



Nowe propozycje dotyczące diagnostyki gleb trwałych użytków zielonych i wykorzystania jej wyników

prof. dr hab. inż. Stefan Pietrzak

Szkolenie w formie online dla pracowników stacji chemiczno-rolniczych, doradców rolnych i rolników nt. „Nowe trendy w nawożeniu trwałych użytków zielonych” w ramach Zadania 3 „Racjonalne nawożenie” realizowanego na podstawie umowy dotacyjnej zawartej między Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi a Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym – Państwowym Instytutem Badawczym.

Falenty, 25.04.2024 r.

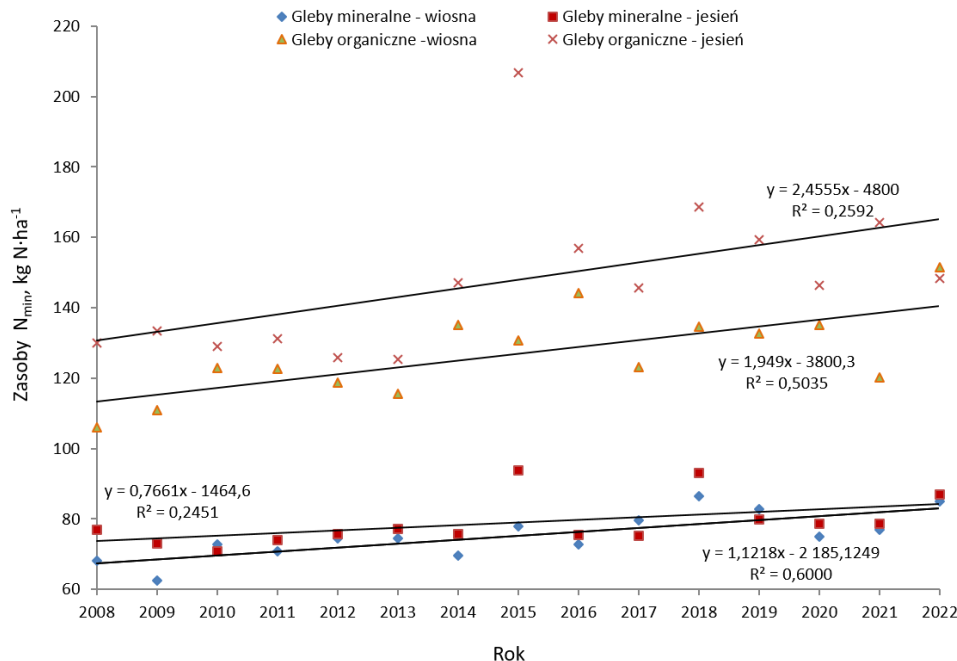
Plan prezentacji

- ❖ **Wprowadzenie**
- ❖ **Wyznaczanie gęstości objętościowej gleb pochodzenia organicznego na podstawie zawartości w nich materii organicznej.**
- ❖ **Zasobność gleb użytków zielonych w azot mineralny a zalecenia nawozowe.**
- ❖ **Częstotliwość oznaczeń węgla organicznego w glebach użytków zielonych.**
- ❖ **Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego.**
- ❖ **Oznaczanie składu granulometrycznego gleb: metoda dyfrakcji laserowej vs. metoda areometryczna.**
- ❖ **Kwantyfikacja wymycia azotanów na podstawie wyników oznaczeń azotu rezydualnego.**
- ❖ **Podsumowanie.**

Wprowadzenie

- ❖ W 2005 r. zapoczątkowana została instytucjonalna współpraca między Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym – Państwowym Instytucie Badawczym (ITP-PIB) - wtedy Instytutem Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach – i Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą (KSChR) w Warszawie. Od strony formalnej ustanowiło ją „Porozumienie z dnia 24.10.2005 roku Dyrektora Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach i Dyrektora Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej o współpracy”.
- ❖ W ramach podjętej współpracy, w ITP-PIB/IMUZ opracowany został projekt sieci obserwacyjno-badawczej monitoringu agrochemicznego gleb i jakości wód glebowo-gruntowych w zakresie dotyczącym azotanów i fosforanów, na terenach zajmowanych przez użytki zielone (UZ) w Polsce.
- ❖ Przy tworzeniu projektu sieci monitoringu naczelnym założeniem było uzyskanie reprezentatywności wyników badań. Liczbę punktów monitoringowych – l_i w danym powiecie wyznaczano na podstawie następującej zależności:
gdzie:
$$l_i = \frac{S_i}{S_{og}} \cdot l_{og}$$
 - S_i – powierzchnia użytków zielonych w i-tym powiecie,
 - S_{og} – całkowita powierzchnia użytków zielonych w kraju,
 - l_{og} – założona liczba punktów monitoringowych w całym kraju.Wyznaczoną dla poszczególnych powiatów ogólną liczbę punktów monitoringowych podzielono następnie według zasady proporcjonalności, ze względu na:
 - rodzaj siedlisk użytków zielonych (łągi, grądy, bielawy i murszowiska),
 - wykorzystanie UZ (kośne, pastwiskowe),
 - obsadę trawożernych na 1 ha użytków rolnych w gospodarstwie.
- ❖ Od 2008 r. jest realizowany przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą i 17. okręgowych stacji ogólnokrajowy monitoring gleby i wody na UZ. Corocznie KSChR przekazuje ITP-PIB wyniki tego monitoringu w celu ich opracowania. Celem prezentacji jest przedstawienie, na podstawie uzyskanych w tym zakresie doświadczeń, nowych propozycji dotyczące diagnostyki gleb użytków zielonych i wykorzystania jej wyników.

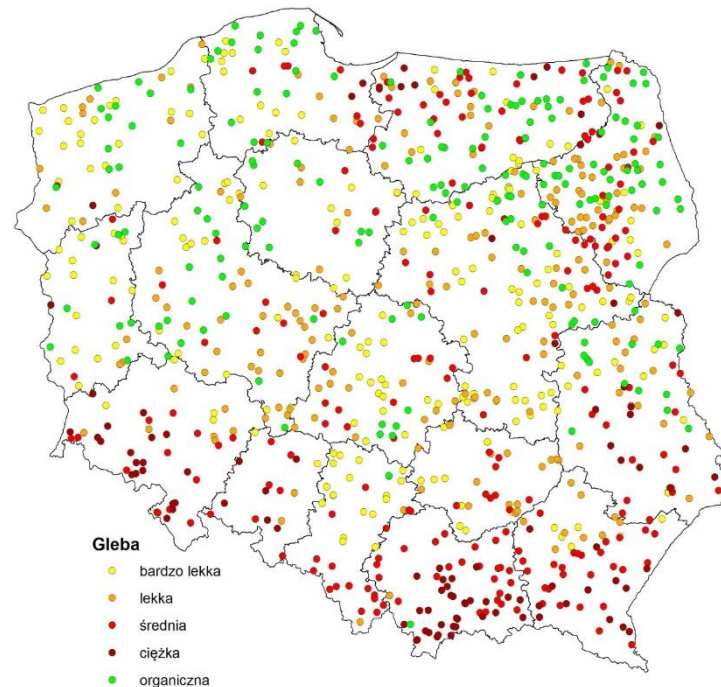
Wykorzystanie wyników monitoringu gleby i wody z UZ prowadzonego przez Stacje Chemiczno-Rolnicze dla potrzeb Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi: opracowania i raporty



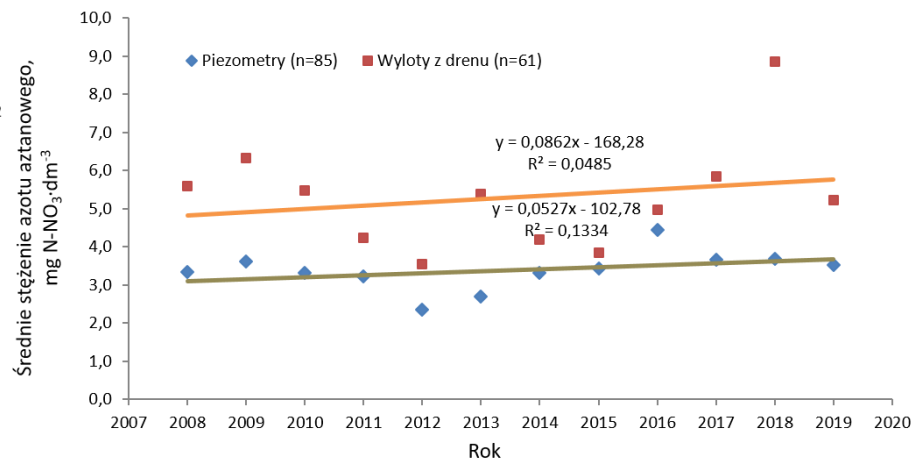
Zmiany zasobów azotu mineralnego (N_{\min}) w warstwie 0-30 cm gleb mineralnych i organicznych użytków zielonych w Polsce w okresach wiosennych i jesiennych w latach 2008-2022 [Źródło: Pietrzak, Urbaniak 2023: na podstawie wyników KSChR

Średnie stężenie $N-NO_3$ w wodzie pobranych z piezometrów i wylotów z drenów usytuowanych na użytkach zielonych w latach od 2008-2019 w okresach wiosennych z tych samych punktów monitoringu, z których próbki wody każdego roku były poddane analizie. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Temperatura powietrza ma istotny, dodatni wpływ na wiosenne i jesienne zawartości $N-NO_3$ w glebach UZ.



Rozmieszczenie punktów monitoringu gleb użytków zielonych w Polsce. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR



❖ **Monotematyczny cykl publikacji nt. stanu agrochemicznego gleb użytków zielonych oraz zanieczyszczenia azotanami i fosforanami wód zalegających pod ich powierzchnią, obejmujący następujące pozycje:**

1. Pietrzak S. 2012. Odczyn i zasobność gleb łąkowych w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12 z. 1 (37) s. 105-117.
2. Pietrzak S. 2012. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Polish Journal of Agronomy. No. 11 s. 34-40.
3. Pietrzak S. 2014. Kształtowanie się ilości azotu mineralnego w mineralnych glebach łąkowych w Polsce w latach 2008–2012. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 3 (47) s. 113-124.
4. Pietrzak S. 2015. Kształtowanie się stanu ilościowego azotu mineralnego w glebach organicznych pod użytkami zielonymi w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 2 (50) s. 87-96.
5. Pietrzak S. 2015. Zawartość siarki w glebach użytków zielonych w Polsce w latach 2009-2011. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 2 (50) s. 97-113.
6. Pietrzak S. 2015. Fosforany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 89-100.
7. Pietrzak S. 2015. Stan ilościowy azotu mineralnego w glebach użytków zielonych a stężenie azotanów w wodzie gruntowej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 101-111.
8. Pietrzak S., Urbaniak M., Majewska Z. 2016. Zmiany stężenia azotanów w wodach gruntowych spod użytków zielonych w Polsce w latach 2008-2014. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Nr 3 s.111-116.
9. Pietrzak S., Juszowska D., Nawalany P. 2019. Zmiany odczynu i zasobności gleb użytków zielonych w Polsce między 2008 a 2016 rokiem. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego. Nr 19 s. 50-71.
10. Pietrzak S., Hołaj-Krzak J. 2022. The content and stock of organic carbon in the soils of grasslands in Poland and the possibility of increasing its sequestration. Journal of Water and Land Development No. 54 (VII–IX) p. 68-76. DOI: 10.24425/jwld.2022.141556.
11. Pietrzak S., Urbaniak M. 2023. The relationship between the granulometric composition of grassland soils and their content of mineral nitrogen and organic carbon. Journal of Water and Land Development” No. 57 (IV–VI): 69–77. DOI: 10.24425/jwld.2023.145337.
12. Pietrzak S.,Urbaniak M. 2024. Quantification of nitrates leaching from grassland soils in winter using the Burns model. Journal of Water and Land Development, 60, pp. 39–49. Available at: <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.148458>.

❖ **Doniesienia na konferencje naukowe:**

1. Pietrzak S. 2012. Nitrates in groundwater in the areas occupied by grassland in Poland. In: Grassland – a European Resource? W: Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation, Lublin Poland, 3-7 June s. 631-633.
2. Pietrzak S. 2014. The amount of mineral nitrogen in organic soils of grasslands in Poland. W: Cordovil C.M.d.S. (edyt.) The nitrogen challenge: Building a blueprint for nitrogen use efficiency and food security. Proceedings 18th Nitrogen Workshop, Lisbon, Portugal 30.06.-3.07.2014. s. 173-174.
3. Pietrzak S. 2015. The sulphur content in grassland soils in Poland in 2009-2011.W: Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць. Wydawnictwo: Національна Академія Аграрних Наук України. Інститут Землеробства Південного Регіону. Херсон (In: Irrigated Agriculture. Interdepartmental thematic scientific collection. Institute of Agriculture of the Southern Region of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences. Kherson: Vol. 64 - p. 12-14.

