

MARIUSZ FOTYMA

*Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach*

## OKREŚLENIE POTRZEB NAWOZOWYCH ROŚLIN W OPARCIU O TESTY CHEMICZNE

Wokół zagadnień określania potrzeb pokarmowych i potrzeb nawozowych roślin narosło szereg nieporozumień o charakterze częściowo merytorycznym, częściowo zaś wynikającym z używania niewłaściwej terminologii. Nieporozumienia te warto sprostować, tak aby specjaliści z zakresu nawożenia posługiwali się wspólnym językiem.

### *Potrzeby pokarmowe roślin*

Potrzeby pokarmowe roślin odpowiadają ilości składników mineralnych, jaką roślina musi pobrać dla wydania określonego plonu [3]. Ilość składników zawartą w plonie głównym i ubocznym rośliny określa się jako pobranie końcowe (Nahrstoffentzug), należy natomiast unikać zakorzenionego ale niewłaściwego terminu wynos. W tabeli 1 zestawiono przeciętne wartości pobrania podstawowych składników mineralnych przez wybrane rośliny uprawy polowej. Liczby zawarte w tabeli pochodzą z licznych doświadczeń polowych prowadzonych w Polsce, głównie przez IUNG, oraz obejmują badania prowadzone przez Stacje Chemiczno Rolnicze na polach produkcyjnych.

Największą ilość składników mineralnych znajdującą w roślinie w przeciągu całego okresu wegetacyjnego określa się jako pobranie maksymalne (Nahrstoffbedarf). Pobranie maksymalne jest z reguły wyższe od pobrania końcowego, gdyż część nagromadzonych przez roślinę składników powraca do gleby w formie opadłych liści i wydzielin korzeniowych. Według Aufhammera [1] w plonie końcowym zbóż ozimych znajdowano ok. 70% potasu i ok. 90% azotu w stosunku do maksymalnego nagromadzenia tych składników, które przypadało na okres mleczej dojrzałości ziarna. Dla określenia pobrania końcowego wystarczy znajomość plonu roślin, oraz procentowej zawartości składników w plonie głównym i ubocznym. Pobranie maksymalne można wyznaczyć jedynie w układzie dynamicznym określając masę roślinną i procentową zawartość składników mineralnych w przeciągu całego okresu wegetacji.

### *Potrzeby nawozowe*

Potrzeby nawozowe roślin odpowiadają ilości składników w formie nawozów jaką należy zastosować dla uzyskania założonego (najczęściej maksymalnego) plonu. W większości przypadków potrzeby nawozowe są wyższe od potrzeb pokarmowych, gdyż część zastosowanych nawozów ulega różnego rodzaju stratom. Potrzeby nawozowe roślin można wyznaczyć jedynie w oparciu o wyniki ścisłych doświadczeń polowych, lub też doświadczeń wegetacyjnych. Wyniki poprawnie zaplanowanego doświadczenia dają się przedstawić za pomocą funkcji produkcji [15, 17, 21]. Z funkcji produkcji można wyznaczyć poziomy nawożenia zapewniające uzyskanie maksymalnego plonu, maksymalnego zysku lub też maksymalnej opłacalności nakładu. Doświadczenie polowe daje informacje odnośnie potrzeb nawozowych określonej rośliny i tylko dla warunków w jakich było ono przeprowadzone. Dla uogólnienia wyników doświadczeń na podobne warunki, poza obszar samego doświadczenia, wykorzystuje się testy chemiczne (glebowe lub roślinne). W tym tylko rozumieniu można mówić o określaniu potrzeb nawozowych roślin w oparciu o testy chemiczne.

#### *Określanie potrzeb nawozowych w oparciu o testy glebowe*

Test glebowy sprowadza się do oznaczenia tzw. potencjalnie przyswajalnych form danego składnika. Dotychczasowa terminologia ogranicza się do użycia słowa przyswajalne, ale jak wynika z dalszego wywodu określenie takie może prowadzić do nieporozumień wobec stosowania go również przez specjalistów z zakresu fizjologii mineralnego odżywiania roślin. W zaraniu chemii rolnej poszukiwano ekstrahenta, który naśladowałby działanie wydzielin korzeniowych roślin [4]. Ilość składnika znajdowaną w wyciągu przeliczano na kg/ha i próbowano bezpośrednio porównywać z potrzebami pokarmowymi roślin. Ewentualne różnice pomiędzy tymi wartościami miały być uzupełniane na drodze nawożenia. Koncepcja ta nie znalazła potwierdzenia teoretycznego i eksperymentalnego i została obecnie całkowicie zarzucona.

