

PROGRAM OCHRONY WÓD PRZED ZANIECZYSZCZENIAMI POWODOWANYMI PRZEZ ZWIĄZKI FOSFORU ZE ŹRÓDEŁ ROLNICZYCH



**PROGRAM OCHRONY WÓD
PRZED ZANIECZYSZCZENIAM
POWODOWANYMI PRZEZ ZWIĄZKI FOSFORU
ZE ŹRÓDEŁ ROLNICZYCH**

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (81) 4786 700, 4786 800; fax: (81) 4786 900
e-mail: iung@iung.pulawy.pl www.iung.pulawy.pl
Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Opracowanie pod redakcją:

Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu
Badawczego (IUNG-PIB)

przy współpracy z:

Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW),
Instytutem Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowym
Instytutem Badawczym (IERiGŻ-PIB),
Instytutem Ogrodnictwa – Państwowym Instytutem Badawczym (IO-PIB),
Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym – Państwowym Instytutem Badawczym
(ITP-PIB),
Instytutem Zootechniki – Państwowym Instytutem Badawczym (IZ-PIB)

Autorzy:

IUNG-PIB – *dr Piotr Skowron, dr hab. Dorota Pikuła, dr Tamara Jadczyzyn,
dr Jolanta Bojarszczuk, dr hab. Eliza Gawęł, mgr Beata Jurga,
prof. dr hab. Anna Podleśna, dr hab. Agnieszka Rutkowska, dr Damian Wach*

IERiGŻ-PIB – *mgr Jolanta Sobierajewska*

IO-PIB – *dr hab. Jadwiga Treder, dr hab. Paweł Wójcik, dr Jacek Nowak,
dr Jacek Dyśko*

ITP-PIB – *prof. dr hab. Stefan Pietrzak, dr Dominika Juszowska*

IZ-PIB – *dr hab. Jacek Walczak*

Projekt okładki: *Dawid Ryski*

Opracowanie techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

ISBN 978-83-7562-396-3

Publikacja elektroniczna

Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych”
z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

SPIS TREŚCI

STOSOWANA TERMINOLOGIA.....	5
UŻYTE SKRÓTY.....	11
1. WSTĘP.....	13
2. DYNAMIKA FOSFORU W AGROEKOSYSTEMACH	14
2.1. Przyczyny i skutki nadmiaru fosforu w wodach i glebie	14
2.2. Zawartość fosforu w glebach użytkowanych rolniczo	15
2.3. Klasy zasobności gleb w fosfor.....	16
2.4. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od pH gleby	18
2.5. Fosfor przyswajany w glebie a ochrona wód	18
3. WSKAŹNIKI DO DIAGNOZOWANIA ZAGROŻENIA WÓD FOSFOREM PRZENIKAJĄCYM DO NICH Z GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO	19
3.1. Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji roślinnej	19
3.2. Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji zwierzęcej	21
3.3. Czynniki warunkujące wymywanie, spływ powierzchniowy i erozję gleby	26
3.4. Ocena ryzyka wymywania, spływu powierzchniowego i erozji wodnej	27
3.5. Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek wymywania, spływu powierzchniowego, erozji i produkcji roślinnej.....	28
3.6. Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek produkcji zwierzęcej	31
4. MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA STRAT FOSFORU W GOSPODARSTWIE	36
4.1. Miejsca występowania strat fosforu	36
4.2. Możliwości przeciwdziałania stratom fosforu na terenie zagrody i w jej otoczeniu	38
5. RAMY PRAWNE I REKOMENDACJE DOTYCZĄCE ZARZĄDZANIA FOSFOREM W ROLNICTWIE I OCHRONY WÓD, NA POZIOMIE KRAJOWYM I MIĘDZYNARODOWYM	41
5.1. Aktualne przepisy prawa w Polsce i Unii Europejskiej	41
5.2. Strategie Unii Europejskiej i Wspólna Polityka Rolna	44
5.3. Konwencja helsińska, Plan Działań dla Morza Bałtyckiego, zalecenia Komisji Helsińskiej (HELCOM)	46
6. DAWKI, SPOSOBY I TERMINY NAWOŻENIA FOSFOREM.....	49
6.1. Grunty orne.....	49
6.2. Trwałe użytki zielone	53
6.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywnicze i ozdobne	55

7. INTER-NAW – JAKO NARZĘDZIE DO PLANOWANIA NAWOŻENIA FOSFOREM.....	64
8. PRZYKŁADY OBLICZEŃ PLANU NAWOŻENIA FOSFOREM	67
8.1. Grunty orne.....	67
8.2. Trwałe użytki zielone	68
8.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywnicze i ozdobne	69
9. PODSUMOWANIE DOBRYCH PRAKTYK W ZAKRESIE NAWOŻENIA FOSFOREM.....	72
9.1. Grunty orne.....	72
9.2. Trwałe użytki zielone	74
9.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywne i ozdobne	76
10. KONSEKWENCJE EKONOMICZNE DLA GOSPODARSTW W ZWIĄZKU Z RACJONALNYM STOSOWANIEM P	79
11. LITERATURA.....	82
SPIS TABEL.....	88
SPIS RYSUNKÓW	90
SPIS FOTOGRAFII.....	90
ZAŁĄCZNIK.....	91

STOSOWANA TERMINOLOGIA

Aerator – maszyna rolnicza stosowana w produkcji kompostu, jej działanie polega na przerzucaniu materii organicznej, unoszeniu, mieszaniu, napowietrzaniu i formowaniu z niej pryzmy o jak najmniejszej powierzchni.

Apatyt – minerał fosforowy, surowiec w procesie produkcji nawozów sztucznych, zapalek, kwasu fosforowego.

Droga przepędowa – droga wewnątrz gospodarstwa przeznaczona do przemieszczania się zwierząt, łącząca oborę z innym miejscem ich przebywania, np. pastwiskiem.

Dyrektywa azotanowa – Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG).

Elastyczne zbiorniki na gnojowicę (tzw. worki na gnojowicę) – zbiorniki z konstrukcją namiotową wykonane z tkanin technicznych i tworzyw sztucznych; pozwalają na bezemisyjne przechowywanie gnojowicy.

Erozja – zespół procesów degradacyjnych gleby obejmujących przeobrażenia rzeźby terenu, pokrywy glebowej i stosunków wodnych pod wpływem działania wody, wiatru i sił grawitacji.

Europejski Zielony Ład – pakiet inicjatyw politycznych, którego celem jest skierowanie UE na drogę transformacji ekologicznej i osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r.

Eutrofizacja (gr. *eutrophía* „dobre odżywianie”) – proces wzbogacania się zbiorników wodnych w substancje odżywcze – pierwiastki biogenne, głównie azot i fosfor, a także potas i sód, powodujący nadmierną produkcję biomasy glonów (co objawia się tzw. zakwitami glonów i zmętnieniem wody) i prowadzący do eutrofizmu.

Fosfor – pierwiastek chemiczny słabo przemieszczający się w glebie, jeden z głównych makroskładników koniecznych do życia roślin i innych organizmów samożywnych, limituje wzrost roślin. Na glebach kwaśnych występuje w postaci fosforanów żelaza, glinu i manganu, a na zasadowych – fosforanów wapnia i magnezu.

Fosfor całkowity – obejmuje wszystkie nieorganiczne i organiczne formy fosforu znajdujące się w roztworze glebowym i w fazie stałej gleby.

Fosfor przyswajalny – obejmuje formy fosforu możliwe do pobrania przez rośliny zarówno bezpośrednio przyswajalne, jak i uruchamiane z zasobów glebowych. W Polsce oznaczany metodą Egnera-Riehma DL.

Fosforyty – minerał fosforowy, jeden z głównych surowców w produkcji nawozów fosforowych i kwasu fosforowego.

Gnojowica – nawóz naturalny płynny, mieszanina kału i moczu zwierząt z domieszką wody.

Gnojówka – nawóz naturalny płynny, odciek z obornika (przefermentowany mocz zwierząt).

INTER-NAW – nowe narzędzie informatyczne służące opracowaniu kompleksowego planu nawożenia roślin głównymi składnikami pokarmowymi, w tym fosforem.

Kompostowany obornik – w procesie kompostowania napowietrza się przyręcznym obornikiem ładowaczem do obornika, ładowarką czołową lub specjalnym aeratorem. W trakcie kompostowania można dodać preparaty mikrobiologiczne przyspieszające i stabilizujące ten proces. Kompostowany obornik znacznie zmniejsza swoją objętość i masę, posiada konsystencję „próchnicy”, co ułatwia równomierne rozłożenie nawozu na polu i transport (znacznie mniejsza masa w porównaniu z obornikiem świeżym).

Laguna – miejsce przechowywania gnojowicy utworzone przez zagłębienie w ziemi wyłożone nieprzepuszczalną folią lub geowłókniną z uformowanymi z ziemi wałami brzeżnymi.

Metoda Egnera-Riehma DL – metoda powszechnie stosowana w Polsce do oceny zawartości fosforu i potasu przyswajalnego w glebach, z wykorzystaniem jako roztworu ekstrakcyjnego mieszaniny mleczanu wapniowego i kwasu solnego.

Metoda Mehlich 3 – metoda chemiczna pozwalająca na zbadanie w jednym wyciągu glebowym nie tylko zawartości podstawowych makroelementów, takich jak fosfor, potas i magnez, ale również innych ważnych składników pokarmowych – siarki, wapnia oraz takich mikroelementów, jak bor, miedź i inne. Wykorzystanie tej metody w analizie chemicznej pozwala na znaczne zmniejszenie zużycia energii i wody, a także wyraźne obniżenie pracochłonności i kosztów odczynników w porównaniu z metodami obecnie stosowanymi (Egnera-Riehma DL, Schachtschabel, Rinkisa).

Miejsce do przechowywania nawozów naturalnych – zbiorniki na płynne nawozy naturalne (gnojówkę lub gnojowicę), płyta ze zbiornikiem na odciek i instalacją odprowadzającą odciek z płyty do zbiornika lub inne miejsce przechowywania obornika lub pomiotu ptasiego specjalnie przygotowane w tym celu z materiałów szczelnych i nieprzepuszczalnych, zabezpieczających przed przedostawaniem się odcieków do wód lub gruntu.

Mineralizacja – rozkład materii organicznej prowadzący do powstania prostych stałych związków nieorganicznych zawierających między innymi składniki pokarmowe konieczne dla wzrostu roślin.

Mobilizacja fosforu – proces przechodzenia związków fosforu niedostępnych dla roślin w formy, które rośliny mogą zasymilować, głównie poprzez mineralizację

materii organicznej, co poprawia dostępność związków fosforu dla roślin; procesem antagonistycznym jest uwstecznianie fosforu.

Nawozy mineralne – niebędące produktami nawozowymi UE nawozy nieorganiczne produkowane na drodze przemian chemicznych, fizycznych lub przerobu surowców mineralnych, w tym wapno nawozowe, do którego zalicza się wapno nawozowe zawierające magnez, a także niektóre nawozy pochodzenia organicznego.

Nawozy naturalne – nawozy pochodzące od zwierząt gospodarskich (obornik, gnojówka, gnojowica, pomiot ptasi), przeznaczone do rolniczego wykorzystania, w tym również w formie przetworzonej. Zawierają one niezbędne dla roślin składniki pokarmowe w postaci związków organicznych, które po wcześniejszej mineralizacji substancji organicznej mogą być pobierane przez rośliny, dlatego działanie tych nawozów jest długotrwałe. Nawozy naturalne polepszają właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby.

Nawozy organiczne – niebędące produktami nawozowymi UE nawozy wyprodukowane z substancji organicznej lub z mieszanin substancji organicznych, w tym komposty, a także komposty wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic.

Obniżenie jakości wody jezior i zbiorników rekreacyjnych na skutek nadmiernej eutrofizacji – zmiana podstawowych parametrów tych wód prowadząca do: wzrostu całkowitej zawartości azotu i fosforu (świadczącego o jej żyzności), zmniejszonego nasycenia wody tlenem (świadczącego o stanie równowagi biologicznej), wzrostu poziomu chlorofilu (wskazującego na intensywność rozwoju fitoplanktonu w wodzie), zmian przewodnictwa elektrolitycznego (określających koncentrację elektrolitów, tj. kationów i anionów) oraz zmniejszenia przejrzystości wody (świadczącej m.in. o stopniu procesu eutrofizacji).

Obniżenie jakości wody pitnej na skutek nadmiernej eutrofizacji – uwalnianie do wody metabolitów wtórnych glonów powstałych w wodach wskutek nadmiaru biogenów, w tym fosforu.

Obora z płytką ściółką – system utrzymania zwierząt, gdzie odchody wraz ze ściółką są usuwane z podłogi, w zależności od systemu, codziennie lub kilka razy dziennie do miejsca składowania. Po usunięciu odchodów rozścielana jest słoma. Procesy fermentacyjne obornika zachodzą w miejscu składowania poza oborą.

Obora z głęboką ściółką – system utrzymania zwierząt oparty na części legowiskowej zlokalizowanej w zagłębieniu około 0,7–1,1 m, ze swobodnym dostępem zwierząt. Słoma jest rozścielana codziennie, a po nagromadzeniu znacznej ilości obornika (powyżej 40 cm), zaczynają zachodzić w nim procesy fermentacyjne. W systemie tym obornik z budynku jest zwykle usuwany 2–3 razy w ciągu roku.

Obornik – mieszanina kału i moczu zwierząt wraz ze ściółką, w szczególności słomą, trocinami lub korą.

Odchody zwierzęce – wszelkie odchody wydalone przez zwierzęta gospodarskie lub mieszanina ściółki i odchodów wydalanych przez te zwierzęta, także w formie przetworzonej.

Okólnik, wybieg dla zwierząt – ogrodzone, zadarnione lub utwardzone miejsce bezpośrednio przy budynku inwentarskim w celu spaceru i przebywania zwierząt na świeżym powietrzu.

Płyta obornikowa – płyta do przechowywania nawozów naturalnych stałych zabezpieczająca przed wyciekami do gruntu, ze zbiornikiem na odciek i instalacją odprowadzającą odciek z płyty do zbiornika. Dach lub przykrycie nad płytą obornikową ma ograniczać dostęp wody opadowej do przechowywanego obornika, która mogłaby spowodować wyciek składników pokarmowych.

Pomiot ptasi – nawóz naturalny stały (mieszanina odchodów drobiu i ściółki) o wysokiej zawartości suchej masy i koncentracji NPK, bogaty w mikroelementy.

Potrzeby nawozowe – potrzeby pokarmowe roślin zmodyfikowane w zależności od aktualnej zawartości przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie. W systemie doradztwa nawozowego wyznacza się je jako iloczyn prognozowanego pobrania składników przez rośliny i odpowiedniego współczynnika korekcyjnego dotyczącego zasobności gleby.

Pryzmy kiszonki – najtańszy i najprostszy sposób przechowywania kiszzonek w pryzmie na podkładzie z folii, podatny na straty składników pokarmowych.

Ramowa dyrektywa wodna – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (2000/60/WE).

Silosy kiszonkowe – bezpieczny sposób przechowywania kiszzonek, umożliwiający dobre ubicie zakiszanej masy w silosie, ograniczający dostęp powietrza, zmniejszający straty składników pokarmowych, ułatwiający zmechanizowanie załadunku i ubijanie masy, ograniczający zanieczyszczenie środowiska przez odprowadzanie wycieku soków kiszonkowych do zbiornika.

Spływ powierzchniowy – spływ grawitacyjny wody w powierzchniowej warstwie gleby, spływ odcieków z płyt gnojowych, okólników, dróg przepędowych w kierunku zbiorników wodnych, jezior, rzek.

Stawy sedymentacyjne – zbiorniki wodne wykorzystywane do retencjonowania (zatrzymywania) wody wraz ze związkami fosforu, azotu i zanieczyszczeniami ze spływu powierzchniowego z pól i gospodarstwa oraz dróg przepędowych. Najczęściej budowane są łącznie zbiornik sedymentacyjny (tu zachodzi główny proces sedymentacji) i filtr-mokradło przed wylotem ze stawu z roślinami higrofilnymi zatrzymującymi mniejsze cząstki zanieczyszczeń i zwiększającymi sedymentację.

Straty fosforu – utrata związków fosforu wniesionych w celu odżywienia roślin wskutek erozji, przenikania w głąb profilu glebowego czy też uwsteczniania fosforu.

Straty fosforu nagromadzonego w glebie – uwolnienie fosforu i przekształcenie do form, które ulegają wymyciu w głąb profilu do wód gruntowych i powierzchniowych w formie spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego, a dalej przepływ z wodami do zbiorników śródlądowych, rzek oraz mórz.

Strefy martwych wód (martwe strefy) – obszary wód o zbyt niskiej zawartości tlenu dla życia w nim organizmów roślinnych i zwierzęcych oddychających tlenem. Powstają wskutek nadmiernej eutrofizacji zbiorników wodnych zarówno śródlądowych, jak i otwartych mórz i obejmują rozległe partie wód głębinowych i przydennych – często o powierzchni kilkuset, a nawet kilku tysięcy kilometrów kwadratowych, powodując śmierć żyjących tam organizmów (ryb, bezkręgowców bentosowych) i wymierne straty ekonomiczne.

Strefy buforowe – są to pasy gruntu między użytkami rolnymi i ciekami lub zbiornikami wodnymi z trwałą szatą roślinną (głównie trawy, rośliny bobowate występujące na łąkach i pastwiskach, krzewy), pełniące funkcję filtrów zanieczyszczeń spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego (zatrzymują erodowany materiał glebowy, związki azotu i fosforu oraz inne zanieczyszczenia gleby).

Sztuczne mokradło – specjalnie zbudowany płytki zbiornik wodny zawierający roślinność wynurzoną, przeznaczony do odbierania i oczyszczania zanieczyszczonych azotem i fosforem oraz innymi składnikami spływów wód powierzchniowych z pól i obszarów gospodarskich.

Ścieki bytowe – ścieki z budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego oraz użyteczności publicznej powstające w wyniku ludzkiego metabolizmu lub funkcjonowania gospodarstw domowych oraz ścieki o zbliżonym składzie pochodzące z tych budynków.

Ścieki komunalne – ścieki bytowe lub mieszanina ścieków bytowych ze ściekami przemysłowymi albo wodami opadowymi lub roztopowymi, odprowadzane urządzeniami służącymi do realizacji zadań własnych gminy w zakresie kanalizacji i oczyszczania ścieków komunalnych.

Ścieki przemysłowe – ścieki niebędące ściekami bytowymi albo wodami opadowymi lub roztopowymi, powstałe w związku z prowadzoną przez zakład działalnością handlową, przemysłową, składową, transportową lub usługową, a także będące ich mieszaniną ze ściekami innego podmiotu, odprowadzane urządzeniami kanalizacyjnymi tego zakładu.

Uwstecznianie fosforu – łączenie się fosforu w trudno rozpuszczalne związki z glinem i żelazem w warunkach gleb kwaśnych ($\text{pH} < 6,5$), a w środowisku zasadowym ($\text{pH} > 7,2$) – z wapniem, w wyniku czego tworzą się niedostępne dla roślin fosforany wapniowe.

Współczynnik korekcyjny – współczynnik, o który pomniejszana lub zwiększana jest dawka nawozów. Współczynnik ten ma wartość mniejszą od 1 na glebach o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości składników, co oznacza, że potrzeby nawozowe są w tym przypadku mniejsze od potrzeb pokarmowych roślin. Na glebach o niskiej i bardzo niskiej zawartości składników współczynnik korekcyjny jest większy od 1.

Wycieki z kiszonki – wycieki soków z masy kiszonkowej powstałe w wyniku złego zabezpieczenia silosu z kiszonką.

Wymagania pokarmowe roślin – ilość składników pobieranych przez rośliny dla wytworzenia określonego plonu. Ilość tę można obliczyć na podstawie przewidywanego plonu oraz tzw. pobrania składników na jednostkę plonu (produktu głównego i ubocznego) danego gatunku rośliny uprawnej. Pobranie składników pokarmowych określone jest na podstawie wyników analiz chemicznych materiału roślinnego z pól produkcyjnych i doświadczalnych.

Wymywanie do wód gruntowych – zjawisko pionowego przesiąkania wody w profilu glebowym do wód gruntowych i powierzchniowych wraz z rozpuszczonymi składnikami pokarmowymi.

Zbiornik na płynne nawozy naturalne (gnojówkę, gnojowicę) – zbiornik, w którym szczelne dno i ściany wykonane są z nieprzepuszczalnych materiałów zabezpieczających przed przedostawaniem się płynów do wód lub gruntu; w celu ograniczenia emisji gazowych wskazane jest zastosowanie pokrywy.

UŻYTE SKRÓTY

BSAP – Bałtycki Plan Działania (Baltic Sea Action Plan);

CAL – test fosforu przyswajalnego metodą Schüllera (calcium acetate/lactate);

DA – dyrektywa azotanowa;

GAEC – normy dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (good agricultural and environmental conditions);

DL – test fosforu i potasu przyswajalnego metodą Egnera-Riehma (double-lactate);

EZŁ – Europejski Zielony Ład;

HELCOM – Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku – Komisja Helsińska;

KE – Komisja Europejska;

P – forma pierwiastkowa fosforu (ilość P = ilość $P_2O_5 \times 0,436$);

P_2O_5 – forma tlenkowa fosforu (ilość P_2O_5 = ilość P $\times$ 2,291);

RDW – ramowa dyrektywa wodna;

SMR – podstawowe wymogi z zakresu zarządzania (statutory management requirement);

UE – Unia Europejska;

WPR – Wspólna Polityka Rolna.

1. WSTĘP

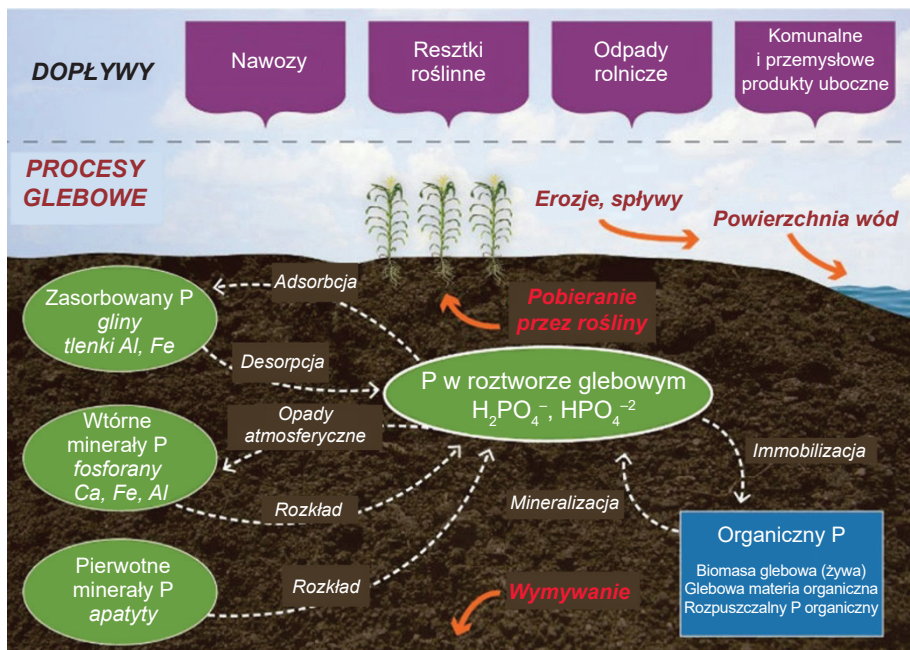
Intensyfikacja produkcji rolniczej skutkująca stosowaniem wysokich dawek nawozów (gdzie składniki pokarmowe nie są w pełni wykorzystywane przez rośliny), jak również wysoką koncentracją produkcji zwierzęcej (co powoduje trudności z prawidłowym zagospodarowaniem nawozów naturalnych), prowadzi do narastającego problemu zanieczyszczenia gleb i wód m.in. związkami fosforu. Nadmiar tego pierwiastka jest bowiem wypłukiwany z pól uprawnych oraz zabudowań inwentarskich do wód gruntowych i powierzchniowych, a wysoka zawartość fosforu może powodować nadmierną eutrofizację zbiorników wodnych. Rolnictwo jest obecnie oceniane jako istotne źródło ładunków fosforu wprowadzanych do Morza Bałtyckiego, przyczyniając się do jego degradacji. Konieczne jest zatem podjęcie działań na poziomie legislacyjnym i w praktyce rolniczej, mających na celu ograniczenie tych niekorzystnych zjawisk. Można to osiągnąć poprzez egzekwowanie przestrzegania określonych przepisów prawa oraz ustanowienie prośrodowiskowych standardów i zasad postępowania.

Fosfor jest jednym z podstawowych makroskładników stosowanych w nawożeniu gleby i żywieniu roślin. Zaliczany jest on do najdroższych makroelementów, ponieważ na skalę przemysłową wytwarza się go z fosforytów, których zasoby surowcowe są bardzo ograniczone, a cykl obiegu tego pierwiastka w przyrodzie wynosi od 20 000 do 100 000 lat.

Głównym celem niniejszego opracowania jest zwiększenie świadomości społecznej w obszarze zanieczyszczenia wód i zasadności ich ochrony na poziomie gospodarstwa rolnego. Scharakteryzowano przyczyny i skutki nadmiaru fosforu w glebie i wodach oraz przedstawiono skuteczne w praktyce narzędzia redukujące zanieczyszczenia wód pochodzące ze źródeł rolniczych w Polsce. Wskazano również ramy ekonomiczne, prawne na poziomie krajowym i międzynarodowym, a także rekomendacje dotyczące zarządzania fosforem w rolnictwie.

2. DYNAMIKA FOSFORU W AGROEKOSYSTEMACH

2.1. Przyczyny i skutki nadmiaru fosforu w wodach i glebie



Rys. 2.1.1. Obieg fosforu w glebie^[23]

Przyczyny nadmiaru fosforu w glebach i wodach^[50, 65, 66]:

- stosowanie zbyt dużych dawek fosforu, zwłaszcza w formie nawozów naturalnych, powodujące jego nagromadzenie się w warstwie ornej gleby;
- nieracjonalne stosowanie znacznych dawek nawozów fosforowych (szczególnie wieloskładnikowych) na gleby z natury zasobne w ten składnik, co zwiększa ryzyko jego rozproszenia do środowiska i przenikania do wód;
- pozostawianie w glebie resztek roślinnych, nieprzetworzonego obornika, kompostów oraz innych produktów rolniczych wchodzących w skład łańcucha pokarmowego;
- składowanie i magazynowanie na terenie gospodarstwa odchodów zwierząt (obornik, gnojówka i gnojowica), które są źródłem nagromadzania znacznych ilości fosforu w profilach gleb na tych terenach;
- miejskie i przemysłowe produkty uboczne (ścieki i osady);
- dodatki mineralne do pasz stosowane w gospodarstwach rolnych;

- opad atmosferyczny wnoszący ładunek fosforu do wód i gleb;
- regulacja odczynu gleb do zakresu pH 6–7, przy którym jest największa mobilność fosforu (nie jest związany przez jony Fe, Al i Ca).

Skutki nadmiaru fosforu w glebie^[22, 50]:

- zakłócenie normalnego metabolizmu roślin;
- trudności z pobieraniem przez rośliny cynku, miedzi, żelaza i wapnia;
- słabsze plonowanie roślin;
- negatywne oddziaływanie na skład i funkcje mikroorganizmów glebowych;
- obniżenie jakości pastwisk i użytków zielonych.

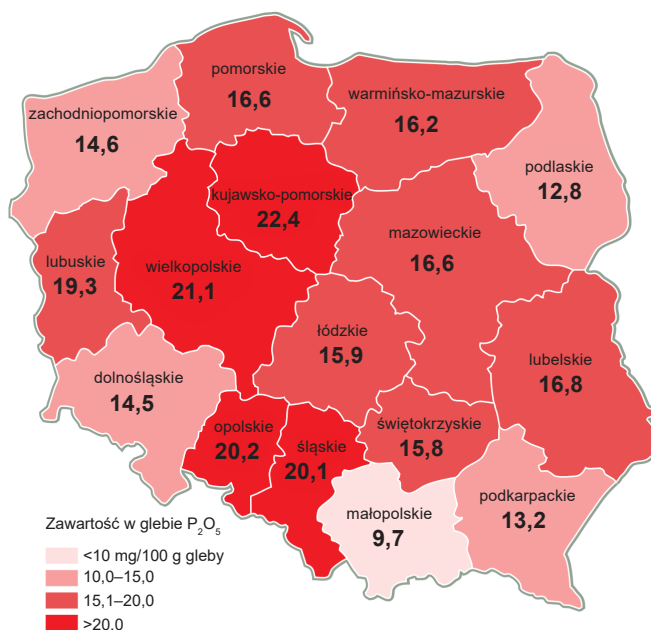
Ujemne skutki nadmiaru fosforu w wodach to powstawanie osadu dennego i warunków beztlenowych, które mają wpływ na^[50, 65, 66]:

- zmniejszenie bioróżnorodności oraz zmiany w roślinach i zwierzętach występujących w danym środowisku;
- zmniejszenie liczby gatunków czułych ekologicznie i zwiększenie gatunków tolerancyjnych;
- pogłębienie mętności wody;
- wydzielanie siarkowodoru, metanu i innych substancji trujących;
- zwiększenie stężenia materii organicznej;
- zwiększenie zawartości fosforanów w wodach powierzchniowych;
- nadmierną zawartość fosforanów w rzekach i morzach (eutrofizacja wód, powstawanie tzw. stref martwych w Morzu Bałtyckim);
- obniżenie jakości wody pitnej pobieranej z rzek;
- obniżenie jakości wody jezior i zbiorników rekreacyjnych (powstawanie dużej biomasy glonów w wodach).