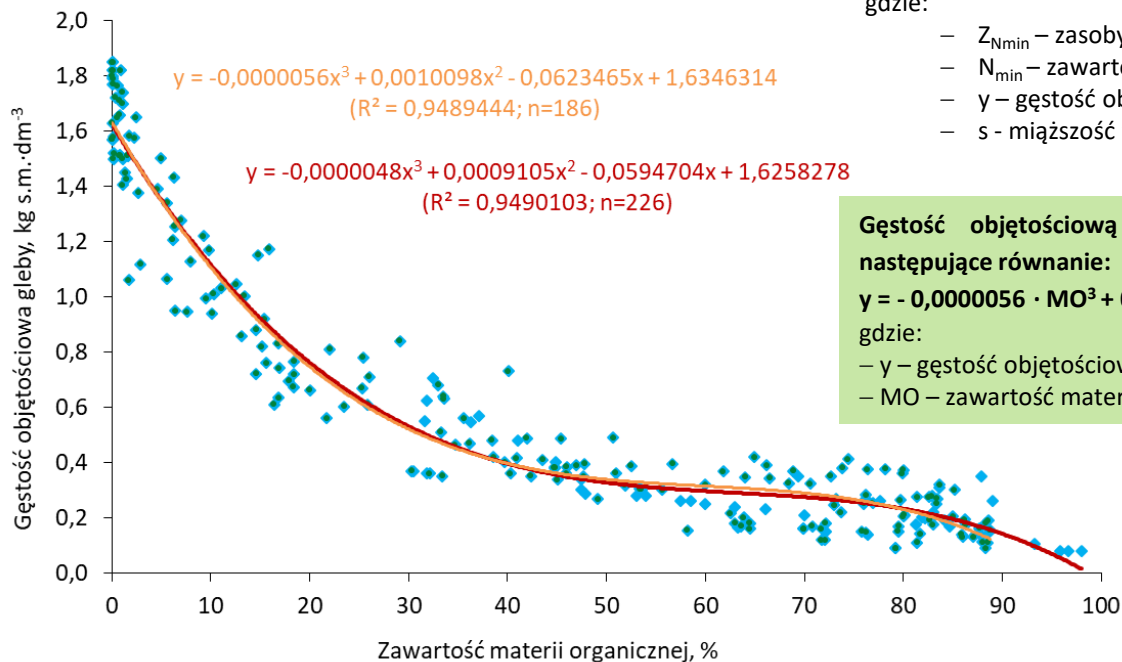
❖ **Praca doktorska: Juszowska D. 2019. Zmiany zawartości azotu mineralnego w glebach użytków zielonych w zależności od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Falenty: ITP-PIB ss. 104 /maszynopis/**

Wyznaczanie gęstości objętościowej gleb pochodzenia organicznego na podstawie zawartości w nich materii organicznej dla potrzeb związanych określeniem zasobów azotu mineralnego w glebach pochodzenia organicznego

Zasobność gleb pochodzenia organicznego w azot mineralny obliczyć można za pomocą następującej formuły: $Z_{N_{min}} = 0,1 \cdot N_{min} \cdot y \cdot s$

gdzie:

- $Z_{N_{min}}$ – zasoby azotu mineralnego w danej warstwie gleby, $kg \cdot ha^{-1}$;
- N_{min} – zawartość azotu mineralnego w warstwie gleby 0-30, $mg N_{min} \cdot kg^{-1} s.m.$;
- y – gęstość objętościowa gleby, $kg s.m. \cdot dm^{-3}$;
- s – miąższość warstwy gleby, cm .



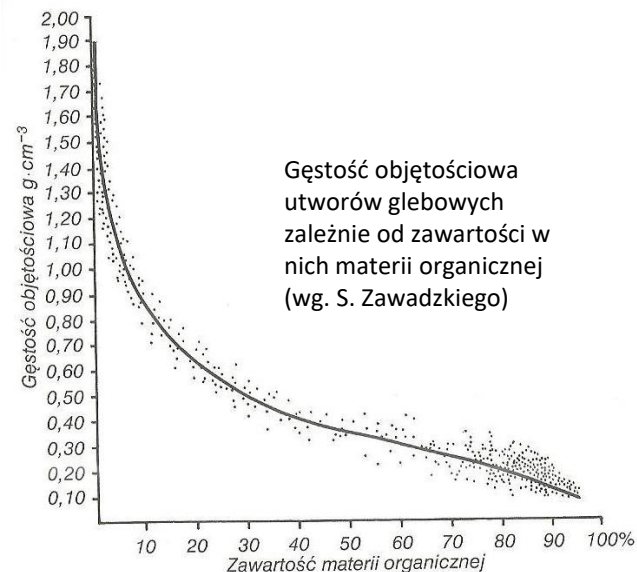
Gęstość objętościową gleb pochodzenia organicznego wyznaczyć można stosując następujące równanie:

$$y = -0,0000056 \cdot MO^3 + 0,0010098 \cdot MO^2 - 0,0623465 \cdot MO + 1,6346314 \quad (R^2 = 0,9489; n=186)$$

gdzie:

- y – gęstość objętościowa gleby, $kg s.m. \cdot dm^{-3}$;
- MO – zawartość materii organicznej w glebie, %.

Gęstość objętościowa gleb organicznych w zależności od zawartości w nich materii organicznej; źródło: opracowanie własne na podstawie: Bieniek, Łachacz [2012]; Bogacz, Przybylska [2010]; Bogacz i in. [2004]; Gajewski [2012]; Gotkiewicz i in. [2006]; Grzelak i in. [2011]; Grzelak i in. [2012]; Jurczuk [2005]; Kaczmarek i in. [2010]; Kiryłuk [2008]; Owczarzak i in. [2003]; Pawluczuk [2001]; Pawluczuk [2004]; Pawluczuk i in. [2009]; Roj -Rojewski i in. [2012]; Stępień, Pawluczuk [2011]; Smólczyński [2016]; Stępień, Pawluczuk [2011].



Gęstość objętościowa utworów glebowych zależnie od zawartości w nich materii organicznej (wg. S. Zawadzkiego)

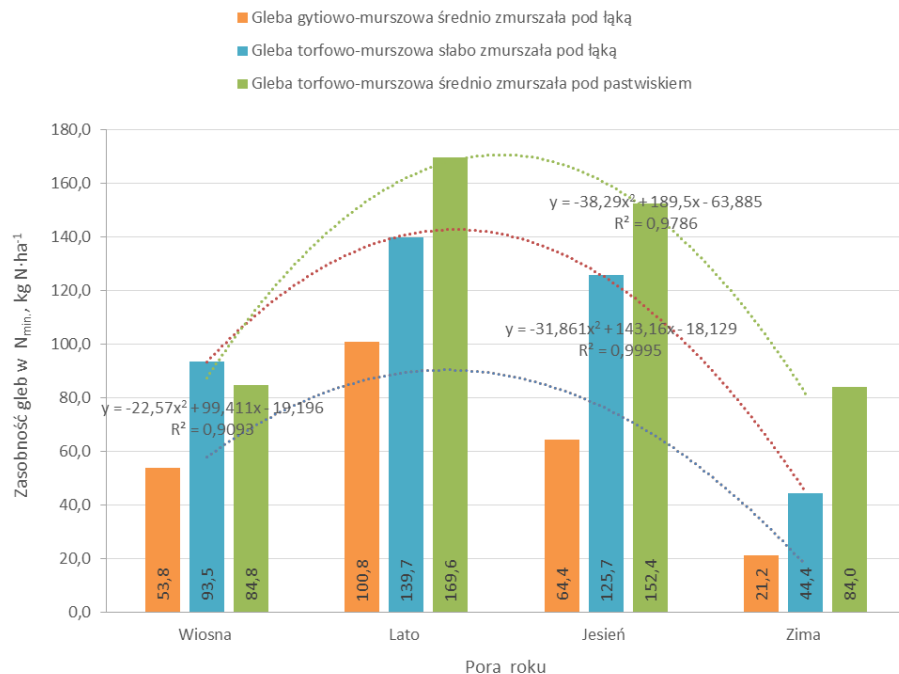
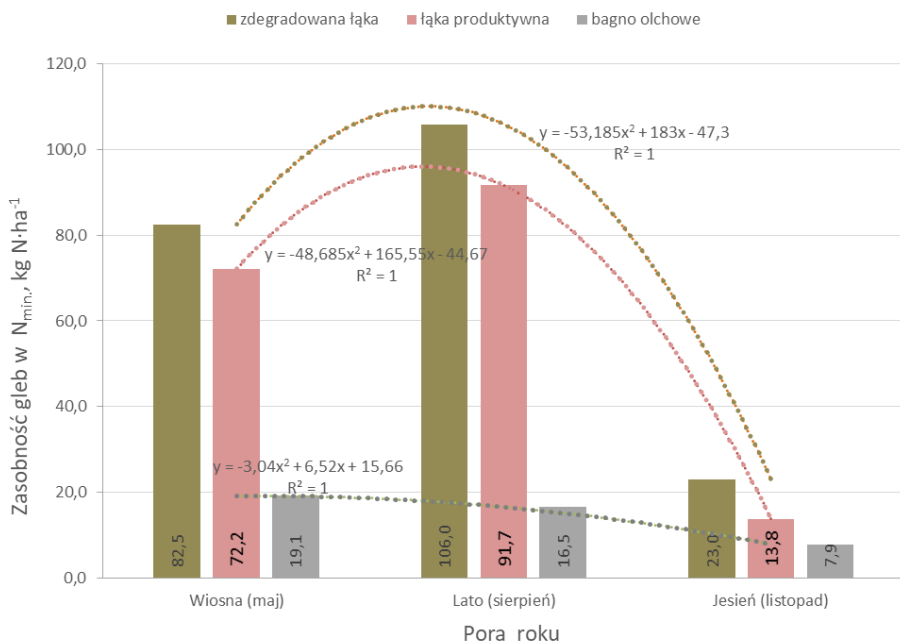
- ❖ W polskim doradztwie nawozowym zawartość azotu mineralnego w glebach użytków rolnych oznaczona w okresie wiosennym jest podstawowym elementem wykorzystywanym do ustalenia dawki azotu pod uprawy za pomocą komputerowych planów nawozowych lub tabelarycznych zaleceń nawozowych.
- ❖ Na podstawie wyników monitoringu agrochemicznego gleb UZ prowadzonego przez Stacje Chemiczno-Rolnicze, opracowano wskaźniki wiosennej zasobności N_{min} w tych glebach, w tym w glebach pochodzenia organicznego.
- ❖ W 2022 r. wskaźniki te stały się częścią programu **INTER-NAW** do sporządzania planów nawozowych. W 2023 r. wprowadzono je również do znowelizowanego programu azotanowego, jako składnik wymagany do sporządzenia uproszczonego bilansu azotu w celu obliczania dawki mineralnych nawozów azotowych.

Przeciętne zasoby azotu mineralnego w okresie wiosennym w wierzchniej 30-centymetrowej warstwie gleb użytków zielonych

Przeciętne zasoby azotu mineralnego wiosną w warstwie 0-30 cm gleb mineralnych UZ, w zależności od ich kategorii agronomicznej, kg N·ha ⁻¹			
bardzo lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
86	91	73	66
Przeciętne zasoby azotu mineralnego wiosną w warstwie 0-30 cm gleb pochodzenia organicznego UZ w zależności od poziomu zawartości w niej materii organicznej (MO), kg N·ha ⁻¹			
całkowicie zmineralizowane gleby torfowo-murszowe	gleby murszaste	gleby murszowate	gleby mineralno-murszowe
MO≤3%	3<MO≤10%	10<MO≤20%	MO>20%
dane jak dla gleb mineralnych UZ	135	158	117

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników monitoringu zawartości azotu mineralnego w glebach użytków zielonych prowadzonego przez KSChR w latach od 2015-2019

- Ze względu na dużą dynamikę mineralizacji organicznych związków azotu w glebach pochodzenia organicznego, podaż N_{min} uwalnianego w tym procesie może przewyższać potrzeby pokarmowe roślin. Znajomość stanu nagromadzenia azotu mineralnego w organicznych glebach pod użytkami zielonymi jest jednym z kluczowych czynników pozwalających na prowadzenie ich racjonalnego użytkowania.



Zasobność gleb gytiowo-murszowych i torfowo-murszowych w azot mineralny w warstwie 0-30 cm z trzech obiektów łąki Dymerskie w latach 2005-2007 (wartości przybliżone) [opracowanie własne na podstawie danych: Pawluczuk, Szymczyk 2008; Pawluczuk 2008].

- Wyniki badań wskazują w tym zakresie, że w ciągu sezonu wegetacyjnego z gleb organicznych zajmowanych przez użytki zielone może się uwalniać w następstwie mineralizacji od 65 do 346 $kg\ N \cdot ha^{-1}$ [Gotkiewicz 1996].
- Zasoby N_{min} w glebach użytków rolnych pochodzenia organicznego określne w okresie wiosennym nie są w pełni wystarczające do sporządzania planów nawożenia azotem dla tego rodzaju użytków.

Przeciętna z 2008 i 2018 roku zasobność gleb organicznych w azot mineralny w warstwie 0-30 cm w miejscowości łańsk - Pojezierze Mazurskie (wartości przybliżone) [opracowanie własne na podstawie danych: Pawluczuk, Stępień 2023].

- ❖ Azot dostarczany z rezerw glebowych w wyniku procesu mineralizacji powinien być brany pod uwagę przy zalecaniu dawek nawozów azotowych [McDonald i in. 2014]. Podstawowa przeszkodę w tym zakresie stanowi jednak brak łatwej w stosowaniu i dostatecznie precyzyjnej metody określania ilości azotu uwalnianego w procesie mineralizacji materii organicznej w glebach użytków zielonych, aczkolwiek prac nad jej opracowaniem trwają od kilku dziesięcioleci.
- ❖ Aktualnie za najbardziej przydatną metodą do wyceny ilości zmineralizowanego azotu glebowego uznaje się tzw. test azotu glebowego Illinois (ISNT) zwany też testem aminocukrowym-N. Jest to innowacyjny test azotowy opracowany na Uniwersytecie Illinois przez Khana i in. [2001]. Test ten określa zdolność gleby do powolnego dostarczania azotu pochodzącego z mineralizacji materii organicznej uprawianym roślinom podczas sezonu wegetacyjnego.
- ❖ Metoda ISNT w skrócie polega na tym, że 1 g gleby poddaje się działaniu 10 ml roztworu wodorotlenek sodu (NaOH) o stężeniu $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ w szerokootworowym słoiku typu Mason o pojemności 473 ml. Słoik zamyka się w ciągu 10 s i ogrzewa przez 15 godz. w inkubatorze niskotemperaturowym w temperaturze 50°C w celu uwolnienia N w postaci gazowego NH_3 . Uwolniony NH_3 nagromadza się w 4% m/V (masa substancji rozpuszczonej/objętość roztworu) roztworze kwasu borowego (H_3BO_3) w szalce Petriego zawieszonyj na wewnętrznej ściance pokrywy słoika. Następnie oznacza się N_{ISNT} przez miareczkowanie roztworu H_3BO_3 za pomocą mianowanego roztworu kwasu siarkowego (H_2SO_4) o stężeniu $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ [Spargo i in. 2009].

