\text{PO}_4$ distribution rates. *J. Agric. Sci. Camb.* 88, 101-109
- [49] Gerritse R.G. (1978): Assessment of procedure for fractionating organic-phosphate in soil and organic materials using gel filtration and HPLC. *J. Sci. Food Agric.* 29, 577-586
- [50] Gerritse R.G., Eksteen R. (1978): Dissolved organic and inorganic phosphorus compounds in pig slurry: effect of drying. *J. Agric. Sci. Camb.* 90, 39-45
- [51] Gerritse R.G., Vriesema R. (1984): Phosphate distribution in animals waste slurries. *J. Agric. Sci. Camb.* 102, 159-161
- [52] Gorlach E., Curyło T. (1988): The effect of long-term differentiated NPK fertilization on the balance of nitrogen, phosphorus and potassium and their content in meadow soils. *Polish J. Soil Sci.* 21/1, 69-75
- [53] Greaves M.P., Wilson M.J. (1970): The degradation of nucleic acids and montmorillonite - nucleic acid complex by soil microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 2, 257-268

- [54] Grzebisz W., Bleharczyk A., Maj M. (1993): Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na formy fosforu w glebie pod monokulturą żyta i ugorom czarnym. Zesz.Nauk.AR Kraków 277/37, cz.I, 27-37
- [55] Grzebisz W., Urbański M., Potarzycki J. (1993): Wartość nawozowa azotu, fosforu i potasu w gnojowicy stosowanej pod kukurydzą uprawianą w monokulturze. Zesz.Nauk. AR Kraków 278/37, cz.II, 149-159
- [56] Grzywnowicz I. (1993): Zmiany zawartości różnych form fosforu w górskiej glebie łąkowej pod wpływem długotrwałego nawożenia i wapnowania. Zesz. Nauk.AR Kraków 277/37, cz.I,75-83
- [57] Hadas A., Yosef B., Portno Y R. (1991): Extrability of phosphorus in manure pellets enriched with fertilizer phosphorus. Soil Sci.Soc.Amer.J. 54, 871-878
- [58] Haim S., Wagner K.G. (1989): Inositol phosphates in the growth cycle of suspension cultured plant cells. Plant Sci.63, 159-165
- [59] Halstead R.L., Lapensee J.M., Ivarson K.C. (1963): Mineralization of soil organic phosphorus with particular reference of the effect of lime. Can.J.Soil Sci. 43, 97-106
- [60] Halstead R.L., Anderson G. (1970): Chromatographic fractionation of organic phosphates from alkali, acid and aqueous acetylacetone extracts of soils. Can. J.Soil Sci. 50,111-119
- [61] Halstead R.L., McKercher R.B. (1975): Biochemistry and cycling of phosphorus Soil Biochem. Ed. Poul E.A., Mc Laren A.D., Dekker, New York USA, 31-63
- [62] Hance R.J.,Anderson G. (1963): Identification of hydrolysis products of soil phospholipids. Soil Sci. 96, 157-161
- [63] Haüssling M.,Marschner H. (1991): Organic and inorganic soil phosphates and acid phosphatase activity in the rhizosphere of 80-year-old Norway spruce. Biol.Fertil.Soils 6, 2083-2100
- [64] Hedley M.J., Steward J.W.B., Chauhan B.S. (1982): Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci.Soc.Amer.J. 46, 971-976
- [65] Helal H.M., Sauerbeck D.R. (1984): Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. Plant Soil 76, 175-182
- [66] Hernandez J., Fernandez J.A., Niell F.X. (1993): Influence of phosphorus status on the seasonal variation of alkaline phosphatase activity in *Porphyrta umbilicalis(L.)* Kützing. J.Exp.Mar. Biol.Ecol. 173, 181-196
- [67] Ipinmidun W.B. (1972): Organic phosphorus in some northern Nigerian soils in relation to soil organic carbon and as influenced by parent rock and vegetation. J.Sci.Food Agric. 23, 1099-1105
- [68] Islam A., Ahmed B. (1973): Distribution of inositol phosphates, phospholipids and nucleic acids and mineralization of inositol phosphates in some Bangladesh soils. J.Soil Sci. 24, 193-198
- [69] Ivankowa J. (1968): Contribution to the study in forms of phosphorus in some soil types. Polnohospodarstwo 14, 12, 938-945
- [70] Ivarson K.A. (1988): Phosphorus fertilizer-changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions after long-term soil fertility experiments. Proceedings of