2.2. Zawartość fosforu w glebach użytkowanych rolniczo

Badania monitoringowe prowadzone przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze dowodzą, że w Polsce przeważają gleby zasobne w fosfor, a przeciętna zawartość tego pierwiastka w warstwie ornej wynosi $16,9 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby. Na glebach takich zaleca się oszczędne stosowanie nawozów zawierających fosfor, w dawkach pomniejszonych w stosunku do planowanych o $30\text{--}40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$. Ponadto wyniki wspomnianych badań pokazują, że na przestrzeni lat przybywa gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu kosztem gleb o zawartości bardzo niskiej i niskiej. W czterech województwach przeciętna zawartość fosforu przyswajalnego

wynosi 20,1–22,4 mg $P_2O_5 \cdot 100\text{ g}^{-1}$ gleby i jedynie w województwie małopolskim kształtuje się na poziomie zawartości niskiej. Wynika to w dużej mierze z przyzwyczajenia rolników do stosowania nawozów wieloskładnikowych bez badania gleby. Praktyka taka prowadzi do postępującej kumulacji fosforu w warstwie ornej, co nie jest korzystne ze względów środowiskowych i ekonomicznych. Należy mieć na uwadze, że pewne ilości fosforu wnoszone są do gleby z nawozami naturalnymi. Choć nawozów tych w Polsce ubywa, to szacuje się, że w skali kraju wprowadza się do gleby średnio 17,3 kg P_2O_5 na hektar użytków rolnych. Oczywiście ładunek fosforu w nawozach naturalnych różni się w poszczególnych województwach i jest związany z obsadą zwierząt. W latach 2018–2019 najwięcej fosforu, bo ok. 35,7 kg $P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, wnoszono z nawozami naturalnymi na Podlasiu, a najmniej, bo zaledwie ok. 5,5 kg $P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, w województwie zachodniopomorskim.



Rys. 2.2.1. Przeciętna zawartość fosforu w glebach Polski w latach 2008–2016^[62]

2.3. Klasy zasobności gleb w fosfor

Podstawą racjonalnego nawożenia fosforem jest ocena zasobności gleby w ten pierwiastek. W Polsce, w badaniach agrochemicznych oznaczany jest tzw. fosfor przyswajalny, przez co określa się jego część ulegającą ekstrakcji z gleby mieszaniną mleczanu wapniowego i kwasu solnego o pH 3,5 ($\pm 0,5$). Metoda Egnera-Riehma DL znajduje powszechne zastosowanie w praktyce i pozwala określić zawartość łatwo rozpuszczalnych form fosforu, a następnie ocenić na tej podstawie zasobność gleby. Do celów doradztwa rolniczego stosuje się 5-stopniową wycenę zawartości

fosforu przyswajalnego w glebie, która nie wymaga uwzględnienia kategorii agromomicznej gleby (tab. 2.3.1).

Tabela 2.3.1. Klasy zasobności fosforu przyswajalnego w glebie^[2]

Klasa zasobności	Zasobność	Gleby mineralne	Gleby węglanowe*
		mg P ₂ O ₅ · 100 g ⁻¹ gleby (mg P · 100 g ⁻¹ gleby)	
V	bardzo niska	do 5,0 (do 2,2)	do 5 (do 2,2)
IV	niska	5,1–10,0 (2,3–4,4)	5,1–10,0 (2,3–4,4)
III	średnia	10,1–15,0 (4,5–6,6)	10,1–20,0 (4,5–8,8)
II	wysoka	15,1–20,0 (6,7–8,8)	20,1–40,0 (8,9–17,5)
I	bardzo wysoka	od 20,1 (od 8,9)	od 40,1 (od 17,6)

*wyznaczone na podstawie zmodyfikowanej metody Egnera-Riehma DL

Metoda Egnera-Riehma DL pozwala na określenie zaledwie dwóch pierwiastków (oprócz fosforu także przyswajalnego potasu), stąd tendencja do zastępowania jej ekstrakcją z gleby składników mineralnych w wyciągu Mehlich 3, dzięki której w jednym rozworze można oznaczyć kilka makro- i mikrośladników pokarmowych. W przeciwieństwie do metody Egnera-Riehma DL klasy zawartości fosforu przyswajalnego określone zostały z uwzględnieniem odczynu gleby (tab. 2.3.2)

Tabela 2.3.2. Klasy zasobności gleb w fosfor przyswajalny wyznaczone dla metody Mehlich 3^[31]

Odczyn	Klasy zasobności gleby				
	mg P · kg ⁻¹ gleby				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo kwaśny	<50	50–110	111–185	187–262	>262
Kwaśny	<49	49–103	104–158	159–215	>215
Lekko kwaśny	<47	47–99	100–152	153–207	>207
Obojętny	<27	27–54	55–75	76–99	>99
Zasadowy	<27	27–54	55–75	76–99	>99

Należy pamiętać, że duże plony roślin można uzyskać na glebach o co najmniej średniej zawartości fosforu i uregulowanym odczynie gleby. Na glebach ubogich w ten pierwiastek stosowanie zbyt małych dawek nawozów fosforowych może stać

się czynnikiem minimum, silnie ograniczającym wielkość plonów uprawianych roślin oraz zmniejszającym efektywność techniczną i ekonomiczną nawożenia.

2.4. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od pH gleby

W glebie występuje kilkaset różnych związków fosforu – mineralnych i organicznych, które w większości są niedostępne dla roślin. Formy organiczne fosforu podlegają rozkładowi i przemianie do nieorganicznych. Z kolei rozkład biomasy z udziałem mikroorganizmów umożliwia przejście fosforu do roztworu, z którego może zostać wytrącony w formie mineralnej. Rośliny pobierają z gleby, a właściwie z roztworu glebowego, wyłącznie rozpuszczalne jony fosforanowe H_2PO_4^- oraz HPO_4^{2-} . Do najważniejszych czynników wpływających na przemiany fosforu w glebie należą odczyn oraz obecność innych jonów w roztworze glebowym. Fosfor przyswajalny występuje w największych ilościach przy pH 5,6–6,8, przy niższym lub wyższym odczynie zachodzi jego uwstecznianie, głównie z glinem, żelazem oraz wapniem. W glebach o odczynie poniżej 5,0 pierwiastek ten występuje w połączeniach nierozpuszczalnych z glinem i żelazem, zaś w glebach o pH powyżej 7,0 tworzy z jonami wapnia nierozpuszczalną sól wapniowo-fosforową. Dlatego o doborze formy nawozów fosforowych w dużej mierze powinien decydować odczyn gleby, np. mączki fosforystowe, które są rozpuszczalne wyłącznie w środowisku kwaśnym należy stosować jedynie na gleby kwaśne i bardzo kwaśne.

2.5. Fosfor przyswajany w glebie a ochrona wód

Fosfor niepobrany przez rośliny mimo małej ruchliwości w glebie (wynikającej z niskiej wartości współczynnika dyfuzji w glebie oraz bardzo dużej sorpcji przez stałą fazę gleby) stanowi realne zagrożenie dla ekosystemów przyległych do użytków rolnych na terenach urzeźbionych, podatnych na erozję. Migracja fosforu z gruntów rolnych następuje przede wszystkim w procesie erozji i spływu powierzchniowego, a w niewielkim stopniu na skutek wymywania w głąb profilu glebowego do wód gruntowych. Podatne na tego typu straty pierwiastka są gleby zawierające duże ilości materii organicznej, a także kwaśne i bardzo lekkie, szczególnie w okresie jesienno-zimowym przy wysokim poziomie wód.

Straty fosforu nasilają się wraz ze zwiększaniem zawartości tego składnika w glebie poza optymalny zakres. Przez optymalny zakres rozumiemy warunki utrzymującej się średniej zawartości fosforu w glebie, mimo jego poboru przez rośliny. Na polach zlokalizowanych na terenach nachylonych przekroczenie średniej klasy zasobności gleb użytkowanych rolniczo w przyswajalny fosfor (tab. 2.3.1 i 2.3.2.) wiąże się z ryzykiem strat tego pierwiastka na skutek spływu i zmywu powierzchniowego oraz zanieczyszczenia wód.

3. WSKAŹNIKI DO DIAGNOZOWANIA ZAGROŻENIA WÓD FOSFOREM PRZENIKAJĄCYM DO NICH Z GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO

3.1. Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji roślinnej

Gospodarowanie fosforem jest nieodzownym elementem współczesnego rolnictwa. Aby jednak było ono zrównoważone, tj. bezpieczne dla środowiska i produkcyjnie uzasadnione, należy zwrócić uwagę na kilka aspektów:

Odczyn

W pierwszej kolejności należy skupić się na wykorzystaniu rezerwy glebowej fosforu poprzez optymalizację pH gleby^[21]. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od odczynu gleby prezentuje tabela 3.1.1.

Tabela 3.1.1. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od odczynu gleby

Odczyn	Dostępność fosforu
pH 6,0	52%
pH 5,5	48%
pH 5,0	34%

Nieuregulowany odczyn gleby powoduje, że rośliny nie są w stanie zasymilować składników dostarczonych w nawozach i innych źródłach, np. produktach ubocznych^[72]. W glebie o niskim pH fosfor zostaje silnie związany z cząsteczkami gleby i razem z nimi może być wyniesiony na drodze spływu powierzchniowego do wód. W wyniku takich procesów, jak: erozja wietrzna i powierzchniowa oraz wymywanie w głąb profilu glebowego, składniki wniesione pierwotnie w celu odżywienia roślin zostają bezpowrotnie stracone z cyklu produkcji rolniczej i rozproszone do środowiska wodnego (bezpośrednio lub pośrednio).

Uregulowanie odczynu gleby jest zabiegiem optymalizującym dostępność P dla roślin i zmniejszającym poziom strat fosforu do wód!

Materia organiczna

W glebach istnieje duża pula związków fosforu, ale dostępny dla roślin stanowi tylko małą jej część. Należy podjąć działania, by zintensyfikować proces uwalniania fosforu z trudno rozpuszczalnych połączeń, m.in. poprzez dbanie o właściwy poziom materii organicznej w glebie^[51]. W skład próchnicy wchodzi różne związki organiczne o rozmaitych właściwościach chemicznych, fizycznych i mikrobiolo-

gicznych, jednak głównym składnikiem próchnicy są substancje humusowe. To właśnie one wywierają znaczący wpływ na utrzymanie optymalnej dostępności fosforu w glebie. Kwasy humusowe mają silne właściwości chelatujące. Neutralizują toksyczny mangan, żelazo, glin oraz wapń, dzięki czemu fosfor nie wytrąca się w postaci nierozpuszczalnych związków. Nawozy naturalne (szczególnie te z dużą zawartością fosforu, jak np. obornik świński i drobiowy) są więc zarówno źródłem fosforu w glebie, jak również, poprzez wzbogacanie gleby w materię organiczną, efektywnym czynnikiem jego uruchamiania^[66].

Substancje humusowe odgrywają znaczącą rolę w zapewnieniu wysokiej dostępności fosforu, zabezpieczają go przed uwstecznieniem oraz utrzymują wysoką aktywność mikrobiologiczną gleby.

W glebach bogatych w materię organiczną biologiczne wiązanie przyswajalnych związków fosforu może być znaczące i spełniać pozytywną rolę poprzez uniemożliwianie powstawania nierozpuszczalnych form fosforu.

Racjonalne nawożenie

Jeżeli potrzeby pokarmowe roślin są większe niż zasobność gleby, konieczne jest zastosowanie odpowiednich dawek nawożenia. Aby jednak nawożenie było bezpieczne, należy rozważyć przynajmniej 3 podstawowe aspekty z nim związane:

- **Właściwą dawkę fosforu** – wyznaczoną na podstawie zapotrzebowania roślin określonego na bazie bilansu uwzględniającego wszystkie źródła fosforu: zasobność gleb (oznaczoną na podstawie wyników badań laboratoryjnych), stosowane nawozy, resztki poźniwe oraz produkty uboczne.
- **Właściwą formę nawozu** – najczęściej stosowane i najłatwiej dostępne nawozy fosforowe to:
 - superfosfat pojedynczy (prosty) pylisty – otrzymuje się go poprzez traktowanie fosforytów i apatytów kwasem siarkowym. W nawozie jest ok. 18% fosforu w postaci P_2O_5 oraz 10% siarki i 20% wapnia;
 - superfosfat potrójny granulowany – nawóz ten występuje w postaci granulek i zawiera 46% P_2O_5 . Stosuje się go bezpośrednio przed siewem lub sadzeniem roślin, aby zawarty w nim łatwo rozpuszczalny w wodzie fosfor mógł być w krótkim czasie pobrany przez rośliny;
 - mączka fosforytowa – jest to drobno zmielona skała fosforytowa. Zawiera ona ok. 29% fosforu w postaci P_2O_5 . Pod działaniem kwasów zawartych w glebie przechodzi w formę łatwiej przyswajalną dla roślin, z tego względu lepiej stosować ją na glebach o odczynie lekko kwaśnym lub zbliżonym do obojętnego;

- naturalne nawozy, takie jak obornik i gnojowica, są łatwo dostępnym źródłem tego pierwiastka dla roślin, gdyż 50–70% całkowitego fosforu (P_{całk.}) występuje w nich w formie dostępnych fosforanów wapnia;
- najlepsze wykorzystanie P z nawozów mineralnych obserwuje się przy regularnym stosowaniu starannie granulowanych nawozów, co sprzyja równomiernemu rozpuszczaniu się fosforu i tworzeniu jednakowych warunków w całej ryzosferze.

➤ Odpowiedni czas zastosowania nawozu

- w warunkach glebowo-klimatycznych Polski wiosną, ze względu na niższe temperatury (poniżej 12°C) i niedobory wilgoci, stosunkowo często mamy do czynienia z temperaturowym spadkiem dostępności fosforu dla roślin oraz niedoborami tego pierwiastka;
- dla właściwego wykorzystania okresowości przemian fosforu w glebie ważne jest dostosowanie czasu aplikacji nawozów do możliwości ich asymilacji przez rośliny. Niezbędna jest tu wiedza z zakresu dynamiki pobierania P przez daną roślinę, gdyż np. zboża pobierają najwięcej fosforu w okresie rozwoju i dojrzewania kłosa, zaś okopowe – w drugim i trzecim miesiącu wegetacji.

3.2. Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji zwierzęcej

Punktem wyjścia do bilansowania rozpraszania związków fosforu z produkcji zwierzęcej jest zapotrzebowanie pokarmowe różnych gatunków i grup technologicznych uzależnione od ich potrzeb bytowych i produkcyjnych. W tym względzie nie mniej istotna jest również strawność związków fosforu zawartych w materiałach paszowych dawki pokarmowej zwierząt. Przyjmuje się, że zwierzęta gospodarskie wydają od 40 do 60% fosforu zawartego w paszy, co jest mocno uzależnione nie tylko od gatunku i grupy technologicznej, ale właśnie samej strawności/przyswajalności jego związków w materiałach paszowych. W mniejszym stopniu na rozpraszanie wpływają materiał ściółkowy, a zatem system utrzymania czy sposób przechowywania nawozów naturalnych. Ten ostatni musi być zgodny z wymogami zawartymi w „Programie działań mającym na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”^[57].

Fosfor występuje w materiałach paszowych pochodzenia roślinnego w 55–80% pod postacią soli kwasu fitynowego^[52]. Sposób trawienia tych połączeń przez poszczególne gatunki zwierząt gospodarskich uzależniony jest od budowy przewodu pokarmowego. Zwierzęta monogastryczne, takie jak świnie i drób, nie produkują enzymów rozkładających fityniany do form dostępnych na kolejnych etapach procesu trawienia. Zwierzęta przeżuwające, których żołądek ma budowę złożoną, szczególnie jeśli jest wyposażony w żwacz zasiedlony przez mikroflorę, trawia fityniany głównie dzięki enzymom celulolitycznym bakterii. Roślinne komponenty paszowe,

takie jak ziarno zbóż, otręby, nasiona roślin bobowatych oraz oleistych i ich produkty uboczne, makuchy oraz śruty poekstrakcyjne, są podstawowym składnikiem mieszanek paszowych dla zwierząt monogastrycznych. Zawartość fosforu w tych paszach waha się od 2,5 do 12,4 g·kg⁻¹ suchej masy (tab. 3.2.1). Dobrym źródłem fosforu są mineralne fosforany paszowe, które stanowią zwykle mieszaninę fosforanów jedno-, dwu- i trójwapniowych, z wyraźną przewagą dwuwapniowego. Duża zawartość wapnia (powyżej 240 g·kg⁻¹) świadczy o zwiększonym udziale fosforanu trójwapniowego, zaś mała ilość fosforu (poniżej 170 g·kg⁻¹) – o znacznym udziale zanieczyszczeń. Dostępność fosforu w dobrym fosforanie paszowym wynosi 80–90%, w gorszym (wysoki udział Ca) może obniżyć się nawet do 50%. Strawność P w różnych fosforanach zmienia się w zakresie od 52% (dwuwapniowy uwodniony: CaHPO₄·H₂O) do 95% (jednoamonowy: NH₄H₂PO₄).

Innymi bogatymi w związki fosforu surowcami paszowymi są produkty pochodzenia zwierzęcego, głównie mączki rybne. Ze względu na dość wysoki koszt są one używane w recepturach mieszanek paszowych typu prestarter i starter. Drugim powodem ograniczonych możliwości włączenia tych komponentów do mieszanek jest przechodzenie zapachu ryby do produktów końcowych, takich jak mięso czy jaja. Z tego też względu w mieszankach typu finisz mączki rybne nie znajdują zastosowania, a w mieszankach dla kur niosek stad towarowych ich maksymalny udział jest mocno ograniczony.

Fosfor należy do elementów mineralnych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jest on ważnym składnikiem odżywczym dla zwierząt gospodarskich, uczestniczącym wraz z wapniem w rozwoju i budowie szkieletu zwierząt. Około 80% zawartości fosforu występuje właśnie w kościach w postaci fosforanu wapnia oraz estrów organicznych. Fosfor jest również niezbędny do metabolizmu energetycznego i replikacji komórek zwierząt^[53]. Jest on także ważnym składnikiem kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA), trifosforanu adenozy (ATP), fosforanu rybonukleinowego (RNA), fosfolipidów i fosfokreatyn. Rola fizjologiczna fosforu jest bardzo zróżnicowana. Uczestniczy on m.in. w wymienionej powyżej mineralizacji tkanki kostnej, a także w regulacji równowagi kwasowo-zasadowej, przemianach energetycznych, reakcjach związanych z metabolizmem węglowodanów, tłuszczów i związków azotowych oraz w transporcie metabolitów przez błony komórkowe. Niedobór fosforu powoduje utratę apetytu, może być przyczyną anemii, osłabienia mięśni, hamuje wzrost i obniża płodność oraz wywołuje takie same objawy chorobowe, jakie występują przy nieprawidłowym poziomie Ca. Przykładowo niedobór P w dziennej dawce pokarmowej dla drobiu powoduje spadek apetytu, problemy z mineralizacją skorupy jaj, upośledzenie wzrostu młodych zwierząt i procesów kostnienia. Natomiast nadmiar skutkuje nieprawidłową budową skorupy jaj oraz anomaliami w budowie kości. Precyzyjnym wyznacznikiem poziomu zaopatrzenia organizmu w ten makroelement jest jego zawartość w kościach. Przykładowo dla drobiu w okresie odchowu zalecane poziomy fosforu przyswajalnego wynoszą od 0,40–0,45% do 0,32–0,35%, dla kur stad towarowych – 0,33–0,40%. Zbyt wysoki udział włókna pokarmowego w dawce pokarmowej wpływa negatywnie na wchła-

nianie fosforu u zwierząt monogastrycznych. Istotny jest również prawidłowy stosunek Ca:P (przy nieprawidłowym obserwujemy gorsze wchłanianie wapnia). Przykładowo dla niosek stosunek Ca:P powinien wynosić 10:1, a dla rosnących ptaków 2:1. Dyschondroplazja kości piszczelowej to choroba powodowana w dużej części niewłaściwym żywieniem, w tym nieprawidłowym stosunkiem wapnia do fosforu. Nadmiar fosforu w żywieniu krów mlecznych powoduje zaburzenia w gospodarce wapniowej. Wpływa on również na przemiany witaminy D3. Zwiększenie zawartości fosforu z 0,3 do 0,4% w suchej masie dawki może spowodować wzrost liczby przypadków zalegania poporodowego, aż o 18%. Jeśli krowa ma za niski poziom fosforu we krwi w okresie porodowym, wtedy jej przytarczyce wydzielają dużo parathormonu, a ten powoduje, że nerki metabolizują więcej fosforu, dodatkowo wydalając go z moczem z organizmu. Szacuje się, że 30% krów cechuje się niedoborami fosforu.

Tabela 3.2.1. Zawartość różnych form fosforu (g) i jego strawność (%) dla różnych materiałów paszowych w żywieniu zwierząt monogastrycznych

Materiał paszowy	Fosfor ogólny	Fosfor fitynowy	Strawność
Mączka rybna	25,2	0,0	86
Pszenżyto	3,5–4,0	2,2–2,8	52
Żyto	3,5–3,6	2,0–2,3	46
Groch	3,6–4,7	2,9–2,4	45
Pszenica	3,1–3,8	1,9–2,7	44
Otręby pszenne	11,4	9,2	41
Jęczmień	3,4–3,9	2,0–2,4	39
Łubin	2,5–5,0	1,5–2,4	38
Śruta sojowa poekstrakcyjna	6,6	3,9	30
Śruta rzepakowa	12,4	7,3	23
Kukurydza	2,5–3,5	1,6–2,6	17

Układanie receptur paszowych staje się bardziej skomplikowane, jeśli próbujemy zbilansować dawkę pokarmową w celu pokrycia zapotrzebowania wyższych poziomów produkcji zwierząt (tab. 3.2.2). Wzrost wydajności powoduje, że żywienie musi być bardziej precyzyjne. Przykładowo wysoka wydajność krów mlecznych oraz duże natężenie ich procesów metabolicznych powodują, że potrzeby mineralno-witaminowe nie zawsze są dostatecznie pokrywane. Należy pamiętać, że oprócz potrzeb fizjologicznych również wraz z mlekiem wydalone są związki mineralne i witaminy, a ubywa ich tym więcej, im wyższa jest wydajność krów.

Analizując zapotrzebowanie bydła na poszczególne związki mineralne, należy pamiętać, że dostępność mikroelementów w żywieniu przeżuwaczy zależy nie tylko od ich źródeł pochodzenia, ale również od innych mikroelementów i makroelementów zawartych w paszy. Niektóre minerały współzawodniczą ze sobą podczas wchłaniania albo tworzą nierozpuszczalne związki w żwaczu oraz jelitach, co prowadzi do wydalania mikroelementów będących w połączeniach nieprzyswajalnych przez organizm zwierzęcia.

Tabela 3.2.2. Zależność wielkości zapotrzebowania na wybrane składniki mineralne od wydajności mlecznej krowy (4% tłuszczu i 3,4% białka /wg DLG/)

Dobowa produkcja mleka (kg)	Składnik			
	Ca	P	Mg	Na
10	49	31	19	15
15	66	41	22	18
20	82	51	25	22
25	98	61	29	25
30	114	71	32	28
35	130	80	35	31
40	144	89	38	35

Wyższe przyrosty masy ciała kurcząt brojlerów czy brojlerów indyckich powodują wzrost wymagań w stosunku do rozwoju układu kostnego. Średnie zapotrzebowanie na fosfor ptaków rosnących waha się w granicach od 3 g·kg⁻¹ paszy w przypadku kur niosek do 7,5 g·kg⁻¹ paszy w przypadku indyckich.

Istnieje wiele czynników wpływających na stopień trawienia i dostępność fosforu dla zwierząt. Są to, m.in.: rodzaj paszy, pH treści przewodu pokarmowego, zawartość witamin i probiotyków, poziom włókna, zawartość kwasów organicznych i czynników antyodżywczych, oddziaływanie hormonów (parathormonu i kalcytoniny), stosunek Ca:P i koncentracja innych składników mineralnych oraz poziom witaminy D w paszy. Czynniki te mogą w różnym stopniu decydować o dostępności fosforu z roślinnych pasz objętościowych, nasion roślin strączkowych oraz ziaren zbóż. Przykładowy poziom zapotrzebowania i wydalania fosforu dla różnych grup technologicznych świń ilustruje tabela 3.2.3. Jednak najważniejszym z czynników jest obecność enzymu fitazy, który hydrolizuje fitynę do takich związków, jak inozynol i nieorganiczne ortofosforany. Rozróżnia się trzy rodzaje fitaz: endogenną (jelitową), paszową (natywną) oraz egzogenną (mikrobiologiczną). Fitaza jelitowa jest enzymem produkowanym przez mikroorganizmy w jelicie grubym. Ma ona znikome znaczenie w podwyższaniu strawności i dostępności tego pierwiastka, gdyż absorpcja fosforu w tym fragmencie przewodu pokarmowego jest minimal-

na. W przewodzie pokarmowym fosfor z paszy wchłaniany jest już w żołądku, ale w głównej mierze odbywa się to w jelicie cienkim zarówno wskutek biernego, jak i aktywnego transportu. Fitaza natywna w znacznych ilościach występuje w takich materiałach paszowych, jak: ziarno żyta, pszenicy, pszenżyta i otręby pszenne. Z kolei w ziarnach kukurydzy, owsa, nasionach soi oraz w poekstrakcyjnej śrucie z nasion rzepaku ilość tego enzymu jest niewielka. Fitaza mikrobiologiczna jest końcowym produktem procesów fermentacji realizowanej przez grzyby z rodzaju *Aspergillus*. Działanie jej jest efektywniejsze niż fitazy natywnej, co jest związane m.in. z odmienną wrażliwością tych dwóch enzymów na kwasowość występującą w przewodzie pokarmowym. Większość fitaz ma optimum działania przy pH rzędu 5,0–5,6.

Tabela 3.2.3. Efektywność wykorzystania fosforu (P) w żywieniu świń w całym okresie odchowu

Grupa technologiczna	Zapotrzebowanie (g·MJ ⁻¹ ME)	Pobranie (kg·szt. ⁻¹)	Retencja (kg·szt. ⁻¹)	Wydalenie (kg·szt. ⁻¹)
Prosięta	13,0	0,312	0,065	0,247
Warchlaki	12,7	0,344	0,103	0,241
Tuczniki	12,5	1,166	0,433	0,733

W badaniach stwierdzono, że natywna fitaza zawarta w zbożach zwiększała strawność fosforu w dawkach ze śrutą rzepakową i sojową o 9,3–9,6% na 1000 jednostek jej aktywności (FTU), natomiast uzupełnienie fitazą mikrobiologiczną (1000 FTU) zwiększało strawność fosforu o 13,7 i 16,3% w dawkach odpowiednio ze śrutą rzepakową i sojową. Stwierdzono również, że działanie obu tych fitaz w paszach jest addytywne. Fitaza ma także niewielki wpływ na strawność białka i aminokwasów. Po dodaniu fitazy stwierdza się ok. 2% wzrost jelitowej strawności aminokwasów.

Tabela 3.2.4. Wpływ dodatku fitazy na strawność związków fosforu w paszy dla tuczników

Parametry	Dawka fitazy (FTU·kg ⁻¹ paszy)			
	0	300	600	900
Koncentracja P w paszy (g·kg ⁻¹)	3,9	3,9	3,9	3,9
Przyrosty dobowe (kg)	0,8	0,9	0,91	0,92
Strawność P (%)	27,0	46,0	51,2	51,5

U loch największa skuteczność działania fitazy mikrobiologicznej ujawnia się w czasie laktacji, zaś najslabiej działa w połowie ciąży. W przypadku prosiąt doda-

tek fitazy do paszy powoduje znaczną poprawę retencji fosforu, ponadto zmniejsza wydalanie tego pierwiastka o połowę. W doświadczeniach na tucznikach wykazano m.in., że dodatek fitazy pozwala zredukować zawartość fosforu w mieszanke o ok. 33%, dodatkowo korzystnie wpływając na poprawę wyników produkcyjnych. Stwierdzono również, że dodatek fitazy do niskobiałkowej diety podnosi retencję białka o ok. 17% przy jednoczesnym zmniejszeniu wydalania azotu do środowiska o 22%. Dodanie mikrobiologicznej fitazy polepsza strawność fosforu relatywnie o 38% i wapnia o 32%, co pozwala również na zmniejszenie o 20% zawartości fosforu i wapnia w diecie i odchodach, bez negatywnego efektu w zakresie wchłaniania wymienionych składników mineralnych i budowy strukturalnej kości tuczników.

3.3. Czynniki warunkujące wymywanie, spływ powierzchniowy i erozję gleby

Ryzyko strat fosforu do wód wynika z zawartości tego pierwiastka w glebie oraz obecności sprzyjających warunków transportu fosforu do zbiorników wodnych, np. na drodze erozji, spływu powierzchniowego czy wymywania w głąb profilu glebowego.

Erozja powierzchni ziemi to zespół procesów degradacyjnych obejmujących przeobrażenia rzeźby terenu, pokrywy glebowej i stosunków wodnych. Jeśli zachodzi w warunkach naturalnych, wyłącznie pod wpływem sił przyrody – wody, wówczas określa się ją jako geologiczną. Natomiast w środowisku podlegającym działalności człowieka dominuje erozja przyspieszona (antropogeniczna).

Intensywność procesu erozji zależy od:

- składu granulometrycznego gleby;
- zawartości materii organicznej;
- nachylenia, długości i kształtu zbocza;
- czynników atmosferycznych (wielkości i natężenia opadu, wielkości kropel deszczu);
- pokrycia terenu;
- czynników agrotechnicznych (stopnia pokrycia terenu przez rośliny, doboru roślin «płodozmianu», okresowego braku upraw «ugór», kierunku uprawy i siewu, bruzd, śladów po przejazdach kół, zagęszczenia gleby).

Spływ powierzchniowy jest to ta część opadu, która spływa po powierzchni terenu do wód płynących i stojących, nie infiltrując w glebę. Spływ powierzchniowy z użytków rolnych wynosi ze sobą fosfor z roztworu glebowego oraz fosfor związany z cząstkami mineralnymi gleby lub jej materią organiczną, zmniejszając w glebie ilość P dostępną dla roślin uprawnych. Przyjmuje się, że składniki nawozowe przenikają do spływu powierzchniowego z ok. 4 cm wierzchniej warstwy gleby.

W wyniku złożonych przemian fosforu w glebach zasobnych w materię organiczną może następować uwalnianie fosforu z gleby i wymywanie jego rozpuszczalnych form do głębszych warstw profilu glebowego i w efekcie do wody gruntowej. Zjawisko takie ma miejsce w warunkach znacznej mineralizacji glebowej materii organicznej i słabego wykorzystania fosforu przez roślinność.

