

**Program ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez  
związki fosforu ze źródeł rolniczych**

## **Autorzy**

dr Piotr Skowron, dr hab. Dorota Pikuła, dr Tamara Jadczyzyn, dr Jolanta Bojarszczuk, dr hab. Eliza Gaweł, mgr Beata Jurga, prof. dr hab. Anna Podleśna, dr hab. Agnieszka Rutkowska, dr Damian Wach (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy)

prof. dr hab. Stefan Pietrzak, dr Dominika Juskowska (Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy)

mgr Jolanta Sobierajska (Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy)

dr hab. Jacek Walczak (Instytut Zootechniki – Państwowy Instytut Badawczy)

dr hab. Jadwiga Treder, dr hab. Paweł Wójcik, dr Jacek Nowak, dr Jacek Dyśko (Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy)

## Spis treści

Stosowana terminologia.....	4
Użyte skróty .....	9
1. Wstęp.....	10
2. Dynamika fosforu w agroekosystemach.....	11
2.1. Przyczyny i skutki nadmiaru fosforu w wodach i glebie .....	11
2.2. Zawartość fosforu w glebach użytkowanych rolniczo.....	12
2.4. Dostępność fosforu dla roślin w zależności od pH.....	14
2.5. Fosfor przyswajany w glebie a ochrona wód .....	15
3. Wskaźniki do diagnozowania zagrożenia wód fosforem przenikającym do nich z gleb użytkowanych rolniczo .....	16
3.1 Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji roślinnej .....	16
3.2 Czynniki warunkujące straty fosforu z produkcji zwierzęcej.....	18
3.3 Czynniki warunkujące wymywanie, spływ powierzchniowy i erozję gleby .....	22
3.4 Ocena ryzyka wymywania, spływu powierzchniowego i erozji wodnej. ....	23
3.5 Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek wymywania, spływu powierzchniowego, erozji i produkcji roślinnej .....	24
3.6 Dobór środków mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wody wskutek produkcji zwierzęcej .....	26
4. Możliwości ograniczenia strat fosforu w gospodarstwie.....	31
4.1. Miejsca występowania strat fosforu.....	31
4.2 Możliwości przeciwdziałania stratom fosforu na terenie zagrody i jej otoczenia.....	32
5. Ramy prawne i rekomendacje dotyczące zarządzania fosforem w rolnictwie i ochrony wód, na poziomie krajowym i międzynarodowym.....	36
5.1. Aktualne przepisy prawa w Polsce i Unii Europejskiej. ....	36
5.2. Strategie Unii Europejskiej i Wspólna Polityka Rolna.....	38
5.3. Konwencja Helsińska, Plan Działań dla Morza Bałtyckiego, zalecenia Komisji Helsińskiej (HELCOM). ....	40
6. Dawki, sposoby i terminy nawożenia fosforem.....	44
6.1. Grunty orne.....	44
6.2. Trwale użytki zielone. ....	49
6.3. Uprawy/rośliny sadownicze, warzywnicze i ozdobne. ....	51
7. INTER-NAW – jako narzędzie do planowania nawożenia fosforem. ....	61
7.1. Kompleksowy plan nawożenia (NPKMgS) i wapnowania.....	61
7.2. Plan nawożenia azotem .....	63
7.3. Inne funkcjonalności systemu INTER-NAW.....	63
8. Podsumowanie dobrych praktyk w zakresie nawożenia fosforem.....	65
9. Konsekwencje ekonomiczne dla gospodarstw w związku z racjonalnym stosowaniem P.....	66
10. Załącznik .....	69

t

## **Stosowana terminologia**

**Areator** – maszyna rolnicza stosowana w produkcji kompostu, jej działanie polega na przerzucaniu materii organicznej, unoszeniu, mieszaniu, napowietrzaniu i formowaniu z niej przyzmy 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, także potas i sód, powodujący nadmierną produkcję biomasy glonów (co objawia się tzw. zakwitami glonów i zmętnieniem wody) 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 uruchomiane 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, kał zmieszany z moczem z domieszką wody.

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

**Guano** – nawóz naturalny, odchody z bezściółowego utrzymania ptaków.

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

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

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

**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 i rzek oraz mórz.

**Metoda Egnera-Riehma DL** – metoda powszechnie stosowana w Polsce do oceny zawartości fosforu i potasu przyswajalnego w glebach, przy wykorzystaniu 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 i takich mikroelementów jak bor, miedź i inne. Skutkiem tego jest znaczne zmniejszenie zużycia energii i wody, a także wyraźne obniżenie pracochłonności i kosztów odczynników.

**Mineralizacja** – rozkład materii organicznej prowadzący do powstania całkowity do prostych stałych związków nieorganicznych próchnicy zawierającej proste związki chemiczne konieczne dla wzrostu roślin

**Mobilizacja fosforu** – proces przechodzenia związków fosforu niedostępnych dla roślin w formy, które rośliny mogą zasymilować, głównie na drodze mineralizacji materii organicznej, co poprawia dostępność związków fosforu dla roślin, procesem antagonistycznym jest uwstecznianie fosforu.

**Nawozy naturalne** – wytworzone przez zwierzęta gospodarskie: obornik, gnojówka, gnojowica, guano (pomiot ptasi), zawierają 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 wymagają przykrycia glebą. Polepszają one właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby.

**Obniżenie jakości wody jezior i zbiorników rekreacyjnych na skutek nadmiernej eutrofizacji** – zmiana podstawowych parametrów tych wód prowadząca do: wzrostu całkowitej zawartości azotu i fosforu (świadcząca 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) i zmniejszenie przejrzystości wody (świadczące 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 o część legowiskową zlokalizowana 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** – nawóz naturalny stały, w skład wchodzi kał zwierząt, mocz i ściółka (słoma, trociny, torf).

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

**Płynne nawozy naturalne** – gnojówka, gnojowica.

**Płyta obornikowa** – nieprzepuszczalna płyta betonowa do przechowywania nawozów naturalnych stałych zabezpieczająca przed wyciekami do gruntu z dnem i szczelnymi, nieprzepuszczalnymi ścianami, zaopatrzona w zbiornik i instalację odprowadzającą odciek 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.

**Przmy kiszonki** – najtańszy i najprostszy sposób przechowywania kiszonek w przymie 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 kiszonek, umożliwiający dobre ubicie zakiszanej masy w silosie, ograniczenie dostępu powietrza, zmniejszenie strat

składników pokarmowych, łatwość zmechanizowania załadunku i ubijania masy, ograniczenie skażenia środowiska przez odprowadzanie wycieku soków kiszonych 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 sedimentacyjne** – 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 sedimentacyjny (tu zachodzi główny proces sedimentacji) i filtr-mokradło przed wylotem ze stawu z roślinami higrofilnymi zatrzymującymi mniejsze cząstki zanieczyszczeń i zwiększającą sedimentację.

**Straty fosforu** - utrata związków fosforu wniesionych w celu odżywienia roślin czy to na drodze erozji, przenikania w głąb profilu glebowego czy uwsteczniania fosforu.

**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 wynurzona, przeznaczony do odbierania i oczyszczania zanieczyszczonych azotem i fosforem oraz innymi składnikami, spływów wód powierzchniowych z pól i obejmując gospodarskich.

**Ścieki komunalne** – rodzaj odpadów bytowych (detergenty, resztki żywności i odchody) zmieszanych z wodami opadowymi bądź roztopowymi.

**Ścieki przemysłowe** – rodzaj odpadów powstałych w związku z prowadzoną działalnością handlową, przemysłową, transportową lub usługową, odprowadzanych do wód powierzchniowych poprzez urządzenia kanalizacyjne wytwarzających je zakładów.

**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 przesiąkanie wody w profilu glebowym do wód gruntowych i powierzchniowych wraz z rozpuszczonymi składnikami pokarmowymi.

**Zbiornik na gnojówkę** – szczelne betonowe konstrukcje z dnem i pokrywą zabezpieczające przed wyciekami płynów do gruntu.



## **Użyte skróty**

**BSAP** – Baltic Sea Action Plan

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

**DA** – dyrektywa azotanowa

**DKR (GAEC)** – norma dobrej kultury rolnej (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

**RDW** – ramowa dyrektywa wodna

**SMR** – statutory management requirements – podstawowe wymogi z zakresu zarządzania

**UE** – Unia Europejska

**WPR** – wspólna polityka rolna

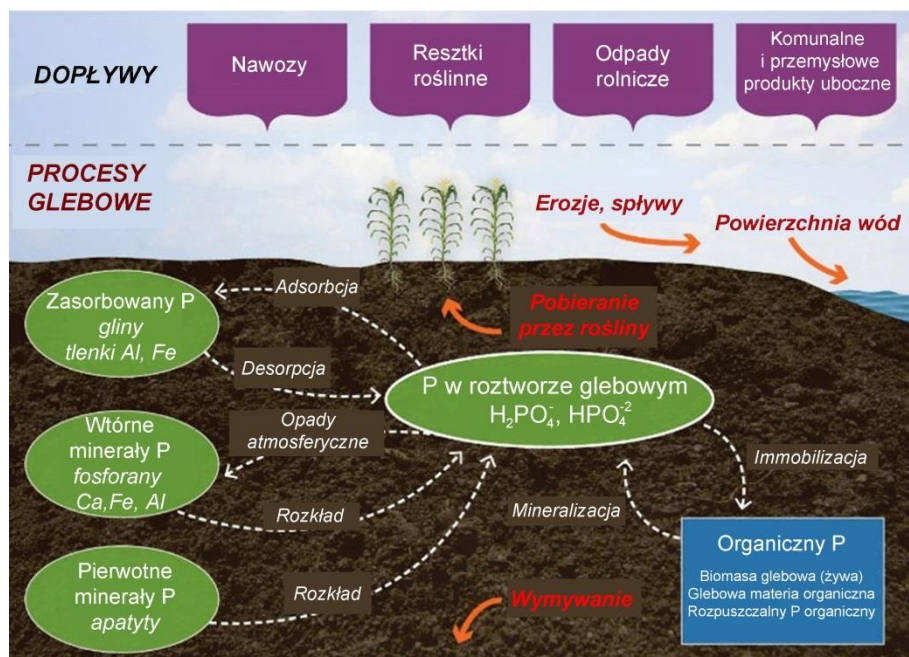
## 1. Wstęp

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 związkami fosforu. Nadmiar tego pierwiastka jest bowiem wypłukiwany z pól uprawnych oraz zabudowań inwentarskich do wód gruntowych i powierzchniowych, a wysokie zawartości fosforu mogą 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 pro środowiskowych standardów i zasad postępowania.

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 zanieczyszczenie 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 (źródło: <https://www.pioneer.com/us/agronomy/phosphorus-soil.html> (zmodyfikowany))

Przyczyny nadmiaru fosforu w glebach i wodach:

- 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,
- resztki roślinne tj. resztki poźniwne, obornik, komposty oraz różnego rodzaju produkty rolnicze wchodzące w skład łańcucha pokarmowego,
- składowane i magazynowane na terenie gospodarstwa odchody zwierząt (obornik, gnojówka i gnojowica) są źródłem nagromadzenia 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:

- 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 :

- zmniejszenie bioróżnorodności oraz zmiany w roślinach i zwierzętach występujących w danym środowisku,
- zmniejszenie liczby gatunków czułych ekologicznie i zwiększanie gatunków tolerancyjnych,
- pogłębienie mętności wody,
- wydzielaniem siarkowodoru, metanu i innych substancji trujących,
- zwiększenie stężenia materii organicznej,
- zwiększenie zawartość 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).

### **Literatura:**

<https://www.pioneer.com/us/agronomy/phosphorus-soil.html>

<https://www.ogarnijogrod.pl/objawy-niedoboru-i-nadmiaru-substancji-pokarmowych-u-roslin-rozpoznawanie/>

Podleśna A.: Czynniki kształtujące pobieranie i wykorzystanie fosforu przez rośliny oraz jego straty z gleb uprawnych. W: Studia i Raporty IUNG-PIB „Środowiskowe aspekty gospodarki nawozowej”, 2019, 59 (13): 59-76.

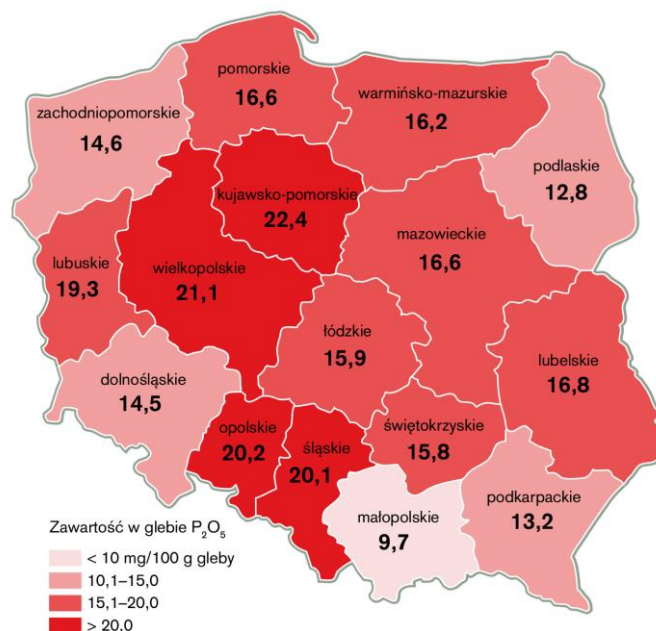
Sapek A.: Fosfor w łańcuchu pokarmowym człowieka a środowisko w Polsce. Inżynieria Ekologiczna, 2002, 21:62-72.