W późniejszym okresie, w oparciu o doświadczenia wegetacyjne określano ilość składników w glebie o takiej samej dostępności dla roślin, jak składniki stosowane w formie nawozów. Do najszerzej znanych i stosowanych do chwili obecnej testów glebowych, opartych o tę koncepcję należą testy wegetacyjne Mitscherlicha [4], Neubauera [12] i Frieda-Deana [11]. Testy wegetacyjne były pracochłonne, a przenoszenie ich wyników na warunki polowe często nie dawało zadowalających wyników. Tym niemniej generalna słuszność koncepcji nie została podważona, a sa-

me testy są nadal wykorzystywane do oceny i kalibracji testów chemicznych.

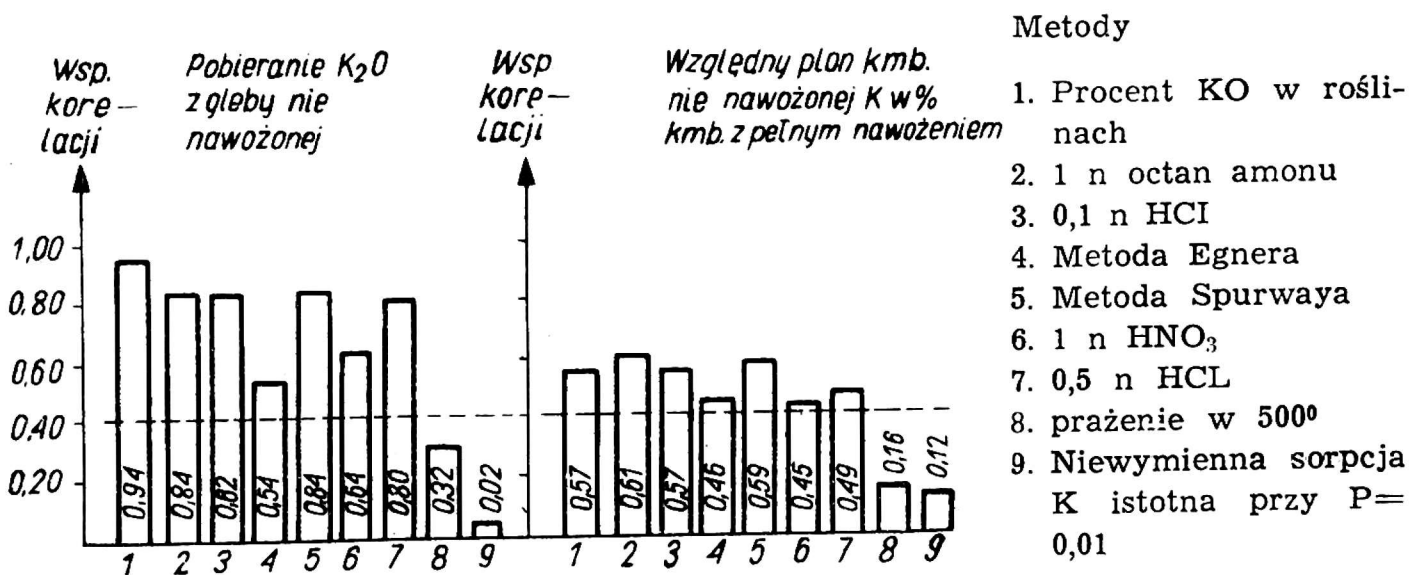
Obecnie za przyswajalną uważa się taką formę składnika, która może być wyekstrahowana z gleby metodą użytą w teście i której ilość koreluje z plonem roślin (pobranie składnika), lub też zwyżką plonu (zwyżką pobrania) pod wpływem nawożenia. Tak rozumiany test nie tylko utracił znaczenie bezpośrednie, ale również nie próbuje się interpretować jego wyników w odniesieniu do przyswajalności tego samego składnika wprowadzonego do gleby w formie nawozów.

Opracowanie systemu określania potrzeb nawozowych roślin w oparciu o stosowane obecnie testy chemiczne składa się z następujących etapów:

- dokonanie wyboru testu
- kalibracja testu (wyznaczenie liczb granicznych)
- określenie optymalnych dawek nawozów dla przedziałów wartości testu.

#### Kryteria wyboru testu

Dla każdego z podstawowych składników pokarmowych znamy obecnie po kilkanaście, a nawet po kilkadziesiąt różnych testów opartych o metody ekstrakcji chemicznej, fizykochemicznej i fizycznej [20]. Wybór „najlepszego” testu jest dokonywany w oparciu o wyniki doświadczeń vegetacyjnych i rachunek korelacji. W tym celu zakłada się doświadczenia wazonowe na licznych glebach wykazujących duże zróżnicowanie zawartości składnika potencjalnie przyswajalnego. Zawartości tego składnika (oznaczone za pomocą porównywania testów) są korelowane z plonem roślin, pobraniem końcowym danego składnika lub też ze zwyżką plonu (zwyżką pobrania) pod wpływem nawożenia, wyrażoną



Rys. 1. Współczynniki korelacji dla różnych testów — jęczmień [wg 18]

w liczbach bezwzględnych lub też wartościach względnych (procentowych). Na rys. 1 przedstawiono współczynniki korelacji dla 8 testów glebowych i testu roślinnego, zaopatrzenia roślin w potas, wyznaczone przez Mercika [18] w doświadczeniach wazonowych z jęczmieniem. Pobranie potasu przez jęczmień okazało się lepszym wskaźnikiem roślinnym od względnego plonu jęczmienia, co wydaje się prawidłowością ogólną [14]. Z porównywanych testów glebowych najwyższe współczynniki korelacji z pobraniem składnika przez jęczmień dawał test potasu wymiennego (w octanie amonowym), oraz test Spurwaya.