- Regional Workshop on Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Czerniejewo, Poland 137-146
- [71] Jayachandran K., Schwab A.P., Hetrick B.A.D. (1992): Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 24/9, 897-903
- [72] Jarecki M., Meller E. (1992): Porównanie działania obornika i gnojowicy w stosowanych wraz z nawozami mineralnymi na zawartość przyswajalnych form P, K i Mg w glebie lekkiej. *Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin* 2, 81-88
- [73] Jarecki M., Krzywy E., Wołoszyk Cz. (1993): Wpływ obornika i gnojowicy na plon i jakość ziemniaka w doświadczeniach statycznych. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 278/37, cz. II, 161-169
- [74] Jianguo H., Shuman L.M. (1991): Phosphorus status and utilization in the rhizosphere. *Soil Sci.* 152, 5, 360-364
- [75] Kalembasa S., Kania R. (1984): Wpływ dawek gnojowicy trzody chlewnej i nawożenia mineralnego na plon suchej masy kukurydzy. *Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin*, 109-117
- [76] Kępka M., Chojnicki J. (1987): Wpływ wieloletniego nawożenia obornikiem i NPK na zawartość w glebie próchnicy i składników mineralnych rozpuszczalnych w 20% HCl. *Roczn. Glebozn.* 38, 2, 133-142
- [77] Koc J. (1985): Przemiany gnojowicy trzody chlewnej w glebie. *Roczn. Glebozn.* 36/4, 53-64
- [78] Koc J. (1990): Wpływ 8-letniego nawożenia gnojowicą świńską na zawartość związków próchnicznych w glebie. *Roczn. Glebozn.* 41, 1/2, 83-91
- [79] Koc J. (1993): Działanie nawozowe gnojowicy trzody chlewnej w świetle 12-letniego statycznego doświadczenia. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 277/37, cz. I, 321-330
- [80] Koc J., Wróbel Z., Gawrońska H. (1993): Wpływ stosowania podczyszczonej gnojowicy trzody chlewnej na fizyko-chemiczne właściwości gleby. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 277/37, cz. I, 331-341
- [81] Koc J., Gawrońska H., Wróbel Z. (1994): Wpływ stosowania podczyszczonej gnojowicy trzody chlewnej na zawartość fosforu w glebach. *Zesz. Nauk. AE Wrocław*, 677, 22-31
- [82] Koljanda N.K. (1971): Formirowanije fosfatnowo fonda poczwy pri sistemaczeskom primienienij udobrenij w sjewoobrotje i na bjesmjennych posjewach. *Agrochimija* 6, 3-14
- [83] Koper J. (1990): Glebowy fosfor organiczny na tle zawartości C, N i S w warunkach statycznego wieloletniego doświadczenia nawozowego. *Roczn. Glebozn.* 41, 3/4, 135-145
- [84] Koper J. (1992): Zawartość estrów fosforanowych inozytolu w glebie z wieloletniego, statycznego doświadczenia nawożeniowego. *Roczn. Glebozn.* 43, 3/4, 45-65
- [85] Koper J., Laskowski J. (1993): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą na aktywność fosfatazową gleby i poziom niektórych form fosforu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 411, 53-62