Sapek B.: Nagromadzanie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2014, 14, 1 (45): 77-100.

### **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 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g gleby. Na glebach takich zaleca się oszczędne stosowanie nawozów zawierających fosfor, w dawkach pomniejszych w stosunku do planowanych o 30–40 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. 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 osiąga 20,1 - 22,4 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na 100 g 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 ani ze względów środowiskowych, ani 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<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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 około 35,7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na hektar wnoszono z nawozami naturalnymi na Podlasiu, a najmniej, bo zaledwie około 5,5 kg w województwie zachodniopomorskim.



Rys. 2.2.1. Przeciętna zawartość fosforu w glebach Polski (źródło: Rutkowska A., na podstawie badań monitoringowych)

### 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 stosowanie 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 agronomicznej gleby (tabela 2.3.1).

Tabela 2.3.1. Klasy zasobności fosforu przyswajalnego w glebie.

Klasa zasobności	Zasobność	Gleby mineralne	Gleby węglanowe
		mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g gleby	
V	Bardzo niska	< 5,0	<5 ,0
IV	Niska	5,1 – 10,0	5,1 – 10,0
III	Średnia	10,1 – 15,0	10,1 – 20,0
II	Wysoka	15,1 – 20,0	20,1 – 40,0
I	Bardzo wysoka	> 20,1	> 40,1

Metoda ta pozwala na określenia 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 mikroskładników pokarmowych. W przeciwieństwie do metody Egnera-Riehma DL klasy zawartości fosforu przyswajalnego określone zostały z uwzględnieniem odczynu gleby (Tabela 2.3.2).

Tabela 2.3.2. Klasy zasobności gleb w fosfor przyswajalny wyznaczone dla metody Mehlich 3.

Odczyn	Klasy zasobności gleby				
	mg P/kg 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 wysokie plony roślin można uzyskać na glebach o co najmniej średniej zawartości fosforu i uregulowanym odczynie gleby. Na glebach ubogich w fosfor 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

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<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> oraz HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Do najważniejszych czynników wpływających na przemiany fosforu w glebie należy 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 z 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 jej odczyn np. mączki fosforytowe, które rozpuszczalne są wyłącznie w środowisku kwaśnym należy stosować jedynie na gleby kwaśne i bardzo kwaśne.

### **Literatura:**

Grzebisz W. Nawożenie roślin uprawnych. 2009, PWN, s.79-80

Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W. 2013. Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa nr 184, Wydawnictwo IUNG-PIB.

Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzyn T., Boreczek B., Janda B. 2014. Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metoda Melicha 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, Wydawnictwo IUNG-PIB Puławy.

Lipiński W. 2019. Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo. System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce pod red. Sity j. i Borowskiego G. Politechnika Lubelska, s. 305-320.

Rutkowska A. Rusek P. 2020. Rynek nawozów fosforowych oraz zróżnicowanie zawartości fosforu w glebach Polski, Przemysł Chemiczny, 99/3, 381-385.

### **2.5. Fosfor przyswajany w glebie a ochrona wód**

Niepobrano przez rośliny fosfor, 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. Podatnymi 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 zwiększeniem 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 terenach ukształtowanych przekroczenie średniej klasy zasobności gleb użytkowanych rolniczo w przyswajalny fosfor wiąże się z ryzykiem strat tego pierwiastka na skutek spływu i zmywu powierzchniowego i 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 ekonomicznie uzasadnione należy zwrócić uwagę na kilka aspektów:

##### Odczyn

W pierwszej kolejności należy skupić się na wykorzystaniu rezerwy glebowej fosforu poprzez optymalizację pH gleby. 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. 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, powierzchniowa i wymywanie w głąb profilu glebowego, składniki, wniesione pierwotnie w celu odżywienia roślin zostają bezpowrotnie stracone z cyklu produkcji rolniczej i zostają rozproszone do środowiska wodnego (bezpośrednio lub pośrednio).

- W świetle powyżej przedstawionych informacji oczywistym jest, że 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 fosfor 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 poziom materii organicznej w glebie. W skład próchnicy wchodzi różne związki organiczne o rozmaitych właściwościach chemicznych, fizycznych i mikrobiologicznych, 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 i 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



- 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 przekraczają zasobność gleby konieczne jest zastosowanie odpowiedniego nawożenia. Aby było ono jednak bezpieczne należy rozważyć przynajmniej 4 podstawowe aspekty:

- **Właściwą dawkę fosforu** - wyznaczoną w oparciu o zapotrzebowanie roślin na podstawie bilansu uwzględniającego wszystkie źródła fosforu: zasobność gleb, wszystkie stosowane nawozy, resztki poźniwne oraz produkty uboczne
- **Właściwą formę nawozu** - Najczęściej stosowane i najłatwiej dostępne nawozy fosforowe to:
  - a) 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;
  - b) 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;
  - c) 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 zbliżonych do obojętnego.
  - d) Naturalne nawozy, takie jak obornik i gnojowica, są łatwo dostępnym źródłem tego pierwiastka dla roślin, gdyż 50-70% całkowitego fosforu (Pcałk.) występuje w nich w formie dostępnych fosforanów wapnia.
  - e) 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**
  - a) 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.
  - b) 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, okopowe zaś 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 wydalają od 40-60% fosforu zawartego w paszy, co mocno uzależnione jest 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 zgodny musi być z wymogami zawartymi w „Programie działań mający na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (RM, 2020).

Fosfor występuje w materiałach paszowych pochodzenia roślinnego, w 55-80% pod postacią soli kwasu fitynowego (Potkański 2004). 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 rozkładającego fityniany do form dostępnych dla kolejnych etapach procesu trawienia. Zwierzęta przeżuwające, których żołądek ma budowę złożoną, a w szczególności wyposażony jest w żwacz zasiedlony przez mikroflorę, trawią fityniany głównie dzięki enzymom celulolitycznym bakterii. Roślinne komponenty paszowe, takie jak ziarno zbóż, otręby, nasiona roślin strączkowych 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 do 2,5 do 12,4 g/kg suchej masy (tabela 3.2.1). Dobrym źródłem fosforu są mineralne fosforany paszowe. Te ostatnie są zwykle mieszaniną fosforanów jedno-, dwu- i trójwapniowych z wyraźną przewagą dwuwapniowego. Duża zawartość wapnia (powyżej 240 g/kg) świadczy o zwiększonym udziale fosforanu trójwapniowego, zaś mała ilość fosforu (poniżej 170 g/kg) 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% (dwu-wapniowy uwodniony:  $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) do 95% (jedno-amonowy:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ).

Innymi bogatymi w związki fosforu surowcami paszowymi są produkty pochodzenia zwierzęcego – drożdże, mączki rybne. Mączki rybne ze względu na dość wysoki koszt używane są w recepturach mieszanek paszowych typu prestarter i starter. Drugim powodem ograniczonych możliwości włączenia tych komponentów do mieszanek jest możliwość przechodzenia 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, wraz z wapniem uczestnicząc w rozwoju i budowie szkieletu zwierząt. Około 80% jego zawartości występuje właśnie w kościach w postaci fosforanu wapnia oraz w postaci estrów organicznych. Jest ono również niezbędne do metabolizmu energetycznego i replikacji komórek zwierząt (Poulsen, 2000). Fosfor jest ważnym składnikiem kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA), trifosforanu adenozy (ATP), fosforanu rybonukleinowego (RNA) i fosfolipidów, fosfokreatyn. Rola fizjologiczna fosforu jest bardzo zróżnicowana. Uczestniczy m. in. w wymienionej już mineralizacji tkanki kostnej, regulacji równowagi kwasowo-zasadowej, przemianach energetycznych, reakcjach związanych z metabolizmem węglowodanów, tłuszczów i związków azotowych oraz w transporcie metabolitów przez błony komórkowe. Jego niedobór 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, 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 makroelement jest jego zawartość w kościach. Przykładowo dla drobiu w okresie odchowu zalecane poziomy fosforu przyswajalnego wynoszą od 0.40-0.45 proc. do 0,32-0,35 %, dla kur stad towarowych 0.33-0.40 %. Zbyt wysoki udział włókna pokarmowego w dawce pokarmowej, wpływa negatywnie na wchłanianie fosforu u zwierząt monogastrycznych. Istotny jest również prawidłowy stosunek Ca do 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 spowodowana w dużej części niewłaściwym żywieniem, w tym nieprawidłowy stosunkiem wapnia do fosforu. Nadmiar fosforu w żywieniu krów mlecznych powoduje zaburzenia w gospodarce wapniowej. Również wpływa on 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 i dodatkowo wydalają go z moczem z organizmu. Szacuje się, że 30%. Krów cechuje się niedoborami fosforu.

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

Analizując zapotrzebowanie bydła na poszczególne związki mineralne należy zwrócić uwagę na to, 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 3.2.1. Zawartość różnych form fosforu (g) i jego strawność (%) dla różnych materiałów paszowych w żywieniu zwierząt monogastrycznych.

<b>Materiał paszowy</b>	<b>Fosfor ogólny</b>	<b>Fosfor fitynowy</b>	<b>Strawność</b>
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 poekst.	6,6	3,9	30
Śruta rzepakowa	12,4	7,3	23
Kukurydza	2,5-3,5	1,6-2,6	17

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

<b>Dobowa produkcja mleka (kg)</b>	<b>Składnik</b>			
	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
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 indyjskich powodują wzrost wymagań w stosunku do rozwoju układu kostnego. Średnie zapotrzebowanie ptaków rosnących

na fosfor waha się w granicach 3 g/kg paszy w przypadku kur niosek do 7,5 g/kg paszy w przypadku indycząt.

Istnieje wiele czynników wpływających na stopień trawienia i dostępność fosforu dla zwierząt. Są to między innymi: rodzaj paszy, pH treści przewodu pokarmowego, zawartość witamin i probiotyków, poziom włókna azawartość kwasów organicznych i czynników antyodżywczych, oddziaływanie hormonów (paratormonu i kalcytoniny), stosunek Ca:P i koncentracja innych składników mineralnych, poziom witaminy D w paszy. Czynniki te mogą w różnym stopniu decydować o dostępności fosforu z objętościowych pasz roślinnych, nasion roślin strączkowych oraz ziaren zbóż. Przykładowy poziom zapotrzebowania i wydalania fosforu na przykładzie 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), fitazę paszową (natywną) oraz fitazę egzogenną (mikrobiologiczną). Fitaza jelitowa jest enzymem produkowany 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 już minimalna. W przewodzie pokarmowym fosfor z paszy wchłaniany jest już w żołądku, ale w głównej mierze odbywa się to w jelicie cienkim, tak na drodze 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 nasionach kukurydzy, owsa, 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 związane jest 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 za cały okres odchowu.

<b>Grupa technologiczna</b>	<b>Zapotrzebowanie (g/MJ ME)</b>	<b>Pobranie (kg/szt.)</b>	<b>Retencja (kg/szt.)</b>	<b>Wydalenie (kg/szt.)</b>
Prosięta	13,0	0,312	0,065	0,247
Warchlaki	12,7	0,344	0,103	0,241
Tuczniaki	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 tuczniaków

Parametry	Dawka fitazy (FTU/kg paszy)			
	0	300	600	900
Koncentracja P w paszy (g/kg)	3,9	3,9	3,9	3,9
Przyrosty dobowe (kg)	0,800	0,900	0,910	0,920
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 dodatek fitazy do paszy powoduje znaczną poprawę retencji fosforu i ponadto zmniejsza wydalanie tego pierwiastka o połowę. W doświadczeniach na tucznikach wykazano m. in., że dodatek fitazy pozwala zredukować zawartość fosforu w mieszance o ok. 33%, dodatkowo korzystnie wpływając na poprawę wyników produkcyjnych. Stwierdzono również, że dodatek fitazy do niskobiałkowej diety podnosi retencję białka o około 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% zawartość fosforu i wapnia w diecie i odchodach, bez negatywnego efektu w zakresie wchłaniania wymienionych składników mineralnych i budowy strukturalnej kości tuczników.

## Literatura

Poulsen, H. D. (2000). Phosphorus utilization and excretion in pig production. *J. Environ. Qual.*, 29:24-27.

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.

RM, 2020. Rozporządzenie z dnia 12 lutego 2020 r. Program działań mający na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”

### 3.3 Czynniki warunkujące wymywanie, spływ powierzchniowy i erozję gleby

Ryzyko strat fosforu do wód powiązane jest z czynnikami warunkującymi transport fosforu do zbiorników wodnych, np. na drodze erozji, spływu powierzchniowego czy wymywania w głąb profilu glebowego.