Straty fosforu do wód wskutek przenikania w głąb profilu zależą również od pojemności sorpcyjnej głębszych warstw gleby. Jeżeli pojemność ta, warunkowana dostępnością jonów glinu, żelaza (w glebach o odczynie kwaśnym) oraz wapnia (w glebach o odczynie zasadowym), jest nieprzekroczona, wówczas fosfor wymyty z wierzchnich warstw gleby trafia do rezerw glebowych w formie związków organicznych i nieorganicznych.

3.4. Ocena ryzyka wymywania, spływu powierzchniowego i erozji wodnej

Szacowanie ryzyka strat fosforu do wód uwzględnia dwa główne komponenty: ocenę ilości fosforu, który może przedostać się do wód oraz ocenę czynników warunkujących jego transport do wód. Warto podkreślić, że ryzyko strat fosforu do wód nie jest równoznaczne z zagrożeniem nadmiarem fosforu w glebach. Nadmiar fosforu w glebach można oceniać wyłącznie w dwóch aspektach: pojemności buforowej gleby lub potrzeb pokarmowych roślin. Szacuje się, że ok. 38 tys. ton, tj. ok. 55% zakumulowanej puli fosforu w glebie występuje w formie łatwo przyswajalnej przez rośliny, zaś pozostała część, po przekroczeniu pojemności buforowej gleby, w pewnych warunkach może zostać rozproszona do wód.

Do czynników wpływających na ilość fosforu, która może zostać wymyta zalicza się:

- zawartość fosforu w glebie;
- fosfor wniesiony z nawozami mineralnymi, naturalnymi i organicznymi;
- fosfor wniesiony na pole z produktami ubocznymi i odpadami.

Do czynników warunkujących transport fosforu do wód można zaliczyć:

- intensywność opadów atmosferycznych;
- pokrycie terenu;
- ilość wyerodowanej gleby w danym klimacie i konkretnych warunkach glebowo-przyrodniczych (która jest uzależniona od: składu granulometrycznego gleby, zawartości substancji organicznej, struktury i przepuszczalności gleby, spadku terenu oraz długości zbocza);
- stopień zdrenowania terenu;
- odległość do cieków lub zbiornika wodnego (odległość działająca);
- obecność stref buforowych.

3.5. Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek wymywania, spływu powierzchniowego, erozji i produkcji roślinnej

Uregulowanie odczynu gleby

- Uregulowanie odczynu przyczynia się do utrzymywania gruzełkowatej struktury gleby, uodparniając ją na działanie wody, co skutkuje większą odpornością gleby na straty w wyniku erozji, a przez to ogranicza straty fosforu związanego z cząsteczkami gleby.
- Odczyn gleby jest kluczową jej cechą decydującą o dostępności fosforu dla roślin; najmniejsze uwstecznianie fosforu zachodzi w glebach o odczynie lekko kwaśnym do obojętnego; zalecany zakres pH to ok. 6,5–7,2, zaś już w warunkach lekkiego zakwaszenia (pH poniżej 6,5) znacznie zmniejsza się przyswajalność fosforu a zwiększa prawdopodobieństwo emisji P z gleby do wód.
- Uregulowany odczyn gleby minimalizuje ryzyko strat fosforu.
- Dawkę i rodzaj stosowanego wapna uzależnia się od typu gleby, jej odczynu, rodzaju uprawy na danym polu itp.

Bilans składników nawozowych w gospodarstwie i plan nawożenia

- Uwzględnienie po stronie bilansu wszystkich źródeł fosforu dla roślin pozwala zastosować zbilansowane dawki nawożenia, dostosowane do konkretnej uprawy.
- Stosowanie planu nawożenia opartego na bilansie fosforu pozwoli uniknąć prze-nawożenia i poprawi efektywność zainwestowanych środków.
- Dostosowane do możliwości pobrania przez rośliny dawki nawozów redukują ryzyko wymycia składników nawozowych do wód.

Odpowiednie przechowywanie nawozów naturalnych oraz kiszonek i postępowanie z odciekami

- Nawozy naturalne płynne i nawozy naturalne stałe przechowuje się w bezpieczny dla środowiska sposób, zapobiegający przedostawaniu się odcieków do wód i gruntu.
- Pojemność zbiorników na nawozy naturalne płynne powinna umożliwiać ich przechowanie przez okres minimum 6 miesięcy.
- Powierzchnia miejsc do przechowywania nawozów naturalnych stałych powinna umożliwiać ich przechowywanie przez okres minimum 5 miesięcy.
- Możliwe jest czasowe, jednak nie dłużej niż przez okres 6 miesięcy od dnia utworzenia każdej z przyzm, przechowywanie obornika bezpośrednio na gruntach

rolnych. Pryzmy należy lokalizować: poza zagłębieniami terenu; na możliwie płaskim terenie, o dopuszczalnym spadku do 3%; w miejscu niepiaszczystym i niepodmokłym; w odległości większej niż 25 m od linii brzegu wód powierzchniowych, morskiego pasa nadbrzeżnego i ujęć wód, jeżeli nie ustanowiono strefy ochronnej. Lokalizację pryzmy oraz datę złożenia obornika w danym roku na danej działce zaznacza się na mapie lub szkicu działki, a dokumentację przechowuje się przez okres 3 lat od dnia zakończenia przechowywania obornika. Obornik na pryzmie ponownie można przechowywać w tym samym miejscu po upływie 3 lat od dnia zakończenia poprzedniego jego przechowywania.

- Kiszonki przechowuje się w szczególności w silosach, rękawach foliowych, na płytach lub na podkładzie z folii, sianki, słomy lub innego materiału, który pochłania odcieki oraz pod przykryciem foliowym.
- Pomiotu ptasiego i kiszonek nie przechowuje się bezpośrednio na gruncie.
- Nawozów naturalnych oraz kiszonek nie przechowuje się w odległości mniejszej niż 25 m od studni lub ujęć wód, linii brzegu wód powierzchniowych oraz morskiego pasa nadbrzeżnego.

Utrzymywanie okrywy roślinnej w okresie jesienno-zimowym w postaci krótkotrwałych użytków zielonych

- Zmniejsza ryzyko erozji powierzchniowej wodnej i wietrznej.
- Szczególnie zalecane jest na glebach lekkich.
- Umożliwia wykorzystanie nagromadzonej w glebie puli fosforu.
- Zmniejsza ryzyko wymywania w głąb profilu glebowego.
- „Rośliny wychwytyjące”: międzyplony siane razem z główną uprawą lub później, utrzymywane na gruntach ornych w okresach po zbiorze upraw głównych pobierają azot i fosfor, zapobiegając jego wymyciu, a po przyoraniu – składniki te są wprowadzane powtórnie do gleby.

Ograniczanie intensywności erozji

- Warstwicowa uprawa gleby, czyli wykonanie orki z odkładaniem skiby w górę stoku i innych zabiegów agrotechnicznych w kierunku prostopadłym do spadku terenu.
- Uprawa konserwująca bezorkowa z mulczowaniem (stosowanie uprawy uproszczonej, pasowej oraz uprawy zerowej).
- Stosowanie międzyplonów, najlepszą efektywnością cechują się płodozmiany ze znacznym udziałem roślin bobowatych drobnonasiennych i ich mieszanek z trawami.

- Przeznaczenie gruntów o znacznym nachyleniu (powyżej 20%) pod trwałe użytki zielone bądź pod zalesienie.

Właściwe terminy i lokalizacje zabiegów nawozowych

- Należy unikać nawożenia w okresach, w których zaaplikowane składniki nie mogą zostać pobrane przez rośliny, tj. w okresie jesienno-zimowym, gdy ustaje wegetacja (unikanie „okresów ryzyka”).
- Nawożenie i siew najlepiej przeprowadzać jednocześnie, umieszczając nawozy mineralne poniżej nasion; umożliwi to właściwe zaopatrzenie młodych roślin, zmniejszy konkurencję chwastów i ryzyko spływów powierzchniowych.
- Miejsca, w których myje się sprzęt i maszyny stosowane do aplikacji nawozów na polach powinny być odpowiednio szczelnie zabezpieczone przed przedostawaniem się odcieków do gleby i wód gruntowych.
- Nie należy rozlewać wody z mycia urządzeń aplikujących nawozy w odległości mniejszej niż 25 m od brzegu zbiorników wodnych, jezior, cieków naturalnych, rowów, kanałów, ujęć wody oraz obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego.

Sztuczne mokradła i stawy sedymentacyjne

- Mały basen sedymentacyjny (bądź inny system) spowalniający przepływ wody opadowej pozwala na zatrzymywanie cząstek gleby oraz osadzonego na nich fosforu z wód odpływowych.
- Zmniejszenie strat fosforu do wód odbywa się w nich na drodze mechanicznej (osadzenie na dnie zbiornika, dłuższa retencja), chemicznej (wiązanie związków fosforu) oraz biologicznej (poprzez ilość fosforu zasymilowaną przez roślinność typową dla danego podmokłego obszaru).
- Dodatkowe korzyści z konstrukcji sztucznych mokradeł i stawów sedymentacyjnych to m.in.: gromadzenie wody do nawodnień, funkcja przeciwpowodziowa, poprawa różnorodności biologicznej oraz funkcja krajobrazowa.

Strefy buforowe

- Strefy buforowe to nienawożone, porośnięte roślinami wieloletnimi pasy roślinności wzdłuż cieków i zbiorników wodnych.
- Filtrują cząstki glebowe i ograniczają wypłukiwanie fosforu (i azotu) z gleby.
- Ograniczają emisję pestycydów do wód oraz zapobiegają erozji.
- Wzbogacają bioróżnorodność oraz walory krajobrazowe.

- Mogą być wykorzystane jako pasy przejazdowe dla maszyn.
- Nawozy mineralne, organiczne i organiczno-mineralne, zawierające w swoim składzie fosfor, stosuje się na gruntach rolnych w odległości co najmniej 5 m od brzegu: jezior i innych zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha; cieków naturalnych; rowów w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. z 2022 r. poz. 2235 z późn. zm.), z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na górnej krawędzi brzegu rowu; kanałów w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne.
- Nawozy mineralne, organiczne i organiczno-mineralne, zawierające w swoim składzie fosfor, stosuje się na gruntach rolnych w odległości co najmniej 20 m od: brzegu jezior i innych zbiorników wodnych o powierzchni powyżej 50 ha; ujęć wody (jeżeli nie ustanowiono strefy ochronnej na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne) oraz obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego.
- Odległości określone powyżej, jeżeli występuje uprawa roślin, mogą zostać zmniejszone o połowę w przypadku stosowania nawozów mineralnych, organicznych i organiczno-mineralnych, zawierających w swoim składzie fosfor, za pomocą urządzeń aplikujących je bezpośrednio do gleby lub w sytuacji podzielenia pełnej dawki nawozów na co najmniej trzy równe dawki, przy czym odstęp między zastosowaniem tych dawek nawozów nie może być krótszy niż 14 dni.
- W przypadku punktowego stosowania nawozów mineralnych, organicznych lub organiczno-mineralnych, zawierających w swoim składzie fosfor, w wyniku mycia rozsiewaczy i sprzętu do aplikacji tych nawozów oraz rozlewania wody z ich mycia, należy zachować odległość nie mniejszą niż 25 m od: brzegu jezior i innych zbiorników wodnych; cieków naturalnych; brzegu rowów i kanałów w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne; ujęć wody (jeżeli nie ustanowiono strefy ochronnej na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne) i obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego.

3.6. Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek produkcji zwierzęcej

Zasadniczo w produkcji zwierzęcej możliwe są tylko dwa obszary redukcji wolumenu związków fosforu rozpraszanych do środowiska naturalnego. Pierwszym z nich jest żywienie zwierząt, drugim przechowywanie, a w zasadzie przetwarzanie nawozów naturalnych. W żywieniu zwierząt możemy wyszczególnić działania odnoszące się do precyzyjnego żywienia, w tym: zwiększenie strawności związków fosforu, ograniczenie poziomu fosforu ogólnego w dawkach pokarmowych, lepsze dostosowanie do potrzeb – żywienie wielofazowe. Pod względem przetwarzania nawozów naturalnych płynnych wymienić należy chemiczne lub elektrochemiczne wiązanie i strącanie związków fosforu, a dla nawozów stałych – pirolizę i produkcję

biowęglu. Na styku produkcji zwierzęcej i uprawy roślin zidentyfikowano dodatkowy obszar możliwych redukcji rozpraszania fosforu, tj. aplikację nawozów naturalnych.

Ilość pobieranego przez zwierzęta pokarmu ma podstawowe znaczenie dla ich zaopatrzenia w białko, energię oraz składniki mineralne i witaminy niezbędne do pokrycia potrzeb życiowych organizmu (wyrażanych w zapotrzebowaniu bytowym) oraz potrzeb związanych z rozwojem organizmu i produkcją (np. mleka), rozwojem płodu u samic ciężarnych itp. Ilość pobieranej w ciągu doby paszy określa się zwykle w kg suchej masy w przeliczeniu na 1 kg masy ciała zwierzęcia lub na 1 kg metabolicznej masy ciała (0,75 kg). Wydalanie endogenego fosforu w kale wzrasta proporcjonalnie do pobrania tego pierwiastka w dawce pokarmowej. W zasadzie cała ilość fosforu zawartego w dawce pokarmowej, a przekraczająca zapotrzebowanie na ten składnik, podlega wydalaniu.

Pierwsza z metod żywieniowych polega na takim zarządzaniu bilansem fosforu, który ogranicza jego nadmiar w dawce pokarmowej^[11]. Jak już pisano w poprzedniej części dokumentu, fityna jako główne źródło roślinnego fosforu jest zasadniczo niedostępna dla zwierząt monogastycznych. Koncentracja tego pierwiastka w schematach żywienia zwierząt jest znacznie przewymiarowana, głównie za sprawą mineralnych dodatków – fosforanów paszowych. Mowa tu o fosforanach jedno-, dwu- i trójwapniowych, których strawność waha się od 52% dla dwuwapniowego uwodnionego $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ do 95% dla jednoamonowego $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Jak widać, poprzez dobór dodatku paszowego można zredukować wydalanie fosforu o 33%. W przypadku zwierząt przeżuwających podawanie nieorganicznego P w celu uzupełnienia jego koncentracji w dawce zwiększa ilość frakcji P rozpuszczalnej w wodzie, która może stanowić nawet 70% całkowitego fosforu wydalanego z kałem. Oczywiście rozpuszczalna forma jest bardziej podatna na wymywanie do środowiska. Zmniejszenie suplementacji nieorganicznego P w żywieniu przeżuwaczy pozwala nie tylko na bardziej efektywne wykorzystanie P, ale również redukcję rozpraszania i poprawę jakości wód^[30]. Już samo zastosowanie schematu żywienia w gospodarstwie ogranicza rozpraszanie o 10% w stosunku do jego braku. Ponadto zapewnia on choćby prawidłowy stosunek Ca:P, mający niepoślednią rolę dla przyswajania tych pierwiastków, a zatem również ich strat. Zmniejszenie ilości skarmionego P przynosi również korzyści dla samego hodowcy poprzez zmniejszenie kosztów paszy^[30]. Liczne badania w zakresie żywienia krów mlecznych wykazały, że dawka zawierająca 2,7 g P·kg⁻¹ s.m. w zupełności pokrywała potrzeby pokarmowe wysokowydajnych krów mlecznych. Zwierzęta zachowały przy tym poziom produkcji mleka i niezmieniony jego skład, a także optymalną zawartość P w kościach^[78, 81, 82]. Wyższe ograniczenie koncentracji P – do 2,3 g·kg⁻¹ s.m., wykazało już zmniejszone spożycie suchej masy i spadek produkcji mleka^[11].

Inną żywieniową metodą mitygacji rozpraszania fosforu jest żywienie wielofazowe. Jego przykład ilustruje tabela 3.6.1. Żywienie wielofazowe stosowane jest już jako sposób mitygacji związków azotu dla praktycznie wszystkich głównych gatun-

ków zwierząt hodowlanych (świnie, drób, bydło). Metoda ta polega na precyzyjnym dostosowaniu koncentracji fosforu w paszy do aktualnych potrzeb fizjologicznych danej grupy technologicznej. Oznacza to, że w miejsce standardowych 2–3 pasz, np. starter, grover, finisher, wprowadza się 1–2 pasze dodatkowe, a we wszystkich zmienia się koncentrację fosforu. Młody, szybko rosnący organizm potrzebuje znacznie więcej N i P niż organizm starszy. Zmiany w spadku tego zapotrzebowania widoczne są u brojlerów co kilka dni, a u świń co kilka tygodni. Podobnie jest u młodego bydła opasowego. Metoda ta pozwala na redukcję rozpraszania fosforu w przedziale 15–21% w stosunku do klasycznego żywienia.

Tabela 3.6.1. Przykład efektywności żywienia wielofazowego w mitygacji rozpraszania związków fosforu w żywieniu tuczników

Wyszczególnienie	Żywienie 2-fazowe	Żywienie 5-fazowe
Zużycie paszy (kg·dzień ⁻¹)	2,15	2,15
Wykorzystanie paszy (kg·kg ⁻¹)	2,91	2,91
Przyrosty mc (kg·dzień ⁻¹)	0,810	0,810
Dawka P ₂ O ₅ (kg·szt. ⁻¹ ·rok ⁻¹)	4,9	4,4
Wydalenie P ₂ O ₅ (kg·szt. ⁻¹ ·rok ⁻¹)	3,4	2,7

Na marginesie omawiania metod żywieniowych należy zwrócić uwagę na kwestie samego sposobu żywienia bydła. Stwierdzono bowiem, że wydalenie P zwiększa się, gdy podstawowym składnikiem dawki pokarmowej są pasze objętościowe o dużej zawartości włókna surowego (wyrośnięta ruń pastwiskowa, siano łąkowe zebrane, słoma pastewna). Przy skarmianiu dawek z małym udziałem włókna a dużym udziałem pasz treściwych, straty fosforu w kale były mniejsze, natomiast wydalenie fosforu z moczem zwiększało się. Stosowanie kiszonki z traw prowadzi do redukcji wydalenia rozpuszczalnych związków fosforu w porównaniu z żywieniem opartym na paszach skoncentrowanych (zbożowych)^[30]. Status energetyczny zwierząt, w tym rodzaj i koncentracja energii w paszy ma znaczący wpływ na wydalenie fosforu. Krowy karmione dietą o wyższej wartości energetycznej miały znacznie poprawioną wydajność P w porównaniu z tymi o niższym poziomie energii^[11]. Powolne uwalnianie energii pozwala na większe wykorzystanie P przez drobnoustroje żwacza.

Innym żywieniowym sposobem ograniczania ilości wydalanego fosforu, szczególnie przez zwierzęta monogastyczne, jest dodawanie do pasz egzogennej fitazy. Świnie żywione dawką pokarmową o zmniejszonym poziomie dostępnego fosforu z dodatkiem fitazy pobierały ponad 35% więcej tego pierwiastka i wydalały go 37% mniej. Dodatek fitazy zwiększa przyswajalność fosforu z 21 do 34%, a jego wydalenie zmniejsza o 25–50%, jednocześnie zwiększając przyrosty dzienne masy ciała zwierząt. Różne badania wykazały, że enzym ten może być również stosowany u przeżuwaczy, nawet jeśli drobnoustroje w żwaczu również go produkują, a po-

prawa strawności P wzrasta z 7 do 17% w mieszance dla krów w okresie laktacji, karmionych z dodatkiem fitazy^[34]. W rzeczywistości całkowita hydroliza fitynianów nie zawsze występuje w żwaczu w 100%.

Na wstępie omówienia metod przetwarzania nawozów naturalnych należy zaznaczyć bezwzględną konieczność wypełnienia norm prawnych w zakresie samego ich przechowywania. Niewystarczająca pojemność płyt i zbiorników często prowadzi do rolniczego wykorzystania obornika podczas okresów zabronionych, kiedy brak jest uprawy i wegetacji, co skutkuje dodatkowym zagrożeniem dla środowiska przyrodniczego. Przechowywanie zapewnia również możliwości późniejszego przetwarzania nawozów naturalnych. Kompostowanie obornika w gospodarstwie nie wpływa na formy P zawarte w substracie i produkcie. Zwykła separacja gnojowicy natomiast pozwala już na odseparowanie we frakcji płynnej większej ilości organicznego, nieorganicznego i hydrolizowanego fosforu, niż ma to miejsce we frakcji stałej. Z kolei fermentacja beztlenowa zasadniczo nie wpływa na liczbę różnych form P obecnych w pofermencie^[46].

Pierwszą z metod chemicznego przetwarzania gnojowicy jest strącanie, zwane również krystalizacją. Jest ono procesem występującym samoistnie, gdy stężenie fosforanów osiąga stan przesylenia. Jako świadoma metoda odzysku związków fosforu strącanie jest zwykle wywoływane przez dodanie jonów takich metali, jak: magnez (Mg^{2+}), aluminium (Al^{3+}), żelazo (Fe^{3+}) lub wapń (Ca^{2+}). Powstające sole wytrącają się jako nierozpuszczalne wodorotlenki. Wybór między rodzajem zastosowanych soli metali zwykle uzależniony jest od potencjalnego późniejszego przemysłowego wykorzystania. I tak wykorzystanie związków magnezu (MgO , $Mg(OH)_2$ i $MgCl_2$) pozwala na uzyskanie nawozów mineralnych o powolnym działaniu. Najbardziej obiecującym związkiem do odzyskiwania P jest struwit ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$), który wytrąca się nawet samorzutnie, gdy fosforany osiągną stężenie 100–200 $mg \cdot l^{-1}$. Struwit powstaje z połączenia magnezu, amonu i fosforanu w stechiometrycznym stosunku molowym $Mg_2^+ : NH_4^+ : N : PO_4^{3-} : P = 1 : 1 : 1$. Struwit, z którego jednocześnie można odzyskać zarówno azot, jak i fosfor, ma wiele zastosowań komercyjnych, w tym jako nawóz, dodatek paszowy dla zwierząt, składnik kosmetyków, detergent, materiał ognioodporny i składnik cementu. Minerał ten ma doskonałe właściwości nawozowe i niską rozpuszczalność w wodzie, a jego kryształy pozwalają na przedłużone działanie nawozowe.

Inny sposób strącania fosforu w gnojowicy polega na początkowym uwalnianiu P jako $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} i/lub PO_4^{3-} poprzez obniżenie pH, a następnie jego wiązaniu przez dodanie związków alkalicznych, np. kalcytu ($CaCO_3$), wapna hydratyzowanego ($Ca(OH)_2$), węgla itp. Produkt można usunąć z roztworu przez zwykłe filtrowanie zawiesiny. Ten sposób prowadzi do stosunkowo małej ilości osadów, które są wysoce skoncentrowane pod względem fosforu. Zastosowanie związku wapnia do usuwania P powoduje wytrącanie takich minerałów, jak: hydroksyapatyt, bruzyt, monetit itp.; najbardziej rozpowszechnionym fosforanem jest hydroksyapatyt ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Ponadto znane są inne zidentyfikowane fosforany wapnia, tj.: $Ca_4H(PO_4)_3 \cdot 3H_2O$, fosforan dwuwapniowy ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) oraz nieorganiczne

sole amonu i wapnia ($\text{NH}_4\text{CaPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Efektywność metody sięga 25–40% zawartości P przy pH 7,27–7,85.

Strącanie fosforanu żelazawego, wiwianitu ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), jest jednym z najczęstszych procesów występujących w środowiskach beztlenowych, a on sam jednym z najbardziej stabilnych minerałów fosforanowych. Wiwianit występuje naturalnie w glebach bogatych w żelazo, osadach jeziornych, torfowiskach czy osadach hydrotermalnych. W oczyszczalniach ścieków wiwianit jest dominującym związkiem żelaza zarówno w szlamach, jak i osadach czynnych i przefermentowanych. Jony Fe często pochodzą tu z soli stosowanych jako flokulant. Powstawanie wiwianitu może być konsekwencją obecności kilku czynników, takich jak: niski poziom lub brak tlenu, środowisko alkaliczne, wysoka ilość jonów Fe(II), aktywność fosforanów i niska aktywność siarczków. W powstawaniu wiwianitu aktywnie uczestniczy mikroflora, przeprowadzając choćby bezpośrednią redukcję Fe^{3+} w rozpuszczalny Fe^{2+} , czy też beztlenowe utlenianie metanu i przemianę fosforu organicznego do nieorganicznego PO_4^{3-} albo SO_4^{2-} do S^{2-} . Ponadto powierzchnie komórkowe mikroorganizmów mogą pełnić funkcję ośrodków krystalizacji wiwianitu. W systemach naturalnych wiwianit jest stabilny przy pH 6–9. Efektywność wiązania fosforu tą metodą wycenia się na 70–90%.

Innym sposobem odzysku fosforu z gnojowicy jest elektrokoagulacja (EC). Proces EC wykorzystuje zjawisko elektrolizy z zastosowaniem elektrod aluminiowej lub żelaznej. Utlenianie anodowe metalu uwalnia jony metali działające jako koagulanty i wiążące fosforany w postaci zawiesiny. Cząsteczki zawiesiny mogą być wyosobniane przy użyciu fizycznych procesów separacji, filtracji i sedymentacji. Skuteczność metody ocenia się na 73–96% zawartego fosforu. Elektrokoagulację można uznać za alternatywę dla strącania/koagulacji chemicznej.

Przetworzenie nawozów naturalnych stałych jest możliwe w drodze pirolizy i produkcji biowęgla. Aktualnie na całym świecie rośnie zainteresowanie tymi procesami. Produkcja biowęgla pozwala na wykorzystanie energii z biomasy i uzyskanie produktu, który wpływa na jakość gleby oraz sekwestrację węgla. Biowęgiel pochodzący z nawozów naturalnych zawiera niezbędne składniki odżywcze dla roślin i pozwala uzyskać wysoką zdolność wymiany kationów. Sama metoda polega na ogrzaniu biomasy w reaktorze do pirolizy, w beztlenowej atmosferze i pod podwyższonym ciśnieniem, do temperatury od 350 do 700°C. W ten sposób powstaje biowęgiel, który składa się z węgla i materiałów nieorganicznych, w tym popiołów bogatych w P. W wyniku pirolizy powstaje również frakcja gazowa (metan, wodór, tlenek węgla, dwutlenek węgla itp.) oraz frakcja ciekła składająca się ze smoły i oleju pirolitycznego. Skuteczność wiązania P wynosi tu 100%.

4. MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA STRAT FOSFORU W GOSPODARSTWIE

4.1. Miejsca występowania strat fosforu

Na terenie obejść gospodarskich oraz w ich najbliższym otoczeniu do głównych rolniczych źródeł zanieczyszczenia wód fosforem należą miejsca przechowywania nawozów naturalnych, powierzchnie, na których przebywają zwierzęta, w tym przede wszystkim obory głębokie, w których odchody mają bezpośredni kontakt z glebą, jak również obory płytkie, gdy posadzka jest nieszczelna i mocz przedostaje się do gleby oraz wybiegi dla zwierząt i drogi przepędowe, a także przyzmy kiszzonek (są to tzw. gorące mikropunkty). Szczególne zagrożenie dla wód w obrębie zagrody stanowią składowiska obornika, zwłaszcza jeśli są one posadowione bezpośrednio na gruncie. Woda gnojowa wyciekająca i wypłukiwana (w następstwie opadów atmosferycznych) z takich składowisk wsiąka do gleby lub spływa po niej (fot. 4.1.1). Wraz z nią transportowane są do wód podziemnych i powierzchniowych duże ilości związków fosforu, powodując ich zanieczyszczenie (fot. 4.1.2).



Fot. 4.1.1. Składowanie obornika na gruncie (fot. E. Gawęł)

Zagrożenie dla wód może też spowodować niekontrolowany (niezamierzony) wypływ płynnych nawozów naturalnych ze zbiorników, w których są magazynowane. Może to nastąpić w wyniku rozszczelnienia zbiorników, np. na skutek samoczynnego pęknięcia lub uszkodzenia materiału, z których zostały zbudowane lub też ich przepełnienia.



Fot. 4.1.2. Duży zbiornik wodny usytuowany w bliskiej odległości od obory może ulegać zanieczyszczeniu przez spływ powierzchniowy (fot. E. Gawel)

Innym istotnym źródłem zanieczyszczeń wody w zagrodzie są wybiegi dla zwierząt (fot. 4.1.3). Pozostawione tam odchody zwierzęce ulegają mineralizacji w ich powierzchniowej warstwie. Uwolnione składniki nawozowe łatwo mogą przenikać do wód. Spływ powierzchniowy z wybiegów dla zwierząt może wносить do wód powierzchniowych znaczne ładunki zanieczyszczeń, zwłaszcza fosforanów. Podobnymi do wybiegów miejscami formowania się zanieczyszczeń są drogi przepędowe i powierzchnie komunikacyjne dla zwierząt.



Fot. 4.1.3. Wybieg dla zwierząt – jeden z tzw. gorących punktów w zagrodzie (fot. H. Jankowska-Huflejt)

Poza nawozami naturalnymi potencjalne duże zagrożenie dla wód mogą stwarzać odcieki z zakiszanych pasz objętościowych. Są one cieczą trudno się utleniającą o biochemicznym zapotrzebowaniu na tlen (BZT_5) wynoszącym średnio $60\,000\text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ i zawierającą przeciętnie ponad $3\,500\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ azotu całkowitego i ponad $800\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ fosforu całkowitego^[67].