- [86] Koper J., Laskowski J. (1993): Zawartość węgla i fosforu organicznego w glebie wieloletnie nawożonej obornikiem i gnojowicą z różnym zmianowaniem upraw. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln. 409, 257-262
- [87] Koper J. Laskowski J. (1993): Wartości stosunków C,N i S do P_{org} w glebach nawożonych gnojowicą. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln. 409, 263-269
- [88] Kriwonosowa G.M., Syprylenko W.I. (1971): Diejstwije udobrenija na sodierzaniije organiczeskich fosfatow w poczwach Ukrainy. Agrochimija 6, 27-30
- [89] Kucharski J. (1992): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą na biologiczne właściwości gleby. Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin 2, 24-29
- [90] Kudzin I.K., Gubienko W.A. (1970): Wlijanije 55-letnowo systematyczeskowo primienienija udobrenij na zapasy i formy organiczeskich sojedinenij fosfora w czernoziemnej poczwie. Agrochimija 9, 3-10
- [91] Kukurenda H., Maćkowiak Cz. (1977): Zmiany składu chemicznego gleby lekkiej pod wpływem dużego obciążenia gnojowicą. Prace Kom. Nauk. PTGleb. 1494, 65-73
- [92] Kukurenda H., Warta Z. (1988): Wpływ gnojowicy bydłowej na reprodukcję substancji organicznej w glebie. Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin 1, 74-184
- [93] Kuszelewski L. (1993): Ocena systemów nawożenia obornikowo-mineralnego i gnojowicowego na podstawie plonowania i właściwości chemiczno-rolniczych gleby w świetle trwałego doświadczenia polowego. Zesz.Nauk.AR Kraków 278/37, cz.II, 3-13
- [94] Krzywy E., Jarecki M., Wołoszyk C. (1988): Porównanie wpływu obornika i gnojowicy na zawartość C i N w glebie lekkiej. Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin 2, 88-93
- [95] Lajtha K., Schlesinger W.H. (1988): The biogeochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence. Ecology 69, 24-39
- [96] L'Annuziata M.F. (1975): The origin and transformation of the soil inositol phosphate isomers. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 39, 377-379
- [97] L'Annuziata M.F., Gonzales J., Olivares L.A. (1977): Microbial epimerization of myo-inositol to chiro-inositol in soil. Soil Sci.Soc.Amer.J. 1, 733-736
- [98] Levesque M., Schnitzer M. (1967): Organo-metalic interactions in soil: preparation and properties of fulvic acid-metal phosphates. Soil Sci. 103, 183-190
- [99] Łoginow W. (1985): Nowoczesne podstawy nawożenia organicznego. Post. Nauk Roln. 6, 25-37
- [100] Łoginow W., Cwojdziniński W., Zabłocki D., Czarnecki E. (1981): Wpływ nawożenia gnojowicą na skład chemiczny gleby. Roczn.Glebozn. 36,4, 27-42
- [101] Maćkowiak Cz. (1973): Skład chemiczny gnojowicy w świetle danych z literatury i badań własnych. Mat.Symp. 15-16 VI. Olsztyn ART, 97-117
- [102] Maćkowiak Cz. (1977): Zmiany w składzie chemicznym gleb pod wpływem nawożenia gnojowicą. Prace Kom.Nauk.PTGleb. 1494, 7-40