❖ Wysoką użyteczność testu ISNT wykazały wyniki badań różnych metod prognozowania poziomu mineralizacji azotu w glebach użytków zielonych strefy umiarkowanej przeprowadzone w Irlandii przez McDonald i in. [2014]. Spośród ocenianych, metoda ISNT okazała się najlepszym narzędziem do predykcji zdolności mineralizacyjnej gleby w stosunku do azotu. Szczególnie dobre rezultaty dało zastosowanie testu ISNT do określenia ilości azotu podlegającego mineralizacji w glebach gruboziarnistych. W tym przypadku stwierdzono że uzyskane za pomocą tego testu wyniki wykazują wysoką zgodność z wynikami oznaczeń N uwalnianego z gleby podczas jej 7-dniowej inkubacji w warunkach beztlenowych ($r^2 = 0,92$, $p < 0,001$).

❖ Według McDonald i in. [2014] dalszy rozwój badań nad ISNT może umożliwić opracowanie bardziej precyzyjnych zaleceń dotyczących nawożenia azotem gleb użytków zielonych i może poprawić efektywność wykorzystania N w gospodarstwach rolnych oraz zmniejszyć straty N i związane z nimi zagrożenia dla środowiska.

Zgodnie z dyrektywa azotanową (Załącznik III) zasilanie upraw azotem powinno być prowadzone z uwzględnieniem dopływu azotem przez mineralizację netto rezerw azotu organicznego w glebie. W aktualnym programie azotanowym azot mineralny uwalniany z glebowych związków organicznych w trakcie sezonu wegetacyjnego nie jest brany pod uwagę jako źródło zaopatrzenia roślin w ten składnik.

Zależność między N który może zostać zmineralizowany określonym przy zastosowaniu 7-dniowej inkubacji w warunkach beztlenowych, a N oznaczonym testem azotu glebowego Illinois [ISNT-N] w glebach gruboziarnistych i drobnoziarnistych [McDonald i in. 2014].

- gleby gruboziarniste:
 $y = 0,9126x - 75,9$; $R^2 = 0,9238$; $n=7$; $p=0,0006$
- gleby drobnoziarniste:
 $y = 0,6084x + 29,378$; $R^2 = 0,6086$; $n=28$; $p < 0,0001$

gdzie:

y - możliwy do zmineralizowania N, mg N-NH₄·kg⁻¹;

x - zawartość ISNT-N, mg N-NH₄·kg⁻¹.

- ❖ Zgodnie z „Instrukcją prowadzenia badań monitoringowych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze” zawartość węgla organicznego/materii organicznej w punkcie monitoringu gleby oznaczana jest jednorazowo, przy jego zakładaniu.
- ❖ Dokonano oceny stanu nagromadzenia węgla organicznego (C_{org}) w glebach użytków zielonych w Polsce, na podstawie jednorazowych wyników oznaczeń tego składnika w próbkach gleb pobieranych z 860 punktów badawczych [Pietrzak, Hołaj-Krzak 2022]. Stwierdzono, w szczególności, że:
 - przeciętna zawartość węgla organicznego w warstwie 0-30 cm gleb mineralnych UZ w Polsce wynosi 2,44% (i jest 2,2 razy większa w porównaniu z przeciętną ilością C_{org} w glebach gruntów ornych), a w glebach pochodzenia organicznego – 10,42%;
 - zasoby węgla organicznego w warstwie 0–30 cm na całej powierzchni gleb UZ wynoszą 412,7 mln ton C_{org} , w tym 253,3 mln ton w glebach mineralnych i 159,4 mln ton w glebach pochodzenia organicznego;
 - połowa gleb mineralnych UZ charakteryzuje się zawartością węgla organicznego poniżej jego progu krytycznego (poniżej którego może nastąpić potencjalnie poważny spadek jakości gleby), który jak się powszechnie przyjmuje wynosi 2%,
 - istnieją znaczne możliwości zwiększenia zasobów C_{org} w glebach łąkowych, poprzez ich renowację (jak się szacuje - ponad 50% z nich jest zdegradowanych),
 - gdyby na połowie arealu gleb mineralnych UZ zwiększyć poziom zawartości C_{org} o 1%, można uzyskać przyrost w nich zasobów węgla organicznego o 51,9 mln ton.

Częstotliwość oznaczeń węgla organicznego w glebach użytków zielonych cd.

- ❖ Ze względu na posiadane naturalne właściwości do gromadzenia dużej ilości materii organicznej, a tym samym węgla organicznego, gleby użytków zielonych są uznawane za ważny czynnik kompensacji emisji dwutlenku węgla i łagodzenia zmian klimatu.
- ❖ Gleby zdegradowanych użytków zielonych mają bardzo duży potencjał w zakresie sekwestrowania węgla (tj. usuwania CO₂ z atmosfery i magazynowania go w glebie, za pośrednictwem runi łąkowej).
- ❖ W ramach wspólnej polityki rolnej UE, rolnictwu wyznaczona została ważna rola w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych.
- ❖ W Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023 – 2027 przewidziano szereg instrumentów mających przekładać się na zwiększenie ilości próchnicy glebowej, w tym m.in.: utrzymanie trwałych użytków zielonych na określonym poziomie w całym kraju (udział TUZ w powierzchni gruntów rolnych w skali całego kraju nie może się zmniejszyć o więcej niż 5 % w stosunku do roku referencyjnego 2018) oraz zachowanie obszarów podmokłych i torfowisk, celem magazynowania węgla w glebie i tym samym zapobiegania emisji dwutlenku węgla do atmosfery.
- ❖ W kontekście polityki klimatycznej UE względem rolnictwa, w celu śledzenia zmian zawartości C_{org} w glebach UZ postuluje się oznaczanie tego składnika w ramach monitoringu gleb prowadzonego przez stacje chemiczno-rolnicze, co 4. lata.



Przyczynianie się do łagodzenia zmiany klimatu – jeden z 10. najważniejszych celów politycznych WPR na lata 2023–2027

Źródło: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_pl#briefs

Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego

- ❖ Diagnostyka fosforu przyswajalnego dla roślin ma szczególne znaczenie w odniesieniu do gleb organicznych, gleby te bowiem mają słabą zdolność do gromadzenia lub zwiększania zasobów fosforu. Zastosowany w nawozach P na glebach torfowych może być tracony (wymywany) do wody, jeśli P nie jest wykorzystywany przez rosnące rośliny, w okresach opadów. Aby zapobiegać startom fosforu należy zapewnić efektywne wykorzystanie nawozów fosforowych. Jednym z tego warunków jest określenie rzeczywistych zasobów fosforu dostępnego dla roślin w glebie (tj. fosforu w roztworze oraz tzw. fosforu aktywnego - stosunkowo łatwo uwalniany do roztworu glebowego) dostosowanym do tego celu testem.
- ❖ W Polsce zawartość przyswajalnego fosforu w glebach organicznych zawierających powyżej 10% (procenty wagowe – m/m) substancji organicznej oznacza się za pomocą roztworu kwasu chlorowodorowego zgodnie z PN-R-04024:1997. Roztwór ten w szczególności ma zastosowanie do ustalania zapotrzebowania na fosfor roślinności użytków zielonych położonych na glebach o zawartości powyżej 50% (m/m) substancji organicznej. Dla tych gleb określone są graniczne zawartości fosforu.
- ❖ Stosowanie kwasu chlorowodorowego do oznaczania zawartości przyswajalnego fosforu w glebach organicznych poza Polską nie jest praktykowane w innych krajach. W Niemczech stosowana jest w tym zakresie metoda Egnera-Riehma (DL) oraz metoda oparta na ekstrakcji P mieszaniną mleczanu wapnia z octanem wapnia (CAL) [Negassa i in. 2000; Mahnke i in. 2019; Heller i in. 2017], w Szwecji - metoda ekstrakcji przy użyciu mleczanu amonu (AL) [Riddle i in. 2018], w Irlandii – metoda Morgana [FAI 2019; González Jiménez i in. 2018], w Nowej Zelandii - metoda Olsena [O'Connor i in. 2001], w stanie Floryda/USA – metoda oparta na ekstrakcji wodnej [Castillo, Wright 2008].
- ❖ Kwas chlorowodorowy w różnych stężeniach zaliczany jest do silnych ekstrahentów fosforu glebowego [Vanderdeelen 2002]. Kwas ten stosowany jest do oznaczania fosforu glebowego, który jest uważany za wolno dostępny (jego uwalnianie do dostępnej puli fosforu w glebie jest powolne i nie zaspakaja zapotrzebowania upraw na P) lub wysoce niedostępny dla roślin [Sims i in 2018]. W Szwecji 2 M roztwór kwasu solnego jest stosowany oznaczenia P zapasowego (uwalnianego z zasobów glebowych do formy dostępnej dla roślin w dłuższym okresie czasu [Blombäck i in. 2021]).

Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego cd.

- ❖ W 2023 r. w ramach Zadania 3 „Racjonalne nawożenie” wchodzącego w zakres Dotacji Celowej MRiRW dla ITP-PIB Falenty zrealizowano pracę badawczą pt. „Ocena dotyczące ocena różnych metod ekstrakcji fosforu z gleb użytków zielonych pochodzenia organicznego, w aspekcie ich przydatności w badaniach agronomicznych i środowiskowych tych gleb”.
- ❖ Celem pracy jest wstępne rozpoznanie przydatności różnych roztworów ekstrakcyjnych, takich: mleczan wapnia o pH-3,55 (metoda Egnera-Riehma), wodorowęglan sodu o pH 8,5 (metoda Olsena), 0,01 M chlorek wapnia (metoda Houby), woda destylowana (metoda Paaauwa), 0,5 M kwas chlorowodorowy (0,5 M HCl) do określania zawartości fosforu w glebach użytków zielonych pochodzenia organicznego, dla potrzeb obejmujących planowanie nawożenia i ochronę wód. W szczególności celem pracy jest dokonanie (w oparciu o wynik badań własnych i dostępne dane z literatury) analizy możliwości zastąpienia metody oznaczania fosforu przyswajalnego w glebach użytków zielonych pochodzenia organicznego za pomocą roztworu 0,5 M HCl, inną metodą.
- ❖ Przedmiot badań własnych stanowiły próbki gleb organicznych pobrane do analiz laboratoryjnych za pomocą świdra w dniach 24-25.04.2023 r. z 10. wytypowanych punktów badawczych na użytków zielonych położonych w Falentach oraz w dniach 9-10.05.2023 r. z 27. takich punktów położonych w Biebrzy (teren prac badawczych stanowiły grunty wchodzące w skład Zakładu Doświadczalnego ITP-PIB w Biebrzy.

Próbka gleby torfowo-murszowej pobrana na stanowisku badawczym w ZD ITP-PIB w Biebrzy.
Foto. M. Urbaniak



Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego cd.

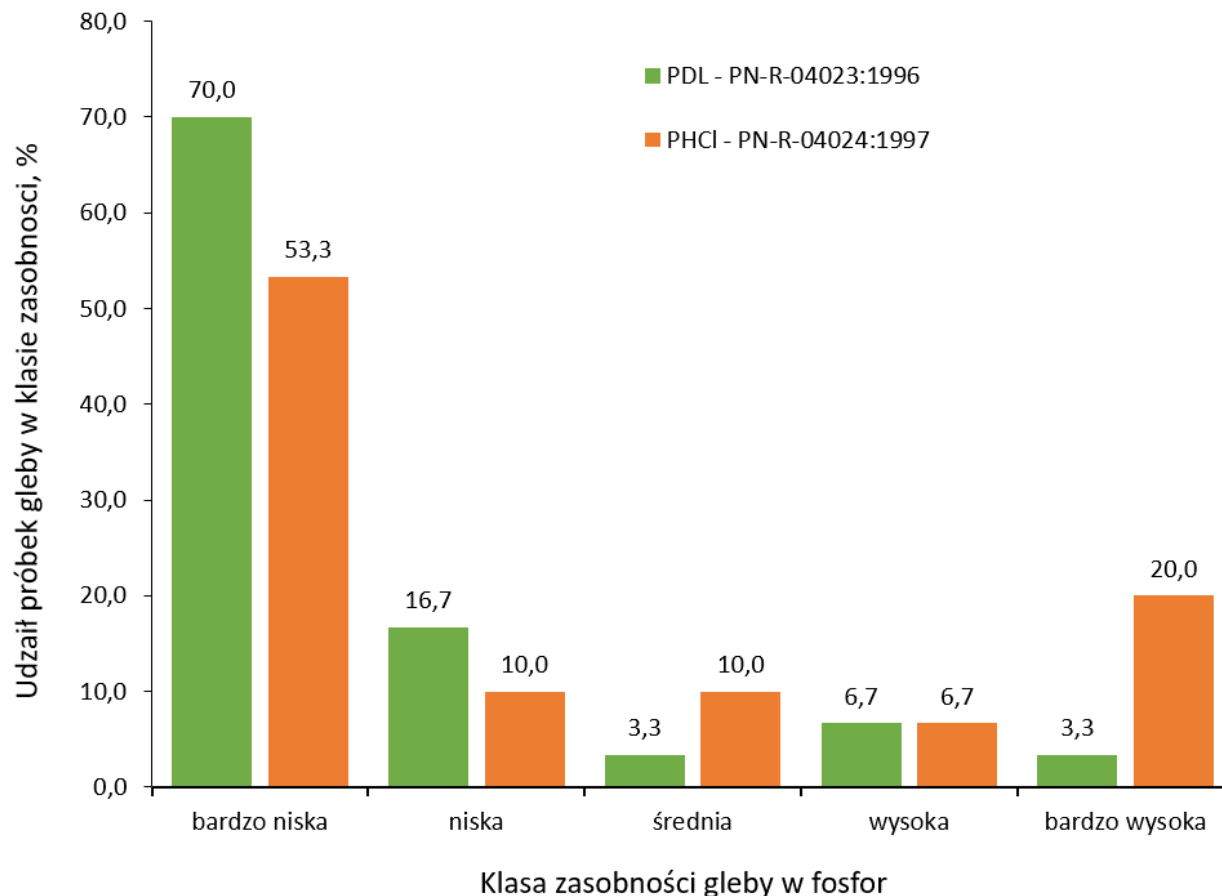
Statystyki opisowe zawartości fosforu oznaczonego różnymi metodami w próbkach gleby z warstwy 0-30 cm pobranych z Biebrzy. Źródło: opracowanie własne

Miara statystyki	P_{HCl}	P_{H_2O}	P_{CaCl_2}	P_{DL}	P_{Olsen}
n			27		
\bar{x} , mg P·kg ⁻¹	593,76	2,72	3,64	25,48	27,40
CV, %	175,4	244,4	195,5	98,8	129,1
max, mg P·kg ⁻¹	3842,10	29,32	26,68	110,52	155,69
min, mg P·kg ⁻¹	11,84	0,01	0,16	7,36	4,43
Objaśnienia: n - liczba wyników; \bar{x} - średnia arytmetyczna; CV - współczynnik zmienności; max. - wartość największa; min - wartość najmniejsza; P_{HCl} , P_{H_2O} , P_{CaCl_2} , P_{DL} , P_{Olsen} - zawartości fosforu oznaczone odpowiednio za pomocą takich ekstrahentów jak: 5 M kwas chlorowodorowy (0,5 M HCl), woda destylowana, 0,01 M chlorek wapnia (metoda Houby), mleczan wapnia o pH-3,55 (metoda Egnera-Riehma), wodorowęglan sodu o pH 8,5 (metoda Olsena).					