4.2. Możliwości przeciwdziałania stratom fosforu na terenie zagrody i w jej otoczeniu

Stratom fosforu z „gorących mikropunktów” usytuowanych w obrębie podwórza gospodarskiego wraz z jego przyległościami można przeciwdziałać, stosując odpowiednie budowle i zabezpieczenia oraz rozwiązania organizacyjne, wykorzystując obowiązujące odpowiednie przepisy i wytyczne zawarte w aktach prawnych, szczególnie w rozporządzeniach w sprawie programu azotanowego^[57] oraz w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie^[44]. W tym zakresie szczególnie istotne jest, aby nawozy naturalne produkowane przez zwierzęta utrzymywane na terenie zagrody były gromadzone i przechowywane w odpowiednio dostosowanych gnojowniach oraz zbiornikach na gnojówkę i gnojowicę, zgodnie z wymogami podanymi w programie azotanowym. Gnojownie powinny mieć pojemność magazynową równoważną co najmniej 5-miesięcznej, a zbiorniki na gnojówkę i gnojowicę 6-miesięcznej wielkości produkcji nawozów naturalnych w gospodarstwie (taka objętość magazynowa wynika z potrzeby składowania nawozów naturalnych w okresie późnojesiennie-zimowym, kiedy nie należy ich stosować na pola). Powinny być także wykonane z wodoszczelnego materiału odpornego na naciski i uderzenia związane z gromadzeniem i usuwaniem nawozów oraz posiadać zabezpieczenia chroniące przed niezamierzonym przemieszczaniem się gromadzonych nawozów poza ich obręb (np. ścianki boczne w gnojowni). Dojazd do gnojowni powinny być utwardzone i posiadać spadki na zewnątrz tych budowli dla odprowadzania wód opadowych. Pomiot ptasi o wysokiej zawartości suchej masy (60–70%) należy przechowywać w pomieszczeniach lub zamkniętych zbiornikach, gdyż nawóz ten nie może być narażony na opady atmosferyczne. Wskazane jest przykrywanie i zadaszenie przechowywanego obornika, przez co zmniejszy się objętość odcieków i zbiorników do ich przechowywania, a tym samym ograniczone będzie wymywanie fosforu. Zbiorniki na gnojówkę, gnojowicę i płynne nawozy naturalne powinny mieć dno i ściany nieprzepuszczalne (pokryte ewentualnie powłoką ochronną w celu zapewnienia szczelności zbiorników), o dużej wytrzymałości i posiadać zabezpieczenia, które chroniłyby przed niezamierzonymi przelewami (fot. 4.2.1). Zbiorniki na gnojówkę powinny być szczelnie przykryte płytą zaopatrzoną w otwór wejściowy i wentylacyjny. W mniejszych gospodarstwach do przechowywania gnojowicy można wykorzystać elastyczne zbiorniki na gnojowicę jako dodatkowe rozwiązanie.



Fot. 4.2.1. Zbiornik na gnojowicę z blachy falistej zabezpieczonej warstwą ochronną z każdej strony (fot. P. Nawalany)

Dla zabezpieczenia wód przed zanieczyszczeniami z nawozów naturalnych niezbędne jest też wykonanie w budynkach inwentarskich i na wybiegach dla zwierząt posadzki z wodoszczelnego materiału, wytrzymałego na nacisk zwierząt i sprzętu.

Przedstawianiu się zanieczyszczeń, w tym fosforu zmywanego z wybiegów dla zwierząt i innych powierzchni znajdujących się na zewnątrz budynków inwentarskich, które są zanieczyszczane odchodami, w szerszym ujęciu z podwórzy gospodarskich, do cieków i zbiorników wodnych można przeciwdziałać poprzez doprowadzenie tych zanieczyszczeń do specjalnie w tym celu wybudowanych sztucznych mokradeł lub też istniejących w okolicy zagrody oczek wodnych (fot. 4.2.2).



Fot. 4.2.2. Sztuczne mokradło usytuowane w pobliżu obejścia gospodarskiego (fot. S. Pietrzak)

W takich zbiornikach składniki nawozowe, np. fosfor i inne zanieczyszczenia zawarte w spływie powierzchniowym, są usuwane w wyniku procesów sedymentacji, przemian biologicznych i chemicznych, degradacji oraz pobrania przez rośliny. Prawidłowo funkcjonujące mokradła mogą zatrzymać do 90% fosforu wprowadzonego do nich wraz ze spływem. Zapobiegać przedostawaniu się ścieków z podwórzy gospodarskich do wód powierzchniowych można też, budując odpowiednie obwałowania (np. małe wały ziemne) kierujące te ścieki na powierzchnie zadarnione znajdujące się w pobliżu zagrody (roślinność trawiasta stanowi naturalny filtr biologiczny).

Ilość fosforu wynoszonego w spływie powierzchniowym z wybiegów dla zwierząt i temu podobnych miejsc można zmniejszyć poprzez okresowe ich oczyszczanie z kału i odchodów pomieszanych z materiałem organicznym, np. za pomocą zgarzniaka ciągnikowego. Ponadto straty fosforu z miejsc na terenie zagrody i jej otoczenia zanieczyszczonych odchodami (zwłaszcza z wybiegów) można ograniczyć poprzez ich zabezpieczenie przed dopływem wody opadowej z dachów budynków inwentarskich. W tym celu budynki inwentarskie należy wyposażyć w rynny i stworzyć system odprowadzania z dachów wody opadowej poza obszary zanieczyszczone odchodami, np. na powierzchnie zadarnione, do rowów lub stawów.

W celu ograniczenia ryzyka zanieczyszczenia wód odciekami pochodzącymi z soków kiszonkowych wszystkie produkowane w gospodarstwie pasze soczyste należy przechowywać w specjalnych zbiornikach (silosach) lub na płytach z systemem kolektorów i studzienek do ich zbierania. Na dnie silosu płaskiego powinno znaleźć się podłoże z pociętej słomy, które zatrzymuje soki kiszonkowe (jedna tona pociętej słomy może wchłonąć do 2,5 m³ soku).

Silos czy pryzma z kisonką powinny być szczelnie okryte polietylenową folią o grubości 0,15–0,16 mm, aby zapobiec przenikaniu do kisonki wody z opadów atmosferycznych. Najlepszym jednak sposobem eliminacji zagrożenia stwarzanego przez soki kiszonkowe dla wód jest produkcja kisonek z materiału podsuszonego (o zawartości 30–50% s.m.) (fot. 4.2.3). W takim przypadku wycieki soków praktycznie nie występują.



Fot. 4.2.3. Zakiszenie podsuszonej runi łąkowej w belach zapobiega wyciekom soków kiszonkowych (fot. B. Wróbel)

5. RAMY PRAWNE I REKOMENDACJE DOTYCZĄCE ZARZĄDZANIA FOSFOREM W ROLNICTWIE I OCHRONY WÓD, NA POZIOMIE KRAJOWYM I MIĘDZYNARODOWYM

5.1. Aktualne przepisy prawa w Polsce i Unii Europejskiej

W Europie prawidłowe stosowanie nawozów jest regulowane przepisami prawnymi i zaleceniami dobrej praktyki rolniczej. Wszystkie kraje Unii Europejskiej zaimplementowały dyrektywę azotanową (DA) i ramową dyrektywę wodną (RDW), wprowadzając do przepisów prawa zasady zarządzania nawozami, których celem było zarówno zmniejszenie presji na środowisko, jak i poprawa efektywności ich wykorzystania w rolnictwie. Zasady te, pod pewnymi względami, są zbliżone we wszystkich krajach, jednak istnieją różnice uwarunkowane zmiennością klimatu, właściwościami środowiska glebowego czy lokalną specyfiką produkcji roślinnej i zwierzęcej. Rozwiązania prawne dotyczące stosowania nawozów aktualnie skutkują ograniczeniem ilości wprowadzanego azotu i poprawą jego wykorzystania. W chwili obecnej nie obowiązuje żadna dyrektywa europejska ani inna regulacja UE dotycząca stosowania fosforu w rolnictwie. Mimo to niektóre kraje i regiony europejskie wdrożyły własne przepisy ograniczające stosowanie fosforu, wykorzystując zapisy DA w zakresie krajowych planów działania, RDW w zakresie planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz dyrektywę w sprawie emisji przemysłowych.

W Polsce aktualnie obowiązującymi aktami prawnymi są: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu^[75], Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne^[77] i akt wykonawczy do tej ustawy – Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (program azotanowy)^[57] i Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania^[60]. Ładunek fosforu w postaci nawozów naturalnych jest ograniczony w Polsce pośrednio poprzez limit określony dla azotu.

W przypadku zastosowania nawozu naturalnego w maksymalnej dopuszczalnej dawce $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ jego masa z zależności od zawartości azotu może kształtować się w bardzo szerokim zakresie, od kilku do kilkudziesięciu ton na hektar, a co za tym idzie dawka P również będzie bardzo zróżnicowana. W 2018 r. przeprowadzono badania w 30 gospodarstwach w rejonie środkowo-wschodniej Polski z produkcją zwierzęcą prowadzoną w czterech najczęściej występujących kierunkach (bydło opasowe, bydło mleczne, trzoda chlewna i drób), z uwzględnieniem głównych grup nawozów naturalnych występujących w Polsce (obornik z obory głębokiej, obornik z obory płytkiej, gnojowica i pomiot ptasi)^[69]. W tak zróżnicowanej, ale ograniczonej

grupie badanej zawartość azotu w nawozach naturalnych kształtowała się w bardzo szerokim zakresie – od $3,90 \text{ kg N} \cdot \text{t}^{-1}$ (obornik od tuczników) do $28,5 \text{ kg N} \cdot \text{t}^{-1}$ (pomiot ptasi), natomiast zawartość fosforu w zakresie od $0,8 \text{ kg P} \cdot \text{t}^{-1}$ (obornik od krów mlecznych, płytka ściółka) do $10,30 \text{ kg P} \cdot \text{t}^{-1}$ (obornik od tuczników). Przy takim zróżnicowaniu zawartości N ilość nawozu naturalnego, **przy uwzględnieniu maksymalnej dopuszczalnej dawki $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$** , wynosiła od $5,96 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla pomiotu ptasiego do $43,59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla obornika. W konsekwencji dawka fosforu pozostawała teoretycznie w zakresie od $21,5 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ (obornik) do $189,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ (gnojowica). Oczywiście są to ograniczone dane, które jednak pokazują dużą zmienność zawartości składników pokarmowych w tego typu nawozach. Należy wyraźnie podkreślić, że dawka nawozu naturalnego zawsze powinna być zgodna z planem nawożenia przygotowanym na podstawie obowiązującego prawa, a rzeczywistą ilość wprowadzanego fosforu należy obliczyć zgodnie z zasadami zamieszczonymi w rozdziale 6.

Dania

Obowiązujące w Danii zasady dotyczące stosowania nawozów zawarte są w Ustawie o stosowaniu nawozów w rolnictwie i o środkach redukcji składników odżywczych^[73] oraz w aktualizowanym co 2 lata Rozporządzeniu w sprawie rolniczego stosowania nawozów w okresie planowania^[59]. Maksymalna norma fosforu jest ustalana co roku i w sezonie 2022/2023 dla upraw polowych wynosi od 3 do $35 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (do $40 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ w przypadku upraw ogrodniczych) ze wszystkich źródeł. Obieg N i P w duńskim rolnictwie jest dokładnie monitorowany za pomocą cyfrowych kont nawozowych, które są obowiązkowe dla wszystkich przedsiębiorstw rolnych, za które uważa się gospodarstwa o powierzchni powyżej 10 ha (powyżej 5 ha – zgłoszenie dobrowolne) oraz produkujące lub przyjmujące nawozy naturalne o zawartości powyżej 1000 kg N rocznie (powyżej $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Monitoring obejmuje stan zapasów azotu i fosforu w gospodarstwie, przepływ nawozów pomiędzy podmiotami, zawartość N i P we wszystkich rodzajach nawozów i paszach. Plan nawożenia dla azotu i fosforu jest obowiązkowy dla wszystkich zarejestrowanych podmiotów.

Estonia

W Estonii zasady postępowania z nawozami naturalnymi są regulowane Ustawą Parlamentu Republiki Estonii – Prawo wodne^[76]. Maksymalna dopuszczalna dawka fosforu wprowadzana na pola uprawne w postaci nawozów naturalnych (w tym pozostawionych przez zwierzęta na pastwisku) wynosi średnio $25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ w okresie 5 lat. Dawki muszą być zbilansowane na podstawie założonego plonu roślin. Gospodarstwa większe niż 50 ha są zobowiązane do opracowania planu nawożenia.

Finlandia

W Finlandii nawożenie fosforem reguluje Dekret Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa Finlandii w sprawie produktów nawozowych^[10]. Maksymalna dopuszczalna

dawka fosforu rozpuszczalnego w cytrynianie amonu wynosi $400 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ sumarycznie w ciągu 5 lat ($80 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Jednak dotyczy to nawozów, które spełniają kryteria produktu nawozowego (są wprowadzone na rynek, poddane wcześniej procesom technologicznym, mają udokumentowany skład i spełniają kryteria jakościowe produktu nawozowego). Dodatkowo stosowanie fosforu jest regulowane przez Rozporządzenie Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa w sprawie podstawowych, dodatkowych i specjalnych środków dla programów rolnośrodowiskowych. Program rolnośrodowiskowy jest dobrowolny, ale uczestniczy w nim większość gospodarstw w Finlandii. Limity fosforu są uzależnione od rodzaju uprawy, zasobności gleby w P i oczekiwanego plonu, uwzględniane są wszystkie produkty nawozowe zawierające ten pierwiastek (również nawozy wapniowe). Limity są rozliczane w okresie 5 lat, co ułatwia planowanie nawożenia. Jeżeli na użytkach rolnych stosowany jest wyłącznie nawóz naturalny, to można zastosować odstępstwo od danych tabelarycznych, wprowadzając maksymalnie $15 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ rocznie, z wyjątkiem gleb o najwyższej klasie zasobności w P. Na użytkach zielonych dawka maksymalna wynosi $30 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ($20 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku 2 najwyższych klas zasobności gleby w P). Uczestniczący w programie rolnicy są zobowiązani do sporządzania co roku bilansu składników pokarmowych na poziomie każdego pola użytków rolnych i opracowania na jego podstawie „Planu działania na rzecz bilansu składników pokarmowych”, który wprowadza korekty nawożenia w przypadku wystąpienia nadwyżek bilansowych N i P.

Niemcy

Stosowanie nawozów w Niemczech jest usankcjonowane przez Rozporządzenie w sprawie stosowania nawozów, dodatków do gleby, substancji kulturowych i dodatków roślinnych zgodnie z Zasadami Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej w nawożeniu (DüV)^[61]. Nawożenie fosforem musi uwzględniać wymagania pokarmowe roślin, oczekiwany plon oraz zawartość P w glebie. Wymagane jest określenie dawek nawozów P dla każdej powierzchni większej niż 1 ha. Dodatkowe ograniczenia dotyczące nawożenia fosforem występują jedynie w sytuacji, gdy zawartość jego przyswajalnych form wynosi średnio powyżej $20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby (ekstrakcja octanem wapnia – CAL) lub $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby (ekstrakcja mleczanem wapnia – Egnera-Riehma DL), lub $3,6 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby oznaczone metodą elektroultrafiltracji (EUF). W takiej sytuacji dawka P we wszystkich nawozach zawierających fosfor nie może przekraczać oczekiwanego pobrania tego pierwiastka przez rośliny. Analizę taką należy wykonywać przynajmniej co 6 lat. W przypadku stwierdzenia zanieczyszczenia wód fosforem pochodzenia rolniczego, służby ochrony środowiska mogą wydać decyzję nakazującą ograniczenie lub zaprzestanie nawożenia fosforem w gospodarstwie. Wszystkie gospodarstwa powyżej 15 ha (powyżej 2 ha upraw ogrodniczych, chmielarskich i winnic), o produkcji nawozów naturalnych powyżej $750 \text{ kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$ oraz przyjmujące nawozy naturalne są zobowiązane do dokumentowania zabiegów związanych z nawożeniem oraz do opracowania planu nawożenia azotem i fosforem dla każdego pola. W go-

spodarstwach o powierzchni powyżej 30 ha lub/i liczbie zwierząt >50 DJP, lub/i obsadzie >2,5 DJP·ha⁻¹ konieczne jest także sporządzanie bilansu N i P dla całego gospodarstwa. Obowiązek ten dotyczy także mniejszych gospodarstw przyjmujących nawozy naturalne. W przypadku fosforu średnia sześcioletnia nadwyżka bilansowa nie może przekraczać 20 kg P₂O₅·ha⁻¹·rok⁻¹.

Szwecja

W Szwecji zarządzanie nawozami zostało uregulowane w Przepisach i Wytocznych Szwedzkiej Rady Rolnictwa w sprawie zagadnień rolnośrodowiskowych w odniesieniu do żywienia roślin. Zalecenia dotyczące nawożenia fosforem w całym kraju są uzależnione od rodzaju upraw oraz zasobności gleb w fosfor i wynoszą od 0 do 70 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹. Maksymalna dawka P w postaci nawozów naturalnych wynosi 22 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹ średnio w okresie 5 lat. W strefach zagrożenia wód azotanami przepisy dotyczące nawożenia są bardziej restrykcyjne niż na pozostałym obszarze Szwecji. Dotyczy to obowiązkowego planu nawożenia, dawek nawozów azotowych, terminów i zakazów stosowania czy innych działań łagodzących straty biogenów.

Holandia

Podstawowym aktem prawnym w Holandii implementującym dyrektywę azotanową i ramową dyrektywę wodną jest Ustawa Królestwa Niderlandów – Prawo nawozowe^[74] wraz z aktami wykonawczymi. Maksymalna dopuszczalna dawka fosforu w postaci nawozów naturalnych w przypadku wysokiej zawartości P w glebach jest ustalana co roku i wynosi aktualnie 40 kg P₂O₅·ha⁻¹·rok⁻¹ (17 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹) dla gruntów ornych oraz 75 P₂O₅·ha⁻¹·rok⁻¹ (32 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹) dla użytków zielonych. Jeżeli zasobność gleby w fosfor jest niższa, możliwe jest zastosowanie dodatkowego nawożenia P w postaci nawozów mineralnych, naturalnych i organicznych, maksymalnie do 120 kg P₂O₅·ha⁻¹·rok⁻¹ (52 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹). Jeżeli powierzchnia pól w gospodarstwie jest niewystarczająca do wykorzystania całej ilości fosforu z nawozów naturalnych, gospodarstwo jest zobowiązane do ich przetwarzania. Nawożenie może być stosowane również na obszarach naturalnych lub niewykorzystywanych rolniczo (boiska, ogrody, kempingi, użytki zielone z funkcją środowiskową), które należą do gospodarstwa. Na przykład dla użytków zielonych, na których nie jest prowadzona produkcja rolna, a należą do gospodarstwa, limit ten wynosi 70 P₂O₅·ha⁻¹·rok⁻¹ (30 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹). Rolnicy są zobowiązani posiadać plan nawożenia, który uwzględni również bilans N i P obliczany dla całego gospodarstwa.

5.2. Strategie Unii Europejskiej i Wspólna Polityka Rolna

UE przyjęła do tej pory wiele aktów prawnych dotyczących ochrony środowiska mających duże znaczenie dla gospodarki wodnej. Każdy z nich wprowadza swoje cele, instrumenty i środki techniczne, które przeciwdziałają zanieczyszczeniu wód biogenami, a także nadmiernemu zużyciu wód i zmianom hydromorfologicznym spowodowanym przez rolnictwo. Szereg rozwiązań w decydujący sposób wpływa-

jących na wody zostało zebranych w ramach Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) i jego strategii „od pola do stołu”, strategii „na rzecz bioróżnorodności”, planu działania „Zero zanieczyszczeń” czy w Nowym europejskim prawie klimatycznym. Jednym z głównych celów strategicznych EZŁ jest zmniejszenie strat składników pokarmowych o co najmniej 50%, co miałyby spowodować ograniczenie stosowania nawozów o co najmniej 20% przy równoczesnym zachowaniu żyzności gleby. Spełnienie tych celów oraz ich zabezpieczenie finansowe będzie realizowane głównie poprzez działania w obszarze Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). WPR jest główną polityką UE kształtującą rozwój sektora rolnego oraz bezpośrednio wpływającą na to, jak poszczególni rolnicy decydują się zarządzać swoją ziemią, uprawami i inwentarzem. Nowa perspektywa WPR na lata 2023–2027 jest kluczowym instrumentem służącym do ograniczania negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko wodne, której celem jest „wspieranie zrównoważonego rozwoju i wydajnego gospodarowania zasobami naturalnymi, takimi jak woda, gleba i powietrze”. Dotychczasowe wymogi zazielenienia i zasady wzajemnej zgodności zostały połączone w nową wzmocnioną warunkowość, w skład której wchodzi norma dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (ang. *Good Agricultural and Environmental Condition of Land* – GAEC) oraz podstawowe wymogi z zakresu zarządzania (ang. *Statutory Management Requirements* – SMR).

Oprócz SMR 2, odnoszącego się do Dyrektywy Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (dyrektywa azotanowa)^[14], warunkowość obejmuje również wymóg SMR 1 zaprojektowany na podstawie wdrożenia do przepisów prawa krajowego artykułu 11 ust. 3 lit. e i h, Dyrektywy 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (ramowa dyrektywa wodna – RDW)^[12]. Wymogi SMR 1 dotyczą kontroli pozwoleń wodnoprawnych.

Dodatkowo w ramach PS WPR na lata 2023–2027 nowym prośrodowiskowym elementem płatności bezpośrednich są ekoschematy, w tym Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi – praktyka Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia. Ma ona na celu właściwe zarządzanie nawożeniem dostosowanym do zasobności gleb i potrzeb pokarmowych roślin. Plan ma być realizowany z wykorzystaniem analiz gleby i narzędzi informatycznych wspierających nawożenie. Ma on obejmować wszystkie podstawowe składniki pokarmowe (N, P, K, Mg, Ca) i występować w wariancie z wapnowaniem i bez niego. Praktyczne stosowanie planu nawożenia pozwala uzyskać duże plony roślin przy optymalnym pobraniu składników pokarmowych. Powoduje to wysokie ich wykorzystanie z nawozów i w efekcie przyczynia się do powstania małej nadwyżki bilansowej, która jest wskaźnikiem potencjalnych strat biogenów (przede wszystkim N i P) do wód gruntowych i powierzchniowych. Ekoschemat ten wspiera realizację wymogów SMR 1 i 2, a także jest spójny z działaniami rekomendowanymi przez Komisję Helsińską (HELCOM).

W ramach WPR ochrona wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azot i fosfor ze źródeł rolniczych jest wspierana również przez normy GAEC 4 – Ustanowienie stref buforowych wzdłuż cieków wodnych, GAEC 5 – Zarządzanie orką przyczyniające się do zmniejszenia ryzyka degradacji i erozji gleby, w tym uwzględnianie nachylenia terenu, a także GAEC 6 – Minimalna pokrywa glebowa w najbardziej newralgicznych okresach. Praktyki te wyłączają z nawożenia powierzchni najbardziej podatne na straty biogenów, ograniczają erozję gleby oraz zmniejszają wpływ powierzchniowy i podpowierzchniowy.

Ochrona wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azot i fosfor ze źródeł rolniczych jest wspierana również przez Pakiet 1. Rolnictwo zrównoważone PROW 2014-2020. Pakiet ten promuje praktyki polegające na racjonalnym wykorzystaniu zasobów przyrody i ograniczeniu negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko poprzez m.in. optymalizację nawożenia.

Aby zrealizować cele strategiczne redukcji strat azotu i fosforu oraz zużycia nawozów, Komisja Europejska podejmuje także szereg inicjatyw mających na celu wzmocnienie działań i osiągnięcie wymiernych pozytywnych rezultatów. Jedną z takich inicjatyw to na przykład „Substancje biogenne – plan działania na rzecz lepszego gospodarowania”. Plan ten ma uzupełnić i wzmocnić inne realizowane już działania na rzecz eliminacji zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby. Inicjatywy takie są podejmowane, ponieważ nadal zanieczyszczenia osiągają poziom szkodliwy dla zdrowia ludzi i środowiska, w szczególności ze względu na niedociągnięcia w konkretnych przepisach oraz istotne problemy związane z wdrażaniem prawodawstwa, czy braku zintegrowanego podejścia do zanieczyszczenia składnikami odżywczymi obejmującego powietrze, wodę, glebę i klimat.

5.3. Konwencja helsińska, Plan Działań dla Morza Bałtyckiego, zalecenia Komisji Helsińskiej (HELCOM)

Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego (konwencja helsińska), która jest fundamentem Bałtyckiej Komisji Ochrony Środowiska Morskiego – znanej również jako Komisja Helsińska (HELCOM), została pierwotnie podpisana w 1974 r. przez wszystkie kraje zlewiska Morza Bałtyckiego. Ma ona na celu sprostanie rosnącym wyzwaniom środowiskowym wynikającym z działalności człowieka i zmian klimatycznych, które mają poważny wpływ na środowisko morskie. Konwencja helsińska obejmuje ochronę Morza Bałtyckiego przed wszystkimi źródłami zanieczyszczeń z lądu, powietrza i morza. Zobowiązuje również sygnatariuszy do podjęcia działań na rzecz ochrony siedlisk i różnorodności biologicznej oraz zrównoważonego wykorzystania zasobów morskich. Konwencja helsińska została zaktualizowana w 1992 r. w celu uwzględnienia zmian geopolitycznych i pojawiających się wyzwań środowiskowych w regionie. Zaktualizowana konwencja helsińska weszła w życie w dniu 17 stycznia 2000 r., po ratyfikacji przez Unię Europejską, Niemcy, Łotwę i Szwecję w 1994 r., Estonię i Finlandię w 1995 r.,

Danię w 1996 r., Litwę w 1997 r. oraz przez Polskę i Rosję w listopadzie 1999 r. Do konwencji helsińskiej istnieje obecnie siedem załączników zawierających dokładniejsze procedury, środki i przepisy związane ze szczegółowymi celami ekologicznymi, zasadami lub zobowiązaniami określonymi w konwencji.

Z punktu widzenia ochrony wód przed zanieczyszczeniami ze źródeł rolniczych najważniejszy jest załącznik III. „Kryteria i środki dotyczące zapobiegania zanieczyszczeniom ze źródeł lądowych”, w części 2. „Zapobieganie zanieczyszczeniom pochodzącym z rolnictwa”, regulacja 2. „Składniki pokarmowe roślin”. Załącznik ten został zaktualizowany 20 października 2021 r., a przyjęte zmiany weszły już w życie. Głównymi postanowieniami tego dokumentu są zobowiązania krajów do zmniejszenia zanieczyszczenia wód z działalności rolniczej poprzez opracowanie ustawodawstwa lub wytycznych uwzględniających zapisy aneksu. Oprócz zaleceń dotyczących obsady zwierząt, pomieszczeń inwentarskich, miejsc przechowywania nawozów naturalnych i kiszzonek, stosowania nawozów naturalnych, organicznych materiałów i odpadów, działań zmniejszających odpływ biogenów do wód i amoniaku do atmosfery, można tam odnaleźć dwa punkty, które bezpośrednio dotyczą fosforu. W punkcie 8. „Dawki składników pokarmowych” obok ograniczenia stosowania nawozów według zrównoważonych zaleceń opracowywanych przez poszczególne kraje umieszczony jest zapis ustalający maksymalną roczną dawkę fosforu w postaci nawozów naturalnych na $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, jednocześnie maksymalną roczną dawkę azotu – $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zapis ten jest wspierany przez punkt 12. „Odzysk składników pokarmowych”, gdzie kraje są zachęcane do opracowania strategii odzysku składników pokarmowych, która ma wspomóc wykorzystanie nawozów naturalnych w ramach zakładanych ograniczeń dawek biogenów. Proponowane jest przetwarzanie i transportowanie nawozów naturalnych do miejsc o niskiej ich dostępności.

Bałtycki plan działania (BSAP), pierwotnie przyjęty przez umawiające się strony konwencji helsińskiej w 2007 r., jest strategicznym programem środków i działań HELCOM na rzecz osiągnięcia dobrego stanu środowiska Morza Bałtyckiego. Zaktualizowany i przyjęty ponownie 20 października 2021 r. BSAP jest podzielony na 4 segmenty, gdzie działalność rolnicza jest przede wszystkim związana z segmentem „Eutrofizacja” i w pewnym stopniu z segmentem „Niebezpieczne substancje i odpady”. W segmencie „Eutrofizacja” można odnaleźć szereg działań powiązanych ze stosowaniem nawozów, zaczynając od działania E5 – obowiązku wdrożenia i egzekwowania zapisów załącznika III przez strony konwencji do 2030 r. Następnymi działaniami w temacie „Rolnictwo”, które będą wpływały na praktyki nawożenia są: E17 – uzgodnienie do 2023 r. krajowych poziomów nadwyżki składników pokarmowych w bilansie nawożenia oraz E7 – stworzenie regulacji, schematów i rekomendacji na poziomie krajowym do zrównoważonego i precyzyjnego nawożenia. W temacie „Odzysk składników pokarmowych”, który jest spójny z punktem 12., załącznika III, części 2., regulacji 2., znajduje się działanie E31 – stworzenie prawnych i instytucjonalnych ram do wprowadzenia obowiązkowego planu nawożenia i bilansu składników pokarmowych dla wszystkich gospodarstw.

Strategia odzysku składników pokarmowych dla regionu Morza Bałtyckiego została przyjęta 20 października 2021 r., a opracowana w ostatnim czasie w celu wprowadzenia zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi przy zapewnieniu ich efektywnego wykorzystania, opłacalnego odzyskiwania i zminimalizowania strat. Jest ona powiązana zarówno z BSAP, jak i załącznikiem III. Strategia kładzie nacisk na planowanie i optymalizowanie nawożenia oraz zastępowanie nawozów mineralnych składnikami pokarmowymi odzyskanymi z nawozów naturalnych, organicznych i odpadów; realizowana i raportowana poprzez działania zawarte w zaktualizowanym BSAP.

Rekomendacja HELCOM 41/3 „Stosowanie krajowych standardów dla nawozów naturalnych” zawiera wskazania do tworzenia krajowych aktualnych norm dla zawartości w nawozach składników pokarmowych i wielkości ich produkcji dla poszczególnych grup zwierząt. Dokładne dane co do ilości nawozów i zawartości w nich suchej masy, N, N-NH_4 , P i K, na wszystkich etapach zarządzania, będą wykorzystywane przy tworzeniu dokładnych planów nawożenia, bilansów oraz egzekwowaniu limitów i ograniczeń.