- [103] Maćkowiak Cz. (1988): Wpływ różnego obciążenia gleby gnojowicą na jej produktywność i żyzność. Rola nawożenia w podniesieniu produktywności i żyzności gleb. PAN-ART Olsztyn 1, 65-72
- [104] Maćkowiak Cz., Warta Z. (1989): Wpływ długoletniego stosowania dawek gnojowicy na chemiczne właściwości gleby piaskowej oraz plony zielonej masy żyta i kukurydzy. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln. 377, 119-136
- [105] Maćkowiak Cz. (1994): Zasady stosowania gnojowicy. Zalecenia Nawozowe cz.IV, IUNG Puławy
- [106] Magid J., Nielsen N.E. (1992): Seasonal variations in organic and inorganic phosphorus fractions of temperature-climate sandy soil. *Plant Soil* 144, 155-165
- [107] McGill W.B., Cole C.V. (1981): Comparative aspects of cycling of organic C,N,S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26, 287-309
- [108] McKercher R.B., Anderson G. (1968): Content of inositol penta- and hexa phosphates in some Canadian soils. *J.Soil Sci.* 19, 47-55
- [109] McKercher R.B., Anderson G. (1968): Characterization of the inositol penta- and hexa-phosphate fractions of a number of Canadian and Scottish soils. *J.Soil Sci.* 19, 302-309
- [110] Makboul H.E., Ottow J.C.G. (1979): Einfluss von Zwei- und Dreischichttonmineralen auf die Dehydrogenase-, saure Phosphatase- und Urease-Aktivität in Modellversuchen. *Z.Pflanzenernaehr.Bodenkd.* 3, 500-513
- [111] Malhi S.S., Nyborg M i in. (1991): Changes of extractable phosphorus between fall and spring in some Alberta soils. *Commun.Soil Sci. Plant Anal.* 22, 13/14, 1439-1446
- [112] Malkolm R.E. (1983): Assessment of phosphatase activity in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14, 42-46
- [113] Mandal R., Islam A. (1979): Inositol phosphate esters in some surface soil of Bangladesh. *Geoderma* 22, 315-321
- [114] Martin J.K. (1970a): Organic phosphate compounds in water extracts of soil. *Soil Sci.*, 109, 362-375
- [115] Martin J.K. (1970b): Soil organic phosphorus, V. Distribution of organic phosphorus in a sequence of soils under tussock grassland. *N.Z.J.Agric.Res.* 13, 522-533
- [116] Martin J.K. (1973): The influence of rhizosphere microflora on the availability of ³²P-myoinositol hexaphosphate phosphorus to wheat. *Soil Biol.Biochem.* 5, 473-483
- [117] Mazur T., Koc J., Wróbel Z. (1976): Skład chemiczny gnojowicy bydłowej i trzody chlewnej. *Agronom Zachodnio-Pomorski* 45, 13-21
- [118] Mazur T., Maćkowiak Cz. (1978): Nawożenie gnojowicą. PWRiL Warszawa
- [119] Mazur T., Sądej W. (1978): Formy związków azotowych, fosforowych i potasowych w gnojowicy. *Roczn.Glebozn.* 29/3, 91-100
- [120] Mazur T., Sądej W. (1989): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i NPK na niektóre właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne gleby. *Roczn.Glebozn.* 40/1, 147-153