**Erozja powierzchni ziemi** oznacza 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 (wielkość i natężenie opadu , wielkość kropel deszczu),
- pokrycia terenu,
- czynników agrotechnicznych (stopień pokrycia terenu przez rośliny, dobór roślin (płodozmian), okresowego braku upraw (ugór), kierunek uprawy i siewu, bruzdy, ślady po przejazdach kół, zagęszczenie 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 znaczącej mineralizacji glebowej materii organicznej i słabego wykorzystania fosforu przez roślinność.

Straty fosforu do wód na drodze 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.**

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.

Szacowanie ryzyka strat fosforu do wód uwzględnia dwa główne komponenty: ocenę ilości fosforu, który może przedostać się do wód oraz ocenę czynników warunkujących transport fosforu 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

- uregulowany odczyn gleby minimalizuje ryzyko strat
- jest to czynnik warunkujący dostępność fosforu w glebie (optymalny 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
- dawkę i rodzaj stosowanego wapna uzależnia się od typu gleby, odczynu, rodzaju uprawy itp.

Bilans składników nawozowych w gospodarstwie i plan nawożenia

- umożliwią zastosowanie zbilansowanej dawki nawożenia dostosowanej do konkretnej uprawy
- pozwalają unikać przenawożenia poprawiając efektywność zainwestowanych środków
- dostosowane do możliwości pobrania przez rośliny dawki nawozów redukują ryzyko wymycia składników nawozowych do wód

Odpowiednia pojemność zbiorników na nawozy naturalne

- pojemność zbiorników na gnojówkę i gnojowicę powinna umożliwiać przechowywanie nawozu przez okres 6 miesięcy, natomiast powierzchnia miejsc do przechowywania obornika powinna umożliwiać jego przechowanie przez okres 5 miesięcy.
- przez cały rok nie wolno składować bezpośrednio na gruncie pomiotu ptasiego oraz kiszzonek. kiszonki należy przechowywać w silosach, w rękawach foliowych, na płytach lub na podkładzie z folii, sieczki, słomy lub innym materiale, który pochłania odcieki, oraz pod przykryciem foliowym.
- zabrania się składowania i przechowywania nawozów naturalnych oraz kiszzonek w odległości mniejszej niż 25 m od studni i od linii brzegu wód powierzchniowych oraz pasa morskiego

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

- zmniejsza ryzyko erozji powierzchniowej wodnej i wietrznej
- szczególnie zalecane na glebach lekkich
- umożliwia wykorzystanie zgromadzonej w glebie puli fosforu
- zmniejsza ryzyko wymywania w głąb profilu glebowego



- „rośliny wychwytyjące”: poplony siane razem z główną uprawą lub później, utrzymywane na gruntach ornych w okresach po zbiorze upraw głównych
- rosnące rośliny pobierają azot i fosfor, zapobiegając o wymyciu, a po przyoraniu – składniki są wprowadzane powtórnie do gleby

Ograniczanie intensywności erozji poprzez:

- 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 poplonów, najlepszą efektywnością cechują się płodozmiany ze znacznym udziałem roślin strączkowych, motylkowatych i traw
- przeznaczenie gruntów o znacznym nachyleniu (powyżej 20%) pod trwałe użytki zielone bądź pod zalesienie

Właściwe terminy zabiegów

- 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

Sztuczne mokradła i stawy sedymentacyjne

- mały basen sedymentacyjny pozwala na zatrzymywanie cząstek gleby oraz osadzonego na nich fosforu z wód odpływowych
- sztuczne mokradło powinno spowolnić odpływ wody, np. poprzez zwiększenie wysokości gleby wzdłuż rowów, tak aby spowolnić jej przepływ
- zmniejszenie emisji 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 emisje pestycydów do wód oraz zapobiegają erozji
- wzbogacają bioróżnorodność oraz walory krajobrazowe
- mogą być wykorzystane jako pasy przejazdowe dla maszyn
- Umożliwia precyzyjne dozowanie nawozów fosforowych, unikając przenawożenia i poprawiając efekty ekonomiczne

### 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: zwiększenia strawności związków fosforu, ograniczenie poziomu fosforu ogólnego w dawkach pokarmowych, lepszego dostosowania 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 biowęgla. 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 (kg 0,75). 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 (Dijkstra i in., 2007). Jak już pisano w poprzedniej części, fityna jako główne źródło roślinnego fosforu jest zasadniczo niedostępna dla zwierząt monogastrycznych. Stąd 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. Ich strawność waha się od 52% dla dwu-wapniowego uwodnionego  $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  do 95% dla jedno-amonowego  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ . 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, zwiększaj 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 (Kebreab i in., 2013). Już samo zastosowanie samego schematu żywienia w gospodarstwie, ogranicza rozpraszanie o 10% w stosunku do braku schematu. Schemat taki gwarantuje 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 na skutek zmniejszenia kosztów paszy (Kebreab i in., 2013). Szereg badań w zakresie żywienia krów mlecznych wykazało, że dawka zawierająca 2,7 g P/kg sm w zupełności pokrywała potrzeby pokarmowe wysokowydajnych krów mlecznych. Zwierzęta zachowały

przy tym poziom produkcji mleka i niezmienny jego skład, a także optymalną zawartość P w kościach (Wu i Satter, 2000; Wu i in., 2001; Valk i Sebek, 1999). Wyższe ograniczenie koncentracji P do 2,3 g/kg sm wykazało już zmniejszone spożycie suchej masy i spadek produkcji mleka (Dijkstra i in., 2007).

Inną żywieniową metodą mitygacji rozpraszania fosforu jest żywienie wielofazowe. Jego przykład ilustruje tabela 3.5.1. Żywienie wielofazowe stosowane jest już jako sposób mitygacji związków azotu dla praktycznie wszystkich głównych gatunków (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 pasz dodatkowych, 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 dla brojlerów co kilka dni, a dla 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 3.5.1. Przykład efektywności żywienia wielofazowego w mitygacji rozpraszania związków fosforu w żywieniu tuczników.

Wyszczególnienie	Żywienie 2 fazowe	Żywienie 5 fazowe
Zużycie paszy (kg/dzień)	2,15	2,15
Wykorzystanie paszy (kg/kg)	2,91	2,91
Przyrosty mc (kg/dzień)	0,810	0,810
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/szt./rok)	4,9	4,4
Wydalenie P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/szt./rok)	3,4	2,7

Na marginesie omawiania metod żywieniowych, zwrócić uwagę należy na kwestie samego sposobu żywienia bydła. Stwierdzono bowiem, że wydalanie 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 wydalanie fosforu z moczem zwiększało się. Stosowanie kiszonki z traw prowadzi do redukcji wydalania rozpuszczalnych związków fosforu w porównaniu do żywienia opartego o pasze skoncentrowane (zbożowe) (Kebreab et al., 2013). Status energetyczny zwierząt, w tym rodzaj i koncentracja energia w paszy ma znaczący wpływ na wydalanie fosforu. Krowy karmione dietą o wyższej wartości energetycznej miały znacznie poprawioną wydajność P w porównaniu do tych o niższym poziomie energii (Dijkstra i in., 2007). Powolne uwalnianie energii pozwala na większe wykorzystanie P przez drobnoustroje żwacza.

Innym żywieniowym sposobem ograniczenia ilości wydalanego fosforu szczególnie przez zwierzęta monogastryczne, 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 wydalaly go 37% mniej. Dodatek fitazy zwiększa

przyswajalność fosforu z 21 do 34%, a jego wydalanie zmniejsza o 25–50% i jednocześnie zwiększając przyrosty dziennego masy ciała zwierząt. Różne badania wykazały, że enzym ten może być również stosowany u przeżuwaczy, nawet jeśli drobnoustroje w żwaczu również go produkują. Knowlton i in. (2007) wykazał poprawę strawności P z 7 do 17% w mieszance dla krów w okresie laktacji, karmionych z dodatkiem fitazy. W rzeczywistości całkowita hydroliza fitynianów nie zawsze występuje w żwaczu w 100%.

Na wstępie omówienia metod przetwarzania nawozów naturalnych, zaznaczyć należy bezwzględną konieczność wypełnienia norm prawnych w zakresie samego przechowywania. Niewystarczająca pojemność płyt i zbiorników często prowadzi do rolniczego wykorzystania obornika podczas okresów zabronionych, kiedy brak uprawy i wegetacji, co skutkuje dodatkowym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Przechowywanie zapewnia również możliwości późniejszego przetwarzania nawozów naturalnych. Kompostowanie obornika w gospodarstwie nie wpływa na formy P zawarte w substracie i produkcie. Natomiast zwykła separacja gnojowicy pozwala już na odseparowanie we frakcji płynnej większej ilości organicznego, nieorganicznego i hydrolizowalnego fosforu, niż ma to miejsce we frakcji stałej. Z kolei fermentacja beztlenowa zasadniczo nie wpływa na ilość różnych form P obecnych w pofermencie (Pagliari i Laboski, 2013).

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 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/l. 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. Mineral 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. kalcyt ( $CaCO_3$ ), wapno hydratyzowane ( $Ca(OH)_2$ ), węgiel, itp. Produkt można usunąć z roztworu przez zwykle filtrowanie zawiesiny. Ten sposób prowadzi do stosunkowo małej ilości osadów, które są wysoce skoncentrowane pod względem w fosforu. Zastosowanie związku wapnia do usuwania P powoduje wytrącanie takich minerałów jak hydroksyapatyt, bruzyt, monetit itp. Najbardziej rozpowszechnionym fosforanem jest tu hydroksyapatyt ( $Ca_5(PO_4)_3OH$ ). Inne, zidentyfikowane fosforany wapnia, to  $Ca_4H(PO_4)_3 \cdot 3H_2O$ , fosforan dwuwapniowy ( $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ) oraz nieorganiczne sole amonu i wapnia ( $NH_4CaPO_4 \cdot H_2O$ ). 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, tak 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  $\text{Fe}^{3+}$  w rozpuszczalny  $\text{Fe}^{2+}$ , czy też beztlenowe utlenianie metanu i przemianę fosforu organicznego do nieorganicznego  $\text{PO}_4^{3-}$  albo  $\text{SO}_4^{2-}$  do  $\text{S}^{2-}$ . 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%.

Inną sposobem odzysku fosforu z gnojowicy jest elektrokoagulacja (EC). Proces EC wykorzystuje zjawisko elektrolizy przy zastosowaniu 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.

Jeśli idzie o nawozy naturalne stałe, ich przetworzenie jest możliwe na 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. Co więcej, 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%.

## Literatura

Dijkstra, J., A. Bannink, J. France, E. Kebreab (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.

Kebreab, E., A.V. Hansen A.B. Leytem (2013). Feed management practices to reduce manure phosphorus excretion in dairy cattle. *Advances in Animal Biosciences*, 4: 37-41.

Kincald, R.L., D.K. Garikipati, T.D. Nennich J.H. Harrison (2005). Effect of grain source and exogenous phytase on phosphorus digestibility in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88: 2893-2902.

Knowlton, K.F., M.S. Taylor, S.R. Hill, C. Cobb K.F. Wilson (2007). Manure nutrient excretion by lactating cows fed exogenous phytase and cellulose. *J. Dairy Sci.*, 90: 4356-4360.

McDowell, R. W., A.N. Sharpley, L.M. Condron, P.M. Haygarth P.C. Brookes (2001). Process controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59: 269- 284.

McDowell, R.W. and R.J. Wilcock (2008). Water quality and the effects of different pastoral animals. N.

Pagliari, P.H. and C.A.M. Laboski (2013). Dairy manure treatment effects on manure phosphorus fractionation and changes in soil test phosphorus. *Biology Fertility Soils*, 49: 987-999.

Valk, H. and L.B.L. Sebek (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.

Wu, Z. L.D. Satter (2000). Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentration of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.*, 83: 1052-1063.

Wu, Z., L.D. Satter, A.J. Blohowiak, R.H. Stauffacher J.H Wilson (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.

## 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, powierzchni 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 moczu przedostaje się do gleby oraz wybiegi dla zwierząt i drogi przepędowe, a także przyzmy kiszonek (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 4.1.1. Składowanie obornika na gruncie przyczyną dużych strat fosforu (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 skażeniu przez spływ powierzchniowy (fot. E. Gawęł)

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 miejscem 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 tlenu (BZT5) wynoszącym średnio  $60000 \text{ mg O}_2\text{-dm}^{-3}$  i zawierająca przeciętnie ponad  $3500 \text{ mg-dm}^{-3}$  azotu całkowitego i ponad  $800 \text{ mg-dm}^{-3}$  fosforu całkowitego<sup>1</sup>.

## 4.2 Możliwości przeciwdziałania stratom fosforu na terenie zagrody i jej otoczenia

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, a w szczególności w rozporządzeniach w sprawie programu azotanowego<sup>2</sup> oraz w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie<sup>3</sup>. W tym zakresie szczególnie istotne jest, aby nawozy naturalne produkowane przez zwierzęta utrzymywane na terenie

<sup>1</sup> 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>

<sup>2</sup> Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia "Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu" (Dz.U. 2020 poz. 243).