Statystyki opisowe zawartości fosforu oznaczonego różnymi metodami w próbkach gleby z warstwy 0-30 cm pobranych z Falentach. Źródło: opracowanie własne

Miara statystyki	P_{HCl}	P_{H_2O}	P_{CaCl_2}	P_{DL}	P_{Olsen}
n			10		
\bar{x} , mg P·kg ⁻¹	155,04	0,46	0,48	26,45	23,03
CV, %	23,0	40,9	39,7	34,5	26,8
max, mg P·kg ⁻¹	213,96	0,76	0,80	39,73	32,04
min, mg P·kg ⁻¹	116,09	0,15	0,14	17,22	9,57
Objaśnienia: j.w.					

Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego cd.



Ocena zawartości w warstwie 0-30 cm gleb organicznych o zawartości >50% MO z Biebrzy i Falent fosforu ekstrahowanego metodą Egnera-Riehma oraz za pomocą 0,5 M HCl-dm⁻³.

Źródło: opracowanie własne

Propozycja zmiany podejścia do oznaczanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach pochodzenia organicznego cd.

- ❖ Wyniki uzyskane przy zastosowaniu metod agronomicznych Egnera-Rhiema i Olsena były podobnego rzędu wielkości w diagnostycznej warstwie gleby 0-30 cm i były silnie ze sobą dodatnio skorelowane. W porównaniu z metodami agronomicznymi wyniki oznaczeń zawartości fosforu w analizowanych glebach uzyskane przy wykorzystaniu metod środowiskowych - wodnej oraz Houby, były wielokrotnie mniejsze.
- ❖ Wyniki badań zawartości fosforu w glebach na poziomie 0-30 cm uzyskane przy zastosowaniu roztworu kwasu chlorowodorowego były ponad 20 razy większe w porównaniu z wynikami uzyskanymi przy wykorzystaniu metod Egnera-Rhiema i Olsena.
- ❖ Wyniki oceny zasobności gleb przeprowadzone w oparciu o liczby graniczne określone w odniesieniu do metody Egnera-Rhiema oraz przy wykorzystaniu liczb granicznych dla gleb o zawartości >50% materii organicznej w odniesieniu do metody ekstrakcji kwasem solnym znacznie się różniły:

Ocena zawartości P	Metoda Egnera-Rhiema	Roztwór 0,5 mol HCl·dm ⁻³
	% próbek	
Niska i bardzo niska	86,7	63,3
Średnia	3,3	10,0
Wysoka i bardzo wysoka	10,0	26,7

- należy w związku z tym zauważyć, że system oceny oparty na metodzie z wykorzystaniem 0,5 mol HCl dotyczy tylko gleb organicznych o zawartości >50% MO. Poza nim pozostają pozostałe gleby organiczne, co wyklucza możliwość sporządzania w odniesieniu do nich planów nawożenia fosforem.
- ❖ Na tle przeprowadzonego przeglądu literatury oraz uzyskanych wyników badań własnych można stwierdzić że uzasadnione jest zastąpienie metody oznaczania fosforu przyswajalnego w glebach użytków zielonych pochodzenia organicznego za pomocą roztworu 0,5 M HCl, metodą Egnera-Rhiema.

- ❖ Skład granulometryczny gleby odgrywa ważną rolę w gospodarce składnikami pokarmowymi, ponieważ jest czynnikiem warunkującym ich przemieszczanie i magazynowanie (zatrzymywanie) w środowisku glebowym.
- ❖ Konwencjonalnie w badaniach składu granulometrycznego gleb wykorzystywano metody sitowe i sedymentacyjne. Obecnie coraz częściej do rozpoznania stanu uziarnienia gleb stosuje się metodę dyfrakcji laserowej. Ma ona wiele zalet, takich jak krótki czas analizy, wysoka powtarzalność, mała wymagana objętość próbki, szeroki zakres pomiarowy oraz szeroka gama sortowanych frakcji [Šinkoviová i in. 2017]. Jednak wyniki pomiaru wymiarów cząstek metodą dyfrakcji laserowej nie są tożsame z wynikami oznaczeń uziarnienia gleb metodami standardowymi [Šinkoviová i in. 2017; Płoskonka 2010], co w praktyce stwarza trudności z wykorzystaniem danych uzyskanych na jej podstawie.
- ❖ Z literaturze istnieje konsensus, że stosowanie metody laserowej zawsze zaniża udział frakcji ilastej w glebie [Campbell 2003; Gorączko, Topoliński 2018]. Zarazem wyniki różnych prac wskazują, że analiza laserowa wykazuje tendencję do zawyżania udziału frakcji piaskowej i pylastej [Płoskonka 2010; Yang i in. 2019], w porównaniu do metod tradycyjnych, aczkolwiek niektóre badania wskazują, że można zaniżyć udział piasku [Kun i in. 2013] albo w porównywalny sposób go określać [Qiu i in. 2021]. Według Ryzak i in. [2004] „*Pomiary metodą dyfrakcji laserowej zawyżają zawartość frakcji pyłu oraz zaniżają zawartość frakcji piasku i iltu w stosunku do zmierzonych metodą areometryczną*”.
- ❖ Wyniki wyznaczone metodą dyfrakcji laserowej nie mogą być porównywane z metodami standardowymi w stosunku 1:1 [Ryzak i in. 2004], Šinkoviová i in. 2017], nie można wobec nich stosować istniejących liczb granicznych dotyczących klasyfikacji uziarnienia gleb [Taubner i in. 2000]. Aby to było możliwe potrzebne jest rozwiązanie problemu transformacji wyników uzyskiwanych za pomocą wspomnianych metod (do tej pory nie udało się opracować w tym zakresie systemowego podejścia). Według Igaza i in. [2020] powinno to się odbywać na szczeblu laboratoriów wykorzystujących metodę dyfrakcji laserowej do pomiaru rozkładu wielkości cząstek próbek gleby.

- ❖ Przeprowadzonych przez różnych autorów analiz porównawczych wyników oznaczeń składu granulometrycznego gleb metodami laserową i sedymentacyjnymi wskazują, że zgodność między rozkładem różnych wielkości cząstek mierzonymi porównywanymi metodami może wynosić od 95% [Šinkoviová i in. 2017] do 40% a nawet mniej [Lopez i in. 2021].
- ❖ W badaniach porównawczych stanu uziarnienia 23 próbek gleb pobranych z warstwy ornej, przeprowadzonymi metodą dyfrakcji laserowej (wykorzystano aparat Mastersizer 2000 z przystawką Hydro MU firmy Malvern Company) i aerometryczną, Ryżak i Bieganowski [2010] uzyskali zgodność wyników wynoszącą od 75 do 85%. Według tych autorów, stopień zgodności na poziomie 80-90% jest wystarczający dla większości praktycznych zastosowań metody laserowej, np. do określania kategorii gleby czy zaleceń nawozowych.

Porównanie udziału trzech frakcji granulometrycznych oznaczonych w 23. próbkach gleby. Wyniki zostały uzyskane metodą dyfrakcji laserowej i areometryczną [Ryżak, Bieganowski 2010]

- frakcja <0,002 mm:
 $y = 0,36x + 3,32; R^2 = 0,75;$
- frakcja 0,05-0,002 mm:
 $y = 1,40x + 30,28; R^2 = 0,85;$
- frakcja 2-0,05 mm:
 $y = 1,12x + 47,14; R^2 = 0,82;$

gdzie:

- y - udział cząstek glebowych uzyskanych metodą dyfrakcji laserowej, %;
- x - udział cząstek glebowych uzyskanych metodą areometryczną, %.

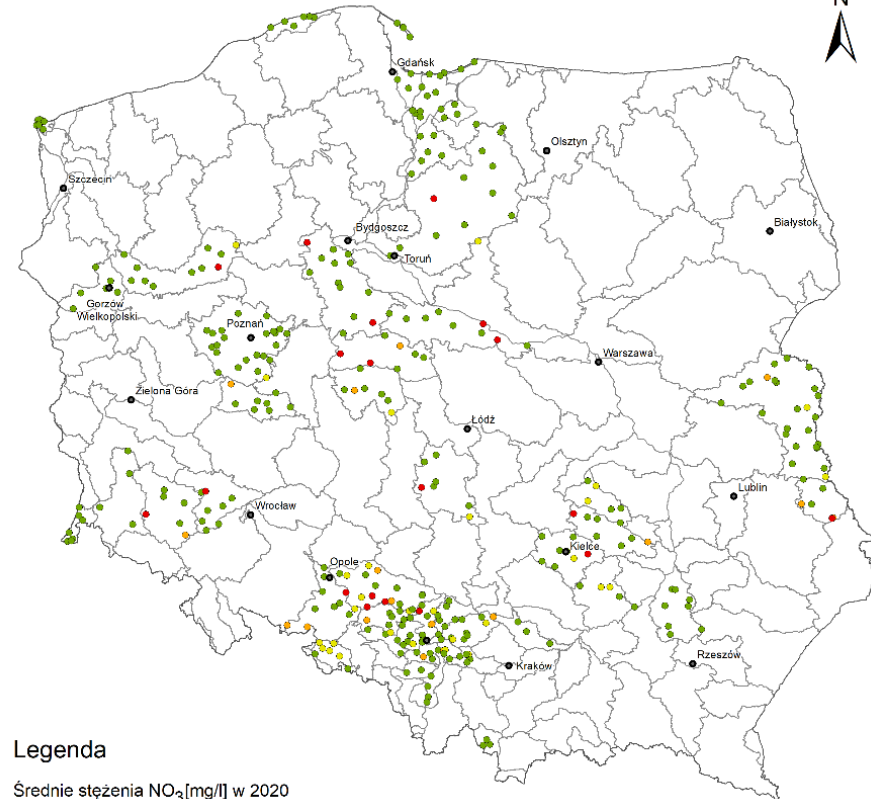
- ❖ Przed wprowadzeniem metody dyfrakcji laserowej, kategorie agronomiczne gleb określono na podstawie udziału w glebie części spławialnych oznaczonych metodą areometryczną Boyuocosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [na podstawie: Fotyma i in. 2010; Strączyński, Wróbel 2000], stosując liczby graniczne opracowane w IUNG-PIB.

Kategorie agronomiczne gleb [Jadczyszyn 2021. za: Zalecenia nawozowe, 1986]

Kategoria agronomiczna gleby	Udział cząstek spławialnych o średnicy < 0,02 mm, %
Gleby bardzo lekkie	≤ 10
Gleby lekkie	(10-20>
Gleby średnie	(20-35>
Gleby ciężkie	> 35

- ❖ W związku z tym, że wyniki oznaczeń składu granulometrycznego gleb uzyskiwane metodami laserową i aerometryczną nie są w pełni tożsame, powstaje pytanie: wg jakich kryteriów powinny być określane kategorie agronomiczne gleb, gdy do oznaczenia ich składu granulometrycznego zastosowano pierwszą z wymienionych metod? Wydaje się, że istnieje potrzeba znalezienia odpowiedzi na to pytanie.
- ❖ **Postuluje się przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań porównawczych metodą dyfrakcji laserowej i areometryczną.**

- ❖ Istniejące w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska punkty monitoringu wód podziemnych, to w znacznej części otwory ujmujące wody izolowane od powierzchni terenu nieprzepuszczalną warstwą, która ogranicza przepływ zanieczyszczeń do niższych warstw wodonośnych. W 2020 r, na ogólną liczbę 390 punktów monitoringu wód podziemnych, zwierciadło napięte wody występowało w 210 (53,8%) z nich.
- ❖ Bezpośrednie pomiarów stężenia azotanów w wodach podziemnych w ramach systemów jej monitoringu nie są w pełni wystarczające i odpowiednie do oceny wpływu działalności rolniczej na stan zanieczyszczenia wód tym składnikiem [Lord, Anthony 2002; Wey i in. 2021];
- ❖ Oprócz wyników badań poziomu zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami uzyskiwanych w ramach monitoringu funkcjonującego w makroskali, istnieje potrzeba stosowania także innych wskaźników presji wywieranej przez azot pochodzenia rolniczego na stan jakości wód. Jednym z licznej grupy takich wskaźników, jakie opracowano w ostatnich dziesięcioleciach, jest ilość azotu mineralnego (N_{min}) zakumulowana w glebie użytku rolnego (UR) w okresie jesieni po zbiorze upraw, **zwana rezydualnym (reszkowym) mineralnym azotem glebowym (RN_{min})**.