### Kalibracja testu

Kalibracja testu polega na wyznaczeniu przedziałów jego wartości, wraz z odpowiednimi indeksami lub też liczbami granicznymi. Kalibrację

Tabela 1

*Pobranie końcowe składników mineralnych przez wybrane rośliny [10]*

Roślina	Produkt główny	Pobranie składnika na 1 q produktu głównego* w kg/ha				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
żyto	ziarno	2,1	1,1	2,7	0,6	0,5
pszenica	„	2,5	1,1	2,4	0,6	0,5
jęczmień j.	„	2,2	1,0	2,4	0,9	0,5
owies	„	2,4	1,2	3,6	1,1	0,7
kukurydza	„	2,9	1,3	3,3	0,8	0,9
żyto	zielona masa	0,44	0,13	0,60	0,12	0,04
kukurydza	„	0,31	0,10	0,49	0,12	0,04
owies	„	0,34	0,11	0,69	0,07	0,02
trawy	„	0,38	0,17	0,67	0,14	0,07
mieszanki traw						
z lucerną	„	0,59	0,18	0,58	0,24	0,06
lucerna	„	0,78	0,20	0,60	0,52	0,07
koniczyna	„	0,80	0,15	0,60	0,50	0,07
kapusta pastewna	„	0,32	0,11	0,37	0,30	0,05
buraki pastewne	„	0,29	0,10	0,49	0,07	0,06
rzepak	ziarno	5,4	2,1	5,2	6,3	0,9
len włóknisty	słoma	0,95	0,45	1,45	0,93	0,40
buraki	korzenie	0,58	0,24	0,62	0,31	0,23
ziemniaki	bulwy	0,36	0,15	0,74	0,11	0,06
łubin	ziarno	8,0	1,9	4,6	3,1	0,9
groch	„	5,7	1,4	4,0	4,2	0,6
bobik	„	6,1	1,8	4,5	2,6	0,5

\*) wraz z odpowiednią ilością produktu ubocznego



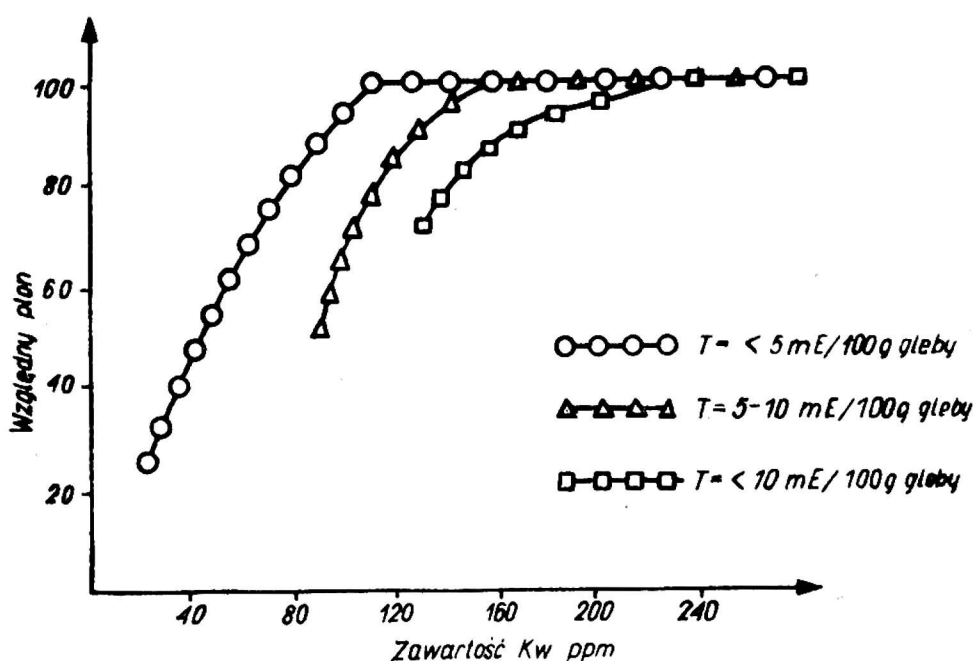
testu można wykonać tylko w oparciu o wyniki ścisłych doświadczeń polowych, w których uwzględnia się przynajmniej dwie kombinacje, tzn. kombinację bez nawożenia i kombinację z zastosowaniem interesującego nas składnika nawozowego.