W listopadzie 2021 r. w ramach grupy roboczej HELCOM AGRI rozpoczęły się prace nad rekomendacją dotyczącą planu nawożenia i bilansu składników pokarmowych, który ma być podstawą do wprowadzenia krajowych rozwiązań dla wszystkich gospodarstw w tym zakresie. Jest to element realizacji działania E31 w ramach BSAP.

HELCOM inspirowa realizację licznych projektów naukowych i bierze w nich czynny udział wraz z partnerami innych krajów członkowskich. W ostatnich latach szczególne znaczenie miały projekty dotyczące zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi. Jednym z nich był duży projekt SuMaNu „Zrównoważone gospodarowanie nawozami naturalnymi i składnikami pokarmowymi w celu zmniejszenia strat składników pokarmowych w regionie Morza Bałtyckiego”, w ramach którego w latach 2017–2019 zrealizowano mniejszy projekt Manure Standards „Zaawansowane standardy dotyczące nawozów naturalnych dla zrównoważonego zarządzania składnikami odżywczymi i redukcji emisji”. Na podstawie wyników uzyskanych w projekcie Manure Standards 4 marca 2020 r. przyjęto rekomendacje HELCOM 41/3. Dokument ten poleca krajom członkowskim ustanowienie i aktualizację co 4 lata swoich norm zawartości NPK oraz wielkości produkcji nawozów naturalnych. Dane te powinny być wykorzystywane w celu planowania nawożenia i takiego zarządzania składnikami pokarmowymi, aby możliwie w największym stopniu ograniczyć straty azotu i fosforu z rolnictwa.

6. DAWKI, SPOSOBY I TERMINY NAWOŻENIA FOSFOREM

6.1. Grunty orne

Dawki

Zalecane dawki nawozów mineralnych powinny pokrywać potrzeby pokarmowe roślin uprawnych oraz zapewnić osiągnięcie optymalnej zawartości składnika w glebie (w dłuższej perspektywie czasu). Podstawą racjonalnego zarządzania fosforem jest bilans składników pokarmowych w skali pola produkcyjnego. Stronę rozchodową bilansu stanowi pobranie składnika przez rośliny, tj. ilość fosforu akumulowanego w masie produktów roślinnych, która wyznacza potrzeby pokarmowe roślin.

Po stronie przychodowej bilansu uwzględnia się w pierwszej kolejności:

- nawozy naturalne;
- organiczne i organiczno-mineralne nawozy i środki poprawiające właściwości gleby;
- wykorzystywane rolniczo odpady;
- pozostawione na polu produkty uboczne przedplonu;
- nawozy mineralne, które powinny pokrywać różnicę pomiędzy potrzebami pokarmowymi rośliny i ilością składnika dostępnego z innych wyżej wymienionych źródeł.

Określenie potrzeb pokarmowych roślin

Potrzeby pokarmowe roślin w odniesieniu do fosforu oblicza się jako pobranie składnika z prognozowanym plonem:

$$\text{Potrzeby pokarmowe roślin} = \text{prognozowany plon} \times \text{pobranie fosforu na jednostkę plonu}$$

Pobranie składnika na jednostkę plonu głównego z odpowiednią ilością plonu ubocznego przedstawiono w tabeli 6.1.1.

Obliczenie ilości składnika działającego z innych niż nawozy mineralne źródeł

Dla potrzeb bilansowania ilość składnika z dowolnego źródła wyraża się w tzw. składniku działającym, czyli równorzędnym pod względem działania jednostce fosforu w nawozach mineralnych. Do przeliczenia całkowitej ilości składnika z danego źródła na składnik działający stosuje się tzw. równoważniki nawozowe.

- Ilość składnika działającego z naturalnych, organicznych, organiczno-mineralnych nawozów i środków poprawiających właściwości gleby oraz wykorzystywanych rolniczo odpadów określa się w sposób następujący:

$$\text{Ilość fosforu działającego} = \text{dawka} \times \text{zawartość fosforu} \times \text{równoważnik nawozowy fosforu (tab. 6.1.3)}$$

Informacja o zawartości fosforu w tych nawozach i środkach pochodzi z analiz chemicznych lub informacji handlowych o produkcie. W przypadku nawozów naturalnych mogą być wykorzystane dane o zawartości składnika dostępne w piśmiennictwie lub przykładowe dane zamieszczone w tabeli 6.1.2.

- Ilość składnika działającego w pozostawionych na polu produktach ubocznych przedplonu wyznacza się według wzoru:

$$\text{Ilość fosforu w produktach ubocznych} = \text{masa produktów ubocznych} \times \text{pobranie jednostkowe w produktach ubocznych} \times \text{równoważnik nawozowy fosforu (tab. 6.1.3)}$$

Wyznaczenie ilości fosforu w nawozach mineralnych niezbędnej dla optymalnego żywienia roślin

Ilość fosforu, jaką rośliny powinny pobrać z nawozów mineralnych wyznacza się jako różnicę pomiędzy potrzebami pokarmowymi rośliny i ilością składnika działającego z innych dostępnych źródeł:

$$\text{Fosfor z nawozów mineralnych} = \text{potrzeby pokarmowe rośliny} - \text{fosfor działający z nawozów naturalnych i organicznych} - \text{fosfor działający z produktów ubocznych}$$

Korekta dawki nawozów mineralnych uwzględniająca aktualną zasobność gleby

Zasobność gleby w składniki pokarmowe jest ważnym czynnikiem decydującym o zróżnicowaniu dawek nawozów. Nawozy fosforowe powinny być stosowane w ilościach równoważących pobranie fosforu przez rośliny, z uwzględnieniem odpowiedniego współczynnika korekcyjnego dotyczącego zasobności gleby. Współczynnik ten ma wartość mniejszą od 1 na glebach o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości składnika, co oznacza, że potrzeby nawozowe są w tym przypadku mniejsze od potrzeb pokarmowych roślin. Na glebach o niskiej lub bardzo niskiej zawartości składnika współczynnik korekcyjny jest większy od 1.

Ostateczną zalecaną dawkę nawozów fosforowych oblicza się, mnożąc zapotrzebowanie na fosfor z nawozów mineralnych przez współczynnik korekcyjny uwzględniający zasobność gleby.

$$\text{Zalecana dawka nawozów fosforowych mineralnych} = \text{fosfor z nawozów mineralnych} \times \text{współczynnik korekcyjny (tab. 6.1.4)}$$

Tabela 6.1.1. Pobranie składników w kilogramach na 1 tonę plonu w zależności od gatunku rośliny uprawnej

Gatunek rośliny	Plon użytkowy i uboczny $P_2O_5^*$	Plon uboczny $P_2O_5^*$
Pszenica	10,00	2,00
Pszenżyto	10,00	2,00
Jęczmień browarny	8,50	1,70
Jęczmień jary pastewny	8,50	1,70
Żyto	9,00	1,80
Żyto, zielona m. na paszę	1,37	-
Owies	9,00	2,70
Owies, zielona m. na paszę	1,20	-
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,50	2,55
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10,00	3,00
Mieszanki zbożowo-strączkowe, zielona m.	1,20	-
Kukurydza na ziarno	10,00	4,00
Kukurydza, zielona m.	1,30	-
Gryka	15,00	4,50
Rzepak, nasiona	20,00	4,00
Burak cukrowy	1,60	0,96
Burak pastewny	1,40	0,84
Ziemniak późny	2,00	0,70
Ziemniak wczesny	2,00	0,40
Inne korzeniowe (okopowe)	1,15	0,69
Lucerna, zielona m.	1,10	-
Lucerna z trawami, zielona m.	1,60	-
Koniczyna, zielona m.	0,70	-
Koniczyna z trawami, zielona m.	1,15	-
Mieszanki bobowate z trawami, zielona m.	1,80	-
Trawa w uprawie polowej, zielona m.	1,40	-

*dla potrzeb doradztwa nawozowego ilość fosforu i potasu wyrażono w formie tlenkowej

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 6.1.2. Zawartość fosforu w nawozach naturalnych (kg P₂O₅·t⁻¹)

Gatunek zwierząt i grupa użytkowa	Obornik z głębokiej ściółki	Obornik z płytkiej ściółki	Gnojówka z płytkiej ściółki	Gnojowica/ pomiot/ odchody
Buhaje	2,1	2,7	0,2	1,1
Krowy mleczne	2,6	2,4	0,2	2,1
Jałówki cielne	2,3	2,3	0,1	1,4
Jałówki powyżej 1 roku	2,5	2,8	0,2	1,4
Jałówki 6–12 mies.	2,2	2,4	0,2	1,2
Cielęta do 6 miesiąca	2,1	1,3	0,1	1,7
Bydło opasowe 6–12 mies.	2,1	2,3	0,2	1,0
Bydło opasowe powyżej 1 roku	2,1	2,7	0,2	1,1
Knury	3,2	3,9	0,6	3,2
Lochy	3,2	3,9	0,6	3,2
Warchlaki 2–4 mies.	3,3	3,5	0,3	1,4
Tuczniki	3,6	4,4	0,3	2,4
Konie	3,62	4,1	4,1	-
Żrebaki powyżej 2 lat	3,5	4,9	4,9	-
Owce	2,3	-	-	-
Kury	3,3	-	-	3,3

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 6.1.3. Równoważniki nawozowe fosforu z różnych źródeł

Rodzaj nawozu	Równoważnik nawozowy fosforu
Gnojowica (wszystkie rodzaje)	0,7
Obornik (wszystkie rodzaje)	0,4
Kompost	0,3
Przyorane nawozy zielone, międzyplony	0,4
Przyorane liście okopowych	0,4
Przyorana słoma zbóż, rzepaku, kukurydzy	0,3
Organiczne i organiczno-mineralne nawozy, środki poprawiające właściwości gleby i odpady	0,3

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 6.1.4. Współczynniki korekcyjne w zależności od zasobności gleby

Zawartość fosforu w glebie				
bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
1,5	1,25	1,0	0,5	0,25

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

6.2. Trwale użytki zielone

Dawki nawozów fosforowych na użytki zielone powinny być uzależnione od rodzaju gleb, ich zasobności w fosfor, rodzaju użytku oraz wielkości zakładanych do uzyskania plonów w różnych systemach i na różnych poziomach gospodarowania. W miarę zwiększania intensywności użytkowania zwiększa się bowiem zapotrzebowanie roślin na składniki mineralne. Dopuszczalne poziomy nawożenia łąk trwałych na glebach mineralnych i organicznych (niezależnie od stopnia ich zmurszenia i uwilgotnienia) w systemach konwencjonalnym, zrównoważonym i ekologicznym przy plonie siana łąkowego do 7–8 t·ha⁻¹ zielonki przedstawiają tabele 6.2.1 i 6.2.2.

Tabela 6.2.1. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem (kg P₂O₅·ha⁻¹) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemach konwencjonalnym i zrównoważonym^[6]

Analiza	System gospodarowania			
	konwencjonalny			zrównoważony
	intensywny	półintensywny	ekstensywny	
Gleby mineralne				
Liczba pokosów w roku	3–4	2 (możliwy 1 dodatkowy wypas)	2 (możliwy 1 dodatkowy wypas) lub 1 + 2 rotacje wypasu	3
Dawka pod I pokos	max. 90	70*	25*	60*
Gleby organiczne				
Liczba pokosów w roku	3	2–3	2 (głównie na siano)	3 (głównie na kiszonkę)
Dawka pod I pokos	90*	70*	35*	70*

*nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach; przy wysokiej zasobności należy zastosować dawkę zmniejszoną o 25%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 25%

Tabela 6.2.2. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie ekologicznym w zależności od rodzaju nawozu naturalnego^[6]

Liczba pokosów w roku	Warianty nawożenia w zależności od rodzaju nawozu naturalnego					
	I wariant		II wariant		III wariant	
	obornik lub kompost, $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	gnojowica, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	gnojówka, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$
I	25	0	20	uzupełnić do 70 na podst. analizy chem. nawozu**	20	uzupełnić do 70 na podst. analizy chem. nawozu**
II	0	0	10		10	
III	0	0	0		0	
Σ_{roczna}	25	0	30		30	

*uwagi: obornik lub kompost stosować jesienią lub wiosną; konieczna analiza chemiczna nawozów naturalnych; w ekstensywnym poziomie gospodarowania jedno- lub dwukośnym nawożenie na odpowiednio niższym poziomie;

**nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach; przy wysokiej zasobności należy zastosować dawkę zmniejszoną o 20%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 20%

Pastwisko, w odróżnieniu od łąki, z której plon masy roślinnej wynoszony jest bezpowrotnie, nawożone jest przez cały okres wypasu zwierząt. W związku z tym, nawożąc je fosforem, należy uwzględnić dodatkowe źródło tego składnika, jakim są odchody zwierząt. Przyjmuje się, że jedna duża jednostka przeliczeniowa (DJP) przez sezon pastwiskowy (trwający 160–170 dni) pozostawia odchody, w których znajduje się ok. 6 kg fosforu. Wykorzystanie fosforu w takich warunkach może wynosić od 30 do nawet 100%. Tym samym dawka nawozowa fosforu powinna być odpowiednio mniejsza, uzależniona od obsady zwierząt. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem uwzględniające intensywność gospodarowania zostały ujęte w tabeli 6.2.3.

Tabela 6.2.3. Dopuszczalne poziomy nawożenia pastwisk fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) na glebach mineralnych i organicznych w zależności od intensywności gospodarowania^[6]

Składnik	Poziom gospodarowania		
	intensywny (5–7 rotacji)	półintensywny (4–5 rotacji)	niskointensywny (2–3 rotacje)
Gleby mineralne			
Fosfor	70*	60*	25*
Gleby organiczne			
Fosfor	80*	60*	35*

*nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach; przy wysokiej zasobności należy zastosować dawkę zmniejszoną o 20%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 20%

Nawożenie fosforem użytków zielonych należy stosować w jednorazowej dawce rocznej wczesną wiosną (nawozy mineralne i płynne nawozy naturalne) lub jesienią (obornik).

6.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywnicze i ozdobne

Nawożenie fosforem podobnie jak innymi składnikami mineralnymi w uprawie roślin ogrodniczych powinno być koniecznie poprzedzone analizą chemiczną gleby. W liczbach granicznych przyjętych dla fosforu nie uwzględnia się agronomicznych kategorii gleb. Dostępność fosforu w niewielkim stopniu może zależeć od składu mechanicznego gleby. Przyjmuje się podział na 5 klas zawartości fosforu w glebach.

Tabela 6.3.1. Liczby graniczne dla fosforu (w $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby)^[8]

Klasa zawartości	Ocena zawartości fosforu	W przeliczeniu na P_2O_5	W przeliczeniu na P
V	bardzo niska	do 5,0	do 2,2
IV	niska	5,1–10,0	2,3–4,4
III	średnia	10,1–15,0	4,5–6,6
II	wysoka	15,1–20,0	6,7–8,8
I	bardzo wysoka	od 20,1	od 8,9

Zasady określania dawek nawozów fosforowych w zależności od zasobności gleb w fosfor

Fosfor jest pierwiastkiem mało ruchliwym w glebie i w niektórych warunkach (wilgotność gleby, właściwości fizykochemiczne, skład granulometryczny, pocho-

dzenie skał naturalnych w podglebiu) jest trudno dostępny dla roślin. Pomimo obecności w glebie pierwiastek ten łatwo może przechodzić w formy słabo rozpuszczalne, niedostępne dla roślin, szczególnie gdy odczyn gleby jest zbyt niski. Przyjmuje się, że znaczna część fosforu (80–90%) występuje w glebie w postaci trudno dostępnej.

Dawki nawozów fosforowych określa się na podstawie wyników analizy chemicznej gleby opartej na liczbach granicznych dla fosforu.

- Jeśli zawartość fosforu jest bardzo niska, niska lub zbliżona do dolnej średniej ($10,1 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby), przed uprawą należy doprowadzić zawartość P do górnej średniej granicy ($15 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby). Różnicę pomiędzy zawartością P w glebie a wartością średnią P, jaką chcemy uzyskać należy wnieść w formie nawozu fosforowego.
- Jeśli zawartość fosforu jest wysoka (przedział zawartości $15,1\text{--}20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby), wskazane jest zastosowanie dawki odpowiadającej potrzebom pokarmowym P danego gatunku roślin.
- Przy obliczaniu dawki nawozów fosforowych wskazane jest uwzględnienie sorpcji tego pierwiastka w glebie.

Zastosowanie nawozów fosforowych w uprawie warzyw

W uprawie warzyw oprócz optymalnego nawożenia szczególne znaczenie ma zawartość materii organicznej w glebie oraz prawidłowa struktura gleby ułatwiająca jej nagrzewanie się oraz rozwój systemu korzeniowego. Duże znaczenie ma stosowanie właściwego płodozmianu, dzięki któremu systematycznie poprawia się żyzność gleby (szczególnie jeśli w płodozmianie są rośliny bobowate) oraz jej stan fitosanitarny. Stosowanie prawidłowego płodozmianu, szczególnie w produkcji integrowanej warzyw, a także nawożenie z wykorzystaniem materii organicznej (kompost, nawozy zielone, obornik, gnojówka) pozwala znacząco zwiększyć zawartość materii organicznej, a także być źródłem składników mineralnych, w tym również fosforu. Ilość tego składnika wnoszona z materią organiczną powinna być uwzględniana w bilansie stosowanego nawożenia mineralnego.

Fosfor jest szczególnie potrzebny roślinom młodym w fazie wzrostu siewek lub ukorzeniania rozsady po wysadzeniu na pole. Pobieranie tego pierwiastka jest również utrudnione w niskich temperaturach, więc po posadzeniu rozsady (marzec, kwiecień) zawartość P w glebie powinna być uzupełniona do poziomu optymalnego.

Obliczając dawkę nawozów fosforowych, należy uwzględnić współczynnik sorpcji tego pierwiastka w glebie. Przyjmuje się, że wartość współczynnika sorpcji P w glebach wynosi: 1,5–2 przy optymalnym odczynie gleby, 3 dla gleb lekko kwaśnych oraz 4–5 dla gleb kwaśnych. Jeśli wyliczona dawka nawozów fosforowych jest wysoka, to np. dla gleb kwaśnych ilość nawozu należy podać w formie dzielonej (połowa lub $\frac{3}{4}$ dawki jesienią pod orkę, a resztę dawki wiosną podczas zabiegów agrotechnicznych, przed sadzeniem lub siewem warzyw).

Tabela 6.3.2. Zawartości optymalne fosforu w glebie dla warzyw polowych ($\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-1}$)^[63]

40–60	50–70	60–80
fasola szparagowa groch marchew pietruszka rzodkiewka skorzonera szparag	burak ćwikłowy chrzan kapusta głowiasta (biała, czerwona, włoska, brukselska) sałata szpinak ziemniak wczesny	cebula brokuł kalafior ogórek pomidor por rabarbar seler

Tabela 6.3.3. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin warzywnych w uprawie polowej^[79]

Roślina	P ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	pH
Burak ćwikłowy	50–70	6,0–7,5
Brokuł	50–60	6,2–7,0
Cebula	60–80	6,5–7,8
Chrzan	40–60	5,5–6,7
Fasola szparagowa	40–60	6,5–7,8
Groch	40–60	6,5–7,8
Kalafior	50–70	6,4–7,5
Kapusta biała	50–70	6,2–7,8
Kapusta brukselska	60–80	6,2–7,8
Marchew	60–80	6,5–7,5
Ogórek	60–80	6,0–7,2
Pietruszka	40–60	6,5–7,5
Pomidor	60–80	5,5–6,5
Por	60–80	6,0–7,4
Rabarbar	60–80	5,5–6,5
Rzodkiewka	40–60	6,0–7,4
Sałata	50–70	6,0–7,5
Seler	60–80	6,5–7,5
Skorzonera	60–80	6,4–7,5
Szparag	40–60	6,4–7,5
Szpinak	50–70	6,0–7,5

*dostępność P z gleby oraz możliwości jego pobierania są uzależnione od optymalnego odczynu podłoża

Tabela 6.3.4. Średnie ilości P pobranego z plonem najważniejszych gatunków warzyw w uprawie polowej^[15]

Roślina	Plon świeżej masy (t·ha⁻¹)	Pobranie fosforu (kg P·ha⁻¹)
Brokuł	90	41,4
Burak ćwikłowy	100	46,0
Cebula	65	22,1
Cykoria saładowa	50	20,0
Fasola	35	14,0
Fenkuł	70	23,8
Jarmuż	45	31,05
Kalafior	100	48,0
Kalarepa	60	27,0
Kapusta brukselska	90	60,3
Kapusta pekińska	120	43,2
Kapusta głowiasta biała	120	39,6
Kapusta głowiasta czerwona	90	33,3
Kapusta włoska	80	40,0
Marchew	100	36,0
Ogórek	120	48,0
Por	70	24,5
Rzodkiewka	35	10,5
Salata masłowa	60	18,0
Salata krucha	80	20,0
Seler korzeniowy	75	41,25
Szpinak	40	20,0

Nawożenie mineralne fosforem w uprawach sadowniczych na podstawie przyswajalności/dostępności fosforu w glebie i odżywiania roślin tym składnikiem

Tabela 6.3.5. Zakresy zawartości przyswajalnego fosforu (P) w glebie* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia^[80]

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	zawartość fosforu (mg P·kg ⁻¹ s.m.)		
	<50	51–80	>80
	nawożenie fosforem przed założeniem szkółki** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	50–70	30–50	-
	nawożenie fosforem w szkółce*** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	30–50	10–30	

*przyswajalność P w glebie oznaczona metodą Egnera-Riehma;

**stosować nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów;

***stosować nawozy zawierające polifosforany bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 6.3.6. Zakresy zawartości dostępnego fosforu (P) w glebie* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia^[80]

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	zawartość fosforu (mg P·kg ⁻¹ s.m.)		
	<20	20–50	>50
	nawożenie fosforem przed założeniem szkółki** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	50–70	30–50	-
	nawożenie fosforem w szkółce*** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	30–50	10–30	

*dostępność P w glebie oznaczona według metody Nowosielskiego;

**stosować nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów;

***stosować nawozy zawierające polifosforany bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 6.3.7. Nawożenie dogłębowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od przyswajalności P w glebie oznaczonej metodą Egnera-Riehma^[33, 80]

Zasobność warstwy próchnicznej w P		
niska	optymalna	wysoka
Zawartość P (mg·kg ⁻¹ s.m.)		
<40	40–80	>80
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji* (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
100–150**	50–100**	0–50**
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji*** (g P ₂ O ₅ ·m ⁻²)		
10–15	0	0

*dawka fosforu podana na powierzchnię nawożoną;

**zmniejszone lub zwiększone dawki fosforu o 20% stosować, gdy jego zawartość w warstwie poniżej poziomu próchnicznego wynosi odpowiednio >40 mg P·kg⁻¹ s.m. oraz <20 mg P·kg⁻¹ s.m.;

***nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów stosować wzdłuż rzędów drzew w sadach powyżej 3 lat, mieszając je do głębokości ok. 5 cm. Nawozy zawierające polifosforany stosować w młodych sadach (do 3 lat), a także na plantacjach bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 6.3.8. Nawożenie dogłębowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od dostępności P w glebie oznaczonej metodą Nowosielskiego^[80]

Zasobność warstwy próchnicznej w P		
niska	optymalna	wysoka
Zawartość P (mg·dm ⁻³ ś.m.)		
<15	15–50	>50
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji* (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
100–150**	50–100**	0–50*
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji*** (g P ₂ O ₅ ·m ⁻²)		
10–15**	0	0

*dawka fosforu podana na powierzchnię nawożoną;

**zmniejszone lub zwiększone o 20% dawki fosforu stosować, gdy jego zawartość w warstwie poniżej poziomu próchnicznego wynosi odpowiednio >15 mg P·dm⁻³ ś.m. oraz <7 mg P·dm⁻³ ś.m.;

***nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów stosować wzdłuż rzędów drzew w sadach w wieku powyżej 3 lat, mieszając je do głębokości 5 cm. Nawozy zawierające polifosforany stosować w młodych sadach (do 3 lat), a także na plantacjach bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 6.3.9. Liczby graniczne zawartości fosforu (P) w liściach poszczególnych gatunków roślin sadowniczych oraz polecane jego dawki w owocujących sadach/na plantacjach

Gatunek rośliny/dawka składnika w nawożeniu*	Zakres zawartości P (%)			
	deficytowy	niski	optimalny	wysoki
Jabłoń Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,11 150	0,11–0,14 100	0,15–0,26 0	>0,26 0
Grusza Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	-	<0,14 100	0,14–0,25 0	>0,25 0
Czereśnia Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,11 150	0,11–0,14 100	0,15–0,45 0	>0,45 0
Wiśnia Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,12 150	0,12–0,14 100	0,15–0,30 0	>0,30 0
Śliwa Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,14 150	0,14–0,19 100	0,20–0,60 0	>0,60 0
Brzoskwinia Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	-	<0,14 100–150	0,14–0,30 0	>0,30 0
Morela Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	-	0,19 100–150	0,20–0,26 0	>0,26 0
Orzech włoski Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,10 150	0,10–0,13 100	0,14–0,50 0	>0,50 0
Leszczyna Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,10 150	0,10–0,14 100	0,15–0,40 0	>0,40 0
Porzeczka czarna Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,15 50**	0,15–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Porzeczka czerwona Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,18 50**	0,18–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Agrest Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,14 50**	<0,14–18 50**	0,19–0,25 0	>0,25 0
Malina Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,11 50**	0,11–0,14 50**	0,15–0,30 0	>0,30 0
Truskawka Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,15 50**	0,15–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Borówka Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)		<0,10 50**	0,12–0,40 0	>0,80 0
Żurawina Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)		<0,08 50**	0,10–0,20 0	
Winorośl właściwa Dawka P ₂ O ₅ (kg·ha ⁻¹)	<0,10 50**	0,10–0,19 50**	0,20–0,24 0	0,25–0,80 0

*dawki P w przeliczeniu na powierzchnię nawożoną;

**stosować nawozy fosforowe na bazie polifosforanów

Rośliny ozdobne uprawiane w gruncie (plantacje polowe)

Rośliny ozdobne uprawiane w gruncie to głównie plantacje roślin szkółkarskich oraz rośliny cebulowe i bulwiaste (tulipany, lilie, narcyzy, piwonie). W uprawie polowej nawozy fosforowe oraz potasowe stosowane są głównie jesienią, zaś dawki powinny być obliczane na podstawie bieżących analiz gleby^[29].

Tabela 6.3.10. Ocena zasobności gleby w fosfor w gruntowych szkółkach roślin ozdobnych^[55]

Zasobność	Zawartość P w dwóch warstwach gleby (mg·100 g ⁻¹)	
	0–20	20–40
Wysoka	>10	>6,5
Średnia	6,5–10	3,5–6,5
Niska	<6,5	<3,5

Tabela 6.3.11. Nawożenie fosforem w szkółkach gruntowych^[55]

Grupa roślin	Potrzeby pokarmowe	Dawka P w zależności od zawartości składnika w glebie (kg·ha ⁻¹ rocznie)		
		zasobność wysoka	zasobność średnia	zasobność niska
Róże	wysokie	25	40	45
Gatunki liściaste, np. <i>Rhododendron</i> , <i>Berberis</i> , <i>Viburnum</i> itp., oraz podkładki i rośliny młode; Gatunki iglaste	średnie	20	25	40
Gatunki o mniejszych wymaganiach, np. <i>Populus</i> , <i>Salix</i> , <i>Spirea</i>	niskie	10	15	20

Tabela 6.3.12. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin cebulowych i bulwiastych^[70]

Roślina	P (mg·dm ⁻³)	pH
Krokus	40–80	5,7–6,8
Lilia	40–80	5,8–7,0
Mieczyk	50–100	6,3–7,2
Narcyz	50–100	5,7–6,8
Tulipan	50–80	6,3–7,4
Piwonia	80–100	6,4–7,5

Rośliny cebulowe (krokus, narcyz i tulipan oraz lilia) są sadzone jesienią i dawki nawozów, w tym P, powinny być zastosowane głównie jesienią przed sadzeniem, podczas przygotowywania pola. Mieczyki są sadzone wiosną, lecz część dawki P można zastosować już jesienią, przygotowując pole, a resztę wiosną przed sadzeniem. Piwonie jako rośliny wieloletnie wymagają zarówno odpowiedniego uzupełnienia zawartości w glebie P przed sadzeniem, jak również w kolejnych latach regularnego nawożenia, zgodnie z wynikami analiz chemicznych podłoża. Rośliny cebulowe są w Polsce uprawiane na niewielkich arealach. Zwykle nie ma problemu z niedoborami P w uprawie przy stosowaniu dawek uzupełniających ten pierwiastek do zalecanego poziomu.

Specyfika nawożenia w szkółkach

Rośliny szkółkarskie są uprawiane dość intensywnie (krótkie cykle uprawowe, duże zagęszczenie roślin i stosunkowo intensywne nawożenie), więc często oprócz stosowania dawek nawozów dogłębowo, w tym nawozów fosforowych, do zalecanego poziomu P w glebie dodatkowo stosuje się nawadnianie kropłowe lub zraszanie pożywkami nawozowymi (fertygacja). Zbyt duże dawki pożywki nawozowej mogą prowadzić do nadmiernej akumulacji składników w glebie i ich wymywania w głąb profilu glebowego^[9].