Legenda

Średnie stężenia NO_3 [mg/l] w 2020 roku

- 0 - 24,99
- 25 - 39,99
- 40 - 49,99
- ≥ 50

□ JCWPd

— granica Polski

● miasta wojewódzkie

0 50 100 [km]

Średnie roczne stężenie azotanów w wodach podziemnych w 2020 r.

Źródło: Materiały robocze Ministerstwa Infrastruktury (pn. Pl.2 - Analiza wyników stężeń azotanów w wodach podziemnych i powierzchniowych w roku 2020 – w odniesieniu do okresu 2016 – 2019) uzyskane w ramach przeglądu i projektu aktualizacji programu azotanowego w 2022 r.

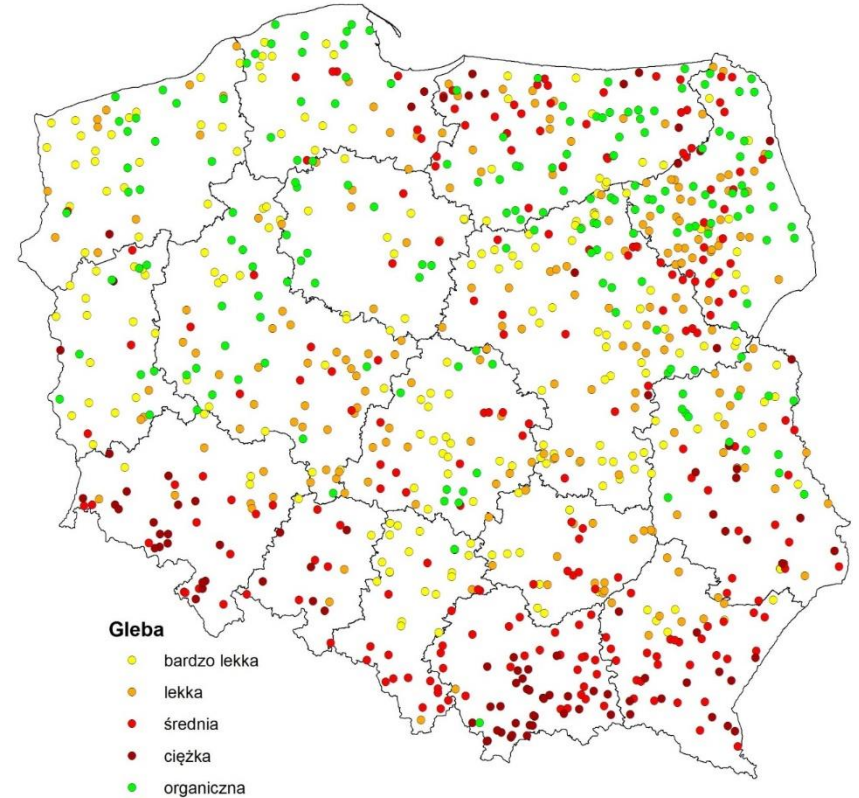
Kwantyfikacja wymycia azotanów na podstawie wyników oznaczeń azotu rezydualnego cd.

Wprowadzenie cd.

- ❖ RN_{min} jest stosowany jako indyktor potencjalnego wymycia azotu do wód podziemnych m.in. w Niemczech, Holandii, Francji, USA [Buczko, Kuchenbuch 2010] oraz w Kanadzie [Drury i in. 2007]. W przypadku Niemiec, w landzie (kraju związkowym) Badenia-Wirtembergia istnieją nawet regulacje uzależniające dopłaty bezpośrednie dla rolników od zawartości rezydualnego N_{min} w glebach ich gospodarstw [Wey i in. 2021].
- ❖ Możliwość określenia potencjalnego wymycia azotanów z gleb użytków rolnych w oparciu o wyniki badań zawartości w nich rezydualnego $N-NO_3$ stwarza model opracowany i zweryfikowany przez Burnsa [1976]. W swej matematycznej postaci, wyraża on wymycie azotanów w głąb profilu glebowego, jako funkcję stanu pojemności wodnej gleby oraz różnicy wartości opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji, przy założeniu, że istnieje efektywny poziom głębokości ukorzenia roślin, powyżej którego cały nieorganiczny azot w glebie jest w równym stopniu dostępny, a poniżej - całkowicie niedostępny dla roślin. Model jest dość prosty i jak wykazano, pozwala z zadawalającą dokładnością wykonywać obliczenia poziomu strat azotanów w wyniku ich wymycia [Khanif i in. 1984; Magesan i in. 1999]. Według oceny Camerona i Wilda [1982] dokładność ta jest na poziomie akceptowalnym do celów praktycznych.
- ❖ Model Burnsa zyskał duże międzynarodowe znaczenie i od wielu jest stosowany w ramach badań nad transportem azotanów i innych zanieczyszczeń w głąb profilu glebowego prowadzonych w warunkach różnych krajów, m.in. w Belgii [De Neve, Hofman 1998; Moreels i in. 2003; El-Sadek 2014], Chile [Matus, Rodrguez 1994; Salazar i in. 2014], Czechach [Haberle i in. 2009; Haberle i in. 2018], Danii [Vogeler i in. 2022], Francji [Pervanchon i in. 2005; Chelil i in 2022], Indonezji [Widowati, De Neve 2016] i Nowej Zelandii [Kelliher i in 2014; Cichota i in. 2016].

Wprowadzenie cd.

- ❖ **Wielość i rezultaty prac badawczych podejmowanych z zastosowaniem modelu Burnsa świadczą, że jest on funkcjonalnym narzędziem do określania poziomu wymycia azotanów z gleb użytków rolnych. W związku z tym, wydaje się, że model ten winien znaleźć praktyczne zastosowanie w ramach działań związanych z implementacją dyrektywy azotanowej. Takie jego zastosowanie mogłoby się bowiem przyczynić się do bardziej precyzyjnej identyfikacji miejsc szczególnego ryzyka zanieczyszczenia wód azotanami na terenach rolniczych, a przez to być pomocne w prowadzeniu działań na rzecz ich ochrony, co w konsekwencji sprzyjałoby i osiągnięciu celów wymienionej dyrektywy.**
- ❖ **W warunkach Polski duże możliwości badań modelowych nad wymyciem azotanów w glebach użytkowanych rolniczo stwarza system monitoringu zawartości w tych glebach azotu mineralnego prowadzony przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą wraz z 17. okręgowymi stacjami (sieć monitoringu obejmuje ponad 5000 punktów pomiarowo-kontrolnych). W jego ramach m.in. oznaczana jest zawartość azotu azotanowego - w pochodzących z ponad 1000 punktów monitoringowych z całego kraju, próbkach gleb użytków zielonych pobranych w okresie jesieni.**

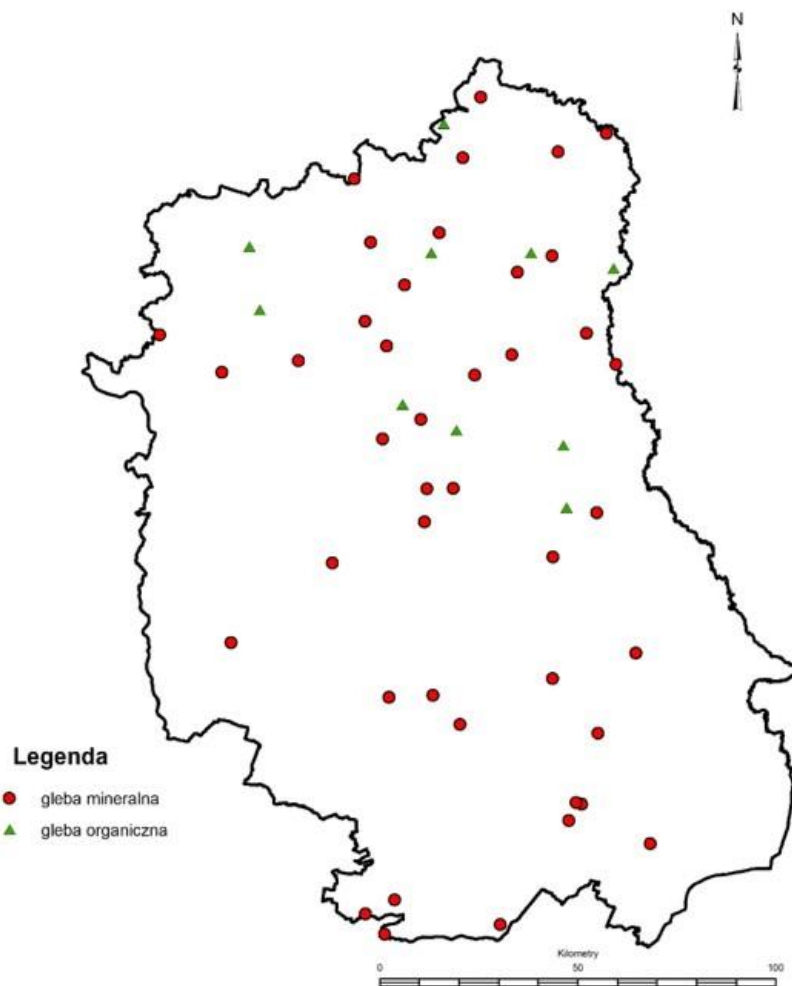


Rozmieszczenie punktów monitoringu gleb użytków zielonych w Polsce. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSchR

Kwantyfikacja wymycia azotanów na podstawie wyników oznaczeń azotu rezydualnego cd.

Wprowadzenie cd.

- ❖ Przeprowadzono badania, których celem pracy było pilotażowe rozpoznanie przy pomocy modelu Barnsa, poziomego wymycia azotanów z warstwy 0-30 cm gleb UZ w województwie lubelskim w trzech wybranych okresach zimowych, w oparciu o wyniki monitoringu jesiennej zawartości azotu mineralnego w formie azotanowej prowadzonego przez stacje chemiczno-rolnicze, oraz określenie na tej podstawie przydatności wymienionego modelu do stosowania w badaniach nad wymyciem azotanów z gleb użytków rolnych w wymiarze ogólnokrajowym [Pietrzak, Urbaniak 2024].
- ❖ Do realizacji pracy wykorzystano wyniki badań gleby pochodzącej z 39 stanowisk kontrolno-pomiarowych gleb użytków zielonych. 30 tych stanowisk zlokalizowane było na glebach mineralnych, a 9 na glebach pochodzenia organicznego.
- ❖ Przedział czasowy badań obejmował miesiące listopad, grudzień, styczeń i luty w okresach zimowych: 2018/2019; 2019/2020; 2020/2021.



Lokalizacja miejsc poboru próbek gleb użytkach zielonych w woj. lubelskim do analiz laboratoryjnych. Opracowanie mapy: Nawalany P.

Określenie zasobów azotu azotanowego w glebie

Zasobność gleb w azot mineralny w formie azotanowej obliczono za pomocą następującego równania:

$$Z_{N-NO_3} = 0,1 \cdot N_{N-NO_3} \cdot \gamma \cdot s$$

gdzie:

- Z_{N-NO_3} – zasoby azotu azotanowego w warstwie gleby 0-30, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- γ – gęstość objętościowa gleby, $\text{kg s.m.} \cdot \text{dm}^{-3}$;
- N_{N-NO_3} – zawartość azotu azotanowego w warstwie gleby 0-30 cm, $\text{mg N}_{N-NO_3} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$;
- s - miąższość warstwy gleby, cm.

Wartości gęstości objętościowej gleb mineralnych przyjęto z literatury [Fotyła in. 2010]. Wartości te w podziale na poszczególne kategorie agronomiczne gleb kształtują się, jak poniżej:

- *gleby bardzo lekkie - $1,533 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$,*
- *gleby lekkie - $1,500 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$,*
- *gleby średnie - $1,416 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$,*
- *gleby ciężkie - $1,300 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$*

Wartości gęstość objętościowej gleb pochodzenia organicznego wyznaczono stosując następujące równanie [Pietrzak 2015]:

$$y = -0,0000056 MO^3 + 0,0010098 MO^2 - 0,0623465 MO + 1,6346314 (R^2 = 0,9489; n = 186)$$

gdzie:

- y – gęstość objętościowa gleby, $\text{kg s.m.} \cdot \text{dm}^{-3}$;*
- MO – zawartość materii organicznej w glebie, %.*

Metoda oszacowania potencjalnego wymycia azotanów z gleb UZ w okresie zimowym

Do określenia ilości wymytych azotanów z gleb użytków zielonych zastosowano równanie Burnsa [1976; 1980], w wariancie zakładającym, że azotany są równomiernie rozłożone w warstwie gleb podczas ich wymywania - w postaci:

$$f \cong \left(\frac{P}{P + \theta_{FC}} \right)^{\frac{h}{2}}$$

gdzie:

- f - udział azotanów wymytych poniżej warstwy gleby o głębokości „ h ”;
- θ_{FC} - wilgotność gleby odpowiadająca połowej pojemności wodnej, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;
- P - skumulowana ilość przesączonej wody z profilu glebowego, cm ;
- h - efektywna głębokość strefy korzeniowej roślin, cm .

Do obliczeń przyjęto głębokość warstwy korzeniowej zbiorowisk porastających użytki zielone – h , wynoszącą 30 cm. W tej warstwie, występuje 90% masy korzeni roślinności łąkowej [Okruszko 1988], i z tej warstwy pobiera ona głównie składniki pokarmowe, w tym jony azotanowe.

Metoda oszacowania potencjalnego wymycia azotanów z gleb UZ w okresie zimowym cd.