Dysponując wynikami wystarczająco licznych doświadczeń określa się zależności funkcyjne pomiędzy wartością testu, a wskaźnikami roślinnymi. Do stosowanych najczęściej wskaźników roślinnych należy plon względny tzn. plon kombinacji bez nawożenia wyrażony w procentach plonu kombinacji, w której zastosowano dawkę badanego składnika. Funkcje opisujące tę zależność mają różną postać, ale zastanawiająco często „najlepszą” okazuje się potęgowa funkcja Mitscherlicha:

$$\log(100-y) = \log 100 - c \cdot b$$

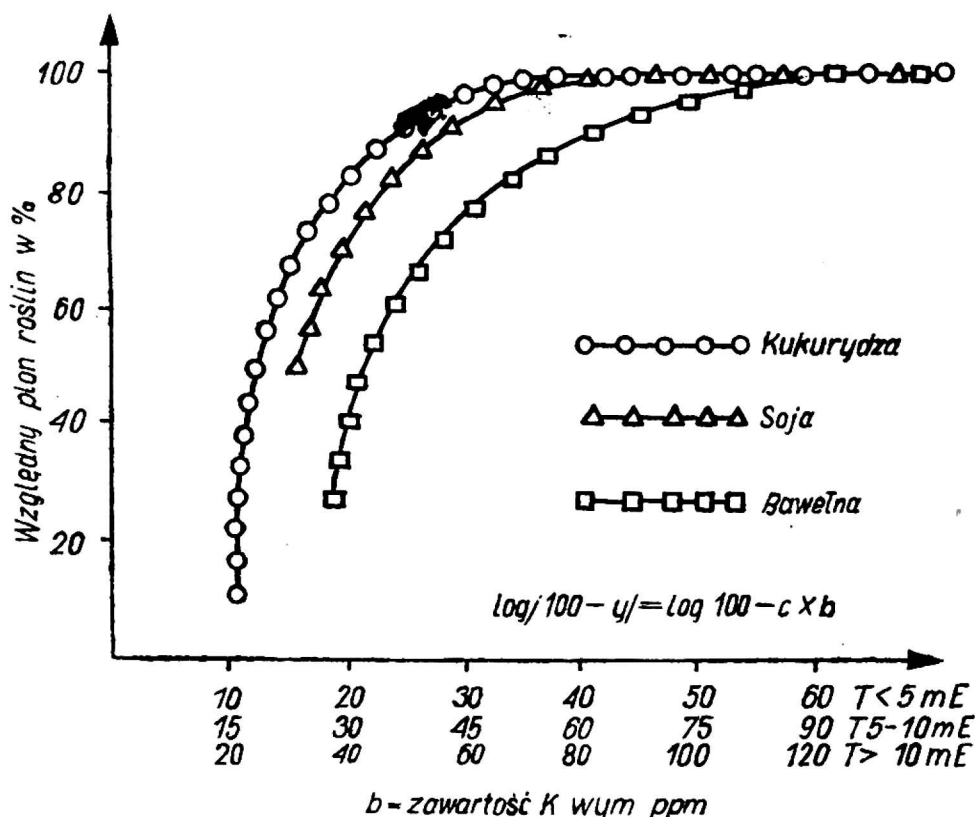
gdzie  $y$  oznacza plon względny kombinacji kontrolowanej wyrażony w %,  $b$  oznacza wartość testu glebowego,  $c$  jest stałą dla danej serii doświadczeń (ale nie odpowiada stałej Mitscherlicha czyli tzw. Wirkungsfaktor).

Funkcją taką posłużył się np. Cope [7] kalibrując test dla potasu wymiennego i opracowując zasady programowego doradztwa nawozowego dla pasa kukurydzianego (corn belt) w USA. W doświadczeniach Cope współczynnik  $c$  wykazywał różną wartość dla poszczególnych grup roślin oraz dla gleb o zróżnicowanej pojemności kompleksu sorpcyjnego w stosunku do kationów (T). Na rys. 2 przedstawiono przebieg funkcji względnego



Rys. 2. Zależność względnego plonu bawełny od zasobności gleby w K przy różnej pojemności sorpcyjnej [wg 7]

plonu bawełny na glebach o różnej pojemności sorpcyjnej, a na rys. 3 przebieg takich funkcji dla roślin o reakcji na potas typu kukurydzy, soi lub bawełny. Na rys. 3 wyeliminowania wpływu pojemności kompleksu sorpcyjnego gleby przesunięto skalę zawartości potasu wymiennego, tak aby określonym ich wartościom odpowiadały takie same względ-



Rys. 3. Zależność względnego plonu roślin od wartości testu dla K wymiennego [wg 7]