<sup>3</sup> Obwieszczenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 1 sierpnia 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie (Dz.U. 2014 poz. 81).



zagrody były gromadzenie i przechowywanie w odpowiednio dostosowanych gnojowniach oraz zbiornikach na gnojówkę i gnojowicę, zgodne z wymogami podanymi w programie azotanowym. Gnojownie powinny mieć pojemność magazynową równoważną, co najmniej 5-cio 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), być wykonane z wodoszczelnego materiału odpornego na naciski i uderzenia związane z ich gromadzeniem i usuwaniem nawozów oraz posiadać zabezpieczenia chroniące przed niezamierzonym przemieszczaniem się gromadzonych nawozów poza ich obręb (np. ścianki boczne w gnojowni). Dojazdy 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. 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.

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

Przeciwdziałać przedostawaniu się zanieczyszczeń w tym fosforu zmywanego z wybiegów dla zwierząt i innych powierzchni znajdujących się na zewnątrz budynków inwentarskich, które są zanieczyszczane odchodami – a w szerszym ujęciu z podwórzy gospodarskich, do cieków i zbiorników wodnych, można poprzez doprowadzenie tych zanieczyszczeń do specjalnie w tym celu wybudowanych sztucznych mokradeł lub też w istniejących w okolicy zagrody oczek wodnych – fot. 4.2.1.



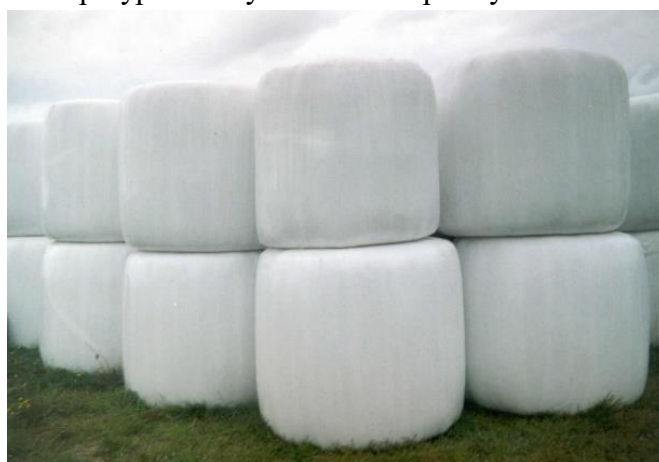
Fot. 4.2.1. Sztuczne mokradło usytuowane w pobliżu obejścia gospodarskiego (fot. S. Pietrzak)

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. Prawdopodobnie 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 do zwierząt i temu podobnych miejsc można zmniejszyć poprzez okresowe ich oczyszczanie z kału i odchodów pomieszanych z materiałem organicznym, np. za pomocą zgarniaka ciągnikowego. Ponadto starty fosforu z miejsc na terenie zagrody i jej otoczeniu zanieczyszczonych odchodami (zwłaszcza z wybiegów) można ograniczyć poprzez ich zabezpieczenie przed dopływem wody opadowej z dachów budynków inwentarskich. W tym celu budynki inwentarskie powinny być wyposażone w rynny i powinien być stworzony system odprowadzania z nich wody opadowej poza powierzchnie zanieczyszczone odchodami, np. na powierzchnie zadarnione, do rowów lub stawów .

W celu ograniczenia ryzyka zanieczyszczenia wód zanieczyszczeniami pochodzącymi z soków kiszunkowych, wszystkie produkowane w gospodarstwach pasze soczyste należy przechowywać w specjalnych zbiornikach (silosach) lub na płytach z systemem kolektorów i studzienek do ich zbierania. Na dnie silosu płaskiego powinna być wykonana podłoga z pociętej słomy, zatrzymującej soki kiszunkowe (jedna tona pociętej słomy może wchłonąć do 2,5 m<sup>3</sup> soku).

Silosy czy przyzmy z kiszonką powinny być szczelnie okryte polietylenową folią o grubości 0,15-0,16 mm, m.in. po to, aby zapobiec przenikaniu do kiszonki, wody z opadów atmosferycznych. Najlepszym jednak sposobem eliminacji zagrożenia stwarzanego przez soki kiszunkowe dla wód, jest produkcja kiszonek z materiału podsuszonego (o zawartości 30-50% s.m.) – fot. 4.2.3. W takim przypadku wycieki soków praktycznie wcale nie występują.



Fot. 4.2.2. Zakiszanie podsuszonej runi łąkowej w belach zapobiega wyciekom soków kiszunkowych (fot. B. Wróbel)

## Literatura:

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.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 12 lutego 2020r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”. Dziennik Ustaw, Warszawa dnia 14 lutego 2020r. (na podstawie art. 106 ust. 4 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r.).

Górski D. Co trzeba wiedzieć o fosforze i nawozach fosforowych?. Przedsiębiorca rolny, 1, 2019.)

Pietrzak S., Urbaniak M., Majewska Z., 2018. Budowa i wstępna ocena składowiska obornika z podłożem denitryfikacyjnym. Zagadnienia doradztwa Rolniczego, 4, 2018, pp. 58-72.

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.

Schierer R.A., Davis J.G., Zumbrunnen J.R.2007. Predicting phosphorus runoff from calcareous soil. Western Nutrient Management Conference . 2007. 7, Salt Lake City, UT.

Pietrzak S. Prorytetowe środki zaradcze w zakresie ograniczania strat azotu i fosforu z rolnictwa w aspekcie ochrony jakości wód. Wyd. ITP. Falenty, 2012, pp. 34.

Barowicz T. 2012. Źródła fosforu w paszy Hodowca Trzody chlewnej. Hodowca Trzody Chlewnej, 4, 2009.

Górski D. Co trzeba wiedzieć o fosforze i nawozach fosforowych? Agropolska.pl [online], dostęp 21. 03. 2022.

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, pp.76.

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.

## **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 również 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 EU 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 w dorzeczu, oraz dyrektywę w sprawie emisji przemysłowych.

W Polsce, aktualnie obowiązującymi aktami prawnymi są: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu, Ustawa z dnia 20 lipca 2017 Prawo Wodne i akt wykonawczy do tej ustawy – Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (program azotanowy) 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. Ładunek fosforu w postaci nawozów jest limitowany w Polsce pośrednio poprzez limit określony dla azotu.

#### **Dania**

Obowiązujące w Danii zasady dotyczące stosowania nawozów, zawarte są w Ustawie o stosowaniu nawozów w rolnictwie i o środkach redukcji składników odżywczych, oraz aktualizowanym co 2 lata Rozporządzeniu w sprawie rolniczego stosowania nawozów w okresie planowania. Maksymalna norma fosforu jest ustalana co roku i w sezonie 2020/2023 dla upraw polowych wynosi od 3 do 35 kg P·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (do 40 kg P·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> 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 kg N ha<sup>-1</sup> rocznie). 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. Maksymalna dopuszczalna dawka fosforu wprowadzana na pola uprawne w postaci nawozów naturalnych (w tym pozostawionych przez zwierzęta na pastwisku) wynosi średnio  $25 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$  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. Maksymalna dopuszczalna dawka fosforu rozpuszczalnego w cytrynianie amonu wynosi  $400 \text{ kg P ha}^{-1}$  sumarycznie w ciągu 5 lat ( $80 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ ). 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 rolno-środowiskowych. Program rolno-środowiskowy 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  $15 \text{ kg P ha}^{-1}$  rocznie, z wyjątkiem gleb o najwyższej klasy zasobności w P. Na użytkach zielonych dawka maksymalna wynosi  $30 \text{ kg P ha}^{-1}$  rocznie ( $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  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). 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  $20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$  gleby (ekstrakcja octanem wapnia – CAL), lub  $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$  gleby (ekstrakcja mleczanem wapnia – Egnera-Riehma DL), lub  $3,6 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$  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 kg N rok<sup>-1</sup>, oraz przyjmujące nawozy naturalne są zobowiązane do dokumentowania zabiegów związanych z nawożeniem oraz do opracowania planu nawożenia azotem i fosforem dla każdego pola. W gospodarstwach o powierzchni powyżej 30 ha lub/i ilości zwierząt >50 DJP lub/i obsadzie >2,5 DJP ha<sup>-1</sup> 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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

#### Szwecja

W Szwecji zarządzanie nawozami zostało uregulowane w Przepisach i Wytycznych Szwedzkiej Rady Rolnictwa w Sprawie Zagadnień Rolno-Środowiskowych w Odniesieniu do Żywnienia 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<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Maksymalna dawka P w postaci nawozów naturalnych wynosi 22 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> 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 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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (17 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>) dla gruntów ornych oraz 75 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (32 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>) dla użytków zielonych. Jeżeli zasobność gleby w fosfor w glebie jest niższa możliwe jest zastosowanie dodatkowego nawożenia P w postaci nawozów mineralnych, naturalnych i organicznych, maksymalnie do 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (52 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>). 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 obszarach 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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (30 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>). Rolnicy są zobowiązani posiadać plan nawożenia, który uwzględnia 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 wpływających na wody zostało zebranych w ramach Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) i jego Strategii Od Pola Do Stołu, Strategii 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 ograniczeniem 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 EU 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” Obecne wymogi „zazielenienia” i wzajemnej zgodności zostały połączone w nową wzmocnioną warunkowość, w skład której wchodzi podstawowe wymogi z zakresu zarządzania (SMR) i normy dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (DKR).

Oprócz podstawowego wymogu dotyczącego zarządzania SMR 2 odnoszącego się do Dyrektywy Azotanowej, który pozostał w niezmienionej formie w stosunku do poprzedniej WPR, został wprowadzony nowy wymóg SMR 1 zaprojektowany na podstawie wdrożenia do przepisów prawa krajowego artykułów 11(3)e i h, Dyrektywy 2000/60 /WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Ramowa Dyrektywa Wodna - RDW). Wprowadza on obowiązkowe wymogi w zakresie kontroli rozproszonych źródeł zanieczyszczenia fosforanami i konieczność ustanowienia środków zapobiegających lub ograniczających zanieczyszczenie wód tymi związkami przez poszczególne kraje. Wymóg ten bezpośrednio realizuje ochronę wód przed zanieczyszczeniami fosforem ze źródeł rolniczych.

Praktyka w ramach ekoschematu „Rolnictwo węglowe” – Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia, ma na celu właściwe zarządzanie nawożeniem dostosowanym do zasobności gleb i potrzeb pokarmowych roślin, ma on być realizowany z wykorzystaniem analiz gleby i narzędzi informatycznych wspierających nawożenie. Ma obejmować wszystkie podstawowe składniki pokarmowe (NPKMg) i występować w wariacie z wapnowaniem i bez. Praktyczne stosowanie planu nawożenia pozwala uzyskać wysokie 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 DKR 4 – Ustanowienie stref buforowych wzdłuż cieków wodnych, DKR 5 – Zarządzanie orką w celu zmniejszenia ryzyka degradacji i erozji gleby, biorąc pod uwagę nachylenie terenu i DKR 6 – Minimalna pokrywa glebowa w celu uniknięcia niepokrytej gleby w najbardziej newralgicznych okresach. Praktyki

te wyłączają z nawożenia powierzchni najbardziej podatne na straty, ograniczają erozję gleby, oraz zmniejszają spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy.

### **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 ona pierwotnie podpisana w 1974 r. przez wszystkie kraje zlewiska Morza Bałtyckiego. Ma 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 bardziej szczegółowe procedury, środki i przepisy związane ze szczegółowymi celami ekologicznymi, zasadami lub zobowiązaniami określonymi w konwencji.

Z punktu widzenia ochrony wód przed zanieczyszczeniami 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 wejdą w życie po upływie roku. 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, stosowanie 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 kg/ha, jednocześnie maksymalną roczną dawką azotu – 170 kg/ha. 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), przyjęty przez umawiające się strony Konwencji Helsińskiej w 2007 r. i zaktualizowany w 2021 r., jest strategicznym programem środków i



działań HELCOM na rzecz osiągnięcia dobrego stanu środowiska Morza Bałtyckiego. Zaktualizowany 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 roku. Następnymi działaniami w temacie „Rolnictwo”, które będą wpływały na praktyki nawożenia są: E17 – uzgodnienie, do 2023 roku 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 opracowana 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. Kładzie ona nacisk na planowanie i optymalizowanie nawożenia, oraz zastępowanie nawóz mineralnych składnikami pokarmowymi odzyskanymi z nawozów naturalnych, organicznych i odpadów. Strategia będzie 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 nich składników pokarmowych i poziomie ich produkcji dla poszczególnych grup zwierząt. Dokładne dane co do ilości nawozów i zawartości w nich suchej masy, N, N-NH<sub>4</sub>, P i K, na wszystkich etapach zarządzania, będą wykorzystywane przy tworzeniu dokładnych planów nawożenia, bilansów, oraz egzekwowaniu limitów i ograniczeń.