- [121] Mazur T., Sądej W. (1992): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i NPK na zawartość przyswajalnych składników w glebie. *Mat. Konf. Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin* 2, 96-102
- [122] Mazur T., Sądej W. (1993): Działanie gnojowicy, obornika i nawozów mineralnych w wieloletnich statycznych doświadczeniach polowych. *Zesz.Nauk. AR Kraków* 277/37, cz.I, 299-304
- [123] Millar W.N., Casida Jr L.E. (1970): Evidence for muramic acid in soil. *Can.J.Microbiol.* 16, 299-304
- [124] Miniejew W.W., Babarina E.A. (1977): Izmienienija sodierżanija organiczeskich fosfatow pri ditielnom primienieni udobrenij. *Agrochimija* 6, 10-11
- [125] Morel Ch., Fardeau J.C. (1990): Uptake of phosphate from soils and solubility of phosphorus fertilizers. *Plant Soil* 121, 217-224
- [126] Mortland M.M., Gieseking J.E. (1952): The influence of clay minerals on enzymatic hydrolysis of organic phosphate compound. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 16, 11-13
- [127] Moskal S., Walewa D.D. (1969): Przemiany nawozów fosforowych w różnych typach gleb. *Roczn.Glebozn.* 20, 307-321
- [128] Murzyński J. (1994): Zawartość fosforu i innych składników w warstwach gleby od 0 do 50 cm po 20-letnim systematycznym stosowaniu gnojowicy trzody chlewnej. *Zesz.Nauk.AE Wrocław* 677, 42-51
- [129] Nedoma J., Porcalowa P. i in. (1993): Phosphorus deficiency diagnostics in the eutrophic Rimov reservoir. *Wat.Sci.Tech.* 28/6, 75-84
- [130] Nedoma J., Porcalowa P. i in. (1993): A seasonal study of phosphorus deficiency eutrophic reservoir. *Freshwater Biology* 30, 369-376
- [131] Oades J.M., Jenkinson D.S. (1979): Adenosine triphosphate content of the soil microbial biomass. *Soil Biol.Biochem.* 11, 201-204
- [132] O'Halloran J.P. (1993): Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus. *Can.J.Soil Sci.* 73, 359-369
- [133] O'Halloran J.P., Sigrist A. (1993): Influence of incubatory monocalciumphosphate with liquid hog manure on inorganic phosphorus, organic phosphorus and phosphorus availability in two Quebec soils. *Can.J.Soil Sci.* 73, 371-379
- [134] Omotoso T.J., Wild A. (1970): Occurrence of inositol phosphates and other organic phosphate components in an organic complex. *J.Soil Sci.* 21, 224-232
- [135] Oniani D.G., Charter M., Mattingly G.E.G. (1973): Some effects of fertilizers and farmyard manure on the organic phosphorus in soils. *J.Soil Sci.* 24, 1-9
- [136] Parton W.J., Stewart J.W.B., Cole C.V. (1988): Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: A model. *Biogeochemistry* 5, 109-131
- [137] Pondel H., Gałczyńska J. (1977): Wpływ poziomu nawożenia fosforowego na zawartość różnych form fosforu w glebie. *Roczn.Glebozn.* 28, 125-140
- [138] Pospisil F., Cvikrova M. (1972): Complexes of humic acids with organic phosphorus. *Rostlinna Vyroba* 17, 99-105

- [139] Rabikowska B., Piszcz U. (1993): Następce działanie obornika podźdźownico-
wego na plonowanie i skład chemiczny kukurydzy. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.
409, 151-152
- [140] Roberts T.L., Betany J.R., Stewart J.W.B. (1989): A hierarchical approach to
the study of organic C, N, P and S in western Canadian soils. *Can.J.Soil Sci.*
69, 739-749
- [141] Rojo M.J., Carcedo S.G., Mateos M.P. (1990): Distribution and characterization
of phosphatase and organic phosphorus in soil fractions. *Soil Biol.Biochem.*22,
169-174
- [142] Rosell R.A., Andriulo E.A. (1990): Distribucion de carbono y nitrogeno orga-
nicos formas de fosforoy pH de un suelo bajo tres manojos. *Agrochimica* 33, 3,
195-201
- [143] Rzeźniowiecka-Sulimierska G., Cieśla W., Koper J. (1983): Badania nad fosfo-
rem organicznym.część I. Fosfor organiczny na tle zawartości C. N i S w nie-
których glebach uprawnych i leśnych. *Roczn.Glebozn.* 34, 63-74
- [144] Rzeźniowiecka-Sulimierska G., Cieśla W., Koper J. (1984): Studia nad fosfo-
rem organicznym. część II.Fosfor organiczny i jego frakcje w niektórych gle-
bach uprawnych i leśnych. *Roczn.Glebozn.* 35, 11-22
- [145] Saa A., Trasar-Cepeda C.M., Gil-Sotres F., Carballas T. (1993): Changes in
soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fir-
res. *Soil Biol.Biochem.* 25, 9, 1123-1230
- [146] Sauerlandt W. (1960): Phosphor im Stalldünger. *Landwirtsch. Forsch. Son-
derheft.* 14, 38-42
- [147] Sądej W. (1992): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i na-
wozami mineralnymi na skład frakcyjny związków próchnicznych. *Mat. Konf.*
Nawozy Organiczne PAN-AR Szczecin 1, 283-287
- [148] Simbeni R., Tangemann K. i in. (1993): Import of phosphatidylserine into iso-
lated yeast mitochondria. *Biochim.Biophys.Acta* 1145, 1-7
- [149] Smeck N.K. (1973): Phosphorus: An indicator of pedogenetic weathering pro-
cesses.*Soil Sci.* 115, 199-206
- [150] Sparrow E.B., Sparrow S.D., Cochran V.L. (1993): Phosphorus and nitrogen
dynamics during field incubations in forest and fallow subarctic soils. *Biol.*
Fertil.Soils 16, 243-248
- [151] Sparrow E.B., Cochran V.L., Sparrow S.D. (1990): Phosphorus mineralization
in subarctic agricultural and forest soils. *Biol.Fertil.Soils* 10, 107-112
- [152] Speir T.W., Cowling J.C. (1991): Phosphatase activities of pasture plant and
soil: Relationship with plant productivity and soil P fertility index. *Biol. Fert.*
Soils 12, 189-194
- [153] Stewart J.W.B., Tiessen H. (1987): Dynamics of soil organic phosphorus. *Bio-
geochemistry* 4, 41-60
- [154] Strączyńska S., Maćkowiak Cz. (1988): Wpływ wieloletniego nawożenia gnojo-
wicą na fizyko-chemiczne właściwości gleb i plonowanie roślin. *Nawozy Or-
ganiczne PAN-AR Szczecin* 1, 168-173