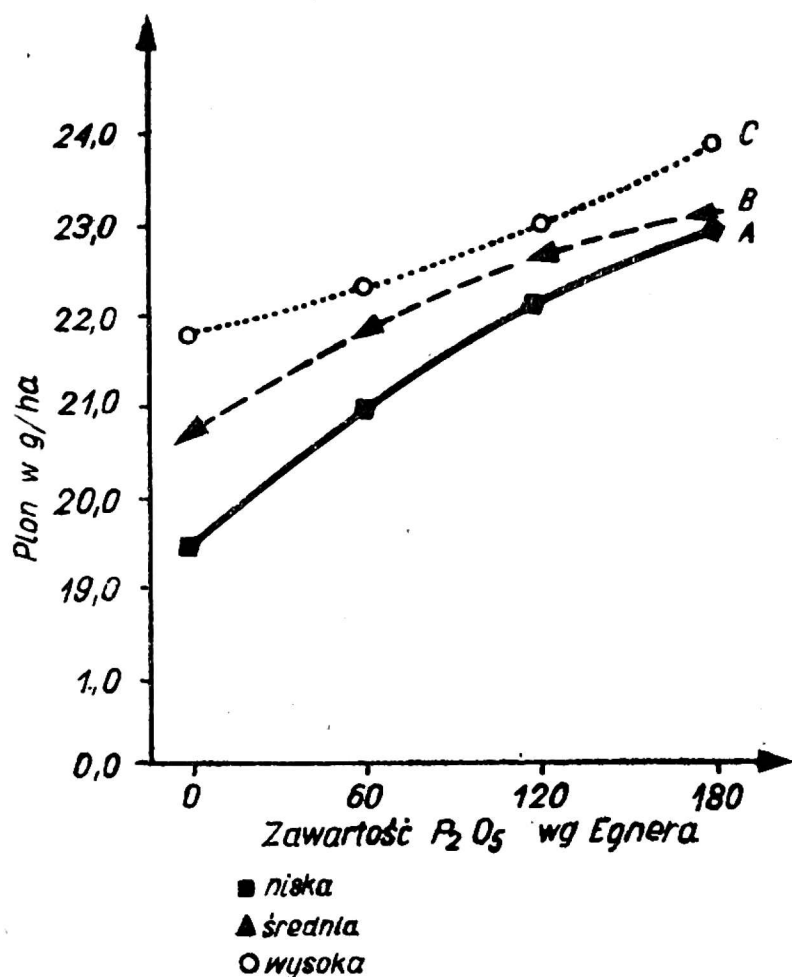
ne plony poszczególnych roślin. Dalszej kalibracji testu, dla potrzeb klasycznego doradztwa nawozowego, Cope dokonał w sposób umowny przejmując cztery jego przedziały. Przedział b. niskiej zawartości potasu odpowiadał względnym plonom roślin w granicach 0—50%, przedział niskiej zawartości plonom w granicach 50—75%, przedział średniej zawartości plonom w granicach 75—100%, a przedział zawartości wysokiej plonom w powyżej 100% plonu względnego (w obrębie płaskiej części funkcji). Dla potrzeb doradztwa programowanego przyjęto tzw. indeksy żyzności w przedziałach co 10% plonu względnego.

Oczywiście temu samemu przedziałowi testu odpowiadała inna zawartość procentowa wymiennego potasu dla bawełny, soi i kukurydzy i także inna dla gleb o różnej pojemności sorpcyjnej w stosunku do kationów. Test Cope został zatem skalibrowany wyjątkowo starannie gdyż obejmował 4 (przedziały)  $\times$  3 (grupy roślin)  $\times$  3 (pojemności kompleksu = 36 wartości. Stosowany w Polsce test Egnera dla potasu obejmuje 3 (przedziały)  $\times$  3 (gleby) = 9 wartości, a test dla fosforu tylko 3 (przedziały) = 3 wartości.

#### Określenie optymalnych dawek nawozów dla przedziałów wartości testu

Dla każdego przedziału skalibrowanego testu chemicznego należy wyznaczyć optymalny poziom nawożenia danym składnikiem. Postępowanie takie można przeprowadzić w oparciu o wyniki ścisłych doświadczeń polowych z kilku przynajmniej poziomami nawożenia. Etap kalibra-

cji testu i etap wyznaczenia optymalnych dawek nawozów można potraktować łącznie. Na rys. 4 przedstawiono wyniki doświadczeń polowych z



Rys. 4. Reakcja rzepaku na nawożenie fosforem zależnie od zawartości przyswajalnego składnika w glebie [8]

nawożeniem rzepaku fosforem, jakie przeprowadzono w całej Polsce pod kierunkiem Dembińskiego [8]. Na glebach o wysokiej zawartości przyswajalnego fosforu uzyskano wyższe plony ziarna rzepaku i niższą efektywność działania nawozów fosforowych stosowanych w dawkach do 120 kg  $P_2O_5$ /ha. Dawki fosforu w przedziale 120—180 kg  $P_2O_5$ /ha działały jednak lepiej na glebach o wysokiej zawartości fosforu przyswajalnego a krzywa reakcji na nawożenie w tym przedziale testu glebowego miała kształt wypukły. W doświadczeniach Dembińskiego, które stanowią najlepszy przykład wpływu zasobności gleby na plon roślin i efektywności nawożenia, jaki można spotkać w literaturze polskiej, nie udało się wyznaczyć optymalnych poziomów nawożenia dla gleb wykazujących niską, średnią i wysoką zawartość przyswajalnego fosforu (wg metody Egnera).