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

### **Literatura:**

Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0676> (dostęp 30.06.2022)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (2000/60/WE) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060&from=PL> (dostęp 30.06.2022)

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/?uri=celex%3A32010L0075> (dostęp 30.06.2022)

Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20071471033> (dostęp 30.06.2022)

Ustawa Prawo Wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 1566). <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20170001566/U/D20171566Lj.pdf> (dostęp 30.06.2022)

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2020 poz. 243) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20200000243/O/D20200243.pdf> (dostęp 30.06.2022)

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=WDU20080800479> (dostęp 30.06.2022)

Ustawa Królestwa Danii o stosowaniu nawozów w rolnictwie i o środkach redukcji składników odżywczych <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2019/338> (dostęp 30.06.2022)

Rozporządzenie Ministerstwa Żywności, Rolnictwa i Rybołówstwa Danii w sprawie rolniczego stosowania nawozów w okresie planowania 2021/2022 <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2021/1601> (dostęp 30.06.2022)

Ustawą Parlamentu Republiki Estonii Prawo Wodne z dnia 22 stycznia 2019 r. (RT I, 22.02.2019, 1) <https://www.riigiteataja.ee/en/eli/ee/508102019001/consolide/current> (dostęp 30.06.2022)

Dekret Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa Finlandii w sprawie produktów nawozowych [https://mmm.fi/documents/1410837/2061117/MMMa\\_24\\_2011\\_lannoitevalmistasetus\\_EN.pdf/c49d5007-0b00-431e-b5ca-53ecdf236c3a/MMMa\\_24\\_2011\\_lannoitevalmistasetus\\_EN.pdf?t=1455613777000](https://mmm.fi/documents/1410837/2061117/MMMa_24_2011_lannoitevalmistasetus_EN.pdf/c49d5007-0b00-431e-b5ca-53ecdf236c3a/MMMa_24_2011_lannoitevalmistasetus_EN.pdf?t=1455613777000) (dostęp 30.06.2022)

Rozporządzenie Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa Finlandii w sprawie podstawowych i dodatkowych środków pomocy rolno-środowiskowej oraz pomocy specjalnej na pomoc rolno-środowiskową <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070503?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=503%2F2007> (dostęp 30.06.2022)

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) [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/BJNR130510017.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html) (dostęp 30.06.2022)

Zalecenia Szwedzkiej Rady Rolnictwa w Sprawie Zagadnień Rolno-Środowiskowych w dotyczące nawożenia i wapnowania <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo219.html> (dostęp 30.06.2021)

Ustawa Królestwa Niderlandów Prawo Nawozowe [https://wetten.overheid.nl/BWBR0004054/2022-04-30/#HoofdstukI\\_Artikel1](https://wetten.overheid.nl/BWBR0004054/2022-04-30/#HoofdstukI_Artikel1) (dostęp 30.06.2022)

Baltic Sea Action Plan, 2021 update, październik 2021, <https://helcom.fi/media/publications/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf> (dostęp 30.06.2022)

Additional information on the actions in the updated Baltic Sea Action Plan, październik 2021, <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Additional-information-on-the-actions-in-the-updated-Baltic-Sea-Action-Plan.pdf>

Baltic Sea Regional Nutrient Recycling Strategy, październik 2021, <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Regional-Nutrient-Recycling-Strategy.pdf> (dostęp 30.06.2022)

HELCOM Recommendation 41/3, “The use of national manure standards”, marzec 2020 <https://helcom.fi/media/recommendations/Rec-41-3.pdf> (dostęp 30.06.2021)

## 6. Dawki, sposoby i terminy nawożenia fosforem.

### 6.1. Grunty orne

Dawki nawozów mineralnych wyznacza się w taki sposób aby zabezpieczyć pokrycie potrzeb pokarmowych roślin uprawnych oraz osiągnięcie optymalnego poziomu zawartości składnika w glebie (w dłuższej perspektywie czasu). Obliczenia według systemu INTER-NAW umożliwiają określenie dawki nawozów mineralnych po uwzględnieniu innych dostępnych źródeł składnika w warunkach indywidualnego pola w następujących etapach:

1. Określenie potrzeb pokarmowych roślin
2. Obliczenie ilości składnika działającego z innych dostępnych źródeł
3. Wyznaczenie ilości fosforu w nawozach mineralnych niezbędnej dla optymalnego żywienia roślin
4. Korekta dawki nawozów mineralnych uwzględniająca aktualną zasobność gleby.

#### Określenie potrzeb pokarmowych roślin

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

<b>potrzeby pokarmowe roślin = prognozowany plon x pobranie fosforu na jednostkę plonu</b>
--

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

#### Obliczenie ilości składnika działającego z innych dostępnych źródeł

Źródłami dostępnego dla roślin fosforu mogą być:

- a) różnego rodzaju naturalne, organiczne i organiczno-mineralne nawozy lub środki poprawiające właściwości gleby, a także wykorzystywane rolniczo odpady
- b) pozostawione na polu produkty uboczne przedplonu.

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.
--

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

<b>ilość fosforu działającego = dawka nawozu x zawartość fosforu w nawozie (naturalnym, organicznym i in. x równoważnik nawozowy fosforu (tabeli 6.1.3)</b>
---

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 zawarte w wewnętrznej bazie programu INTER-NAW (tab. Tabela 6.1.2).

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

**ilość fosforu w produktach ubocznych = masa produktów ubocznych x pobranie jednostkowe w produktach ubocznych x 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:

**fosfor z nawozów mineralnych = potrzeby pokarmowe rośliny – fosfor działający z nawozów naturalnych i organicznych – fosfor działający z produktów ubocznych**

#### **Korekta dawki nawozów mineralnych uwzględniająca aktualną zasobność gleby**

Ostateczną zalecaną dawkę nawozów fosforowych oblicza się mnożąc zapotrzebowanie na fosfor z nawozów mineralnych przez współczynnik korekcyjny uwzględniający zasobność gleby (tabeli 6.1.4.).

**zalecana dawka nawozów fosforowych mineralnych = fosfor z nawozów mineralnych x współczynnik korekcyjny (tabeli 6.1.4)**

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**

Tabela 6.1.1. Pobranie składników w kg na 1 tonę plonu w zależności od gatunku rośliny uprawnej (INTER-NAW)

<b>Gatunek rośliny</b>	<b>Plon użytkowy i uboczny P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*</b>	<b>Plon uboczny P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*</b>
Pszenica	10	2
Pszenżyto	10	2
Jęczmień browarny	8,5	1,7
Jęczmień jary pastewny	8,5	1,7
Żyto	9	1,8
Żyto z.m. na paszę	1,37	-
Owies	9	2,7
Owies, z. m. na paszę	1,2	-
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,5	2,55
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10	3,0
Mieszanki zbożowo-strączkowe, z.m.	1,2	-
Kukurydza na ziarno	10	4
Kukurydza, z. m.	1,3	-
Gryka	15	4,5
Rzepak, nasiona	20	4
Burak cukrowy	1,6	0,96
Burak pastewny	1,4	0,84
Ziemniak późny	2	0,7
Ziemniak wczesny	2	0,4
Inne korzeniowe (okopowe)	1,15	0,69
Lucerna, z. m.	1,1	-
Lucerna z trawami z.m.	1,6	-
Koniczyna, z.m.	0,7	-
Koniczyna z trawami z.m.	1,15	-
Mieszanki bobowate z trawami, z. m.	1,8	-
Trawa w uprawie polowej, z. m.	1,4	-

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

Tabela 6.1.2. Zawartość fosforu w nawozach naturalnych (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg/t) (INTER-NAW)

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
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 od 2-4 miesiące	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

Tabela 6.1.3. Równoważniki nawozowe fosforu z różnych źródeł (INTER-NAW)

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

Tabela 6.1.4. Współczynniki korekcyjne w zależności od zasobności gleby (INTER-NAW)

Zawartość fosforu w glebie				
Bardzo niska	Niska	Średnia	Wysoka	Bardzo wysoka
1,5	1,25	1,0	0,5	0,25

### Przykład I.

Dane wejściowe:

- roślina uprawna – kukurydza na ziarno
- prognozowany plon – 8 t
- nawożenie nawozami naturalnymi – gnojowica od krów 30 t/ha
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie – niska

Obliczenia:

Potrzeby pokarmowe kukurydzy:  $8 \text{ t/ha} \times 10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} = 80 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

Ilość fosforu działającego z gnojowicy:

$30 \text{ t/ha} \times 2,1 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 0,7 = 44,1 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

Niezbędna ilość fosforu dla roślin z nawozów mineralnych:

$80 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} - 44,1 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} = 35,9 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości fosforu w glebie:

$35,9 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} \times 1,25 = 44,9 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

### Przykład II.

Dane wejściowe:

- roślina uprawna – pszenica ozima
- prognozowany plon – 8 t
- nawożenie nawozami naturalnymi – nie
- pozostawione produkty uboczne przedplonu – słoma rzepaku 4 t/ha
- zawartość przyswajalnego fosforu w glebie – wysoka

Obliczenia:

Potrzeby pokarmowe pszenicy:  $8 \text{ t/ha} \times 10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} = 80 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

Ilość fosforu działającego ze słomy rzepaku:

$4 \text{ t/ha} \times 4 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 0,3 = 4,8 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$

Niezbędna ilość fosforu dla roślin z nawozów mineralnych:

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

Zalecana dawka nawozów po uwzględnieniu zawartości fosforu w glebie:

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



## 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 wzrasta bowiem zapotrzebowanie roślin na składniki mineralne. Dopuszczalne poziomy nawożenia łąk trwałych na glebach mineralnych i organicznych (niezależnie od stopnia ich zmurszenia i uwilgotnienia) w systemie konwencjonalnym, zrównoważonym i ekologicznym przy plonie siana łąkowego do 7-8 t · ha<sup>-1</sup> zielonki przedstawiają tabele 6.2.1 i 6.2.2.

Tabela 6.2.1. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie konwencjonalnym i zrównoważonym

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%. Źródło: [Barszczewski i in. 2014]

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

Ilość pokosów w roku	Warianty nawożenia w zależności od rodzaju nawozu naturalnego					
	I wariant		II wariant		III wariant	
	obornik lub kompost, $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	gnojowica, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	gnojówka, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$
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	
$\Sigma_{\text{roczna}}$	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%. Źródło: [Barszczewski i in. 2014]

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 [ $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ] na glebach mineralnych i organicznych w zależności od intensywności gospodarowania

Składnik	Poziom gospodarowania		
	intensywne (5-7 rotacji)	półintensywne (4-5 rotacji)	niskointensywne (2-3 rotacje)
gleby mineralne			
fosfor	70 <sup>*A</sup>	60*	25*
gleby organiczne			
fosfor	80*	60*	35*

\* nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach, przy wysokiej zasobności -20%; przy niskiej zasobności +20%. Źródło: [Barszczewski i in. 2014]

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 konieczne 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 mg 100g<sup>-1</sup> gleb), (Breś i in., 2009)

Klasa zawartości	Ocena zawartości fosforu	W przeliczeniu na P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

Fosfor jest pierwiastkiem mało ruchliwym w glebie i w niektórych warunkach (wilgotność gleby, właściwości fizykochemiczne, skład granulometryczny, pochodzenie skał naturalnych w podglebiu) jest mało 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 w oparciu o liczby graniczne dla P.

- Jeśli zawartość fosforu jest bardzo niska, niska lub zbliżona do dolnej średniej (10,1 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · 100<sup>-1</sup> gleby) Przed uprawą należy doprowadzić zawartość P do górnej średniej granicy (15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · 100<sup>-1</sup> 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 15,1-20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · 100<sup>-1</sup> 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 nagrzewanie się gleby oraz rozwój systemu korzeniowego. Duże znaczenie ma stosowanie właściwego płodozmianu, dzięki któremu systematycznie poprawia się żyzność gleby (szczególnie jeśli w

plodozmianie są rośliny bobowate) oraz poprawia się stan fitosanitarny gleby. Stosowanie prawidłowego plodozmianu, szczególnie w produkcji integrowanej warzyw a także nawożenie z wykorzystaniem materii organicznej (kompost, nawozy zielone, obornik, gnojówka, obornik) pozwala znacząco zwiększyć zawartość materii organicznej a także być 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 dla roślin młodych w fazie wzrostu siewek lub ukorzeniana 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 powinno się uwzględnić współczynnik sorpcji tego pierwiastka w glebie. Przyjmuje się że wartość współczynnika sorpcji P w glebach wynoszą: 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..