- [155] Szagała J., Wróbel Z., Mazur T. (1984): Współdziałanie nawozów organicznych i mineralnych w zmianowaniu na niektóre właściwości gleby. Mat. Konf. Nawozy Organiczne. PAN - AR Szczecin 2, 21-27
- [156] Szczurek J. (1973): Wpływ wieloletniego nawożenia na zawartość związków fosforowych w glebie pod monokulturą żyta i ziemniaków. Roczn.Glebozn. 24/2, 429-477
- [157] Tabatabai M.A., Bremner J.M. (1969): Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol.Biochem. 1, 301
- [158] Tarafdar J.C., Jungk A. (1987): Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biol.Fertil. Soils 3, 199-204
- [159] Tarafdar J.C., Claassen N. (1988): Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. Biol.Fertil.Soiils 5, 308-312
- [160] Thomas R.L., Lynch D. (1960): Quantitive fractionation of organic phosphorus compounds in some Alberta soils. Can.J.Soil Sci. 40, 113-120
- [161] Trasar-Cepeda M.C., Gil-Sotres F., Zech W., Alt H.G. (1989): Chemical and spectral analysis of organic P forms in acid high organic matter soils in Galicia (N.W.Spain). Sci.Tot.Environm. 81/82, 429-436
- [162] Trasar-Cepeda M.C., Gil-Sotres F., Guitian-Ojea F. (1990): Relation between phosphorus fractions and development of soils from Galicia (N.W.Spain). Geoderma 27, 139-150
- [163] Trasar-Cepeda M.C., Carballas T., Gil-Sotres F., Blas E. (1991): Liming and the phosphatase activity and mineralization of phosphorus in an andic soil. Soil Biol. Biochem. 23, 3, 209-215
- [164] Van Diest A. (1968a): Biological immobilization of fertilizer phosphorus. I. Accumulation of soil organic phosphorus in coastal plain soils of New Jersey. Plant Soil 29, 241-247
- [165] Van Diest A. (1968b): Biological immobilization of fertilizer phosphorus. II. Evaluation of factors involved in organic phosphorus transformation. Plant Soil 29, 248-256
- [166] Udo E.J., Ogunwalle J.A. (1977): Phosphorus fractions in selected Nigeria soils. Soil Sci.Soc.Amer. J. 41, 1141-1146
- [167] Uzu F.O., Juo A.S.R., Fayem A.A.A. (1975): Forms of phosphorus in some important agricultural soils of Nigeria. Soil Sci. 120, 212-218
- [168] Veinot R.L., Thomas R.L. (1972): High molecular weight organic phosphorus complexes in soil organic matter inositol and metal content of various fractions. Soil Sci.Soc.Am.Proc. 36, 71-73
- [169] Vetter H., Klassink A. (1972): Untersuchungen zu den Grenzen der Anwendung von Schweine und Hühnergülle. Landw.Forsch.Sonderheft 27/1, 22-34
- [170] Walbridge M.R. (1991): Phosphorus availability in acid organic soils of the lower North Carolina coastal plain. Ecology 72/6, 2083-2100
- [171] Walker T.W. (1965): The significance of phosphorus in pedogenesis. w: Experimental Pedology, Proc.11th Easter Sch.Agric.Sci.Univ.Nott., 295-326