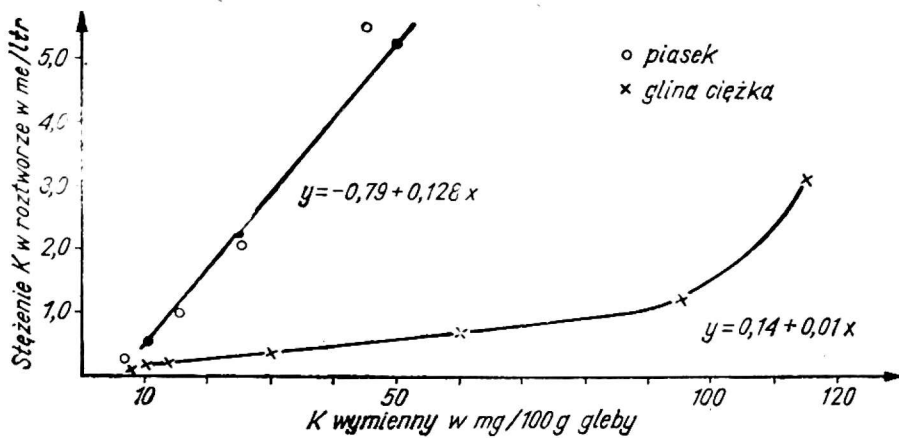
W doświadczeniach ze zbożami [23] nie stwierdzono w ogóle zróżnicowania efektywności nawożenia fosforem i potasem niezależnie od wartości testu glebowego dla tych składników.

Obserwacje te skłaniają do zastanowienia nad użytecznością testów glebowych i ewentualną możliwością innego, niż dotychczas ich wykorzystania.

### Dynamika składników pokarmowych w glebie

W rozumieniu fizjologicznym za przyswajalną należy uznać taką formę danego składnika, która może wniknąć bez przeszkód do pozornie wolnej przestrzeni korzenia. Warto podkreślić, że tak rozumiana przyswajalność jest zupełnie różna od przyswajalności potencjalnej — w rozumieniu testu glebowego. Z momentem wniknięcia jonu do pozornie wolnej przestrzeni korzenia kończą się w zasadzie oddziaływania gleba-korzeń i dalsze procesy transportu i przemian jonów wykraczają poza obszar zainteresowań chemii rolnej.

Rośliny pobierają składniki pokarmowe z roztworu glebowego. Dla uzyskania maksymalnego plonu konieczne jest utrzymanie stężenia (aktywności jonów w roztworze glebowym) na pewnym stałym i określonym poziomie. Przy tej samej zawartości składnika potencjalnie przyswajalnego (oznaczonej dowolnym testem) jego stężenie w roztworze może być zupełnie różne zależnie od składu mechanicznego gleby, jej odczynu oraz stężenia innych jonów towarzyszących. Na rys. 5. przedstawiono zależność pomiędzy zawartością potasu wymiennego (test w octanie amonowym) a stężeniem potasu w roztworze glebowym, wyznaczonym przez Grimme [13]. Jak wynika z tego rysunku dla pokrycia potrzeb pokarmowych roślin w stosunku do potasu konieczna jest wyższa zawartość potasu wymiennego w glebach ciężkich, w porównaniu z glebami lekkimi.



Rys. 5. Zależność między zawartością potasu wymiennego i stężeniem potasu w roztworze glebowym [wg 13]

Jednorazowe oznaczenie stężenia jonów w roztworze glebowym (pominąwszy trudności metodyczne) nie stanowi dobrego testu potrzeb nawozowych, gdyż stężenie to ulega bardzo szybkim zmianom w czasie okresu wegetacyjnego. Roztwór glebowy jest z jednej strony zubożany na skutek pobierania jonów przez korzenie roślin, z drugiej strony zaś wzbogacany na skutek przechodzenia jonów z fazy stałej gleby. Ostatecznie o stopniu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe decyduje nie tylko aktualne ich stężenie w roztworze, ale również zawartość składników w fazie stałej w formach będących w stanie równowagi z roztworem.