Wilgotności gleb mineralnych odpowiadające połowej pojemności wodnej (przy sile ssącej 33 kPa) -

θ_{FC_min} w %, określono na podstawie funkcji pedotransferu* [Brand i in 2020 za: Tóth i in. 2015]:

$$\theta_{FC_min} = 24,49 - 18,87 \left(\frac{1}{1+C_{org}} \right) + 0,4527 (F_{ił}) + 0,1535 (F_{pył}) + 0,1442 (F_{pył}) \left(\frac{1}{1+C_{org}} \right) - 0,00511 (F_{pył})(F_{ił}) + 0,08676 (F_{ił}) \left(\frac{1}{1+C_{org}} \right)$$

gdzie:

- C_{org} – zawartość węgla organicznego w glebie, %;
- $F_{ił}$ - udział frakcji iłowej, tj., ziaren glebowych o średnicy $\leq 0,002$ mm, %
- $F_{pył}$ – udział frakcji pyłowej, tj., ziaren glebowych o średnicy $> 0,002$ i $\leq 0,05$ mm, %

Wilgotności gleb pochodzenia organicznego odpowiadające połowej pojemności wodnej (przy sile ssącej 33 kPa) - θ_{FC_org} w %, określono na podstawie równania regresji:

$$\theta_{FC_org} = -33,107y + 67,542 (R^2 = 0,8869; n = 60)$$

Zależność tą wyprowadzono w oparciu o zestaw wyników badań gęstości objętościowej i połowej pojemności wodnej gleb pochodzenia organicznego podanych przez Jurczuka i in [2004].

*Funkcje pedotransferu stanowią matematyczny związek między dwoma lub więcej parametrami gleby i są stosowane jako alternatywne narzędzie do określenia właściwości retencyjnych gleby

Metoda oszacowania potencjalnego wymycia azotanów z gleb UZ w okresie zimowym cd.

Skumulowaną ilość przesączonej wody z warstwy gleby – P, określono z równania:

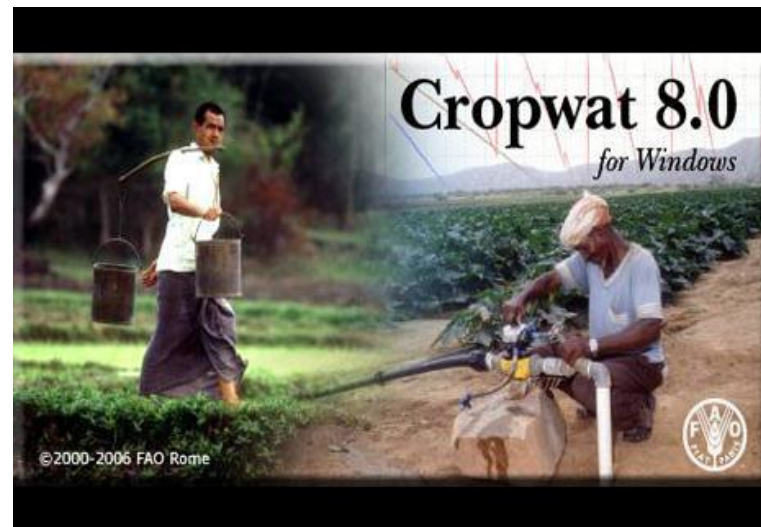
$$P = O - ET_o$$

gdzie:

- O – suma opadów atmosferycznych, cm;
- ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa, cm.

Wartość ewapotranspiracji potencjalnej obliczono metodą Penmana-Monteitha za pomocą programu komputerowego CROPWAT 8.0 [FAO]. Program ten został opracowany i jest rekomendowany do stosowania przez FAO (Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa). Do realizacji obliczeń program CROPWAT 8.0 wymaga takich danych, jak:

- temperatura minimalna, °C;
- temperatura maksymalna, °C;
- czas nasłonecznienia, h;
- prędkość wiatru, km·dzień⁻¹; ($1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 86,4 \text{ km} \cdot \text{dzień}^{-1}$);
- wilgotność względna, %;
- szerokość i długość geograficzna oraz wysokość n.p.m.



Źródło: Abdulahi 2018.

Metoda oszacowania potencjalnego wymycia azotanów z gleb UZ w okresie zimowym cd.

- ❖ Zbiory potrzebnych danych klimatycznych dla programu CROPWAT oraz sumy opadów atmosferycznych (O) wygenerowano w oparciu o wyniki pomiarów meteorologicznych zebranych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy w okresie od listopada do lutego w latach 2018-2021 z 49 stacji pomiarowych położonych na terenie całej Polski [IMGW-PIB]. Wyniki te w układzie wartości średniomiesięcznych poddano interpolacji przestrzennej za pomocą programu Surfer 14.0 w procesie griddingu w odniesieniu w 39 wybranych punktach kontroli gleb użytków zielonych w woj. lubelskim (o znanych współrzędnych geograficznych). Pozwoliło to pozyskać ściśle związane z tymi punktami zestawy danych elementów klimatu. Wysokość n.p.m w punktach monitoringu gleb użytków zielonych w woj. lubelskim określono za pomocą aplikacji Google Earth.
- ❖ W oparciu o skompletowane wyniki, obliczono z równania Burnsa udziały azotanów wymywanych w miesiącach zimowych (między listopadem a lutym następnego roku) w kolejnych rozpatrywanych okresach, a następnie miesięczne i zimowe wartości wymycia tego składnika, stosując następujące formuły:

$$W_{N-NO3_11} = Z_{N-NO3} \cdot f_{11}$$

$$W_{N-NO3_12} = (Z_{N-NO3} - W_{N-NO3_11}) \cdot f_{12}$$

$$W_{N-NO3_1} = (Z_{N-NO3} - W_{N-NO3_11} - W_{N-NO3_12}) \cdot f_1$$

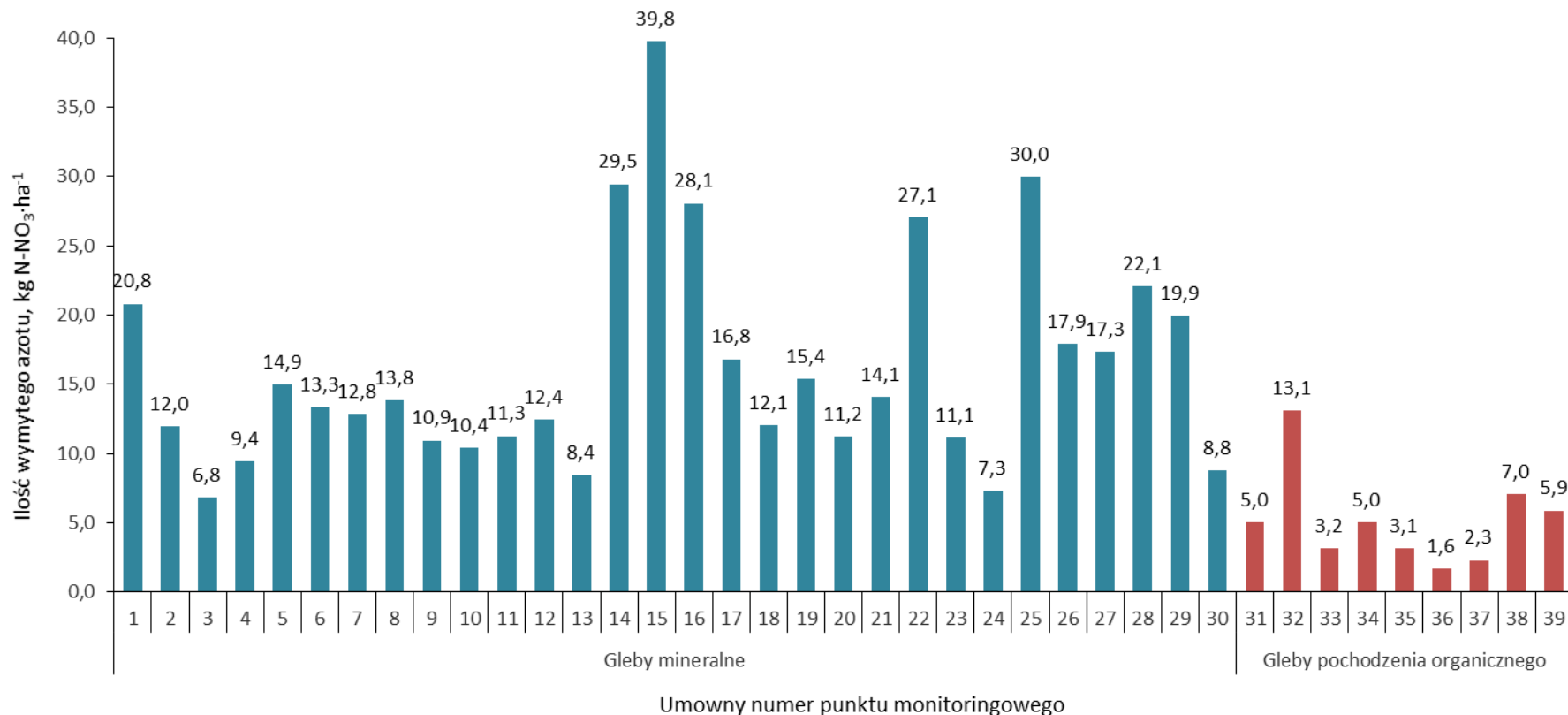
$$W_{N-NO3_2} = (Z_{N-NO3} - W_{N-NO3_11} - W_{N-NO3_12} - W_{N-NO3_1}) \cdot f_2$$

$$W_{N-NO3} = W_{N-NO3_11} + W_{N-NO3_12} + W_{N-NO3_1} + W_{N-NO3_2}$$

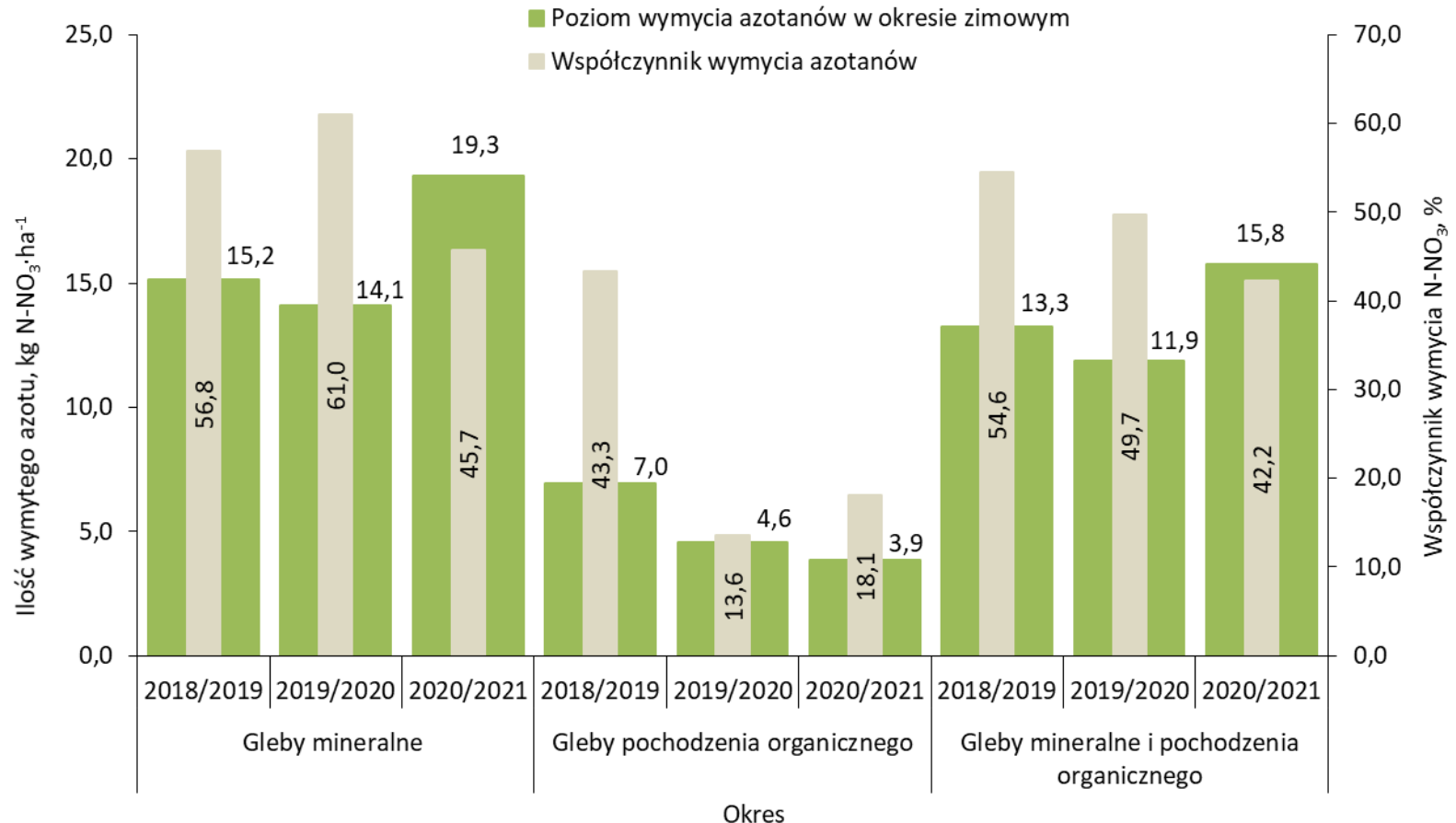
gdzie:

- W_{N-NO3_11} ; W_{N-NO3_12} ; W_{N-NO3_1} ; W_{N-NO3_2} - ilość azotu azotanowego przemieszczona z potencjalnej strefy ukorzenia roślinności łąkowej w miesiącach odpowiednio: listopad, grudzień, styczeń i luty, $\text{kg N-NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- f_{11} ; f_{12} ; f_1 ; f_2 - udział azotanów wymytych poniżej strefy ukorzenia roślinności łąkowej w miesiącach odpowiednio: listopad, grudzień i styczeń i luty.