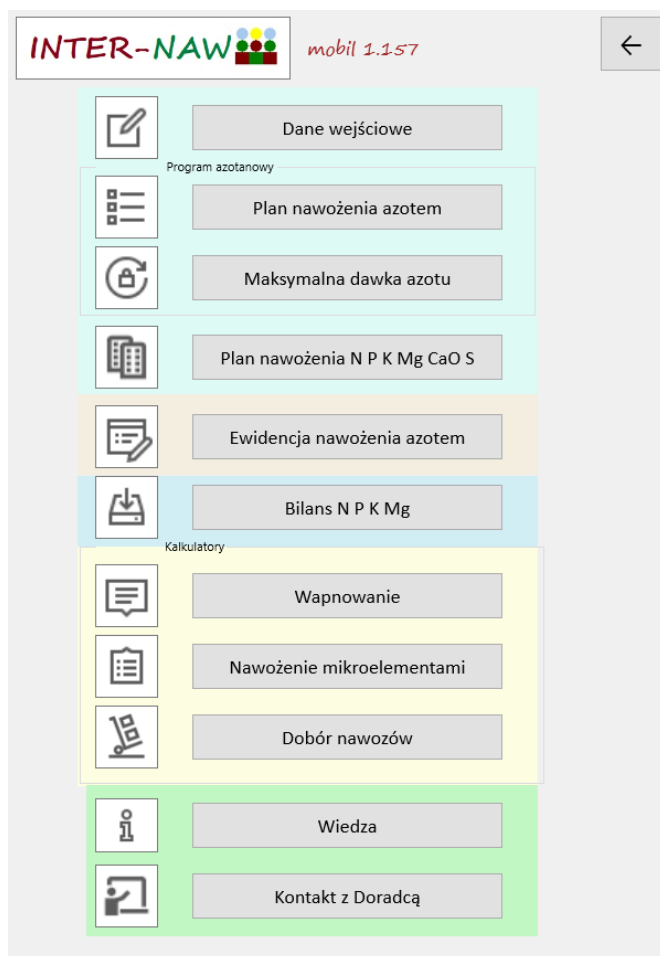
Uprawy kontenerowe w szkółkach (gdzie pojemniki z roślinami ustawione są gęsto na wyłożonych włókniną szkółkarską zagonach gruntowych) wymagają nawożenia stosowanego do pojemników (nawozy sypkie lub nawozy o spowolnionym działaniu). Podłoże w pojemnikach jest zwykle bardziej porowate i ma mniejszą zdolność sorpcyjną niż gleba w polu, więc opady deszczu mogą łatwo wypłukiwać nawozy aplikowane do pojemników^[71]. Problemem są wahania w poziomie zawartości składników w czasie sezonu wegetacyjnego i konieczność dodatkowego stosowania nawozów w formie fertygacji (zraszanie, nawadnianie liniami kroplującymi) lub dokarmiania dolistnego.

Dodatkowe nawożenie powinno być prowadzone po wykonaniu analiz podłoża w pojemnikach, obserwacji roślin (wykrycie objawów niedoboru składników mineralnych), a nawet po wykonaniu analiz liści. Intensywne nawożenie szkółek pojemnikowych może prowadzić do wymywania składników pokarmowych i ich gromadzenia się w glebie pod pojemnikami, a także niekontrolowanego spływu biogenów zawartych w wodach drenarskich (w tym P) do środowiska.

W wielu krajach (Holandia, Belgia, Niemcy), w szkółkach kontenerowych monitorowane są dawki podawanej wody, a także ilość wód drenarskich generowanych przez dane gospodarstwo. Wody drenarskie nie mogą być odprowadzane do środowiska bez wcześniejszego ich oczyszczenia w zbiornikach osadowych.

7. INTER-NAW – JAKO NARZĘDZIE DO PLANOWANIA NAWOŻENIA FOSFOREM

INTER-NAW jest aplikacją przeznaczoną do planowania nawożenia upraw polowych składnikami pokarmowymi niezbędnymi dla wzrostu, rozwoju i plonowania roślin oraz wapnowania gleb. Fosfor jest jednym z najważniejszych pierwiastków plonotwórczych, ale musi być stosowany w odpowiednich proporcjach do pozostałych składników biogenicznych. Racjonalne zarządzanie fosforem jest ściśle powiązane z prawidłowym żywieniem roślin azotem, potasem, siarką i magnezem, w warunkach uregulowanego odczynu gleby. Dlatego też wyznaczenie optymalnej dawki nawozów fosforowych w aplikacji INTER-NAW jest elementem kompleksowego planu nawożenia obejmującego: azot, fosfor, potas, magnez i siarkę oraz wapnowanie gleb zakwaszonych.



Rys 7.1. Ekran startowy aplikacji mobilnej INTER-NAW

Dawki składników pokarmowych, w tym fosforu, określa się zgodnie z założeniami omówionymi w rozdziale 6 opracowania, tj. metodą bilansową. Informacje niezbędne do przeprowadzenia obliczeń obejmują:

- gatunek rośliny przedplonowej;
- prognozowany plon;
- gatunek przedplonu;
- informacje o zagospodarowaniu produktów ubocznych (zbiór/przyoranie);
- rodzaj zastosowanych nawozów naturalnych, organicznych oraz innych środków poprawiających właściwości gleby lub odpadów, ich dawki i zawartość składników pokarmowych;
- aktualną zasobność gleby w składniki pokarmowe i odczyn.

internaw.schr.gov.pl

Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Warszawie

WIEDZA KONTAKT REJESTRACJA **MOJE DANE**

USTAWIENIA KONTA

DANE WEJŚCIOWE

PLAN NAWOŻENIA AZOTEM

MAKSYMALNA DAWKA AZOTU

PLAN NAWOŻENIA N P K Mg CaO S

EWIDENCJA NAWOŻENIA AZOTEM

BILANS N P K Mg

WAPNOWANIE

NAWOŻENIE MIKROELEMENTAMI

DOBÓR NAWOZÓW

WIEDZA

KONTAKT Z DORADCĄ

WYLOGUJ

DANE WEJŚCIOWE

DANE GOSPODARSTWA

Powierzchnia gospodarstwa (ha):

Uprawa intensywna:

☐ zaznacz jeśli tak

DJP - obsada zwierząt:

PRODUKCJA ZWIERZĘCA

Numer identyfikacyjny ARIMR:

Obowiązkowe działania:

ZAPISZ ZMIANY

DANE DZIAŁEK:

Działka	Powierzchnia	Data dodania
DODAJ DZIAŁKĘ		

Po wypełnieniu danych, przejdź do planu nawożenia.

OPCJE ZAAWANSOWANE:

IMPORTUJ DANE

EKSPORTUJ DANE

Usuń zaznaczone

Rys. 7.2. Ekran startowy aplikacji internetowej INTER-NAW

Na podstawie wprowadzonych informacji aplikacja określa potrzeby pokarmowe uprawianej rośliny oraz ilość fosforu dostępnego z innych niż nawozy mineralne źródeł na danym stanowisku, a następnie oblicza, ile składnika należy zastosować w nawozach mineralnych. Zastosowanie odpowiedniego współczynnika korekcji pozwala dostosować dawkę nawozów fosforowych do zasobności gleby. Przy tym zakłada się, że na glebach o bardzo niskiej i niskiej zasobności wskazana jest nadwyżka bilansowa składnika, w warunkach zawartości wysokiej i bardzo wysokiej bilans fosforu powinien być ujemny, a na glebach średnio zasobnych – zrównoważony, tj. bliski zera.

W analogiczny sposób obliczane są dawki nawozów potasowych i magnezowych. Dawki azotu obliczane są zgodnie z założeniami tzw. programu azotanowego.

Jednym z kluczowych działań ograniczających straty biogenów z rolnictwa jest regulacja odczynu gleb, niezbędnym elementem kompleksowego planu nawożenia jest także określenie dawek wapna nawozowego na glebach kwaśnych. W systemie doradztwa INTER-NAW zaproponowano innowacyjne podejście do problemu wapnowania. Rekomendowana dawka wapna obliczana jest w taki sposób, aby podnieść pH gleby do poziomu optymalnego. W warunkach gleb silnie zakwaszonych, jeśli dawka wapna jest bardzo wysoka, zaleca się jej podział na podstawową i uzupełniającą.

INTER-NAW umożliwia także obliczenie ilości nawozów naturalnych nagromadzonych w gospodarstwie oraz określenie prawdopodobnej zawartości azotu, fosforu, potasu i magnezu w tych nawozach. W tym celu wymagane jest wprowadzenie aktualnych informacji o obsadzie zwierząt i sposobie ich utrzymania.

Informacje wprowadzone przez użytkownika są przechowywane do celów ich wykorzystania w kolejnych latach.

Aplikacja INTER-NAW jest dostępna nieodpłatnie na serwerze zarządzanym przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą pod adresem **www.schr.gov.pl**.

8. PRZYKŁADY OBLICZEŃ PLANU NAWOŻENIA FOSFOREM

P – forma pierwiastkowa fosforu (ilość $P = \text{ilość } P_2O_5 \times 0,436$)

P_2O_5 – forma tlenkowa fosforu (ilość $P_2O_5 = \text{ilość } P \times 2,291$)

8.1. Grunty orne

Przykład I

Dane wejściowe:

- roślina uprawna: kukurydza na ziarno,
- prognozowany plon – 8 t,
- nawożenie nawozami naturalnymi – gnojowica od krów $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie – niska.

Obliczenia:

Potrzeby pokarmowe kukurydzy:

$$8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 10 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{t}^{-1} = 80 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Ilość fosforu działającego z gnojowicy:

$$30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 2,1 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{t}^{-1} \times 0,7 = 44,1 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Niezbędna ilość fosforu dla roślin z nawozów mineralnych:

$$80 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1} - 44,1 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1} = 35,9 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości fosforu w glebie:

$$35,9 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1,25 = 44,9 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Przykład II

Dane wejściowe:

- roślina uprawna: pszenica ozima,
- prognozowany plon – 8 t,
- nawożenie nawozami naturalnymi – nie,
- pozostawione produkty uboczne przedplonu – słoma rzepaku $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie – wysoka.

Obliczenia:

Potrzeby pokarmowe pszenicy:

$$8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 10 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{t}^{-1} = 80 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Ilość fosforu działającego ze słomy rzepaku:

$$4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 4 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{t}^{-1} \times 0,3 = 4,8 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Niezbędna ilość fosforu dla roślin z nawozów mineralnych:

$$80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} - 4,8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} = 75,2 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości fosforu w glebie:

$$75,2 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,5 = 37,6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

8.2. Trwale użytki zielone

Dawki nawozów fosforowych na trwale użytki zielone (TUZ) można wyznaczyć na podstawie następującego równania:

$$P_{\text{min}} = [P_p - (P_{\text{nn}} + P_{\text{op}})] \cdot Z_p$$
$$P_p = P_{\text{pr}} \times p_{\text{jp}}$$

gdzie:

P_{nim} – dawka fosforu w nawozach mineralnych, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ UZ;

P_p – prognozowane pobranie fosforu przez roślinność łąkowo-pastwiskową, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;

P_{pr} – zakładany plon runi TUZ w gospodarstwie rolnym, $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$;

p_{jp} – pobranie jednostkowe fosforu, $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1}$ – można przyjąć, że optymalna wartość wskaźnika jednostkowego pobrania P_2O_5 przez runi trwałych użytków zielonych wynosi $1,37 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1}$ zielonej masy^[16];

P_{nn} – dawka fosforu działającego z nawozów naturalnych, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;

P_{op} – dawka fosforu działającego z kompostu i innych nawozów organicznych oraz pofermentu, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;

Z_p – współczynnik uwzględniający zasobność gleby w fosfor wg tabeli 6.1.4;

przy czym:

dawki P_{nn} i P_{op} oblicza się przez pomnożenie dawki zastosowanego nawozu naturalnego, organicznego lub innego przez właściwe dla nich wskaźniki zawartości fosforu w nawozach i równoważniki nawozowe fosforu wg tabeli 6.1.3.

Przykład ustalenia dawki nawozów fosforowych na użytki zielone

Dane wejściowe:

- roślinność łąkowa na siano,
- prognozowany plon zielonki: $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- nawożenie nawozami naturalnymi: $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gnojowica od bydła o zawartości fosforu $2,0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1}$,
- klasa zawartości przyswajalnego fosforu w glebie: średnia.

Obliczenia:

Potrzeby pokarmowe roślinności łąkowej:

$$35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 1,37 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1} \text{ zielonej masy} = 48 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Ilość fosforu działającego z gnojowicy:

$$25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 2,0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1} \times 0,7 = 35 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Zalecana dawka fosforu w nawozach mineralnych po uwzględnieniu zasobności gleby w ten składnik:

$$(48 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} - 35 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}) \times 1 = 13 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}.$$

Obliczoną dawkę nawozów fosforowych zaleca się zastosować na TUZ jednorazowo w okresie wiosennym.

8.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywnicze i ozdobne

Przykład I. Kapusta biała

- roślina uprawna: **kapusta biała**,
- prognozowany plon: $120 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- nawożenie obornikiem jesienią: $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie: średnia.

Obliczenia:

Pobranie fosforu w plonie świeżej masy:

$$120 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} = 39,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 91,1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Ilość fosforu działającego z obornika:

$$25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,13\% \text{ P} = 32,5 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,4 = 13,0 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 29,9 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Niezbędna ilość fosforu z nawozów mineralnych:

$$39,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} - 13,0 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 26,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 61,18 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości P w glebie:

$$26,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \times 1,25 = 33,25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 76,5 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Dawkę fosforu można dzielić, dając połowę jesienią pod orkę i drugą połowę wiosną.

Przykład II. Cebula jadalna

- roślina uprawna: **cebula**,
- prognozowany plon: $65 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie: niska,
- pobranie fosforu w plonie świeżej masy: $22,4 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$,

Obliczenia:

Pobranie fosforu w plonie świeżej masy:

$$80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} = 27,2 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 62,56 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Ilość fosforu działającego z obornika:

$$30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,13\% \text{ P} = 39,0 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,4 = 16,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 35,9 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Niezbędna ilość fosforu z nawozów mineralnych:

$$27,2 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} - 16,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 10,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 24,38 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości P w glebie:

$$10,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \times 3 = 31,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 73,14 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Przy intensywnej uprawie cebuli (nawadnianie, fertygacja, pełne odmiany), co sprzyja wzrostom plonu, wskazane jest wykonywanie analiz chemicznych gleby w czasie wegetacji i korekta dawek nawozów, w tym fosforu.

Przykład III. Tulipany, reprodukcja cebul na plantacji

- roślina uprawna: **tulipan, reprodukcja**,
- zalecenia: zawartość P w podłożu 50–80 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 75 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$),
- gleba lekka, przedplon zboża, bez nawożenia obornikiem,
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie: niska (ok. 40 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$),
- zalecana dawka P w czasie uprawy w 50–70 $\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 115\text{--}160 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Obliczenia:

Niedobory P w podłożu:

$$75 - 40 = 35 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3} \times 2 \text{ (współczynnik sorpcji)} = 70 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3} = 161 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{dm}^{-3}$$

Dawka nawozu:

$$161 \text{ g P}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-3} / 5 = 32,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} = 323 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} = 702,2 \text{ kg superfosfatu potrójnego} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Nawóz powinien być podany jesienią w czasie przygotowywania pola przed sadzeniem.

Przykład IV. Róże w szkółce

- roślina uprawna: **krzewy róż w szkółce, II rok uprawy**,
- zawartość P w glebie: wysoka $>10 \text{ mg P} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ w warstwie 0–20 cm i $>6,5 \text{ mg P} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby w warstwie 20–40 cm.

Obliczenia:

Zalecana dawka: $\text{P} = 25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ rocznie

$$25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} = 57,5 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \times 2 \text{ (współczynnik sorpcji)} = 115 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

Dawki:

I połowa dawki fosforu, tj. 57,5 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ jesienią, w formie superfosfatu potrójnego = 125 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$

II połowa dawki fosforu, tj. 57,5 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ wiosną, w formie nawozu wieloskładnikowego nawozu, np. Yara Mila Complex = 523 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub innego nawozu wieloskładnikowego zawierającego P.

Przykład V. Borówka amerykańska

Roślina uprawna: **borówka amerykańska: krzewy 2–3-letnie.**

- Dla borówki amerykańskiej fosfor nie może być podawany w nadmiarze, a jednocześnie część P w glebie nie jest dostępna dla roślin ze względu na duży udział materii organicznej.
- Zalecana forma nawożenia fosforem (częściowo posypowo): I dawka od ruszenia wegetacji, II dawka pod koniec kwitnienia.
- Reszta dawki P powinna być podawana w czasie cotygodniowej fertygacji podawanej.
- Podział dawek nawozów w czasie sezonu (początek wegetacji i kwitnienia – 10%; zawiązywanie owoców do fazy różowych owoców – 30%; owoce wybarwiające się do zbioru – 40%; po zbiorze – 20%).
- Zalecane stosowanie nawożenia fosforem, jedynie gdy gleba zawiera poniżej 50 mg P·l⁻¹. (zawartość fosforu w glebie: niska <25 mg P·l⁻¹; średnia 26–50 mg P·l⁻¹; wysoka >50 mg·l⁻¹).
- Dla intensywniej produkcji i owocowania w trakcie sezonu należy dostarczyć 20–40 kg P₂O₅·ha⁻¹.

Obliczenia:

Poziom P w podłożu: średni 30 mg P·l⁻¹; rekomendowana dawka na sezon – 40 kg P₂O₅

Dawka P w formie nawozów posypowych:

I ruszenie wegetacji – 15 kg P₂O₅·ha⁻¹

II dawka posypowa – koniec kwitnienia 10 kg P₂O₅·ha⁻¹

Razem 25 kg P₂O₅·ha⁻¹ podane np. w formie Yara Mila Complex (12:11:18).

Pozostała dawka P: 40 kg – 25 kg = 15 kg P₂O₅·ha⁻¹.

Ta ilość P₂O₅·ha⁻¹ powinna być podana w czasie sezonu w formie cotygodniowej fertygacji wraz z innymi nawozami (jako źródło P może być zastosowany np. fosforan mocznika – zakwaszający lub inne nawozy rozpuszczalne zawierające P w formie polifosforanów lub ortofosforanów).

9. PODSUMOWANIE DOBRYCH PRAKTYK W ZAKRESIE NAWOŻENIA FOSFOREM

9.1. Grunty orne

Dobre praktyki w zakresie nawożenia fosforem na gruntach ornych muszą być stosowane w sposób kompleksowy, aby uzyskać pożądaną efekt, tj. wysoką efektywność nawożenia fosforem przy jednoczesnym maksymalnym ograniczeniu strat tego składnika do wód. Aby osiągnąć taki efekt, niezbędne jest zarówno racjonalne nawożenie oparte na bilansie składnika, jak i stworzenie warunków umożliwiających roślinie pobranie zaaplikowanych dawek fosforu, ale także zastosowanie działań redukujących straty fosforu do wód.

Racjonalne nawożenie oparte na bilansie fosforu

Racjonalne nawożenie fosforem na gruntach ornych powinno zawierać następujące elementy:

➤ **Rozpoznanie zasobności gleby.**

Podstawą stosowania racjonalnego nawożenia fosforem w praktyce jest ocena zasobności gleby w ten pierwiastek. W tym celu w Polsce wykorzystywany jest tzw. fosfor przyswajalny, oznaczany metodą Egnera-Riehma DL. Metoda ta pozwala określić zawartość łatwo rozpuszczalnych form fosforu w glebach mineralnych i węglanowych, które są użytkowane rolniczo. Do celów doradztwa nawozowego stosuje się 5-stopniową wycenę zawartości fosforu przyswajalnego w glebie (patrz tabela 2.3.1 na stronie 17).

➤ **Wyznaczenie potrzeb pokarmowych roślin.**

Każdy gatunek rośliny charakteryzuje się swoistym składem pod względem wartości makro- i mikroelementów i pobiera różne ilości poszczególnych składników pokarmowych, w tym fosforu. Potrzeby pokarmowe poszczególnych gatunków roślin odpowiadają sumarycznej ilości niezbędnego składnika, jaką rośliny muszą pobrać dla wydania maksymalnego plonu. Łatwo można wyliczyć potrzeby pokarmowe roślin, mnożąc jednostkowe pobranie danej rośliny przez przewidywany plon roślin z hektara. Streszczając: wyznaczenie potrzeb pokarmowych roślin wymaga znajomości gatunku rośliny uprawnej, jej jednostkowego pobrania oraz prognozowanego plonu (po więcej informacji na ten temat sięgnij do podrozdziału 6.1).

➤ **Wyznaczenie dawek nawozów fosforowych na podstawie bilansu fosforu z uwzględnieniem współczynników korygujących.**

Uzupełniające dawki nawozów mineralnych pokrywające zapotrzebowanie roślin na fosfor wyznacza się tak, aby zabezpieczyć pokrycie potrzeb pokarmowych

roślin uprawnych oraz osiągnąć (w dłuższej perspektywie czasu) optymalny poziom zawartości składnika w glebie. Podstawowym narzędziem racjonalnego nawożenia fosforem jest bilans składników pokarmowych w skali pola produkcyjnego.

Stronę rozchodową bilansu stanowi pobranie składnika przez rośliny, tj. ilość fosforu wyznaczona przez potrzeby pokarmowe roślin. Po stronie przychodowej bilansu uwzględnia się:

- pozostawione na polu produkty uboczne przedplonu wraz z informacją o zagospodarowaniu produktów ubocznych (zbiór/przyoranie);
- nawozy naturalne wraz z informacją o ich dawkach i zawartości składników pokarmowych;
- organiczne i organiczno-mineralne nawozy i środki poprawiające właściwości gleby;
- wykorzystywane rolniczo odpady;
- zasobność gleby;
- nawozy mineralne, które powinny pokrywać ewentualną różnicę pomiędzy potrzebami pokarmowymi rośliny i ilością składnika dostępnego z wyżej wymienionych źródeł.

Zastosowanie odpowiedniego współczynnika korekcji (tab. 6.1.4 na stronie 53) pozwala dostosować dawkę nawozów fosforowych do zasobności gleby. Przy tym zakłada się, że na glebach o bardzo niskiej i niskiej zasobności wskazana jest nadwyżka bilansowa składnika, w warunkach zawartości wysokiej i bardzo wysokiej bilans fosforu powinien być ujemny, a na glebach średnio zasobnych – zrównoważony, tj. bliski zeru. Warto przypomnieć, że dostosowane do możliwości pobrania przez rośliny dawki nawozów redukują ryzyko wymycia fosforu do wód.

Stworzenie warunków umożliwiających pobranie zastosowanych dawek fosforu

Muszą być stworzone odpowiednie warunki umożliwiające pobranie nawozów, nawet zastosowanych w precyzyjnie wyznaczonej dawce, przez rośliny. Najistotniejszym z nich jest uregulowany odczyn gleby, który jest kluczową cechą gleby, decydującą o dostępności fosforu dla roślin. Zalecany zakres pH gleby to ok. 6,5–7,2. W glebach o odczynie poniżej 5,0 pierwiastek ten występuje w połączeniach nierozpuszczalnych z glinem i żelazem, zaś w glebach o pH powyżej 7,0 tworzy z jonami wapnia nierozpuszczalną sól wapniowo-fosforową, zaś już w warunkach lekkiego zakwaszenia (pH poniżej 6,5) zmniejsza się przyswajalność fosforu, a zwiększa prawdopodobieństwo emisji P z gleby do wód. Uregulowany odczyn gleby minimalizuje zatem ryzyko strat fosforu, a ponadto przyczynia się do utrzymywania gruzełkowatej struktury gleby, uodparniając ją na działanie wody, co skutkuje większą odpornością na straty fosforu wskutek erozji, dodatkowo przeciwdziałając stratom.

Kluczowy dla umożliwienia roślinom pobrania zaaplikowanej dawki fosforu jest również odpowiedni czas zastosowania nawozu, gdyż dostępność fosforu dla roślin uwarunkowana jest temperaturą gleby (spadek temp. poniżej 12°C znacząco ogranicza przyswajanie fosforu przez rośliny). W warunkach glebowo-klimatycznych Pol-

ski wiosną, ze względu na niższe temperatury (poniżej 12°C) i niedobory wilgoci, zaaplikowany do gleby fosfor nie może być zasymilowany przez rośliny i może ulec wymyciu. Przyjmuje się ponadto, że nawożenie i siew najlepiej przeprowadzać jednocześnie, umieszczając nawozy mineralne poniżej nasion; umożliwi to właściwe zaopatrzenie młodych roślin, zmniejszy konkurencję chwastów i ryzyko spływów powierzchniowych. Najlepsze wykorzystanie P z nawozów mineralnych obserwuje się przy regularnym stosowaniu starannie granulowanych nawozów, co sprzyja równomiernemu rozpuszczaniu się fosforu i tworzeniu jednakowych warunków w całej ryzosferze.

Przeciwdziałanie stratom

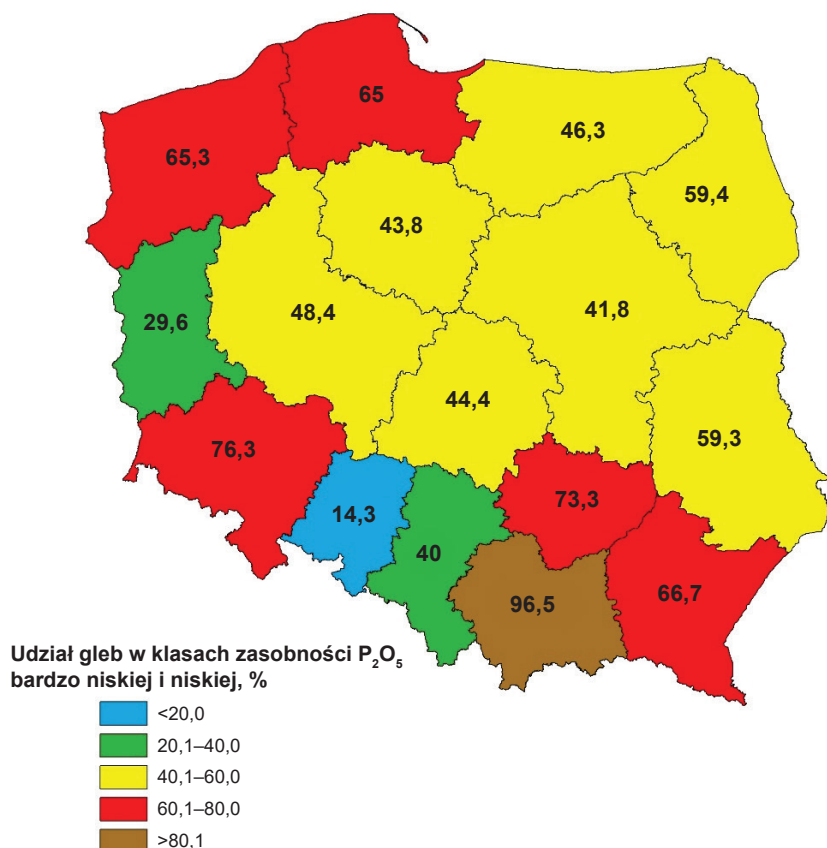
Pomimo zastosowania wszystkich rekomendacji wymienionych powyżej – pewna część fosforu może zostać rozproszona z produkcji rolniczej. Aby temu przeciwdziałać, należy stosować działania mitygujące, takie jak np.:

- odpowiednie przechowywanie nawozów naturalnych i właściwe postępowanie z odciekami;
- utrzymywanie okrywy roślinnej w okresie jesienno-zimowym, w postaci krótkotrwałych użytków zielonych, które zmniejszają ryzyko erozji powierzchniowej wodnej i wietrznej i umożliwiają wykorzystanie nagromadzonej w glebie puli fosforu – działanie szczególnie zalecane jest na glebach lekkich;
- stosowanie międzyplonów, które siane razem z główną uprawą lub później utrzymywane są na gruntach ornych w okresach po zbiorze upraw głównych i pobierają zaaplikowany do gleby fosfor, zapobiegając jego wymyciu, a po przyoraniu – składnik jest wprowadzany powtórnie do gleby;
- ograniczanie intensywności erozji, np. poprzez warstwicową uprawę roli i stosowanie technik uprawy konserwującej, a w skrajnych przypadkach przeznaczanie gruntów o znacznym nachyleniu (powyżej 20%) pod trwałe użytki zielone bądź pod zalesienie;
- tworzenie i utrzymywanie sztucznych mokradeł i stawów sedymentacyjnych, które spowalniając przepływ wody opadowej, pozwalają na zatrzymywanie cząstek gleby oraz osadzonego na nich fosforu;
- utrzymywanie stref buforowych, które są nienawożonymi, porośniętymi roślinami wieloletnimi pasami roślinności wzdłuż cieków i zbiorników wodnych, stanowiącymi naturalny biofiltr wobec fosforu, ale także azotu czy np. pestycydów.

9.2. Trwałe użytki zielone

Według danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej z 2020 r. średnio ponad 56% gleb użytków zielonych w Polsce charakteryzuje się bardzo niską lub niską zasobnością w fosfor, przy czym występuje w tym zakresie znaczne zróżnicowanie

regionalne (rys. 9.2.1). Zarazem ok. 19% tych gleb zawiera nadmierne ilości fosforu (gleby o bardzo wysokiej zasobności w P)^[48] stwarzające potencjalne zagrożenie dla jakości wody.



Rys. 9.2.1. Udział gleb użytków zielonych o bardzo niskiej i niskiej zasobności w przyswajalny fosfor, w 2020 r.^[48]

Występujące w przeważającej części gleb UZ z jednej strony niedobory, a z drugiej (w dużo mniejszym stopniu) nadmiary fosforu świadczą, że gospodarka tym składnikiem wymaga w wymiarze ogólnokrajowym optymalizacji. Dla jej przeprowadzenia potrzebne jest wprowadzenie na użytkach zielonych racjonalnej gospodarki fosforem polegającej na stosowaniu zbilansowanych dawek nawozów fosforowych. Dawki te powinny stanowić różnicę między poziomem pobrania fosforu przez runo łąkowe przy założonym plonie a jego ilością wprowadzaną do gleby z różnych źródeł, w szczególności z nawozami naturalnymi, skorygowaną o współczynnik zasobności gleb w fosfor. Należy jednak uwzględnić, że skuteczność realizacji poprawnej gospodarki fosforem na UZ wiąże się częstokroć z potrzebą ich odkwaszenia za pomocą nawozów wapniowych. Potrzeba ta dotyczy znacznej części gleb UZ w Polsce, gdyż ponad 34% z nich posiada odczyn bardzo kwaśny lub

kwaśny, a ok. 35% – lekko kwaśny^[48]. Efektem stosowania nawozów wapniowych na glebach zakwaszonych jest, m.in.:

- poprawa dostępności składników odżywczych w glebie, w tym fosforu;
- zwiększenie dostępności fosforu z zasobów glebowych (w glebach o $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$ – $5,0$ zmniejsza się przyswajalność fosforu, a fosfor przechodzi w prawie nierozpuszczalne fosforany żelaza i glinu).