Tabela 2

## Pobieranie składników pokarmowych przez rośliny (2)

Składnik	Pobranie całkowite kg	Sposób pobierania w kg/ha		
		wzrost korzeni	przepływ z wodą	dyfuzja
Ca	23	66	175	—
Mg	28	16	105	—
K	135	4	35	96
P	39	1	2	36
Mn	0,23	0,10	0,05	0,08
Zn	0,23	0,10	0,53	—
Cu	0,16	0,01	0,35	—
B	0,07	0,02	0,70	—

Ruch jonów w kierunku korzeni odbywa się na zasadzie przepływu z wodą, (mass flow), oraz dyfuzji. Pewne znaczenie ma tutaj również sam wzrost korzeni, gdyż przyjmuje się, że mogą one bez trudu pobierać jony znajdujące się w tej objętości gleby, którą następnie korzenie wypełniają. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2 decydujące znaczenie dla zaopatrzenia roślin w fosfor i potas ma proces dyfuzji. Dyfuzja zachodzi tylko w roztworze, a więc w glebie dostatecznie uwilgotnionej i ulega znacznemu ograniczeniu przy wzroście siły ssącej gleby do wartości przy której rośliny nie cierpią jeszcze na brak wody (tab. 3).

Tabela 3

## Względna dostępność składników pokarmowych zależnie od siły ssącej gleby (13)

Siła ssąca gleby pF	Względna dostępność składników w %		
	N	P	K
2,0 (b. dobre zaopatrzenie roślin w wodę)	100	100	100
2,4	80	90	85
2,7 (wystarczające zaopatrzenie roślin w wodę)	65	70	60

Ostatecznie, według Schroedera [22] zdolność gleby do zaopatrywania roślin w składniki pokarmowe może być opisana trzema wskaźnikami: — stężeniem, albo poprawniej aktywnością jonu w roztworze glebowym (wskaźnik intensity) — zawartością składnika w formach pozostających w stanie równowagi z roztworem glebowym (wskaźnik quantity) — szybkością z jaką jon może się przemieszczać do pozornie wolnej przestrzeni korzenia (wskaźnik mobility)



Testy glebowe, które uwzględniają wszystkie wymienione wskaźniki, a przynajmniej dwa pierwsze, są określane jako testy dynamiczne. Testy dynamiczne jak np. metoda elektroultrafiltracji EUF [19], czy wyczerpująca ekstrakcja składników na łagodnych wymienniczych jonowych [22] są pracochłonne i wymagają dokładnej standaryzacji warunków ekstrakcji. Jednocześnie praktyka rolnicza dysponuje ogromnym materiałem analiz opartych o klasyczne testy, który musi być wykorzystywany.

### *Obecne podejście do testów klasycznych*

W wyniku badań nad dynamiką składników pokarmowych w glebach okazało się możliwe wyznaczenie potencjalnie przyswajalnych ich form (w rozumieniu testów klasycznych) przy których uzyskuje się wymaganą koncentrację składnika w roztworze glebowym. W RFN [5] określono, że zawartość potencjalnie przyswajalnego fosforu, niezależnie od rodzaju gleby powinna wynosić 20—25 mg  $P_2O_5$  (10 g gleby) wg testu Egnera. Zawartość przyswajalnego potasu powinna wynosić 15—20 mg  $K_2O$  w glebach lekkich, 20—25 mg  $K_2O$  w glebach średnich i 25—30 mg  $K_2O$  w glebach ciężkich. W praktyce dla tego ostatniego składnika można przyjąć optimum 1,5—2,0 mg  $K_2O$  na 1% części koloidalnych w glebie. Według badań angielskich [6] zawartość potencjalnie przyswajalnych form fosforu (wg metody Olsena) i potasu (w octanie amonowym) powinna wynosić: dla traw 10 ppm P i 100 ppm K, dla zbóż, motylkowych i buraków odpowiednio 15 i 150, dla ziemniaków i warzyw 20 i 200.

Dla uzyskania wzrostu zasobności gleby dla pożądanego poziomu należy stosować określone nadwyżki bilansowe dawek składników ponad potrzeby pokarmowe roślin.

Jak wynika z badań [6, 9, 10, 16] zależność między przyrostem potencjalnie przyswajalnych składników w glebie, a nadwyżką bilansową nawożenia jest liniowa. W tabeli 4 przedstawiono wartości nadwyżek bilansowych fosforu jakie należy zastosować, aby zwiększyć zawartość potencjalnie przyswajalnego fosforu w glebie o określoną ilość (wg testu Egnera). W oparciu o przedstawione zależności można opracować wariant alokacyjny doradztwa nawozowego. W wariacie tym dzieli się dysponowalną (np. w skali kraju) pulę nawozów w ten sposób aby w docelowym okresie uzyskać optymalną zawartość potencjalnie przyswajalnych form składników we wszystkich glebach. Postępowanie takie, pod warunkiem że nadwyżki bilansowe nawozów będą stosowane w polach roślin wykazujących największą wrażliwość na dany składnik zapewnia jednocześnie optymalny efekt produkcyjny nawożenia. Testy glebowe służą w tym układzie do kontroli tempa przyrostu zasobności gleby, a więc do sprawdzenia prawidłowości poczynionych założeń.