Wyniki badań

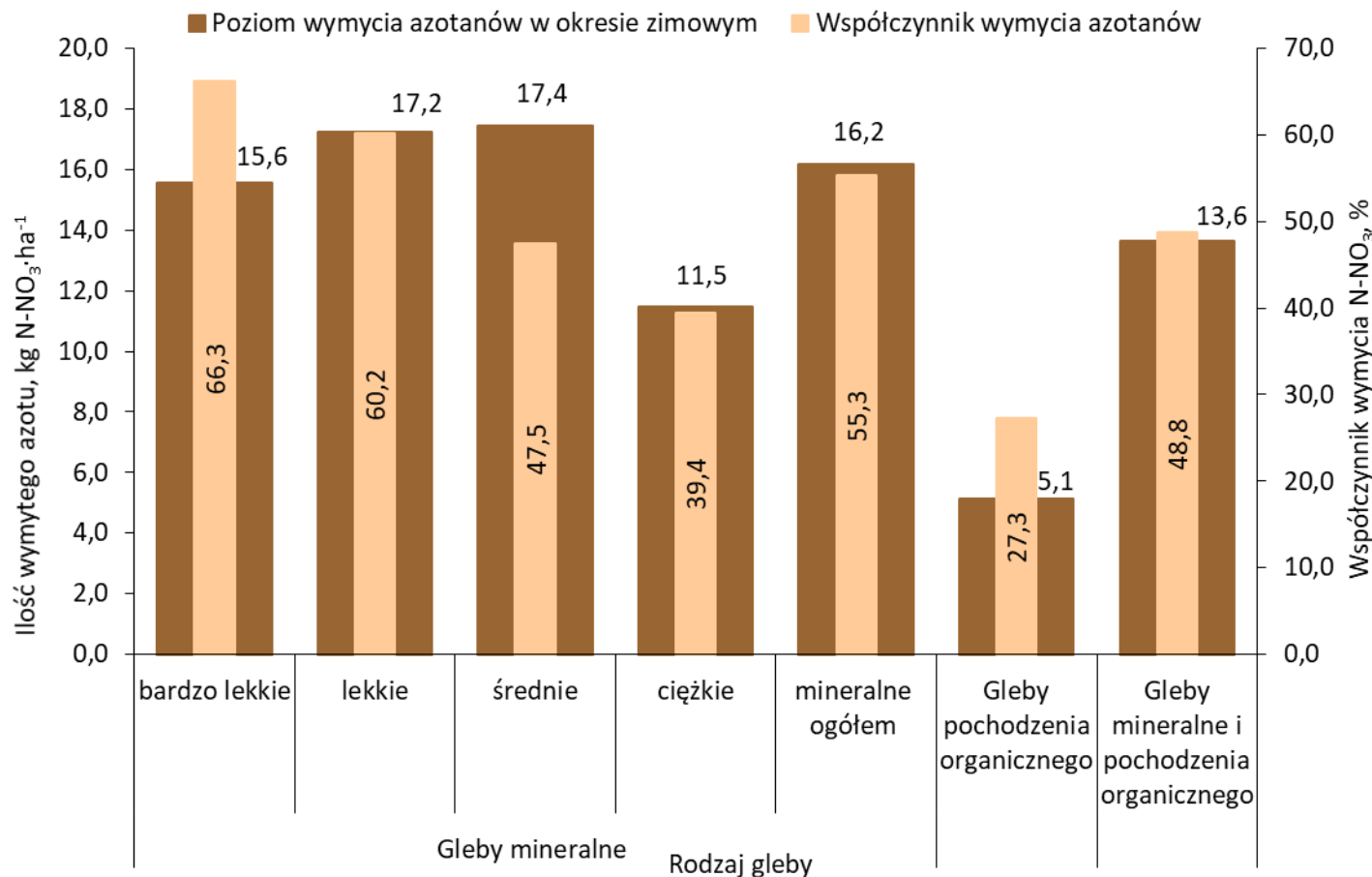


Przeciętne w poszczególnych punktach monitoringowych w trzech analizowanych okresach zimowych poziomy wymycia azotu azotanowego, w odniesieniu do warstwy 0-30 cm gleb UZ . Źródło: opracowanie własne.



Przeciętne w poszczególnych okresach zimowych wartości wymycia azotu azotanowego i jego procentowego udziału w zasobach azotu azotanowego określonych w okresie jesiennym, w odniesieniu do warstwy 0-30 cm gleb UZ. Źródło: opracowanie własne.

Objaśnienia: współczynnik wymycia N-NO₃ = $(W_{N-NO_3} / Z_{N-NO_3}) \cdot 100$



Przeciętne w trzech analizowanych okresach zimowych wartości wymycia azotu azotanowego i jego procentowego udziału w zasobach azotu azotanowego określonych w okresie jesiennym w odniesieniu do warstwy 0-30 cm gleb UZ. Objasnienia:
 współczynnik wymycia N-NO₃ = $(W_{N-NO_3} / Z_{N-NO_3}) \cdot 100$.
 Źródło: opracowanie własne.

Wymycie azotu azotanowego z warstwy 0-30 cm gleb UZ w woj. lubelskim

- powierzchnia UZ w 2019 r. – 225861 ha [GUS 2020];
- przeciętne wymycie N-NO₃ z gleb UZ – 13,6 kg N-NO₃·ha⁻¹;
- całkowite wymycie N-NO₃ z gleb UZ - 3080740,7 kg N-NO₃ = 3080,7 Mg (t) N-NO₃

Podsumowanie

- ❖ Optymalizacja nawożenia jest współcześnie jednym z kluczowych wyzwań w rolnictwie w świetle celów unijnej, regionalnej i krajowej polityki względem rolnictwa i obszarów wiejskich związanych z gospodarką składnikami nawozowymi i ochroną środowiska, takich jak:
 - zmniejszenie zanieczyszczenia wody spowodowanego lub wywołanego przez azotany pochodzące ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu ich zanieczyszczeniu (**Dyrektywa azotanowa**);
 - doprowadzenie do stanu, że Morze Bałtyckie będzie nietknięte eutrofizacją - mieści w tym cel szczegółowy: zawartość substancji biogenych bliska poziomowi naturalnemu (**Konwencja Helsińska**);
 - ograniczenie straty składników pokarmowych o co najmniej 50 % i osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego i chemicznego wód powierzchniowych oraz dobrego stanu chemicznego i stanu ilościowego wód gruntowych do 2027 r. (**Strategia glebowa, COM(2021) 699**);
 - zmniejszenie strat składników pokarmowych o 50%, przy jednoczesnym zapewnieniu, by nie doszło do pogorszenia żyzności gleby, a także ograniczenie stosowania nawozów o co najmniej 20% do 2030 r. (**Strategia „Od pola do stołu”, COM(2020) 381**);
 - ograniczenie utraty składników odżywczych z nawozów o co najmniej 50 proc. oraz ograniczenie stosowania nawozów o co najmniej 20% do 2030 r. (**Strategia na rzecz bioróżnorodności, COM(2020) 380**).
- ❖ Badanie gleb na potrzeby doradztwa nawozowego wykonane w okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych stanowią niezbędny element prowadzenia efektywnej agronomicznie i środowiskowo gospodarki nawozowej.
- ❖ Metody badań agronomicznych gleb winny być weryfikowane wraz z rozwojem wiedzy z nimi związanej.
- ❖ W zakresie dotyczącym diagnostyki gleb użytków zielonych i wykorzystania jej wyników celowe jest - jak się wydaje, rozważenie możliwości wykorzystania przedstawionych w prezentacji rozwiązań.



**INSTYTUT
TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

Dziękuję za uwagę!

1. Abdulahi M. 2018. Training manual on application of CROPWAT 8 software in irrigation. [Dostęp: 18.04.2024]. Dostępny w internecie: <https://www.scribd.com/document/368272709/Manual-Cropwat-8>
2. Bieniek A., Łachacz A., 2012. Ewolucja gleb murszowych w krajobrazie sandrowym. W: A. Łachacz (red.) Współczesne Problemy Kształtowania i Ochrony Środowiska, Monografie nr 3p, „Wybrane problemy ochrony mokradeł s. 111-131.
3. Blombäck K., Bolster C.H., Lindsjö A., Hesse K., Linefroh H., Parvage M.M. 2021. Comparing measures for determination of phosphorus saturation as a method to estimate dissolved P in soil solution. *Geoderma*, Vol. 383, Article ID 114708, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114708>.
4. Bogacz A., Przybylska M. 2010. Właściwości fizykochemiczne wybranych gleb torfowych na polach irygacyjnych Wrocławia. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie T. 10, z. 3, s. 33-40*
5. Bogacz A., Romanowska B. & Rybkowski P. 2004: Właściwości gleb organicznych Karkonoskiego Parku Narodowego. In: Śtursa J., Mazurski K. R., Palucki A. & Potocka J. (eds.), *Geoekologiczne problemy Krkonoś. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. Opera Corcontica*, 41: 38–47. http://opera.krnapp.cz/_pdf/41/oc41-5.pdf
6. Brand A., Lilly A., Smith J. 2020. A simple approach to modelling the soil water budget in cool temperate mineral topsoils. *Environmental Modelling & Software*, Volume 127, 104700. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104700
7. Buczko U., Kuchenbuch R.O. 2010. Environmental indicators to assess the risk of diffuse nitrogen losses from agriculture. *Environmental Management* 45(5):1201-22. DOI: 10.1007/s00267-010-9448-8.
8. Burns I.G. 1976. Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile. *Journal of Agricultural Science* 86(2): 305–313. DOI: 10.1017/s0021859600054769.
9. Burns I.G. 1980. A simple model for predicting the effects of winter leaching of residual nitrate on the nitrogen fertilizer need of spring crops. *Journal of Soil Science*, vol.68, issue.2, pp. 31-187. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1980.tb02075.x
10. Cade-Menun B.J., Elkin K.R., Liu C.W., Bryant R.B., Kleinman P. J. A, Moore P.A. 2018. Characterizing the phosphorus forms extracted from soil by the Mehlich III soil test. *Geochem Trans* 19, 7 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12932-018-0052-9>
11. Cameron K.C., Wild A. 1982. Prediction of solute leaching under field conditions: an appraisal of three methods. *J. Soil Sci.* 33:659–669. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01797.x>
12. Campbell J.R. 2003. Limitations in the laser particle sizing of soils. In: *Advances in Regolith*. Ed. I.C. Roach. CRC LEME, Canberra, Australia p. 38–42. [Dostęp 5.09.2022]. Dostępny w internecie: <http://crcleme.org.au/Pubs/Advancesinregolith/Campbell.pdf>
13. Castillo M.S., Wright A.L. 2008. Soil phosphorus pools for Histosols under sugarcane and pasture in the Everglades, USA. *Geoderma* 145 (2008) 130–135. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.03.006.
14. Chelli S., Henine H., Chaumont C., Tournèbe J. 2022. NIT-DRAIN model to simulate nitrate concentrations and leaching in a tile-drained agricultural field. *Agricultural Water Management* Volume 271, , 107798. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107798>
15. Cichota R., Kelliher F.M., Thomas S.M., Clemens G., Fraser P.M., Carrick S. 2016. Effects of irrigation intensity on preferential solute transport in a stony soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 59, Iss. 2, p. 141-155, DOI: 10.1080/00288233.2016.1155631
16. De Neve S., Hofman G. 1998. N mineralization and nitrate leaching from vegetable crop residues under field conditions: a model evaluation. *Soil Biology and Biochemistry*. V. 30, Iss.14, ss. 2067-2075. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00082-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00082-0)
17. Drury C.F., Yang J.Y., De Jong R., Yang X.M., Huffman E.C., Kirkwood V., Reid K. 2007. Residual soil nitrogen indicator for agricultural land in Canada. *Can. J. Soil Sci.* 87: 167–177.
18. El-Sadek A. 2014. Stochastic approach to assess a nitrate process-factor in soil water. *Ain Shams Engineering Journal*. Volume 5, Issue 2, p. 315-320, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.10.006>
19. FAI 2019. The Efficient Use of Phosphorus in Agricultural Soils. The Fertilizer Association of Ireland in association with Teagasc. Technical Bulletin Series – No. 4 February 2019 p. 48. [Dostęp 17.10.2023]. Dostępny w Internecie: <https://www.fertilizer-assoc.ie/wp-content/uploads/2019/02/The-Efficient-Use-of-Phosphorus-In-Agricultural-Soils-Tech-Bulletin-No.-4.pdf>
20. FAO. CropWat. [Dostęp: 24.08.2022]. Dostępny w internecie: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
21. Fotyra M., Kęsik K., Pietruch C. 2010. Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych [Mineral nitrogen in soils as an indicator of the fertilization needs of plants and the cleanliness of soil and groundwater]. *Nawozy i Nawożenie (Fertilizers and Fertilization)*. Vol. 38 p. 5–80.
22. Gajewski P. 2012. Właściwości fizyczne i wodne gleb sąsiadujących z odkrywką węgla brunatnego „Władysławów”. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 4, #71.
23. González Jiménez J.L., Healy M.G., Roberts W.M., Daly K. 2018. Contrasting yield responses to phosphorus applications on mineral and organic soils from extensively managed grasslands: Implications for P management in high ecological status catchments. *Journal of plant nutrition and soil science*. Vol.181 (6), p. 861-869.
24. Gorączko A., Topoliński S. 2018. Wpływ kształtu cząstek ilastych na wyniki analiz granulometrycznych gruntów spoistych [Influence of shape anisotropy on the results of grain size analysis of the clayey soils]. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, Vol. 27, Iss. 2 p. 142–151. doi: 10.22630/PNIKS.2018.27.2.14.
25. Gotkiewicz J. 1996. Uwalnianie i przemiany azotu mineralnego w glebach hydrogenicznych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 440, s. 121-129; ISSN czasopisma: 0084-5477.
26. Gotkiewicz J., Pawluczuk J., Piwowska M., 2006. Zawartość składników mineralnych w glebach gytiowo-murszowych obiektu Gązawa. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t. 6 z. 2 (18) s. 65–75*.
27. Grzelak M., Bocian T., Gajewski P., Kaczmarek Z., 2011. Zbiorniska leśne terenów podmokłych doliny Noteci na odcinku Radolin – Radoliniek. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 11, 1(33), 75-86
28. Grzelak M., Kaczmarek Z., Gajewski P., 2012. Zróżnicowanie glebowe i florystyczne ekologicznych zbiornisk łąkowych na glebach organicznych. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57, 3, 142-146.
29. Haberle J., Kusa H., Svoboda P., Klir J. 2009. The changes of soil mineral nitrogen observed on farms between autumn and spring and modelled with a simple leaching equation. *Soil and Water Research* No. 4 s. 159–167. DOI: 10.17221/7/2009-SWR
30. Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Kurešová G., Henzlóvá B., Klír J. 2018. Distribution of Mineral Nitrogen in Soil in Relation to Risk of Nitrate Leaching in Farms with Irrigated Vegetables and Early Potatoes. *Journal of Horticultural Research*, vol.26, no.2, pp.47-54. <https://doi.org/10.2478/johr-2018-0015>
31. Igaz D., Aydin E., Šinkovičová M., Šimanský V., Tall A., Horák J. 2020. Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in Central Europe. *Water*, Vol. 12, Iss. 5, article number 1232. <https://doi.org/10.3390/w12051232>
32. IMGW-PIB. Dane publiczne IMGW-PIB. [Dostęp: 16.03.2023]. Dostępny w internecie: <https://danepubliczne.imgw.pl/>
33. Jadczyzyn T. 2021. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. *Studia Raporty IUNG-PIB. Zeszyt 65(19): 99-109*.
34. Jurczuk S., 2005. Rola nawodnień podsiągowych w zwiększaniu retencji wodnej małych dolin rzecznych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. Zeszyt 1(31) Rocznik XIV s. 140-148*.
35. Jurczuk S., Lipiński J., Bem-Bajena B., Łempicka A., Pawlik-Dobrowolski J. 2004. Nawadnianie podsiągowe jako podstawa zwiększenia retencji wodnej małych dolin rzecznych. *Wydawnictwo IMUZ - Falenty* ss. 64. ISBN 83-88763-47-4.
36. Kaczmarek Z., Grzelak M., Gajewski P., 2010. Warunki siedliskowe oraz różnorodność florystyczna ekologicznych siedlisk przyrodniczych w Dolinie Noteci. *Journal of research and applications in agricultural engineering*, 55, 3, 142-147
37. Kelliher F.M., van Koten C., Kear M.J., Sprosen M.S., Ledgard S.F., de Klein C.A.M., Luo J., Rys G. 2014. Effect of temperature on dicyandiamide (DCD) longevity in pastoral soils under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 186186 p. 201-204. [Dostęp: 24.08.2022]. Dostępny w internecie: <https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/28290-effect-of-temperature-on-dicyandiamide-dcd-longevity-in-pastoral-soils-under-field-conditions>
38. Khan S.A., Mulvaney R.L., Hoefl R.G., 2001. A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal* V.65(6): 1751-1760. DOI: 10.2136/sssaj2001.1751
39. Khanif Y.M., Van Cleemput O., Baert L. 1984. Evaluation of the Burns model for nitrate movement in wet sandy soils. *J. Soil Sci.* 35 : 511-518 .
40. Kirylyuk A. 2008. Wpływ 20-letniego użytkowania łąk pobagiennych na zmiany niektórych właściwości fizyko-wodnych gleb oraz kształtowanie się zbiorowisk roślinnych. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 8 z. 1(22) s. 151–160*.
41. Kun Á., Katona O., Sipos G., Barta K. 2013. Comparison of pipette and laser diffraction methods in determining the granulometric content of fluvial sediment samples. *Journal of Environmental Geography*, Vol. 6, Iss. 3-4 p. 49–54. DOI: 10.2478/jengeo-2013-000