- [172] Wedekind P., Koriath H. (1969): Substanz und Nährstoffgehalt der Gülle. *Feldwirtschaft* 7, 319-320
- [173] Wenglikowska E. (1986): Działanie nawożenia mineralnego stosowanego na tle obornika w plonowaniu roślin w wieloletnim doświadczeniu. *Roczn. Glebozn.* 37, 2-3, 421-428
- [174] Wildflusz I.P. (1975): Frakcyjnyj sostaw organiczeskich fosfatow dlitielno udobrejemych dernowo-podzolistych poczw. *Agrochimija* 3, 36-40
- [175] Williams C.H., Anderson G. (1968): Inositol phosphates in some Australian soils. *Aust.J.Soil Res.* 6, 121-130
- [176] Williamson B., Alexander I.J. (1975): Acid phosphatase localized in the sheath of Beech mycorrhiza. *Soil Biol.Biochem.* 7, 195-198
- [177] Wójcik J. (1990): Starzenie się fosforanów nawozowych w różnych glebach. *Roczn.Glebozn.* 41, 1/2, 93-115

ZMIANY ZAWARTOŚCI FOSFORU ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH I JEGO FRAKCJI W GLEBIE WYWOŁANE WIELOLETNIM NAWOŻENIEM ORGANICZNYM

Streszczenie

Przeprowadzono badania mające na celu określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia organicznego na zawartość fosforu ogółem i fosforu związków organicznych oraz jego frakcji w glebie. Badania ilościowych zmian tych form fosforu przeprowadzono w aspekcie jednoczesnego pomiaru aktywności enzymatycznej oraz zawartości fosforu przyswajalnego dla roślin. Z uzyskanych zawartości C_{org} i P_{org} wyliczono ich stosunki liczbowe mające na celu określenie zależności pomiędzy zawartością głównych związków fosforowych znajdujących się w podcyklu biologicznym a fosforem występującym w roztworze glebowym.

Do zrealizowania tych celów badań wybrano glebę z dwu doświadczeń polowych, wieloletnich prowadzonych przez IUNG w Puławach na terenie RZD w Baborówku. W doświadczeniu I, w nawożeniu gleby płowej typowej o składzie granulometrycznym gliny średniej i piasku słabogliniastego, uwzględniono wzrastające dawki gnojowicy bydlęcej i trzody chlewnej, które pokrywały zapotrzebowanie roślin na azot w 50%, 100% i 200% dawki stosowanej w nawozach mineralnych. W doświadczeniu 2, stosowano wzrastające dawki obornika i gnojowicy (20,40,60,80 t · ha⁻¹) oraz zmianowanie mające na celu zwiększenie lub zmniejszenie zawartości materii organicznej gleby. Próby zostały pobrane z dwóch warstw (5-15 i 25-35 cm) w 15. roku trwania pierwszego i 8. roku trwania drugiego doświadczenia.