Nawozy wapniowe na użytki zielone powinny być aplikowane w dawkach pozwalających utrzymać optymalny poziom pH_{KCl} na glebach mineralnych i organicznych mieszczący się w przedziałach wartości odpowiednio: $5,5$ – $6,0$ i $4,5$ – $5,0$ (tab. 9.2.1 i 9.2.2).

Tabela 9.2.1. Optymalne dawki nawozu wapniowego na trwałe użytki zielone na glebach mineralnych^[64]

Zawartość węgla organicznego, C_{org} (%)	Optymalna dawka CaO (w $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od pH_{KCl} gleby UZ			
	<4,5	(4,5–5,0>	(5,0–5,5>	(5,5–6,0>
<1,25	1,00	0,50	0,25	–
1,26–2,5	1,50	1,00	0,50	0,25
2,6–5,0	2,00	1,50	1,00	0,50
5,1–10,0*	3,00	2,50	–	–

*gleby organiczno-mineralne; gdy $\text{pH} > 5,0$ nie należy ich wapnować

Tabela 9.2.2. Dawki wapna na użytki zielone na glebach organicznych^[21]

Optymalna dawka CaO (w $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od pH_{KCl} gleby UZ			
<4,1	(4,1–4,5>	(4,5–5,0>	(5,0–5,5>
3,5	3,0	2,5	-

Na użytki zielone ogólnie zalecane jest stosowanie wapna węglanowego^[27], przy czym forma ta w szczególności jest przydatna do stosowania w siedliskach grądowych położonych na lekkich glebach mineralnych i w siedliskach organicznych. Na glebach zwięzłych gliniastych zaleca się stosować wapno tlenkowe (palone) o szybkim działaniu^[17].

9.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywne i ozdobne

Fosfor (P) jest składnikiem wykazującym małą ruchliwość w glebie. Z tego powodu nawozy fosforowe (niezależnie od ich rozpuszczalności w wodzie) najlepiej stosować „pod orkę” przed założeniem sadu/plantacji. O konieczności użycia na-

wozów fosforowych przed posadzeniem **roślin sadowniczych** decyduje zawartość tego składnika w glebie. Nawożenie P w istniejącym sadzie/plantacji wykonuje się, gdy wyniki analizy gleby/liści wykażą zbyt niską zawartość tego składnika lub gdy pojawią się objawy jego niedoboru na liściach. Nawozy fosforowe można zastosować przez system nawodnieniowy (fertygacja), drogą pozakorzeniową lub przez ich rozsianie na powierzchnię ugoru herbicydowego/mechanicznego wzdłuż rzędu drzew. Przy ostatnim sposobie, zaleca się używać nawozów zawierających polifosforany, gdyż wykazują dobrą mobilność w glebie i szybko przemieszczają się do systemu korzeniowego roślin. W przypadku doglebowego nawożenia przy użyciu nawozów bazujących na ortofosforanach należy je wymieszać z glebą na głębokość 5–7 cm. Jednakże mieszanie nawozów zawierających ortofosforany jest celowe tylko w starszych sadach owocowych, gdyż w młodych nasadzeniach zabieg ten powoduje zahamowanie wzrostu roślin, ograniczając zawiązywanie owoców i powodując ich drobnienie. Mieszanie nawozów fosforowych należy wykonać wiosną, gdy gleba jest wilgotna. Do nawożenia fosforem można użyć nawozów rozpuszczalnych w wodzie, tj. superfosfat prosty i potrójny lub rozpuszczalne w słabych kwasach, tj. mączka fosforytowa i kostna. Rozpuszczalność P w glebie pochodzącego z mączki fosforytowej i kostnej zależy głównie od odczynu gleby, jej wilgotności oraz zawartości materii organicznej. Na glebach kwaśnych, wilgotnych i zasobnych w próchnicę rozpuszczalność P z tych nawozów wzrasta. Dobre wymieszanie mączek z glebą zwiększa skuteczność ich działania.

W uprawie warzyw oprócz optymalnego nawożenia szczególne znaczenie ma zawartość materii organicznej w glebie oraz prawidłowa struktura gleby ułatwiająca jej nagrzewanie się oraz rozwój systemu korzeniowego. Duże znaczenie ma stosowanie właściwego płodozmianu, dzięki któremu systematycznie poprawia się żyzność gleby (szczególnie jeśli w płodozmianie są rośliny bobowate) oraz jej stan fitosanitarny. Stosowanie prawidłowego płodozmianu, szczególnie w produkcji integrowanej warzyw, a także nawożenie z wykorzystaniem materii organicznej (kompost, nawozy zielone, obornik, gnojówka) pozwala znacząco zwiększyć zawartość materii organicznej, a także jest źródłem składników mineralnych, w tym również fosforu. Ilość fosforu wnoszona z materią organiczną powinna być uwzględniana w bilansie stosowanego nawożenia mineralnego. Fosfor jest szczególnie potrzebny roślinom młodym w fazie wzrostu siewek lub ukorzeniania rozsady po posadzeniu na pole. Pobieranie tego pierwiastka jest również utrudnione w niskich temperaturach, więc po posadzeniu rozsady (marzec, kwiecień) zawartość P w glebie powinna być uzupełniona do poziomu optymalnego. Obliczając dawkę nawozów fosforowych, należy uwzględnić współczynnik sorpcji tego pierwiastka w glebie. Przyjmuje się, że wartość współczynnika sorpcji P w glebach wynosi: 1,5–2 przy optymalnym odczynie gleby, 3 dla gleb lekko kwaśnych oraz 4–5 dla gleb kwaśnych. Jeśli wyliczona dawka nawozów fosforowych jest wysoka, np. dla gleb kwaśnych, ilość nawozu należy podać w formie dzielonej (połowa lub $\frac{3}{4}$ dawki jesienią pod orkę, a resztę dawki wiosną podczas zabiegów agrotechnicznych, przed sadzeniem lub siewem warzyw).

Rośliny ozdobne uprawiane w gruncie to głównie plantacje roślin szkółkarskich oraz rośliny cebulowe i bulwiaste (tulipany, lilie, narcyzy, piwonie). W uprawie polowej nawozy fosforowe oraz potasowe stosowane są głównie jesienią, zaś dawki powinny być obliczane na podstawie bieżących analiz gleby. Rośliny cebulowe, tj.: krokus, narcyz i tulipan oraz lilia sadzone są jesienią i dawki nawozów, w tym P, powinny być zastosowane głównie jesienią przed sadzeniem, podczas przygotowywania pola. Mieczyki są sadzone wiosną, lecz część dawki P można zastosować już jesienią, przygotowując pole, a resztę wiosną przed sadzeniem. Piwonie jako rośliny wieloletnie wymagają odpowiedniego uzupełnienia zawartości w glebie P zarówno przed sadzeniem, jak i w kolejnych latach regularnego nawożenia, zgodnie z wynikami analiz chemicznych podłoża. Rośliny cebulowe są w Polsce uprawiane na niewielkich arealach. Zwykle nie ma problemu z niedoborami P w uprawie przy stosowaniu dawek uzupełniających ten pierwiastek do zalecanego poziomu.

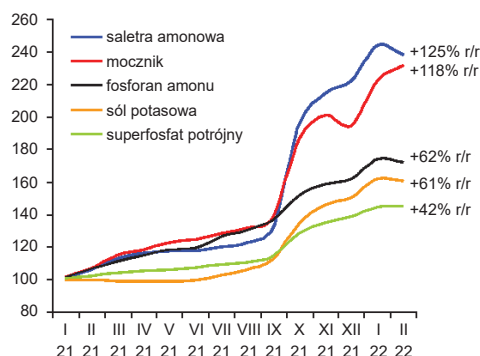
Rośliny szkółkarskie są uprawiane dość intensywnie (krótkie cykle uprawowe, duże zagęszczenie roślin i stosunkowo intensywne nawożenie), więc często oprócz stosowania dawek nawozów dogłębowo, w tym nawozów fosforowych, do zalecanego poziomu P w glebie dodatkowo stosuje się nawadnianie kropłowe lub zraszanie pożywkami nawozowymi (fertygacja). Zbyt duże dawki pożywki nawozowej mogą prowadzić do nadmiernej akumulacji składników w glebie i ich wymywania w głąb profilu glebowego. Uprawy kontenerowe w szkółkach (pojemniki z roślinami ustawione gęsto na wyłożonych włókniną szkółkarską zagonach gruntowych) wymagają nawożenia stosowanego do pojemników (nawozy sypkie lub nawozy o spowolnionym działaniu). Podłoże w pojemnikach jest zwykle bardziej porowate i ma mniejszą zdolność sorpcyjną niż gleba w polu, więc opady deszczu mogą łatwo wypłukiwać nawozy aplikowane do pojemników. Problemem są wahania w poziomie zawartości składników w czasie sezonu wegetacyjnego i konieczność dodatkowego stosowania nawozów w formie fertygacji (zraszanie, nawadnianie liniami kropłującymi) lub dokarmiania dolistnego. Intensywne nawożenie szkółek pojemnikowych może prowadzić do wymywania składników pokarmowych i ich gromadzenia się w glebie pod pojemnikami, a także do niekontrolowanego spływu biogenów zawartych w wodach drenarskich (w tym P) do środowiska.

Duże znaczenie w ograniczaniu strat fosforu w uprawach ogrodniczych ma poprawa struktury gleby i stabilności agregatów glebowych. Odpowiednia struktura gleb, zwłaszcza gliniastych, może być uzyskiwana i utrwalana w wyniku szeregu zabiegów agrotechnicznych wykonywanych zarówno przed uprawą, jak i w trakcie jej prowadzenia. Najważniejsze zabiegi agrotechniczne wpływające na proces tworzenia się gruzełkowatej struktury gleby to: użycie nawozów naturalnych i organicznych, wykorzystanie nawozów zielonych, wapnowanie, użycie preparatów zawierających związki humusowe, ściółkowanie (mulczowanie) materiałem organicznym, zabiegi uprawowe gleby. W uprawach sadowniczych ważne jest również użycie gipsu, utrzymywanie murawy czy żywych ściółek.

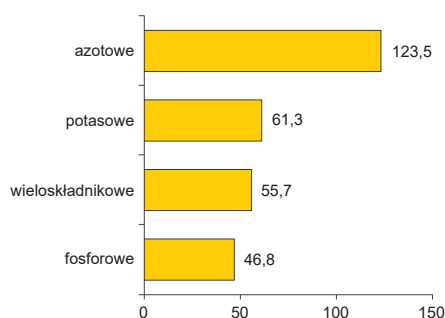
10. KONSEKWENCJE EKONOMICZNE DLA GOSPODARSTW W ZWIĄZKU Z RACJONALNYM STOSOWANIEM P

Nawożenie jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym, a także jednym z głównych wskaźników oceny intensywności gospodarowania w rolnictwie^[24]. Dostarczenie uprawianym roślinom właściwej ilości składników pokarmowych jest warunkiem uzyskania odpowiedniego plonu – produktywności roślin. W Polsce fosfor z nawozów mineralnych w ponad 70% pochodzi z nawozów wieloskładnikowych. Najpopularniejszym z nich jest fosforan amonu, a jego udział w produkcji wynosi ok. 50% ogółu nawozów zawierających fosfor (jedno- i wieloskładnikowych)^[87]. Wysokie ceny przemysłowych środków do produkcji, w tym nawozów mineralnych, wręcz wymuszają racjonalne ich stosowanie, co daje możliwości ograniczenia ich kosztów zakupu oraz zwiększenia produktywności roślin.

Skumulowane wskaźniki zmian cen wybranych nawozów w Polsce (grudzień 2020 r. = 100)

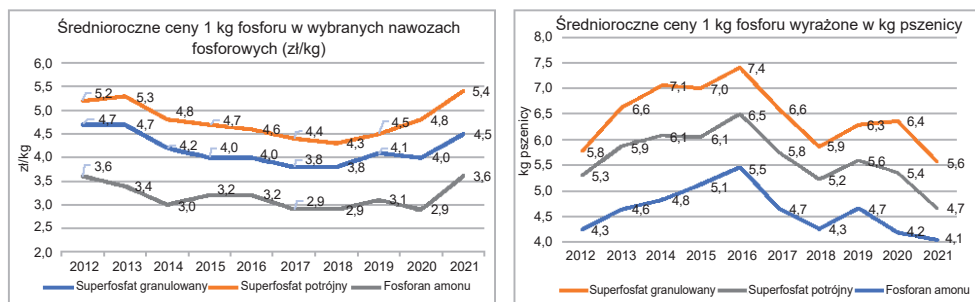


Zmiany cen poszczególnych grup nawozów w lutym br. w stosunku do lutego 2021 r. (%)



Rys. 10.1. Dynamika cen nawozów w Polsce w latach 2020–2021^[85]

Od początku 2021 r. ceny nawozów mineralnych w naszym kraju zaczęły rosnąć. Średni ważony wzrost cen nawozów rok do roku (r/r) w lutym 2022 r. wynosił 85%. Nawozy fosforowe zdrożały blisko o 50%, w tym fosforan amonu o 62%, a superfosfat potrójny o 42% (rys. 10.1). W 2021 r. nastąpiła poprawa relacji średniorocznych cen nawozów fosforowych do cen skupu zbóż. Na zakup 1 kg czystego składnika nawozu fosforowego (fosforu) należało w 2021 r. przeznaczyć średnio 4,8 kg pszenicy wobec 5,3 kg pszenicy w roku 2020 (rys. 10.2). Średnioroczne ceny 1 kg fosforu w wybranych nawozach mineralnych w 2021 r. okazały się wyższe w porównaniu z rokiem 2020 w przypadku superfosfatów o ponad 12%, a fosforanu amonu o ponad 24%.



Rys. 10.2. Dynamika cen 1 kg fosforu w nawozach fosforowych^[85]

Nawożenie mineralne należy rozpatrywać nie tylko jako istotny składnik kosztów bezpośrednich produkcji roślinnej i kosztów całego gospodarstwa, ale także jako element decydujący o efektywności ekonomicznej poszczególnych działalności w gospodarstwie rolnym.

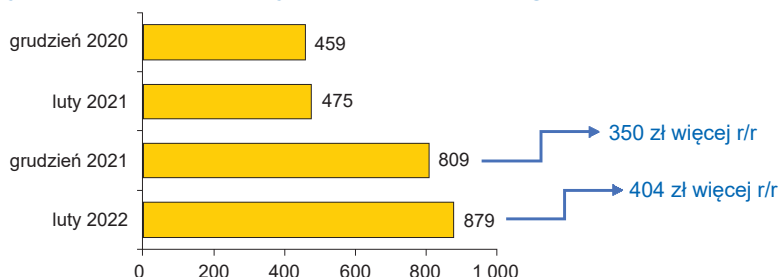
Tabela 10.1. Koszty bezpośrednie i nadwyżka bezpośrednia z uprawy żyta ozimego w latach 2019–2020 (dane szacunkowe)^[54]

Zmienna	Średnia w gospodarstwach uprawiających żyto ozime w 2019 roku	Średnia w gospodarstwach uprawiających żyto ozime w 2020 roku
Koszty bezpośrednie ogółem (zł·ha ⁻¹)	761	776
w tym: nawozy mineralne (zł·ha ⁻¹)	460	476
w tym: fosforowe (zł·ha ⁻¹)	63	65
Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat (zł·ha ⁻¹)	1267	1594

Z przeprowadzonego szacunku (tab. 10.1) wynika, że w 2020 r. średnio w przyjętych do badań gospodarstwach koszty bezpośrednie wzrosły o 2%, co było wynikiem głównie wzrostu kosztów nawozów mineralnych o 3,4%, w tym nawozów fosforowych o 1%. Obserwowane w kolejnych latach 2021–2022 wzrosty cen nawozów będą wpływać negatywnie na sytuację ekonomiczną gospodarstw rolnych.

Według Zalewskiego^[85], przyjmując zużycie nawozów średnio w Polsce na poziomie 135 kg czystego składnika na 1 ha UR w dobrej kulturze rolnej (dane PSR 2020), obliczono, że szacunkowy średni koszt zakupu nawozów w lutym br. to prawie 880 zł·ha⁻¹ wobec 475 zł·ha⁻¹ rok wcześniej (rys. 10.3).

**Średni szacunkowy koszt zakupu nawozów mineralnych na 1 ha UR w Polsce
przy użyciu nawozów mineralnych na poziomie 135 kg/ha UR (zł/ha)**



Rys. 10.3. Średni szacunkowy koszt zakupu nawozów mineralnych na 1 ha UR w Polsce^[85]

Analiza powyższych faktów skłania do stwierdzenia, że powinno się dążyć do racjonalnego stosowania fosforu w nawozach mineralnych, zoptymalizowanego względem potrzeb pokarmowych uprawianych roślin oraz lokalnych warunków glebowych, w jakich znajduje się gospodarstwo rolne. Jest to ważne nie tylko ze względu na środowisko przyrodnicze, ale także ma wpływ na poprawę sytuacji ekonomicznej producenta rolnego poprzez możliwość ograniczenia kosztów zakupu nawozów oraz zwiększenie produktywności roślin. Istotna jest także poprawa relacji średniorocznych cen nawozów fosforowych do cen skupu zbóż wskazująca, że mimo iż następował wzrost cen nawozów fosforowych, korzystna koniunktura na rynku zbóż (pszenicy) pozwoliła ten niekorzystny wpływ znacznie złagodzić.

Racjonalne stosowanie nawozów fosforowych powinno uwzględniać potrzeby pokarmowe roślin i zasobność gleby w makroskładniki, gdyż każde odchylenie od stanu optymalnego negatywnie wpływa na stan środowiska przyrodniczego, a także na wynik ekonomiczny producenta rolnego.

11. LITERATURA

1. Additional information on the actions in the updated Baltic Sea Action Plan, październik 2021, pp. 142. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Additional-information-on-the-actions-in-the-updated-Baltic-Sea-Action-Plan.pdf> (dostęp 17.05.2023).
2. Anonim, 1990. Zalecenia nawozowe, Część I. Liczby graniczne do wyceny zawartości makro-i mikro-elementów w glebach, IUNG Puławy, ss. 26.
3. Baltic Sea Action Plan, 2021 update, październik 2021, pp. 58. <https://helcom.fi/media/publications/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf> (dostęp 30.06.2022).
4. Baltic Sea Regional Nutrient Recycling Strategy, październik 2021, pp. 10. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Regional-Nutrient-Recycling-Strategy.pdf> (dostęp 17.05.2023).
5. Barowicz T., 2009. Źródła fosforu w paszy. Hodowca Trzody Chlewnej, 4: 19-20.
6. Barszczewski J., Wasilewski Z., Terlikowski J., Jankowska-Huflejt H., Wróbel B., 2014. Standardy gospodarowania na łąkach i pastwiskach niżowych w gospodarstwach nieobjętych programem rolnośrodowiskowo-klimatycznym. Falenty: Wydawnictwo ITP, s. 18-49.
7. Breś W., Golcz A., Komosa A., Kozik E., 2012. Żywnienie roślin ogrodnich. Podstawy i perspektywy. Opracowanie pod red. A. Komosa, PWRiL, Poznań, ss. 390.
8. Breś W., Golcz A., Komosa A., Kozik E., Tyksiński W., 2009. Żywnienie roślin ogrodnich, Wyd. UP w Poznaniu, ss. 192.
9. Chochura P., 2006. Strategia nawożenia roślin w szkółce. Nawożenie szkółek gruntowych i pojemnikowych. Szkółkarstwo 4.
10. Dekret Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa Finlandii w sprawie produktów nawozowych, https://mmm.fi/documents/1410837/2061117/MMMa_24_2011_lannoitevalmisteasetus_EN.pdf/c49d5007-0b00-431e-b5ca-53ecdf236c3a/MMMa_24_2011_lannoitevalmisteasetus_EN.pdf?t=1455613777000 (dostęp 17.05.2023).
11. Dijkstra J., Bannink A., France J., Kebreab E., 2007. Nutritional control to reduce environmental impacts of intensive dairy cattle systems. In: Proceedings of the VII International Symposium on the Nutrition of herbivores – Herbivore Nutrition for the Development of Efficient, Safe and Sustainable Livestock Production (pp. 411-435) Beijing, China: China Agricultural University Press.
12. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (2000/60/WE) (dostęp 17.05.2023).
13. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) (2010/75/UE) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075> (dostęp 17.05.2023).

14. Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG). (dostęp 17.05.2023).
15. Fink M., Feller C., Scharpf H.C., Weier U., Mayne A., Ziegler J., Paschold P.J., Strohmeyer K., 1999. Nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium contents in field vegetables – recent data for fertilizer recommendation and nutrient balances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(1): 71-73.
16. Fotyma M., Jadczyzyn T., Pietruch C., 2001. A decision support system for sustainable nutrient management on farm level: MACROBIL. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizer and Fertilization*, 2(7): 7-26.
17. Goliński P. Wapnowanie gleb użytków zielonych. https://www.lhoist.com/sites/lhoist/files/wapnowanie_uzytkow_zielonych.pdf (dostęp 17.05.2023).
18. Górski D., 2019. Co trzeba wiedzieć o fosforze i nawozach fosforowych? *Przedsiębiorca Rolny*, 1.
19. Grzebisz W., 2009. Nawożenie roślin uprawnych. PWN, s. 79-80.
20. HELCOM Recommendation 41/3, “The use of national manure standards”, marzec 2020. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/04/Rec-41-3.pdf> (dostęp 30.06.2021).
21. Hołubowicz-Kliza G., 2006. Wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 128. Wyd. IUNG-PIB Puławy, ss. 61.
22. <https://www.ogarnijogrod.pl/objawy-niedoboru-i-nadmiaru-substancji-pokarmowych-u-roslin-rozpoznawanie/>
23. <https://www.pioneer.com/us/agronomy/phosphorus-soil.html>
24. Igras J. Kopiński J., 2007. Zużycie na wozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym. W: Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 5: 107-115.
25. Jadczyzyn T., 2000. Podstawy naukowe doradztwa nawozowego. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizer and Fertilization*, 4: 185-205.
26. Jadczyzyn T., 2021. Bilans składników pokarmowych w planowaniu nawożenia oraz innowacje w nawożeniu i uprawie roli ograniczające straty biogenów. Materiały szkoleniowe pt. Gospodarka nawozowa jako kluczowy element ochrony środowiska i poprawy jakości wód. Wyd. FDPA, Warszawa, s. 23-39.
27. Jadczyzyn T., Kowalczyk J. Lipiński W., 2010. Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Materiały szkoleniowe nr 95. IUNG-PIB Puławy, ss. 24.
28. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W., 2013. Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa nr 184, Wyd. IUNG-PIB Puławy.
29. Kacperska I., Oświęcimski W., Przeradzki D., Stojanowska J., 1993. Opracowywanie zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 119.

30. Kebreab E., Hansen A.V., Leytem A.B., 2013. Feed management practices to reduce manure phosphorus excretion in dairy cattle. *Advances in Animal Biosciences*, 4: 37-41.
31. Kęsik K., Lipiński W., Jadczyż T., Boreczek B., Janda B., 2014. Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlich 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, Wyd. IUNG-PIB Puławy, ss. 26.
32. Kincald R.L., Garikipati D.K., Nennich T.D., Harrison J.H., 2005. Effect of grain source and exogenous phytase on phosphorus digestibility in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88: 2893-2902.
33. Kłossowski W., 1972. Nawożenie roślin sadowniczych. PWRiL, Warszawa, ss. 114.
34. Knowlton K.F., Taylor M.S., Hill S.R., Cobb C., Wilson K.F., 2007. Manure nutrient excretion by lactating cows fed exogenous phytase and cellulose. *J. Dairy Sci.*, 90: 4356-4360.
35. Kocoń A., 2014. Nawożenie roślin strączkowych. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 37(11):127-137.
36. Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczenia emisji amoniaku. Opracowany pod redakcją ITP w Falentach przez: IERGiŻ, ITP, IUNG-PIB, IŻ-PIB. MRiRW Warszawa, 2019, ss. 80.
37. Komosa A. i in., 2012. Żywnienie roślin ogrodnich. Podstawy i perspektywy. PWRiL, Poznań, ss. 390.
38. Lipiński W., 2019. Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo. System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce pod red. J. Sity i G. Borowskiego . Politechnika Lubelska, s. 305-320.
39. Maćkowiak C., 1997. Rola nawożenia organicznego w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleby. Materiały szkoleniowe nr 63, IUNG, Puławy.
40. Maćkowiak C., Żebrowski J., 2000 Skład chemiczny obornika w Polsce, Nawozy i Nawożenie – Fertilizer and Fertilization, 4(5): 119-130.
41. McDowell R.W., Sharpley A.N., Condron L.M., Haygarth P.M., Brookes P.C., 2001. Process controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59: 269-284.
42. McDowell R.W., Wilcock R.J., 2008. Water quality and the effects of different pastoral animals. *New Zealand Veterinary Journal*, 56(6): 289-296.
43. Nowosielski O., 1988. Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. PWRiL, Warszawa, ss. 220.
44. Owenius S., van der Nat D., 2011. Measures for water protection and nutrient reduction. [online]. Rapport nr 2011-0314-A. WRS Uppsala AB 2011-05-26, pp. 57.
45. Pagliari P.H., Laboski C.A.M., 2013. Dairy manure treatment effects on manure phosphorus fractionation and changes in soil test phosphorus. *Biology Fertility Soils*, 49: 987-999.

46. Pietrzak S., 2012. Priorytetowe środki zaradcze w zakresie ograniczania strat azotu i fosforu z rolnictwa w aspekcie ochrony jakości wód. Wyd. ITP. Falenty, ss. 34.
47. Pietrzak S., Urbaniak M., Nawalany P., 2021. Ocena stanu agrochemicznego gleb trwałych użytków zielonych w ujęciu czasowym i przestrzennym z uwzględnieniem czynników wpływających na ten stan, oraz zaproponowanie rozwiązań służących utrzymaniu, jak też poprawie jej żyzności, w aspekcie ochrony środowiska. Opracowanie przygotowane na zlecenie MRiRW w ramach umowy na realizację dotacji celowej dla Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego – PIB. Falenty: ITP-PIB. ss. 61 /maszynopis/.
48. Pietrzak S., Urbaniak M., Majewska Z., 2018. Budowa i wstępna ocena składowiska obornika z podłożem denitryfikacyjnym. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego, 4: 58-72.
49. Podleśna A., 2019. Czynniki kształtujące pobieranie i wykorzystanie fosforu przez rośliny oraz jego straty z gleb uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 59(13): 59-76.
50. Potarzycki J., 2003. Fosfor w glebie. J. Elementol., 8: 19-32.
51. Potkański A., 1997. Możliwości ograniczenia emisji azotu i fosforu w produkcji zwierzęcej i ich rozproszenia do środowiska przyrodniczego. Zesz. Edukac. Nr 2. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 67-74.
52. Poulsen, H.D., 2000. Phosphorus utilization and excretion in pig production. J. Environ. Qual., 29: 24-27.
53. Produkcja, koszty i dochody wybranych działalności rolniczych w latach 2019–2020, red. I. Augustyńska, Warszawa 2021, ss. 118.
54. Przeradzki D. 1990. Zalecenia nawozowe w szkółkarstwie ozdobnym (rozdz. 7, skrypt SGGW: „Opracowywanie zaleceń nawozowych w ogrodnictwie”), wyd. SGGW – AR 1990 r.
55. Retamales J.B., Hancock J.F., 2018. Blueberries 2nd Editions, CABI, USA, pp. 413.
56. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 13 stycznia 2023 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie (Dz.U. 2023 poz. 297).
57. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. z 2023 r. poz. 244).
58. Rozporządzenie Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa Finlandii w sprawie podstawowych i dodatkowych środków pomocy rolno-środowiskowej oraz pomocy specjalnej na pomoc rolno-środowiskową. (dostęp 17.05.2023).
59. Rozporządzenie Ministerstwa Żywności, Rolnictwa i Rybołówstwa Danii w sprawie rolniczego stosowania nawozów w okresie planowania 2021/2022 (dostęp 17.05.2023).

60. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190001826> (dostęp 17.05.2023).
61. Rozporządzenie w sprawie stosowania nawozów, dodatków do gleby, substancji kulturowych i dodatków roślinnych zgodnie z zasadami Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej w nawożeniu (Niemieckie Rozporządzenie w sprawie nawożenia – DüV). (dostęp 17.05.2023).
62. Rutkowska A., Rusek P., 2020. Rynek nawozów fosforowych oraz zróżnicowanie zawartości fosforu w glebach Polski, *Przemysł Chemiczny*, 99/3, s. 381-385.
63. Sady W., 2014. Nawożenie warzyw polowych. Plantpress, Kraków, ss. 132.
64. Sapek B., 1992. Zasady oceny potrzeb wapnowania i wyznaczania dawek nawozów wapniowych na trwałe użytki zielone na glebach mineralnych. Materiały Instruktażowe. Nr 101. Falenty. Wyd. IMUZ, ss. 12.
65. Sapek A., 2002. Fosfor w łańcuchu pokarmowym człowieka a środowisko w Polsce. *Inżynieria Ekologiczna*, 21: 62-72.
66. Sapek B., 2014. Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 14, 1(45): 77-100.
67. Sarazen J.C., Faulkner J.W., Hurley S.E., 2000. Evaluation of nitrogen and phosphorus removal from a denitrifying woodchip bioreactor treatment system receiving silage bunker runoff. *Applied Sciences*, 10(14): 4789. <https://doi.org/10.3390/app10144789> (dostęp 17.05.2023)
68. Schierer R.A., Davis J.G., Zumbunnen J.R., 2007. Predicting phosphorus runoff from calcareous soil. *Western Nutrient Management Conference*. 8–9 March, Salt Lake City, UT, 7: 130-134.
69. Skowron P., Wach D., Tkaczyk P., Jadczyższyn T., 2019. Analiza zmienności składu chemicznego nawozów naturalnych w rejonie środkowo-wschodniej Polski. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 59(13): 41-57.
70. Treder J., 2007. Nawożenie roślin cebulowych. *Biuletyn SPORC*, 19: 8-12.
71. Treder J., Treder W., 2016. Ocena potrzeb wodnych wybranych gatunków bylin. W: *Współczesne kierunki badań nad roślinami ozdobnymi w Polsce*. Monografia naukowa pod redakcją A. Bach, A. Kapczyńska, M. Malik, M. Maślanka. Polska Akademia Nauk – Komitet Nauk Agronomicznych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie. I.2: 123-136.
72. Urbanowicz P., 2000. Wapnowanie gleb w pigułce. *Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Olsztynie*. Olsztyn, ss. 13.
73. Ustawa Królestwa Danii o stosowaniu nawozów w rolnictwie i o środkach redukcji składników odżywczych. (dostęp 17.05.2023).
74. Ustawa Królestwa Niderlandów – Prawo nawozowe. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0004054> (dostęp 17.05.2023).
75. Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. (Dz.U. 2023r. poz. 569).