42. Lachacz A., Szymkiewicz-Dąbrowska D. 2003. Fosfor przyswajalny w piaszczystych glebach pobagiennych Równiny Mazurskiej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z. 494: 263-271.
43. Lopez A., Gustavsson H., Korkiala-Tanttu L. 2021. Comparison between hydrometer and laser diffraction methods in the determination of clay content in fine-grained soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 710, Iss. 1, Article number: 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/710/1/012012>
44. Lord I., Anthony S.G. 2002. Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK. *Soil Use and Management*. 18(4):363-369.
45. Magesan G.N., Scotter D.R., White R.E., 1999. The utility of Burn's equation to describe solute movement through soil under various boundary and initial conditions. *European Journal of Soil Science* 50, 649-656.
46. Matus F. J., Rodríguez J. 1994. A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input. *PlantandSoil* 162: 259-271, 1994.
47. McDonald, N.T., Watson, C.J., Lalor, S.T., Laughlin, R.J., Wall, D.P., 2014. Evaluation of soil tests for predicting nitrogen mineralization in temperate grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 78(3), 1051-1064 DOI: 10.2136/sssaj2013.09.0411
48. Moreels E., De Neve S., Hofman G., Van Meirvenne M. 2003. Simulating nitrate leaching in bare fallow soils: a model comparison. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67: 137-144.
49. Nawara S., Van Dael T., Merckx R., Amery F., Elsen A., Odeurs W., Vandendriessche H., McGrath S.P., Roinin C., Jouany C., Pellerin S., Denoroy P., Eichler-Lobermann B., Borjesson G., Goos P., Akkermans W., Smolders E. 2017. A comparison of soil tests for available phosphorus in long-term field experiments in Europe. *European Journal of Soil Science*. 68 (6), pp. 873-885. <https://doi.org/10.1111/ejss.12486>
50. O'Connor M.B., Longhurst R.D., Johnston T.J.M., Portegys F.N. 2001. Fertiliser requirements for peat soils in the Waikato region. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 63: 47-51.
51. Okruszko H. 1988. Zasady podziału gleb hydrogenicznych na rodzaje oraz łączenia rodzajów w kompleksy. *Roczniki Gleboznawcze*. T. 39 Nr 1 s. 127-152.
52. Owczarzak W., Mocek A., Gajewski P. 2003. Właściwości wodne gleb organicznych Doliny Grójeckiej w sąsiedztwie projektowanej odkrywki węgla brunatnego „Drzewce”. *Acta Agrophys*, 1(4): 711-720
53. Pawluczuk J., Stępień A. 2023. Dynamics of Organic Nitrogen Compound Mineralization in Organic Soils under Grassland, and the Mineral N Concentration in Groundwater (A Case Study of the Mazurian Lake District, Poland). *Sustainability*, 5(3):2639. <https://doi.org/10.3390/su1503263>
54. Pawluczuk J. 2001. Mineralizacja związków azotu w glebach torfowych na tle zróżnicowanych warunków siedliskowych obszarów młodogłajalnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z. 476: 243-250
55. Pawluczuk J. 2004. Mineralizacja azotu w glebach torfowo-murszowych strefy morenowej Pojezierza Mazurskiego. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia* Vol. LIX, Nr 2 Sectio E 2004 <http://wydawnictwo.up.lublin.pl/annales/Agricultura/2004/068.pdf>
56. Pawluczuk J. 2008. Mineralizacja organicznych związków azotu w glebach murszowych łąk Dymerskich na Pojezierzu Mrągowskim. *Roczniki Gleboznawcze* 59(1) s. 183-191.
57. Pawluczuk J., Alberski J., Stępień A., 2009. Fizyczne i chemiczne właściwości gleb gytowych a roślinność łąk ekstensywnych i nieużytkowanych. *Fragm. Agron.* 26(1), 76-83.
58. Pawluczuk J., Szymczyk S. 2008. Dynamika mineralizacji organicznych związków azotu w glebach murszowych a zawartość azotu azotanowego i amonowego w wodach gruntowych na obiekcie łąki Dymerskie. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* t. 8 z. 2b (24) s. 105-115.
59. Pervanchon F., Bockstaller C., Amiaud B., Peigné J., Bernard P.Y., Vertès F., Fiorelli J.L., Plantureux S. 2005. A novel indicator of environmental risk due to nitrogen management on grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 105. Iss. 1-2 s. 1-16.
60. Pietrzak S. 2015. Kształtowanie się stanu ilościowego azotu mineralnego w glebach organicznych pod użytkami zielonymi w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 15, z. 2 s. 87-96.
61. Pietrzak S., Hołaj-Krzak J. 2022. The content and stock of organic carbon in the soils of grasslands in Poland and the possibility of increasing its sequestration. *Journal of Water and Land Development* No. 54 (VII-IX) p. 68-76. DOI: 10.24425/jwld.2022.141556.
62. Pietrzak S., Urbaniak M. 2023. Ocena stanu zawartości azotu mineralnego w glebach użytków zielonych w Polsce w 2022 r. w odniesieniu do wieloletnia 2008-2021, na podstawie wyników badań prowadzonych przez stacje chemiczno-rolnicze. Opracowanie przygotowane na zlecenie MRIRW w ramach umowy na realizację w 2023 r. dotacji celowej dla Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego – PIB. Falenty: ITP-PIB. ss. 39 /maszynopis/.
63. Pietrzak S., Urbaniak M. 2024. Quantification of nitrates leaching from grassland soils in winter using the Burns model. *Journal of Water and Land Development*, 60, pp. 39-49. Available at: <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.148458>.
64. Płoskonka D. 2010. Różnice w wynikach analiz uziarnienia przeprowadzonych różnymi metodami [Differences in results of grain-size analysis made by various methods]. *Landform Analysis*, Vol. 12 p. 79-85
65. Qiu W.W., Hu W., Curtin D., Motoi L. 2021. Soil particle size range correction for improved calibration relationship between the laser-diffraction method and sieve-pipette method. *Pedosphere*, Vol. 31, Iss. 1, p. 134-144. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60055-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60055-8)
66. Riddle M, Bergström L, Schmieder F, Kirchmann H, Condron L, Aronsson H (2018) Phosphorus leaching from an organic and a mineral arable soil in a rainfall simulation study. *J Environ Qual* 47:487-495. <https://doi.org/10.2134/eq2018.01.0037>
67. Roj-Rojewski S., Korol A., Zienkiewicz A., 2012. Wpływ warunków wodnych na właściwości fizyczne i pokrywą roślinną gleb murszowych położonych na odwodnionych siedliskach mulowych. *Inżynieria Ekologiczna* Nr 29, 2012 s. 141-152. <http://www.ineko.net.pl/pdf/29/14.pdf>
68. Ryżak M., Walczak R.T., Niewczas J. 2004. Porównanie rozkładu granulometrycznego cząstek glebowych metodą dyfrakcji laserowej i metodą sedymentacyjną. *Acta Agrophysica*, 4(2), 509-518
69. Ryżak M., Bieganowski A. 2010. Determination of particle size distribution of soil using laser diffraction - comparison with areometric method. *International Agrophysics*, Vol. 24, Iss. 2 p. 177-181
70. Salazar O., Vargas J., Nájera F., Seguel O., Casanova M. 2014. Monitoring of nitrate leaching during flush flooding events in a coarse-textured floodplain soil. *Agricultural Water Management* 146, 218-227
71. Sims A.L., Kaiser D., Rosen C.J., Strock J.S., Vetsch J. A. 2018. Minnesota Long-Term Phosphorus Trial: Phase II, Testing Yield Response and Potential. Report ss. 31. [Dostęp 13.10.2023]. Dostępny w Internecie: <https://mnsoilfertility.com/research/minnesota-long-term-phosphorus-trial-phase-ii-testing-yield-response-and-potential/>
72. Šinkovičová M., Igaz D., Kondrlová E., Jarošová M. 2017. Soil particle size analysis by laser diffractometry: result comparison with pipette method. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, Vol. 245, Iss. 7, Article number: 072025. DOI: 10.1088/1757-899X/245/7/072025
73. Smólczyński S. 2016. Mineralizacja związków azotu w glebach torfowo-murszowych w różnych krajobrazach Polski północno-wschodniej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. z. 513: 413-421
74. Spargo J.T., Alley M.M., Thomason W.E. Nagle S.M. 2009. Illinois Soil Nitrogen Test for Prediction of Fertilizer Nitrogen Needs of Corn in Virginia. *Soil Science Society of America Journal*. V. 73, Nr 2: 434-442. DOI: 10.2136/sssaj2007.0437
75. Stępień A., Pawluczuk J., 2011. Wpływ różnych warunków siedliskowych na zawartość makro- i mikroelementów w roślinności łąkowej gleb organicznych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* t. 11 z. 4 (36) s. 197-208
76. Strączyński S., Wróbel S. 2000. Zawartość mikroelementów w glebach o zróżnicowanych kategoriach agronomicznych [Micronutrient concentration in soils of diverse agronomic categories]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, Vol. 471, Iss. 1 p. 549-554.
77. Stupnicki R. 2015. Podstawy biostatystyki. Warszawa: Wydawnictwo AWF. pp. 99. [Dostęp 5.09.2022]. Dostępny w internecie: <https://www.wskfit.pl/PDF/artykuly/Biostat.pdf>
78. Taubner H., Roth B., Tippkötter R. 2009. Determination of soil texture: comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 172 p. 161-171. DOI: 10.1002/JPLN.200800085
79. Veger I., Thomsen I.K., Jensen J.L., Hansen E.M. 2022. Marginal nitrate leaching around the recommended nitrogen fertilizer rate in winter cereals. *Soil Use and Management*, Bind 38, Nr. 1, p. 503-514. <https://doi.org/10.1111/sum.12673>
80. Wogel H., Hunkeler D., Bischoff W.A., Bünemann E.K. 2021. Field-scale monitoring of nitrate leaching in agriculture: assessment of three methods. *Environ Monit Assess*. 6;194(1):4. doi: 10.1007/s10661-021-09605-x. PMID: 34870763; PMCID: PMC8648662.
81. Widowati L.R., De Neve S. 2016. Nitrogen Dynamics and Nitrate Leaching in Intensive Vegetable Rotations in Highlands of Central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, vol. 21, no. 2, pp. 67-78.
82. Yang Y., Wang L., Wendroth O., Liu B., Cheng C., Huang T., Shi Y. 2019. Is the laser diffraction method reliable for soil particle size distribution analysis? *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 83, Iss. 2 p. 276-287. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.07.0252>