Tabela 6.3.2. Zawartości optymalne fosforu w glebie dla warzyw polowych (mg P dm<sup>-1</sup>), (Sady, 2014)

<b>40-60</b>	<b>50-70</b>	<b>60-80</b>
Fasola szparagowa	Burak ćwikłowy	Cebula
Groch	Chrzan	Brokuł
Marchew	Kapusta głowiasta (biała, czerwona), włoska, brukselska)	Kalafior
Pietruszka	Salata	Ogórek
Rzodkiewka	Szpinak	Pomidor
Skorzonera	Ziemniak wczesny	Por
Szparag		Rabarbar
		Seler

Tabela 6.3.3. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin warzywnych w uprawie polowej (Wójcik i in., 2014)\*

<b>Roślina</b>	<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>pH</b>
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 6.3.4. Średnie ilości P pobranego z plonem najważniejszych gatunków warzyw w uprawie polowej. (Flink i inn., 1999)

Roślina	Plon świeżej masy (t ha <sup>-1</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )
Brokuł	90	41,4
Burak ćwikłowy	100	46,0
Cebula	65	22,1
Cykoria sałatowa	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
Sałata masłowa	60	18,0
Sałata 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 (Kłossowski i Czynczyk, 1974, zmodyfikowane przez Wójcika, 2021)

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	Zawartość fosforu [mg P kg <sup>-1</sup> s.m.]		
	<50	51-80	>80
	Nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	50-70	30-50	-
	Nawożenie fosforem w szkółce*** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	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 (Wójcik, 2021)

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	Zawartość fosforu [mg P kg <sup>-1</sup> ś.m.]		
	<20	20-50	>50
	Nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	50-70	30-50	-
	Nawożenie fosforem w szkółce*** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	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 doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od przyswajalności P w glebie\* (Kłossowski, 1972 zmodyfikowane przez Wójcika, 2021)

Zasobność warstwy próchnicznej w P		
niska	optymalna	wysoka
Zawartość P [mg kg <sup>-1</sup> s.m.]		
<40	40-80	>80
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
100-150***	50-100***	0-50***
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** [g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> m <sup>-2</sup> ]		
10-15	0	0

\* Przeważalność 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<sup>-1</sup> s.m. oraz < 20 mg P kg<sup>-1</sup> 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 6.3.8. Nawożenie doglebowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od dostępności P w glebie \* (Wójcik, 2021)

<b>Zasobność warstwy próchnicznej w P</b>		
<b>niska</b>	<b>optymalna</b>	<b>wysoka</b>
Zawartość P (mg dm <sup>-3</sup> ś.m.)		
<15	15-50	>50
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )		
100-150***	50-100***	0-50**
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> m <sup>-2</sup> )		
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<sup>-3</sup> ś.m. oraz <7 mg P dm<sup>-3</sup> 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 sadzach/plantacjach.

<b>Gatunek rośliny/dawka składnika w nawożeniu*</b>	<b>Zakres zawartości P (%)</b>			
	<b>deficytowy</b>	<b>niski</b>	<b>optymalny</b>	<b>wysoki</b>
Jabłoń	<0,11	0,11-0,14	0,15-0,26	>0,26
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0
Grusza		< 0,14	0,14-0,25	>0,25
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	-	100	0	0
Czereśnia	<0,11	0,11-0,14	0,15-0,45	>0,45
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0
Wiśnia	<0,12	0,12-0,14	0,15-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0



Śliwa	<0,14	0,14-0,19	0,20-0,60	>0,60
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0
Brzoskwinia	-	< 0,14	0,14-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		100-150	0	0
Morela	-	0,19	0,20-0,26	>0,26
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		100-150	0	0
Orzech włoski	<0,10	0,10-0,13	0,14-0,50	>0,50
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0
Leszczyna	<0,10	0,10-0,14	0,15-0,40	>0,40
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	150	100	0	0
Porzeczka czarna	<0,15	0,15-0,23	0,24-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Porzeczka czerwona	<0,18	0,18-0,23	0,24-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Agrest	<0,14	<0,14-18	0,19-0,25	>0,25
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Malina	<0,11	0,11-0,14	0,15-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Truskawka	<0,15	0,15-0,23	0,24-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Borówka		<0,10	0,12-0,40	>0,80
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		50**	0	0
Żurawina		< 0,08	0,10-0,20	
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		50**	0	
Winorośl właściwa	< 0,10	0,10-0,19	0,20-0,24	0,25-0,80
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	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 w oparciu o bieżące analizy gleby (Kacperska i in. 1993).

Tabela. 6.3.10. Ocena zasobności gleby w fosfor w gruntowych szkółkach roślin ozdobnych (Matysiak 2004)

Zasobność	Zawartość P w dwóch warstwach gleby ( $\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ )	
	0,20	20-40
Wysoka	>0-20	>6,5
Średnia	>10	<6,5
Niska	<6,5	<3,5

Tabela. 6.3.11. Nawożenie fosforem w szkółkach gruntowych (Matysiak 2004).

Grupa roślin	Potrzeby pokarmowe	Dawka P w zależności od zawartości składnika w glebie ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 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

Roślina	P ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	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) 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 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 areałach. 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, luz zraszanie pożywkami nawozowymi (fertygacja). Zbyt duże dawki pożywki nawozowej mogą prowadzić do nadmiernej akumulacji składników w glebie i ich wymywaniu 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 (Treder i Treder 2016). Problemem są wahania w poziomie zawartości składników czasie sezonu wegetacyjnego i konieczność dodatkowego stosowania nawozów w formie fertygacji (zraszanie, nawadnianie liniami kroplującymi) lub dokarmianie dolistne.

Dodatkowe nawożenie powinno być prowadzone po wykonaniu analiz podłoża w pojemnikach, obserwacji roślin (wykrycie objawów niedoboru składników mineralnych) a nawet po wykonaniu analiz liści. Uprawy szkółkarskie dotyczą również roślin sadowniczych: produkcja materiału nasadzeniowego (drzewka, krzewy, sadzonki truskawek czy roślin jagodowych). 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.

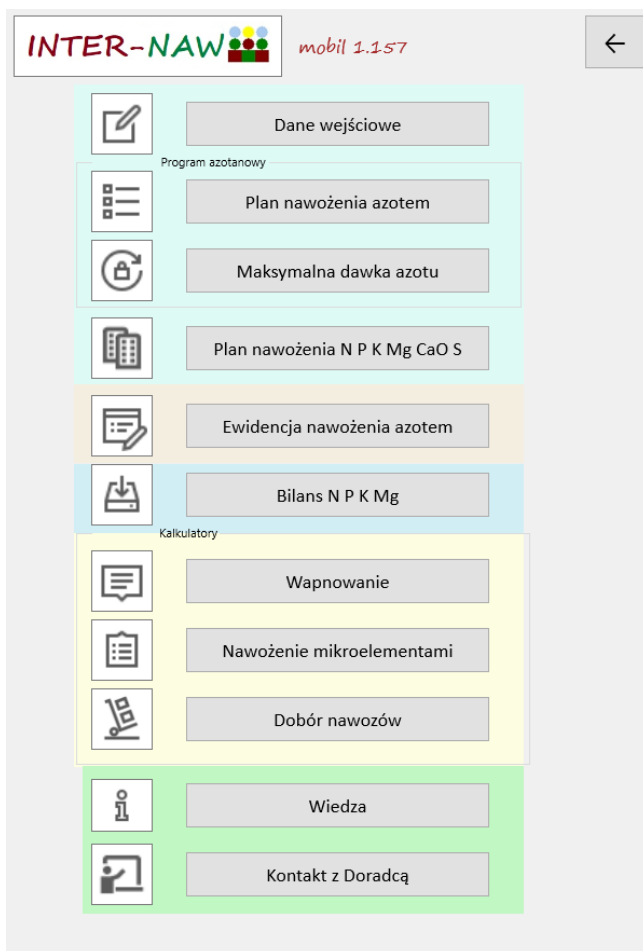
W wielu krajach (Niderlandy, Belgia, Niemcy) w szkółkach kontenerowych monitorowane są dawki wody podawane w szkółkach a także ilość wód drenarskich generowanych przez dane gospodarstwo. Wody drenarskie nie mogą być odprowadzane do środowiska bez wcześniejszego ich oczyszczenia w zbiornikach osadowych.

### **Literatura:**

- Breś W., Golc A., Komosa A., Kozik E. 2012. Żywnienie roślin ogrodnich. Podstawy i perspektywy. Opracowanie pod red. Komosa A. PWRiL, Poznań.
- Breś W., Golc A., Komosa A., Kozik E., Tyksiński W. 2009. Żywnienie roślin ogrodnich, Wyd. UP w Poznaniu.
- 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. J.Plant Nutr. Sci. 162.
- Kacperska I., Oświęcimski W., Przeradzki D., Stojanowska J. 1993. Opracowywanie zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Kłossowski W. 1972. Nawożenie roślin sadowniczych. PWRiL, Warszawa.
- Matysiak B. 2004. Nawożenie roślin w szkółkach ozdobnych. Szkółkarstwo 4: 104-110
- Nowosielski O. 1988. Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. PWRiL, Warszawa.
- Sady W. 2014. Nawożenie warzyw polowych. Plantpress, Kraków
- 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.ów, 123-136
- Wójcik P., Dyśko J., Kaniszewski S., Kowalczyk W., Nowak J. 2014. Zrównoważone nawożenie roślin ogrodnich. Opracowanie zbiorowe, Wyd. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice.

## 7. INTER-NAW – jako narzędzie do planowania nawożenia fosforem.

W ramach projektu strategicznego, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju opracowano narzędzie informatyczne wspomagające producentów rolnych i doradców w opracowywaniu planów nawożenia. Nosi ono nazwę INTER-NAW, będącą jednocześnie akronimem projektu, realizowanego przez konsorcjum którego liderem była Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza, a wykonawcami: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach i Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy w Falentach.



Rys 7.1 Ekran startowy aplikacji mobilnej INTER-NAW

### 7.1. Kompleksowy plan nawożenia (NPKMgS) i wapnowania

Jednym z podstawowych warunków efektywnego wykorzystania składników nawozowych przez rośliny jest odpowiednia podaż i właściwe proporcje wszystkich pierwiastków niezbędnych dla wzrostu i plonowania roślin. Niedobór któregośkolwiek z pierwiastków w żywieniu ogranicza wzrost roślin i pobieranie pozostałych składników pokarmowych, zgodnie z prawem minimum Liebiga. INTER-NAW jest narzędziem służącym między innymi opracowaniu kompleksowego planu nawożenia roślin głównymi składnikami pokarmowymi, w tym fosforem. Dawki nawozów mineralnych wyznacza się w taki sposób aby zabezpieczyć pokrycie potrzeb pokarmowych roślin uprawnych oraz osiągnięcie optymalnego poziomu zawartości składnika w glebie (w dłuższej perspektywie czasu). W bilansie składników, który

jest podstawą wyznaczania dawek nawozów mineralnych, uwzględnia się także nawozy naturalne i organiczne oraz inne produkty czy odpady wykorzystywane rolniczo, a także pozostawione na polu produkty uboczne (słoma, liście) przedplonu, będące źródłem składników pokarmowych. Dawki nawozów mineralnych są kalkulowane w taki sposób, aby zasoby dostępnych form składników w glebie osiągnęły z czasem poziom średni, czyli optymalny z uwagi na efektywność produkcji i aspekty środowiskowe. Warunkiem uzyskania prawidłowego i precyzyjnego zalecenia jest posiadanie aktualnego wyniku badania zasobności gleby w przyswajalne formy składników pokarmowych. System umożliwia określenie dawek NPKMgS dla różnych gatunków roślin rolniczych i trwałych użytków zielonych. Algorytm programu obejmuje następujące etapy:

1. Określenie potrzeb pokarmowych roślin
2. Obliczenie ilości składnika działającego z innych dostępnych źródeł
3. Wyznaczenie ilości fosforu w nawozach mineralnych niezbędnej dla optymalnego żywienia roślin.
4. Korekta dawki nawozów mineralnych uwzględniająca aktualną zasobność gleby.

**internaw.schr.gov.pl**  
Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Warszawie

WIEDZA KONTAKT REJESTRACJA MOJE DANE

**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
<b>DODAJ DZIAŁKĘ</b>		

Po wypełnieniu danych, przejdź do planu nawożenia.

**OPCJE ZAAWANSOWANE:**

**IMPORTUJ DANE** **EKSPORTUJ DANE** **Usuń zaznaczone**

Rys 7.2. Ekran startowy aplikacji internetowej INTER-NAW

Równie ważnym czynnikiem warunkującym przyswajanie przez rośliny składników pokarmowych oraz ich przemiany i przemieszczanie, jest pH gleby. Regulacja odczynu gleb zakwaszonych jest zatem jednym z kluczowych działań ograniczających straty biogenów z rolnictwa. Dlatego kompleksowy plan nawożenia pola obejmuje również określenie dawki wapna nawozowego niezbędnej dla odkwaszenia gleby. 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.

## **7.2. Plan nawożenia azotem**

Program INTER-NAW umożliwia określenie zalecanych dawek mineralnych nawozów azotowych na poszczególne pola w gospodarstwie, metodą uproszczonego bilansu składnika, zgodnie z programem azotanowym. Po stronie przychodowej uwzględnia się: nawozy naturalne i organiczne, środki wspomagające uprawę roślin i wykorzystywane rolniczo odpady lub produkty uboczne, zasoby glebowe składnika, ilość azotu pozostawionego przez przedplony bobowate.