76. Ustawa Parlamentu Republiki Estonii Prawo Wodne z dnia 22 stycznia 2019 r. (RT I, 22.02.2019, 1) (dostęp 17.05.2023)
77. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. z 2022 r. poz. 2625 z późn. zm.).
78. Valk H., Sebek L.B.L., 1999. Influence of long-term feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82: 2157-2163.
79. Wójcik P., Dyśko J., Kaniszewski S., Kowalczyk W., Nowak J., 2014. Zrównoważone nawożenie roślin ogrodniczych. Opracowanie zbiorowe, Wyd. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, ss. 64.
80. Wójcik P., Kowalczyk W., 2021. Nawożenie roślin sadowniczych na podstawie analizy gleby – uaktualnienie liczb granicznych oraz użycie nowych wskaźników glebowych, ss. 20. Broszura: <https://dpr.iung.pl/wp-content/uploads/gleba.pdf>
81. Wu Z., Satter L.D., 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentration of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.*, 83: 1052-1063.
82. Wu Z., Satter L.D., Blohowiak A.J., Stauffacher R.H., Wilson J.H., 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.*, 84: 1738-1748.
83. Wu Z., Tozer P.R., Groff E.B., 2001. Dietary manipulation to reduce phosphorus and nitrogen excretion by lactating dairy cows. W: *Dairy Cattle Nutrition workshop Proc.* [online] Penn State College of agricultural Sciences and Cooperative Extension. Nov. 6-7. Holiday Inn, Grantville, PA, pp. 13-30.
84. Zalecenia Szwedzkiej Rady Rolnictwa w sprawie zagadnień rolno-środowiskowych dotyczące nawożenia i wapnowania (dostęp 17.05.2023).
85. Zalewski A., 2022. Rynek nawozów mineralnych w Polsce – stan obecny i tendencje zmian – seminarium IERiGŻ-PIB, Warszawa, 25.03.2022 r., ss. 41.
86. Zalewski A., Igras J., 2013. Światowy runek nawozów mineralnych z uwzględnieniem zmian cen bezpośrednich nośników energii oraz surowców (2), PW 2011–2014, IERiGŻ-PIB, Warszawa, nr 93.
87. Zbiór zaleceń dobrej praktyki rolniczej mający na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych. Opracowanie pod redakcją IUNG-PIB, Warszawa, luty 2019, ss. 76.

SPIS TABEL

Tabela 2.3.1. Klasy zasobności fosforu przyswajalnego w glebie.....	17
Tabela 2.3.2. Klasy zasobności gleb w fosfor przyswajalny wyznaczone dla metody Mehlich 3	17
Tabela 3.1.1. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od odczynu gleby.....	19
Tabela 3.2.1. Zawartość różnych form fosforu (g) i jego strawność (%) dla różnych materiałów paszowych w żywieniu zwierząt monogastrycznych.....	23
Tabela 3.2.2. Zależność wielkości zapotrzebowania na wybrane składniki mineralne od wydajności mlecznej krowy (4% tłuszczu i 3,4% białka /wg DLG/)	24
Tabela 3.2.3. Efektywność wykorzystania fosforu (P) w żywieniu świń w całym okresie odchowu	25
Tabela 3.2.4. Wpływ dodatku fitazy na strawność związków fosforu w paszy dla tuczników	25
Tabela 3.6.1. Przykład efektywności żywienia wielofazowego w mitygacji rozpraszania związków fosforu w żywieniu tuczników	33
Tabela 6.1.1. Pobranie składników w kilogramach na 1 tonę plonu w zależności od gatunku rośliny uprawnej.....	51
Tabela 6.1.2. Zawartość fosforu w nawozach naturalnych ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{t}^{-1}$)	52
Tabela 6.1.3. Równoważniki nawozowe fosforu z różnych źródeł	52
Tabela 6.1.4. Współczynniki korekcyjne w zależności od zasobności gleby	53
Tabela 6.2.1. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemach konwencjonalnym i zrównoważonym	53
Tabela 6.2.2. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie ekologicznym w zależności od rodzaju nawozu naturalnego.....	54
Tabela 6.2.3. Dopuszczalne poziomy nawożenia pastwisk fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) na glebach mineralnych i organicznych w zależności od intensywności gospodarowania	55
Tabela 6.3.1. Liczby graniczne dla fosforu (w $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby).....	55
Tabela 6.3.2. Zawartości optymalne fosforu w glebie dla warzyw polowych ($\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-1}$)	57
Tabela 6.3.3. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin warzywnych w uprawie polowej	57
Tabela 6.3.4. Średnie ilości P pobranego z plonem najważniejszych gatunków warzyw w uprawie polowej	58
Tabela 6.3.5. Zakresy zawartości przyswajalnego fosforu (P) w glebie oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia	59

Tabela 6.3.6. Zakresy zawartości dostępnego fosforu (P) w glebie oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia	59
Tabela 6.3.7. Nawożenie doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od przyswajalności P w glebie oznaczonej metodą Egnera-Riehma.....	60
Tabela 6.3.8. Nawożenie doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od dostępności P w glebie oznaczonej metodą Nowosielskiego	60
Tabela 6.3.9. Liczby graniczne zawartości fosforu (P) w liściach poszczególnych gatunków roślin sadowniczych oraz polecane jego dawki w owocujących sadach/na plantacjach.....	61
Tabela 6.3.10. Ocena zasobności gleby w fosfor w gruntowych szkółkach roślin ozdobnych	62
Tabela 6.3.11. Nawożenie fosforem w szkółkach gruntowych.....	62
Tabela 6.3.12. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin cebulowych i bulwiastych.....	62
Tabela 9.2.1. Optymalne dawki nawozu wapniowego na trwałe użytki zielone na glebach mineralnych	76
Tabela 9.2.2. Dawki wapna na użytki zielone na glebach organicznych.....	76
Tabela 10.1. Koszty bezpośrednie i nadwyżka bezpośrednia z uprawy żyta ozimego w latach 2019–2020 (dane szacunkowe).....	80

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 2.1.1. Obieg fosforu w glebie	14
Rys. 2.2.1. Przeciętna zawartość fosforu w glebach Polski w latach 2008–2016... ..	16
Rys. 7.1. Ekran startowy aplikacji mobilnej INTER-NAW	64
Rys. 7.2. Ekran startowy aplikacji internetowej INTER-NAW	65
Rys. 9.2.1. Udział gleb użytków zielonych o bardzo niskiej i niskiej zasobności w przyswajalny fosfor, w 2020 r.	75
Rys. 10.1. Dynamika cen nawozów w Polsce w latach 2020–2021	79
Rys. 10.2. Dynamika cen 1 kg fosforu w nawozach fosforowych.....	80
Rys. 10.3. Średni szacunkowy koszt zakupu nawozów mineralnych na 1 ha UR w Polsce	81

SPIS FOTOGRAFII

Fot. 4.1.1. Składowanie obornika na gruncie.....	36
Fot. 4.1.2. Duży zbiornik wodny usytuowany w bliskiej odległości od obory może ulegać zanieczyszczeniu przez spływ powierzchniowy	37
Fot. 4.1.3. Wybieg dla zwierząt – jeden z tzw. gorących punktów w zagrodzie	37
Fot. 4.2.1. Zbiornik na gnojowicę z blachy falistej zabezpieczonej warstwą ochronną z każdej strony	39
Fot. 4.2.2. Sztuczne mokradło usytuowane w pobliżu obejścia gospodarskiego ...	39
Fot. 4.2.3. Zakiszanie podsuszanej runi łąkowej w belach zapobiega wyciekom soków kiszonkowych.....	40

ZAŁĄCZNIK

Tabela 1. Klasy zasobności fosforu przyswajalnego w glebie

Klasa zasobności	Zasobność	Gleby mineralne	Gleby węglanowe
		mg P ₂ O ₅ ·100 g ⁻¹ gleby (mg P·100 g ⁻¹ gleby)	
V	bardzo niska	do 5,0 (do 2,2)	do 5,0 (do 2,2)
IV	niska	5,1–10,0 (2,3–4,4)	5,1–10,0 (2,3–4,4)
III	średnia	10,1–15,0 (4,5–6,6)	10,1–15,0 (4,5–6,6)
II	wysoka	15,1–20,0 (6,7–8,8)	15,1–20,0 (6,7–8,8)
I	bardzo wysoka	od 20,1 (od 8,9)	od 20,1 (od 8,9)

Tabela 2. Klasy zasobności gleb w fosfor przyswajalny wyznaczone dla metody Mehlich 3

Odczyn	Klasy zasobności gleby				
	mg P·kg ⁻¹ gleby				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo kwaśny	<50	50–110	111–185	187–262	>262
Kwaśny	<49	49–103	104–158	159–215	>215
Lekko kwaśny	<47	47–99	100–152	153–207	>207
Obojętny	<27	27–54	55–75	76–99	>99
Zasadowy	<27	27–54	55–75	76–99	>99

Tabela 3. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od odczynu gleby

Odczyn	Dostępność fosforu (%)
pH 6,0	52
pH 5,5	48
pH 5,0	34

Tabela 4. Pobranie składników w kg na 1 tonę plonu w zależności od gatunku rośliny uprawnej

Gatunek rośliny	Plon użytkowy i uboczny $P_2O_5^*$	Plon uboczny $P_2O_5^*$
Pszenica	10,00	2,00
Pszenżyto	10,00	2,00
Jęczmień browarny	8,50	1,70
Jęczmień jary pastewny	8,50	1,70
Żyto	9,00	1,80
Żyto, z.m. na paszę	1,37	-
Owies	9,00	2,70
Owies, z.m. na paszę	1,20	-
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,50	2,55
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10,00	3,00
Mieszanki zbożowo-strączkowe, z.m.	1,20	-
Kukurydza na ziarno	10,00	4
Kukurydza, z.m.	1,30	-
Gryka	15,00	4,50
Rzepak, nasiona	20,00	4,00
Burak cukrowy	1,60	0,96
Burak pastewny	1,40	0,84
Ziemniak późny	2,00	0,70
Ziemniak wczesny	2,00	0,40
Inne korzeniowe (okopowe)	1,15	0,69
Lucerna, z.m.	1,10	-
Lucerna z trawami, z.m.	1,60	-
Koniczyna, z.m.	0,70	-
Koniczyna z trawami, z.m.	1,15	-
Mieszanki bobowate z trawami, z.m.	1,80	-
Trawa w uprawie polowej, z.m.	1,40	-

*dla potrzeb doradztwa nawozowego ilość fosforu i potasu wyrażono w formie tlenkowej

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 5. Zawartość fosforu w nawozach naturalnych (P_2O_5 kg·t⁻¹)

Gatunek zwierząt i grupa użytkowa	Obornik z głębokiej ściółki	Obornik z płytkiej ściółki	Gnojówka z płytkiej ściółki	Gnojowica/ pomiot/ odchody
Buhaje	2,1	2,7	0,2	1,1
Krowy mleczne	2,6	2,4	0,2	2,1
Jałówki cielne	2,3	2,3	0,1	1,4
Jałówki powyżej 1 roku	2,5	2,8	0,2	1,4
Jałówki 6–12 mies.	2,2	2,4	0,2	1,2
Cielęta do 6 mies.	2,1	1,3	0,1	1,7
Bydło opasowe 6–12 mies.	2,1	2,3	0,2	1
Bydło opasowe powyżej 1 roku	2,1	2,7	0,2	1,1
Knury	3,2	3,9	0,6	3,2
Lochy	3,2	3,9	0,6	3,2
Warchlaki 2–4 mies.	3,3	3,5	0,3	1,4
Tuczniki	3,6	4,4	0,3	2,4
Konie	3,6	4,1	4,1	-
Żrebaki powyżej 2 lat	3,5	4,9	4,9	-
Owce	2,3	-	-	-
Kury	3,3	-	-	3,3

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 6. Równoważniki nawozowe fosforu z różnych źródeł

Rodzaj nawozu	Równoważnik nawozowy fosforu
Gnojowica (wszystkie rodzaje)	0,7
Obornik (wszystkie rodzaje)	0,4
Kompost	0,3
Przyorane nawozy zielone, międzyplony	0,4
Przyorane liście okopowych	0,4
Przyorana słoma zbóż, rzepaku, kukurydzy	0,3
Organiczne i organiczno-mineralne nawozy, środki poprawiające właściwości gleby i odpady	0,3

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 7. Współczynniki korekcyjne w zależności od zasobności gleby

Zawartość fosforu w glebie				
bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
1,5	1,25	1,0	0,5	0,25

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 8. Pobranie składnika oraz maksymalne ilości fosforu działającego ze wszystkich źródeł w zależności od rodzaju uprawy

Rodzaj uprawy	Pobranie składnika (kg $P_2O_5 \cdot t^{-1}$ produktu)	Maksymalne dawki fosforu (kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$)
Zboża		
Gryka	15,00	90
Jęczmień jary browarny	8,50	100
Jęczmień jary pastewny	8,50	100
Jęczmień ozimy	8,50	105
Kukurydza na ziarno	10,00	135
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,50	120
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10,00	60
Owies	9,00	100
Pszenica jara	10,00	80
Pszenica ozima	10,00	130
Pszenżyto	10,00	130
Żyto	9,00	100
Bobowate		
Bobik, nasiona	16,00	100
Grochy, nasiona	15,00	60
Lędwian	15,00	60
Łubin, nasiona	15,00	90
Seradela	11,00	80
Soczewica	3,70	50
Soja, nasiona	19,00	80
Wyka	13,00	80

Rodzaj uprawy	Pobranie składnika (kg $P_2O_5 \cdot t^{-1}$ produktu)	Maksymalne dawki fosforu (kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$)
Oleiste		
Gorzycza, nasiona	18,00	65
Rzepak, nasiona	20,00	140
Rzepak	9,70	90
Słonecznik, nasiona	16,00	90
Okopowe		
Burak cukrowy	1,60	120
Burak pastewny	1,40	135
Ziemniak późny	2,00	90
Ziemniak wczesny	2,00	65
Inne	1,15	60
Pastewne		
Lucerna, zielona masa	1,10	100
Kapusta pastewna, zielona masa	1,20	120
Koniczyna, zielona masa	0,70	105
Kukurydza, zielona masa	1,30	150
Mieszanki zbożowo-strączkowe zielona masa	1,20	65
Mieszanki bobowate z trawami, zielona masa	1,80	105
Owies, zielona masa	1,20	85
Perko	9,70	90
Rzepak, zielona masa	1,37	120
Seradela, zielona masa	1,40	80
Słonecznik, zielona masa	2,20	80
Trawy w uprawie polowej, zielona masa	1,40	120
Żyto, zielona masa	1,37	85
Inne bobowate, zielona masa	1,37	85
Inne nie bobowate, zielona masa	1,37	85

Rodzaj uprawy	Pobranie składnika (kg $P_2O_5 \cdot t^{-1}$ produktu)	Maksymalne dawki fosforu (kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$)
Inne, w tym uprawy trwałe		
Chmiel	22,00	90
Facelia	25,00	70
Konopie	9,00	90
Len oleisty, nasiona	20,00	80
Len włóknisty, słoma	6,00	80
Mak	20,00	80
Proso	19,00	80
Sorgo, w tym zasiewy mieszane z kukurydzą	21,00	70
Tytoń suchy, liście	12,00	120
Rośliny energetyczne		
Miskant olbrzymi	3,20	115
Ślazier pensylwański	2,40	60
Pozostałe	2,40	60

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 9. Wartość współczynnika korekcyjnego dla fosforu^[26]

Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie				
b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
1,50	1,25	1,00	0,50	0,25

Tabela 10. Zawartość P_2O_5 w oborniku ($kg \cdot t^{-1}$)^[40]

Składnik	Gatunek zwierząt			
	bydło	trzoda	konie	owce
P_2O_5	2,8	4,4	2,9	3,8

Tabela 11. Zawartość P_2O_5 w płynnych nawozach naturalnych ($kg \cdot m^{-3}$)^[39]

Składnik	Gatunek zwierząt			
	gnójowica bydłęca	gnójowica świńska	gnójówka bydłęca	gnójówka świńska
P_2O_5	2,0	3,3	0,3	0,4

Tabela 12. Współczynniki wykorzystania fosforu z różnych źródeł^[26]

Źródło składników	I rok po zastosowaniu	II rok po zastosowaniu
Obornik	0,4	0,3
Gnojowica	0,7	0,1
Gnojówka	0,8	0,1
Przyorana słoma	0,3	-
Przyorane liście buraczane	0,4	-

Tabela 13. Zalecane dawki fosforu dla roślin strączkowych uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor (górna wartość to maksymalna dawka fosforu)^[25, 27, 35]

Gatunek	Plon nasion (t·ha⁻¹)	Fosfor (kg P₂O₅·ha⁻¹)
Bobik	2,0–4,5	35–80
Groch	1,5–3,5	20–50
Łubin żółty	1,0–3,0	20–60
Łubin wąskolistny	2,0–3,5	40–70
Łubin biały	2,0–3,5	40–70
Soja	2,0–3,5	50–80
Lędwian	1,0–2,5	50–60
Soczewica	1,0–1,7	40–50

Tabela 14. Zalecane dawki fosforu dla roślin bobowatych drobnonasiennych i kukurydzy uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor (górna wartość to maksymalna dawka fosforu)

Gatunek	Plon (t·ha⁻¹)	Fosfor (P₂O₅)
Kukurydza na ziarno	5–10	55–105
Kukurydza na zieloną masę	50–100	70–120
Koniczyna na zieloną masę	30–50	35–60
Lucerna na zieloną masę	30–50	40–70
Koniczyna z trawami na zieloną masę	30–50	35–60
Lucerna z trawami na zieloną masę	30–50	50–80
Seradela na zieloną masę	40–70	40–80

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 15. Zalecane dawki fosforu dla gatunków roślin zbożowych i okopowych uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor

Gatunek	Maksymalne dawki fosforu (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)
Gryka	90
Jęczmień	105
Mieszanki zbożowe na ziarno	120
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	60
Owies	100
Pszenica jara	80
Pszenica ozima	130
Pszenżyto	130
Żyto	100
Proso	80
Sorgo	70
Burak cukrowy	120
Burak pastewny	135
Ziemniak	90

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 16. Zalecenia dotyczące terminów stosowania nawozów

Roślina	Zalecenia
Bobik	Nawozy fosforowe należy zastosować pod orkę zimową lub wcześniej wiosną przed rozpoczęciem upraw wiosennych.
Groch	Nawozy fosforowe powinny być wysiane jesienią pod orkę zimową.
Łubin żółty	Nawozy fosforowe należy wysiewać jesienią pod orkę. Na glebach kwaśnych należy wysiewać wiosną przed siewem.
Łubin wąskolistny	
Łubin biały	
Soja zwyczajna	Nawożenie fosforowe należy stosować przed orką przedzimową lub wiosną pod agregat uprawowy.
Kukurydza na ziarno	Dawka nawozu podzielona na przedsiewną i startową.

Roślina	Zalecenia
Kukurydza na zieloną masę	Dawka nawozu podzielona na przedsiewną i startową.
Koniczyna	Całą dawkę nawozu fosforowego można zastosować jednorazowo pod orkę przedzimową.
Lucerna	Nawożenie fosforem należy wykonać jesienią pod orkę.
Koniczyna z trawami	Nawozy fosforowe stosuje się przedsiewnie.
Lucerna z trawami	Nawożenie fosforem należy wykonać jesienią pod orkę.
Seradela	Nawozy fosforowe najlepiej wysiewać jesienią pod orkę.

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

Tabela 17. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie konwencjonalnym i zrównoważonym^[6]

Analiza	System gospodarowania			
	konwencjonalny			zrównoważony
	intensywny	półintensywny	ekstensywny	
Gleby mineralne				
Liczba pokosów w roku	3–4	2 (możliwy 1 dodatkowy wypas)	2 (możliwy 1 dodatkowy wypas) lub 1 + 2 rotacje wypasu	3
Dawka pod I pokos	max. 90	70*	25*	60*
Gleby organiczne				
Liczba pokosów w roku	3	2–3	2 (głównie na siano)	3 (głównie na kiszonkę)
Dawka pod I pokos	90*	70*	35*	70*

*nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach, przy wysokiej zasobności należy zastosować dawkę zmniejszoną o 25%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 25%

Tabela 18. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie ekologicznym w zależności od rodzaju nawozu naturalnego^{*[6]}

Liczba pokosów w roku	Warianty nawożenia w zależności od rodzaju nawozu naturalnego					
	I wariant		II wariant		III wariant	
	obornik lub kompost ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	gnojowica ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$	gnojówka ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$
I	25	0	20	uzupełnić do 70 na podst. analizy chem. nawozu**	20	uzupełnić do 70 na podst. analizy chem. nawozu**
II	0	0	10		10	
III	0	0	0		0	
Σ_{roczna}	25	0	30		30	

*uwagi: obornik lub kompost stosować jesienią lub wiosną; konieczna analiza chemiczna nawozów naturalnych; w ekstensywnym poziomie gospodarowania jedno lub dwukośnym nawożenie na odpowiednio niższym poziomie;

**nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach, przy wysokiej zasobności należy zastosować dawkę zmniejszoną o 20%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 20%

Tabela 19. Dopuszczalne poziomy nawożenia pastwisk fosforem ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) na glebach mineralnych i organicznych w zależności od intensywności gospodarowania^[6]

Składnik	Poziom gospodarowania		
	intensywny (5–7 rotacji)	półintensywny (4–5 rotacji)	niskointensywny (2–3 rotacje)
Gleby mineralne			
Fosfor	70 ^{*A}	60 [*]	25 [*]
Gleby organiczne			
Fosfor	80 [*]	60 [*]	35 [*]

*nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach, przy wysokiej zasobności – należy zastosować dawkę zmniejszoną o 20%; przy niskiej zasobności należy dawkę zwiększyć o 20%

Tabela 20. Zawartości optymalne fosforu w glebie dla warzyw polowych ($\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-1}$)^[64]

40–60	50–70	60–80
fasola szparagowa groch marchew pietruszka rzodkiewka skorzonera szparag	burak ćwikłowy chrzan kapusta głowiasta (biała, czerwona, włoska, brukselska) sałata szpinak ziemniak wczesny	cebula brokuł kalafior ogórek pomidor por rabarbar seler

Tabela 21. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin warzywnych w uprawie polowej^{*[80]}

Roślina	P ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	pH
Burak ćwikłowy	50–70	6,0–7,5
Brokuł	50–60	6,2–7,0
Cebula	60–80	6,5–7,8
Chrzan	40–60	5,5–6,7
Fasola szparagowa	40–60	6,5–7,8
Groch	40–60	6,5–7,8
Kalafior	50–70	6,4–7,5
Kapusta biała	50–70	6,2–7,8
Kapusta brukselska	60–80	6,2–7,8
Marchew	60–80	6,5–7,5
Ogórek	60–80	6,0–7,2
Pietruszka	40–60	6,5–7,5
Pomidor	60–80	5,5–6,5
Por	60–80	6,0–7,4
Rabarbar	60–80	5,5–6,5
Rzodkiewka	40–60	6,0–7,4
Sałata	50–70	6,0–7,5
Seler	60–80	6,5–7,5
Skorzonera	60–80	6,4–7,5
Szparag	40–60	6,4–7,5
Szpinak	50–70	6,0–7,5

*dostępność P z gleby oraz możliwości pobierania P są uzależnione od optymalnego odczynu podłoża

Tabela 22. Średnie ilości P pobranego z plonem najważniejszych gatunków warzyw w uprawie polowej^[15]

Roślina	Plon świeżej masy ($t \cdot ha^{-1}$)	P ($mg \cdot dm^{-3}$)
Brokuł	90	41,40
Burak ćwikłowy	100	46,00
Cebula	65	22,10
Cykoria sałatowa	50	20,00
Fasola	35	14,00
Fenkuł	70	23,80
Jarmuż	45	31,05
Kalafior	100	48,00
Kalarepa	60	27,00
Kapusta brukselska	90	60,30
Kapusta pekińska	120	43,20
Kapusta głowiasta biała	120	39,60
Kapusta głowiasta czerwona	90	33,30
Kapusta włoska	80	40,00
Marchew	100	36,00
Ogórek	120	48,00
Por	70	24,50
Rzodkiewka	35	10,50
Sałata masłowa	60	18,00
Sałata krucha	80	20,00
Seler korzeniowy	75	41,25
Szpinak	40	20,00

Nawożenie mineralne fosforem w uprawach sadowniczych na podstawie przyswajalności/dostępności fosforu w glebie i odżywiania roślin tym składnikiem

Tabela 23. Zakresy zawartości przyswajalnego fosforu (P) w glebie* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia^[33, 81]

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	zawartość fosforu (mg P·kg ⁻¹ s.m.)		
	<50	51–80	>80
	nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	50–70	30–50	-
	nawożenie fosforem w szkółce*** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	30–50	10–30	

*przyswajalność P w glebie oznaczona metodą Egnera-Richma;

**stosować nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów;

***stosować nawozy zawierające polifosforany bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 24. Zakresy zawartości dostępnego fosforu (P) w glebie* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia^[81]

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	zawartość fosforu (mg P·kg ⁻¹ s.m.)		
	<20	20–50	>50
	nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	50–70	30–50	-
	nawożenie fosforem w szkółce*** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
	30–50	10–30	

*dostępność P w glebie oznaczona według metody Nowosielskiego;

**stosować nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów;

***stosować nawozy zawierające polifosforany bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 25. Nawożenie doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od przyswajalności P w glebie^[33, 81]

Zasobność warstwy próchnicznej w P		
niska	optymalna	wysoka
Zawartość P (mg·kg ⁻¹ s.m.)		
<40	40–80	>80
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
100–150***	50–100***	0–50***
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** (g P ₂ O ₅ ·m ⁻²)		
10–15	0	0

*przyswajalność P w glebie oznaczona metodą Egnera-Riehma;

**dawka fosforu podana na powierzchnię nawożoną;

***zmniejszone lub zwiększone dawki fosforu o 20% stosować, gdy jego zawartość w warstwie poniżej poziomu próchnicznego wynosi odpowiednio >40 mg P·kg⁻¹ s.m. oraz <20 mg P·kg⁻¹ s.m.;

****nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów stosować wzdłuż rzędów drzew w sadach powyżej 3 lat, mieszając je do głębokości około 5 cm. Nawozy zawierające polifosforany stosować w młodych sadach (do 3 lat), a także na plantacjach bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 26. Nawożenie doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od dostępności P w glebie^[81]

Zasobność warstwy próchnicznej w P		
niska	optymalna	wysoka
Zawartość P (mg·dm ⁻³ ś.m.)		
<15	15–50	>50
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** (kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹)		
100–150***	50–100***	0–50**
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** (g P ₂ O ₅ ·m ⁻²)		
10–15***	0	0

*dostępność P w glebie oznaczona według metody Nowosielskiego;

**dawka fosforu podana na powierzchnię nawożoną;

***zmniejszone lub zwiększone o 20% dawki fosforu stosować, gdy jego zawartość w warstwie poniżej poziomu próchnicznego wynosi odpowiednio >15 mg P·dm⁻³ ś.m. oraz <7 mg P·dm⁻³ ś.m.;

****nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów stosować wzdłuż rzędów drzew w sadach w wieku powyżej 3 lat, mieszając je do głębokości 5 cm. Nawozy zawierające polifosforany stosować w młodych sadach (do 3 lat), a także na plantacjach bez konieczności mieszania z glebą

Tabela 27. Liczby graniczne zawartości fosforu (P) w liściach poszczególnych gatunków roślin sadowniczych oraz polecane jego dawki w owocujących sadach/plantacjach

Gatunek rośliny/dawka składnika w nawożeniu*	Zakres zawartości P (%)			
	deficytowy	niski	optimalny	wysoki
Jabłoń Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,11 150	0,11–0,14 100	0,15–0,26 0	>0,26 0
Grusza Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	-	<0,14 100	0,14–0,25 0	>0,25 0
Czereśnia Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,11 150	0,11–0,14 100	0,15–0,45 0	>0,45 0
Wiśnia Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,12 150	0,12–0,14 100	0,15–0,30 0	>0,30 0
Śliwa Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,14 150	0,14–0,19 100	0,20–0,60 0	>0,60 0
Brzoskwinia Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	-	<0,14 100–150	0,14–0,30 0	>0,30 0
Morela Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	-	0,19 100–150	0,20–0,26 0	>0,26 0
Orzech włoski Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,10 150	0,10–0,13 100	0,14–0,50 0	>0,50 0
Leszczyna Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,10 150	0,10–0,14 100	0,15–0,40 0	>0,40 0
Porzeczka czarna Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,15 50**	0,15–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Porzeczka czerwona Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,18 50**	0,18–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Agrest Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,14 50**	<0,14–18 50**	0,19–0,25 0	>0,25 0
Malina Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,11 50**	0,11–0,14 50**	0,15–0,30 0	>0,30 0
Truskawka Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,15 50**	0,15–0,23 50**	0,24–0,30 0	>0,30 0
Borówka Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)		<0,10 50**	0,12–0,40 0	>0,80 0
Żurawina Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)		<0,08 50**	0,10–0,20 0	
Winorośl właściwa Dawka P_2O_5 (kg·ha ⁻¹)	<0,10 50**	0,10–0,19 50**	0,20–0,24 0	0,25–0,80 0

*dawki P w przeliczeniu na powierzchnię nawożoną;

**stosować nawozy fosforowe na bazie polifosforanów

Sklep internetowy Wydawnictwa IUNG-PIB

esklep.iung.pl



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy

DZIAŁ UPOWSZECHNIANIA I WYDAWNICTW

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy,

tel.: 81 4786 720

e-mail: duw@iung.pulawy.pl , www.iung.pulawy.pl