Fosfor związków organicznych, jak również fosfor frakcji lipidowej, kwasów nukleinowych i inozytolu gromadził się zwykle w większych ilościach w glebie gliniastej, w porównaniu do zawartości fosforu którą oznaczono w glebie piaszczystej. Nawożenie gleby gnojowicą bydlęcą powodowało wyraźniejsze zwiększenie się zawartości oznaczanych form fosforu zawartego w glebie w porównaniu do nawożonych gnojowicą trzody chlewnej. Również wyższą zawartość P_{org} i fosforu w wydzielonych frakcjach stwierdzono w glebie nawożonej obornikiem ze wzbogacającym wariantem zmianowania w porównaniu do gleby nawożonej gnojowicą.

Po przeprowadzeniu analizy statystycznej uzyskanych wyników można stwierdzić, że wieloletnie nawożenie obornikiem i gnojowicą istotnie wpłynęło na panujące w glebie warunki chemiczno-biochemiczne. Istotność różnic w zawartości badanych cech stwierdzono w zależności od gatunku gleby, rodzaju stosowanego nawozu i jego dawki oraz rodzaju zmianowania.

Uzyskano wysoko istotne wartości współczynników korelacji ($r=0,675^{**}-0,990^{**}$) wyliczonych dla zawartości fosforu w wydzielonych frakcjach, fosforu przyswajalnego, fosforu związków organicznych i węgla organicznego a aktywności fosfatazy kwaśnej. Wartości otrzymanych stosunków C_{org}/P_{org} oraz poziom aktywności fosfatazy pozwalają przypuszczać, że w badanych glebach istniały warunki sprzyjające procesom mineralizacji fosforu organicznego.

CHANGES OF ORGANIC PHOSPHORUS AND ITS FRACTIONS CONTENT IN SOIL AS AFFECTED BY LONG-TERM ORGANIC FERTILIZATION

Summary

The influence of varied slurry and FYM manuring of soil on the accumulation of organic phosphorus was investigated. Distribution of organic phosphorus in separated fractions was also examined. Quantitative studies were accompanied by acid phosphatase activity and available phosphorus content assays. The obtained data were used to calculate the C/P ratio in order to determine the relation between total organic phosphorus content and its part found in the soil solution.

Soil was sampled at the IUNG Experimental Station in Baborówko. The first part of the experiment consisted of loamy and sandy soils manured with cattle and pig slurry for many years. Various rates of these slurries were used (50%, 100%, 200% N in slurry). The second part included the sandy loam light soil manured with FYM and pig slurry (20,40,60,80 t · ha⁻¹). This experiment was conducted at the Experimental Station in 1980 with two variants of crop rotation. The samples were taken from two depths (5-15 and 25-35 cm) in the 15th year of the first experiment and the 8th year of the second experiment.

Total organic phosphorus as well as the lipid, nucleic acids and inositol phosphorus fractions were accumulated more efficiently by loamy soil than by sandy soil. Usually higher amounts of phosphorus forms were found in soil manured with cattle slurry, in comparison with pig slurry-manured soil. Higher values of P_{org.} and phosphorus in separated fractions were also found in the FYM manured soil with the enriching variant of crop rotation in comparison with slurry-manured soil.

Statistical analysis of the obtained results demonstrated a significant influence of long-term manuring with FYM and slurry on chemical and biochemical conditions occurring in the soil.

The LSD values disclosed significant differentiation in the amount of determined P_{org.} and organic phosphorus in separated fractions. The determined relations depended on soil type, soil texture, the kind and amount of slurry and manure applied and the variant of crop rotation.

High correlation coefficients ranging 0,675** - 0,990** were calculated for these factors. Usually P_{org.} in separated fractions and available phosphorus were correlated with phosphatase activity. The C_{org.}/P_{org.} ratio and the levels of phosphatase activity indicated that the examined soils provide proper conditions for the P_{org.} mineralization process.

P

80416
Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy

80416