Przyswajalność dla roślin azotu pochodzącego z różnych źródeł jest zróżnicowana, dlatego dla potrzeb bilansowania, przelicza się pulę składnika z dowolnego źródła na tzw. „azot działający”, czyli równoważny działaniu N z nawozów mineralnych. Stronę „rozchodową” bilansu stanowi prognozowane pobranie składnika przez rośliny uprawne, którego wartość zależy od potrzeb pokarmowych danego gatunku oraz poziomu plonowania w warunkach danego pola. W zrównoważonym gospodarowaniu azotem zakłada się, że ilość składnika działającego dostępnego na danym polu powinna równoważyć potrzeby pokarmowe roślin. Takie podejście zapewnia wysoką efektywność nawożenia i minimalizuje pozostałości w glebie azotu podatnego na wymywanie do wód podziemnych. INTER-NAW umożliwia obliczanie dawek nawozów azotowych dla różnych gatunków roślin rolniczych oraz warzyw w uprawie polowej.

## **7.3. Inne funkcjonalności systemu INTER-NAW**

Jednym z kluczowych etapów w planowaniu nawożenia jest zagospodarowanie nawozów naturalnych. INTER-NAW umożliwia obliczenie ilości nawozów nagromadzonych w gospodarstwie na podstawie informacji o obsadzie zwierząt i sposobu ich utrzymania. Określa także zawartość azotu, fosforu, potasu i magnezu w tych nawozach.

Możliwe jest sporządzenie bilansu składników pokarmowych NPKMg na poszczególnych polach, w oparciu o dostarczone przez użytkownika informacje i opracowany wcześniej plan nawożenia. Wartość salda bilansu składników wskazuje na kierunek zmian zasobności gleby (wzrost pod wpływem nadwyżki bilansowej składnika lub spadek w przypadku ujemnego salda).

INTER-NAW posiada także moduł do tworzenia „listy zakupu” nawozów dla danego gospodarstwa na podstawie zapotrzebowania na poszczególne składniki mineralne oraz wapno, wynikające z planów nawożenia poszczególnych pól. Uwzględnia się przy tym zawartość czystego składnika w różnych rodzajach nawozów.

Odpowiedni moduł programu umożliwia prowadzenie ewidencji zabiegów nawożenia, co jest wymogiem programu azotanowego w odniesieniu do wszystkich gospodarstw o powierzchni równej lub większej niż 10 ha albo obsadzie zwierząt od 10 DJP.

Informacje wprowadzone przez użytkownika są przechowywane do celów ich wykorzystania w kolejnych latach. Są one chronione hasłem tworzonym przez użytkownika. Dostęp do danych jest możliwy tylko poprzez zalogowanie się do systemu przy użyciu takiego indywidualnego hasła.

Do systemu mogą być wczytywane wyniki badań gleby wykonywanych w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych, uzyskane w formie cyfrowej. Ma to znaczenie szczególnie przy dużej ilości analizowanych próbek gleby.

System doradztwa nawozowego INTER-NAW jest dostępny jako aplikacja na urządzenia mobilne (komputer, tablet, smartfon) i jako narzędzie do pracy on-line na serwerze zarządzanym przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą. Oba narzędzia są dostępne bezpłatnie poprzez stronę [www.schr.gov.pl](http://www.schr.gov.pl) Warunkiem korzystania w trybie on-line jest zalogowanie się do systemu.

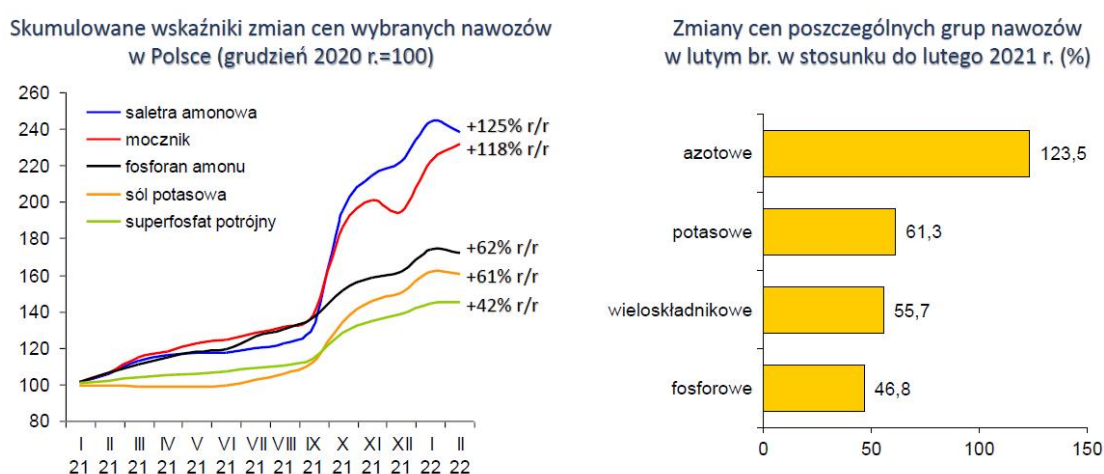


## 8. Podsumowanie dobrych praktyk w zakresie nawożenia fosforem.

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 w przyrodzie są bardzo ograniczone, a cykl obiegu tego pierwiastka w przyrodzie wynosi od 20000 do 100000 lat. Jako składnik nawozów (nawet w przypadku form rozpuszczalnych w wodzie) wykorzystywany jest przez rośliny w niewielkim stopniu (około 30%). Dostępność fosforu w glebie zależy przede wszystkim od jej zasobności w ten składnik, oraz optymalnego odczynu gleby (pH w zakresie 5,5-7,0), gdyż przy pH niższym lub wyższym od optymalnego dla pobierania jonu ortofosforanowego  $H_2PO_4$  przez rośliny, fosfor ulega uwstecznieniu do form nierozpuszczalnych w wodzie i staje się niedostępny dla roślin. Również niekorzystne warunki pogodowe, jak na przykład spadek wilgotności i temperatury gleby, ograniczają pobieranie fosforu przez rośliny. Podstawowymi działaniami mającymi na celu ograniczenie strat fosforu z gleby powinno być dokładne diagnozowanie potrzeb pokarmowych roślin, oraz monitorowanie na bieżąco stanu agronomicznego gleby – przede wszystkim jej odczynu i zawartości fosforu przyswajalnego. Zalecana minimalna częstość wykonywania takich analiz dla poszczególnych pól w gospodarstwie to około 4 lata w przypadku gruntów ornych i 7 lat w przypadku użytków zielonych. Uregulowany odczyn gleby i dawki nawożenia fosforem dostosowane do faktycznej jej zasobności to najistotniejsze czynniki agrotechniczne w gospodarstwie rolnym działającym zgodnie z długoterminową strategią efektywnego, bezpiecznego dla środowiska i zgodnego z przepisami prawa gospodarowania składnikami nawozowymi.

## 9. Konsekwencje ekonomiczne dla gospodarstw w związku z racjonalnym stosowaniem P.

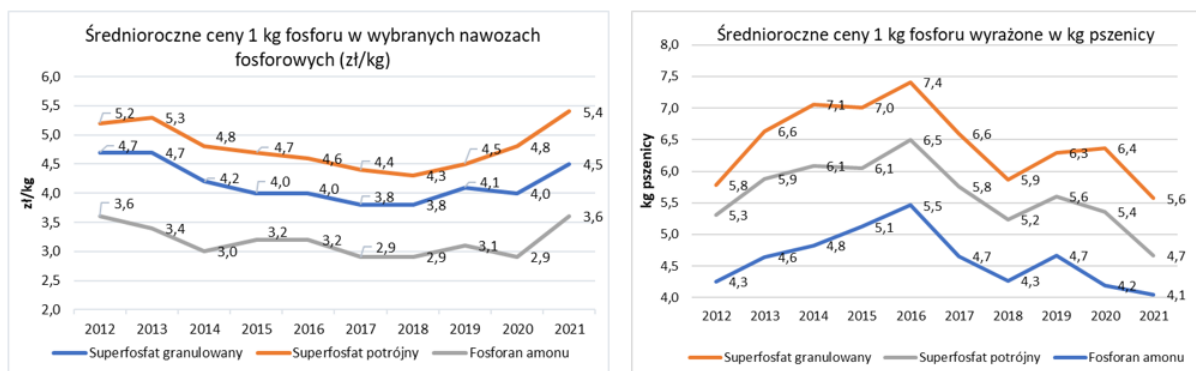
Nawożenie jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym, a także jednym z głównych wskaźników oceny intensywności gospodarowania w rolnictwie (Igras, Kopiński 2007). Dostarczenia uprawianym roślinom właściwej ilości składników pokarmowych jest warunkiem uzyskania odpowiedniego plonu – produktywności roślin. 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 około 50% ogółu nawozów zawierających fosfor (jedno- i wieloskładnikowych) (Zalewski, Igras 2012). Wysokie ceny przemysłowych środków do produkcji, w tym nawozów mineralnych, wręcz wymuszają racjonalne ich stosowanie, co daje możliwości ograniczenia ich kosztów zakupu oraz zwiększenie produktywności roślin.



Rys.10.1. Dynamika cen nawozów w Polsce w latach 2020-2021

Źródło: A. Zalewski; *Rynek nawozów mineralnych w Polsce -stan obecny i tendencje zmian-* seminarium IERiGŻ-PIB, Warszawa, 25.03.2022 r.

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



Rys.10.2. Dynamika cen 1 kg fosforu w nawozach fosforowych

Źródło: obliczenia własne na podstawie A. Zalewski; *Rynek nawozów mineralnych w Polsce - stan obecny i tendencje zmian*- seminarium IERiGŻ-PIB, Warszawa, 25.03.2022 r.

Nawożenie mineralne należy rozpatrywać nie tylko jako istotny składnik kosztów bezpośrednich produkcji roślinnej i kosztów całego gospodarstwa, ale także 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)

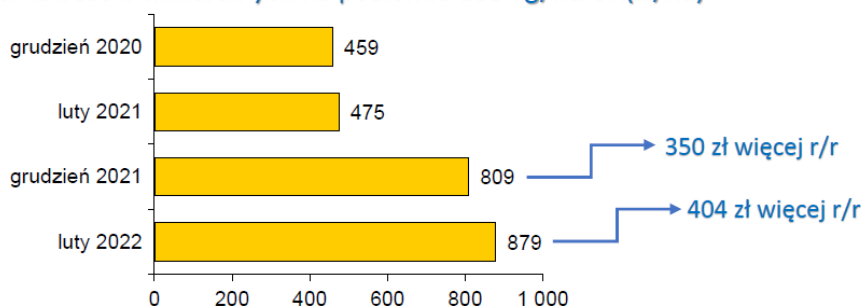
Zmienna	Średnia w gospodarstwach uprawiających żyto ozime w 2019 roku	Średnia w gospodarstwach uprawiających żyto ozime w 2020 roku
Koszty bezpośrednie ogółem (zł/ha)	761	776
w tym: nawozy mineralne (zł/ha)	460	476
w tym: fosforowe (zł/ha)	63	65
Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat (zł/ha)	1267	1594

Źródło: *Produkcja, koszty i dochody wybranych działalności rolniczych w latach 2019-2020*, red. I. Augustyńska Warszawa 2021

Z przeprowadzonego szacunku (tabela 10.1) wynika, że w 2020 roku średnio w przyjętych do badań gospodarstwach koszty bezpośrednie wzrosły o 2%, co było głównie wynikiem 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 A. Zalewskiego (2022) 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 wobec 475 zł/ha rok wcześniej (rys. 10.3).

Średni szacunkowy koszt zakupu nawozów mineralnych na 1 ha UR w Polsce przy zużyciu 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

Źródło: A. Zalewski; *Rynek nawozów mineralnych w Polsce -stan obecny i tendencje zmian-* seminarium IERiGŻ-PIB, Warszawa, 25.03.2022 r.

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 względu na środowisko przyrodnicze, ale także ma wpływ na poprawę sytuacji ekonomicznej producenta rolnego, poprzez możliwość ograniczania 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.**

#### Literatura:

Igras J. Kopiński J., 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 2007, nr 5;

Produkcja, koszty i dochody wybranych działalności rolniczych w latach 2019-2020, red. I. Augustyńska Warszawa 2021;

Zalewski A.; Rynek nawozów mineralnych w Polsce -stan obecny i tendencje zmian-seminarium IERiGŻ-PIB, Warszawa, 25.03.2022 r.

Zalewski A., Igras J., Światowy rynek nawozów mineralnych z uwzględnieniem zmian cen bezpośrednich nośników energii oraz surowców (2), PW 2011-2014, IERiGŻ-PIB., warszawa 2013, nr 93.

## 10. Załącznik

Tabela 10.1. Klasy zasobności fosforu przyswajalnego w glebie.

Klasa zasobności	Zasobność	Gleby mineralne	Gleby węglanowe
		mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g gleby	
V	Bardzo niska	< 5,0	<5 ,0
IV	Niska	5,1 – 10,0	5,1 – 10,0
III	Średnia	10,1 – 15,0	10,1 – 20,0
II	Wysoka	15,1 – 20,0	20,1 – 40,0
I	Bardzo wysoka	> 20,1	> 40,1

Tabela 10.2. Klasy zasobności gleb w fosfor przyswajalny wyznaczone dla metody Mehlich 3.

Odczyn	Klasy zasobności gleby				
	mg P/kg 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 10.3.. 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 10.4. Pobranie składników w kg na 1 tonę plonu w zależności od gatunku rośliny uprawnej (INTER-NAW)

<b>Gatunek rośliny</b>	<b>Plon użytkowy i uboczny P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*</b>	<b>Plon uboczny P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*</b>
Pszenica	10	2
Pszenżyto	10	2
Jęczmień browarny	8,5	1,7
Jęczmień jary pastewny	8,5	1,7
Żyto	9	1,8
Żyto z.m. na paszę	1,37	-
Owies	9	2,7
Owies, z. m. na paszę	1,2	-
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,5	2,55
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10	3,0
Mieszanki zbożowo-strączkowe, z.m.	1,2	-
Kukurydza na ziarno	10	4
Kukurydza, z. m.	1,3	-
Gryka	15	4,5
Rzepak, nasiona	20	4
Burak cukrowy	1,6	0,96
Burak pastewny	1,4	0,84
Ziemniak późny	2	0,7
Ziemniak wczesny	2	0,4
Inne korzeniowe (okopowe)	1,15	0,69
Lucerna, z. m.	1,1	-
Lucerna z trawami z.m.	1,6	-
Koniczyna, z.m.	0,7	-
Koniczyna z trawami z.m.	1,15	-
Mieszanki bobowate z trawami, z. m.	1,8	-
Trawa w uprawie polowej, z. m.	1,4	-

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

Tabela 10.5. Zawartość fosforu w nawozach naturalnych (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg/t) (INTER-NAW)

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
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 od 2-4 miesiące	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

Tabela 10.6. Równoważniki nawozowe fosforu z różnych źródeł (INTER-NAW)

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

Tabela 10.7. Współczynniki korekcyjne w zależności od zasobności gleby (INTER-NAW)

Zawartość fosforu w glebie				
Bardzo niska	Niska	Średnia	Wysoka	Bardzo wysoka
1,5	1,25	1,0	0,5	0,25

Tabela 10.8. Pobranie składnika (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na 1 tonę produktu) oraz maksymalne ilości fosforu działającego ze wszystkich źródeł w zależności od rodzaju uprawy (dane IUNG - PIB)

Rodzaj uprawy	Pobranie składnika (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na 1 tonę produktu)	Maksymalne dawki fosforu (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
<b>Zboża</b>		
Gryka	15,0	90
Jęczmień jary browarny	8,5	100
Jęczmień jary pastewny	8,5	100
Jęczmień ozimy	8,5	105
Kukurydza na ziarno	10,0	135
Mieszanki zbożowe na ziarno	8,5	120
Mieszanki zbożowo-strączkowe na ziarno	10,0	60
Owies	9,0	100
Pszenica jara	10,0	80
Pszenica ozima	10,0	130
Pszenżyto	10,0	130
Żyto	9,0	100
<b>Bobowate</b>		
Bobik, nasiona	16,0	100
Grochy, nasiona	15,0	60
Lędwian	15,0	60
Łubin, nasiona	15,0	90
Seradela	11,0	80
Soczewica	3,7	50
Soja, nasiona	19,0	80
Wyka	13,0	80
<b>Oleiste</b>		
Gorczyca, nasiona	18,0	65
Rzepak, nasiona	20,0	140
Rzepak	9,7	90
Słonecznik, nasiona	16,0	90
<b>Okopowe</b>		
Burak cukrowy	1,6	120
Burak pastewny	1,4	135
Ziemniak późny	2,0	90
Ziemniak wczesny	2,0	65
Inne	1,15	60
<b>Pastewne</b>		
Lucerna, zielona masa	1,1	100
Kapusta pastewna, zielona masa	1,2	120



Koniczyna, zielona masa	0,7	105
Kukurydza, zielona masa	1,3	150
Mieszanki zbożowo-strączkowe zielona masa	1,2	65
Mieszanki bobowate z trawami, zielona masa	1,8	105
Owies, zielona masa	1,2	85
Perko	9,7	90
Rzepak, zielona masa	1,37	120
Seradela, zielona masa	1,4	80
Słonecznik, zielona masa	2,2	80
Trawy w uprawie polowej, zielona masa	1,4	120
Żyto, zielona masa	1,37	85
Inne bobowate, zielona masa	1,37	85
Inne nie bobowate, zielona masa	1,37	85
<b>Inne , w tym uprawy trwałe</b>		
Chmiel	22,0	90
Facelia	25,0	70
Konopie	9,0	90
Len oleisty, nasiona	20,0	80
Len włóknisty, słoma	6,0	80
Mak	20,0	80
Proso	19,0	80
Sorgo, w tym zasiewy mieszane z kukurydzą	21,0	70
Tytoń suchy, liście	12,0	120
<b>Rośliny energetyczne</b>		
Miskant olbrzymi	3,2	115
Ślazowiec pensylwański	2,4	60
Pozostałe	2,4	60

Tabela 10.9. Wartość współczynnika korekcyjnego dla fosforu (Jadczyzyn 2021)

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

Tabela 10.10. Zawartość P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w oborniku (kg/t) (Maćkowiak i Żebrowski 2000)

Składnik	Gatunek zwierząt			
	Bydło	Trzoda	Konie	Owce
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,8	4,4	2,9	3,8

Tabela 10.11. Zawartość P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w płynnych nawozach naturalnych (kg/m<sup>3</sup>) (Maćkowiak 1997)

Składnik	Gatunek zwierząt			
	Gnojowica bydłęca	Gnojowica świńska	Gnojówka bydłęca	Gnojówka świńska
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,0	3,3	0,3	0,4

Tabela 10.12. Współczynniki wykorzystania fosforu z różnych źródeł (Jadczyzyn 2021)

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 10.13. Zalecane dawki fosforu dla roślin strączkowych uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor (górną wartość to maksymalna dawka fosforu)

Gatunek	Plon nasion t/ha	Fosfor (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
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

Źródło: Kocoń 2014, Jadczyzyn, 2000, Jadczyzyn i in., 2010

Tabela 10.14. Zalecane dawki fosforu dla roślin bobowatych drobnonasiennych i kukurydzy uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor (górną wartość to maksymalna dawka fosforu) (dane IUNG - PIB)

Gatunek	Plon t/ha	Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
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

Tabela 10.15. Zalecane dawki fosforu dla gatunków roślin zbożowych i okopowych uprawianych na glebach o średniej zasobności w fosfor (dane IUNG - PIB)

Gatunek	Maksymalne dawki fosforu (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)
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

Tabela 10.16. Zalecenia dotyczące terminów stosowania nawozów

<b>Roślina</b>	<b>Zalecenia</b>
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
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.

Tabela 10.17. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ( $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie konwencjonalnym i zrównoważonym

Analiza	System gospodarowania			
	konwencjonalny			zrównoważony
	intensywny	pólintensywny	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%. Źródło: (Barszczewski i inni 2014)

Tabela 10.18. Dopuszczalne poziomy nawożenia fosforem ( $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) łąk na glebach mineralnych i organicznych w systemie ekologicznym w zależności od rodzaju nawozu naturalnego\*

Ilość pokosów w roku	Warianty nawożenia w zależności od rodzaju nawozu naturalnego					
	I wariant		II wariant		III wariant	
	obornik lub kompost, $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	gnojowica, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	gnojówka, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$
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	
$\Sigma_{\text{roczna}}$	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%. Źródło: (Barszczewski i inni 2014)

Tabela 10.19. Dopuszczalne poziomy nawożenia pastwisk fosforem [kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>] na glebach mineralnych i organicznych w zależności od intensywności gospodarowania

Składnik	Poziom gospodarowania		
	intensywne (5-7 rotacji)	półintensywne (4-5 rotacji)	niskointensywne (2-3 rotacje)
gleby mineralne			
fosfor	70 <sup>*A</sup>	60 <sup>*</sup>	25 <sup>*</sup>
gleby organiczne			
fosfor	80 <sup>*</sup>	60 <sup>*</sup>	35 <sup>*</sup>

\* nawożenie fosforem podano przy średniej jego zasobności w glebach, przy wysokiej zasobności -20%; przy niskiej zasobności +20%. Źródło: (Barszczewski i inni 2014)

Tabela 10.20. Zawartości optymalne fosforu w glebie dla warzyw polowych (mg P dm<sup>-1</sup>), (Sady, 2014)

40-60	50-70	60-80
Fasola szparagowa	Burak ćwikłowy	Cebula
Groch	Chrzan	Brokuł
Marchew	Kapusta głowiasta (biała, czerwona), włoska, brukselska)	Kalafior
Pietruszka	Salata	Ogórek
Rzodkiewka	Szpinak	Pomidor
Skorzonera	Ziemniak wczesny	Por
Szparag		Rabarbar
		Seler

Tabela 20.21. Standardowe zawartości P oraz optymalne zakresy odczynu gleby dla roślin warzywnych w uprawie polowej (Wójcik i in., 2014)\*

<b>Roślina</b>	<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>pH</b>
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
Salata	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 10.22. Średnie ilości P pobranego z plonem najważniejszych gatunków warzyw w uprawie polowej. (Flink i inn., 1999)

Roślina	Plon świeżej masy (t ha <sup>-1</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )
Brokuł	90	41,4
Burak ćwikłowy	100	46,0
Cebula	65	22,1
Cykoria sałatowa	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
Sałata masłowa	60	18,0
Sałata 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 10.23. Zakresy zawartości przyswajalnego fosforu (P) w glebie\* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia (Kłossowski i Czynczyk, 1974, zmodyfikowane przez Wójcika, 2021)

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	Zawartość fosforu [mg P kg <sup>-1</sup> s.m.]		
	<50	51-80	>80
	Nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	50-70	30-50	-
	Nawożenie fosforem w szkółce*** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	30-50	10-30	

\* Przewidywalność P w glebie oznaczona metodą Egnera-Riehma.

\*\* Stosować nawozy fosforowe na bazie ortofosforanów.

\*\*\* Stosować nawozy zawierające polifosforany bez konieczności mieszania z glebą.

Tabela 10.24. Zakresy zawartości dostępnego fosforu (P) w glebie\* oraz nawożenie doglebowe tym składnikiem przed założeniem szkółek drzew owocowych oraz w trakcie ich prowadzenia (Wójcik, 2021)

Wyszczególnienie	Klasa zasobności gleby		
	niska	optymalna	wysoka
Dla wszystkich gleb	Zawartość fosforu [mg P kg <sup>-1</sup> s.m.]		
	<20	20-50	>50
	Nawożenie fosforem przez założeniem szkółki** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	50-70	30-50	-
	Nawożenie fosforem w szkółce*** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
	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 10.25. Nawożenie dogłębowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od przyswajalności P w glebie\* (Kłossowski, 1972 zmodyfikowane przez Wójcika, 2021)

<b>Zasobność warstwy próchnicznej w P</b>		
<b>niska</b>	<b>optymalna</b>	<b>wysoka</b>
Zawartość P [mg kg <sup>-1</sup> s.m.]		
<40	40-80	>80
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ]		
100-150***	50-100***	0-50***
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** [g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> m <sup>-2</sup> ]		
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<sup>-1</sup> s.m. oraz < 20 mg P kg<sup>-1</sup> 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 10.26. Nawożenie dogłębowe fosforem (P) przed założeniem sadu/plantacji oraz w trakcie ich prowadzenia w zależności od dostępności P w glebie\* (Wójcik, 2021)

<b>Zasobność warstwy próchnicznej w P</b>		
<b>niska</b>	<b>optymalna</b>	<b>wysoka</b>
Zawartość P (mg dm <sup>-3</sup> ś.m.)		
<15	15-50	>50
Nawożenie fosforem przed założeniem sadu/plantacji** (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )		
100-150***	50-100***	0-50**
Nawożenie fosforem w sadzie/plantacji**** (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> m <sup>-2</sup> )		
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<sup>-3</sup> ś.m. oraz <7 mg P dm<sup>-3</sup> 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 10.27. Liczby graniczne zawartości fosforu (P) w liściach poszczególnych gatunków roślin sadowniczych oraz polecane jego dawki w owocujących sadzach/plantacjach.

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

Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Truskawka	<0,15	0,15-0,23	0,24-0,30	>0,30
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0
Borówka		<0,10	0,12-0,40	>0,80
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		50**	0	0
Żurawina		< 0,08	0,10-0,20	
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		50**	0	
Winorośl właściwa	< 0,10	0,10-0,19	0,20-0,24	0,25-0,80
Dawka P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	50**	50**	0	0

\* Dawki P w przeliczeniu na powierzchnię nawożoną.

\*\* Stosować nawozy fosforowe na bazie polifosforanów.

### Literatura:

Maćkowiak Cz. 1997. Rola nawożenia organicznego w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleby. Materiały szkoleniowe 63/97, IUNG, Puławy.

Maćkowiak Cz., Żebrowski J. 2000 Skład chemiczny obornika w Polsce, Nawozy i Nawożenie zeszyt 4(5) str. 119-130.

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. S. 23-39. Wyd. FDPA, Warszawa 2021.