Tabela 4

Nadwyżki bilansowe fosforu konieczne dla utrzymania lub podniesienia zawartości potencjalnie przyswajalnego fosforu w glebie [10]

Zawartość wyjściowa $P_2O_5$ /wg Egnera	Wzrost zawartości $P_2O_5$ mg/100 g gleby	Kompleks przydatności rolniczej gleby			
		pszenny	żytni b. dobry	żytni dobry	żytnie słabe
Niska	0,0	-33	-19	-4	+10
	0,4	21	36	50	64
	0,8	76	30	105	119
Średnia	0,0	-44	-30	-15	-1
	0,4	11	25	39	54
	0,8	65	79	94	108
Wysoka	0,0	-55	-40	-26	-12
	0,4	0	14	28	43
	0,8	54	69	83	97

#### Definicje i uogólnienia stosowanych terminów

1. Potrzeby pokarmowe roślin odpowiadają ilości składników mineralnych jaką roślina pobiera dla wydania określonego plonu

a) pobranie końcowe jest to ilość składników zawarta w plonie głównym i ubocznym roślin

b) pobranie maksymalne jest to największa ilość składników znajdująca w roślinie w przeciągu okresu wegetacji

2. Potrzeby nawozowe roślin odpowiadają ilości składników w nawozach jaką należy zastosować dla uzyskania określonego (maksymalnego) plonu.

3. Potrzeby nawozowe mogą być wyznaczone tylko w oparciu o wyniki doświadczeń polowych lub doświadczeń wegetacyjnych.

4. Testy glebowe służą do uogólniania wyników doświadczeń ścisłych.

a) testy statyczne pozwalają na oznaczenie potencjalnie przyswajalnej formy składnika w glebie

b) testy dynamiczne pozwalają na określenie stopnia zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe, a więc wyceniają fizjologiczną przyswajalność składników.

5. Testy statyczne są przydatne tylko wówczas gdy dokona się ich kalibracji, a następnie wyznaczy optymalny poziom nawożenia dla każdego przydziału wartości testu

6. W alokacyjnym wariacie doradztwa nawozowego testy statyczne mogą być również wykorzystane do śledzenia tempa przyrostu zasobności gleby w potencjalnie przyswajalne formy składników pokarmowych.

## LITERATURA

1. Aufhammer G. Fischbeck G. Getreide DLG Verlag Frankfurt/Maine 1973.
2. Barber S., Walker J. M., Vesey F. H.: Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root., J. Agric. Fd. Chem. t 11, 1963.
3. Boguslawski E. von Gierke K. von: Neue Untersuchungen über den Nährstoffentzug verschiedener Kulturpflanzen. Ztschr. für Acker und Pflanzenbau t 112 z 3, 1961.
4. Boguslawski E. von Wachstums und Ertragsgesetze: Handb. Pflanzenernährung und Düngung t. I cz 2, 1972.
5. Buchner Strum Die Düngung im Intensivbetrieb DLG Verlag Frankfurt Maine 1973.
6. Cooke G. W.: Fertilizing for maximum yields London 1972.
7. Cope J. T. Rouse D. R.: Interpretation of soil test results in Soil testing and plant analysis Madison USA 1973.
8. Dembiński F. i in.: Wpływ stopniowanych dawek fosforu na plon nasion i tłuszczu rzepaku ozimego Roczn. Nauk. Roln. ser A t 96 nr 1, 1969.
9. Findlay W. J.: Influence of fertilizer use on the phosphorus and potassium status of sandy soils. Canad. J. Soil Sci. t 53 z 1, 1973.
10. Fotyma M. i in.: Opracowanie wskaźników optymalizacji nawożenia cz I Nawożenie fosforem Pamiętnik Puławski z. 66, 1976.
11. Fried M. Dean W.: A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci. t 73, 1952.
12. Górski M. Koter M.: Nawozy i nawożenie. Wyd. II PWRiL Warszawa 1961.
13. Grimme H.: Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit. Seminar Emmelshausen Sonderheft 1/76, 1976.
14. Hauser G. F.: Guide to the calibration of soil tests for fertilizing recommendation FAO Rome Soil Bulletin 18, 1973.
15. Heady O. Dillon J. L.: Funkcje produkcji rolniczej. Metody matematyczne w ekonomice i planowaniu rolnictwa PWRiL Warszawa 1965.
16. Kerschberger M. Richter D.: Untersuchungen zur Erhöhung des P-Gehaltes in Boden (DL Methode). Arch. Acker. u. Pflanzenb. Bodenkd. t 16 z 12, 1972.
17. Marszałkiewicz T.: Funkcje produkcji rolniczej PWE Warszawa 1965.
18. Mercik S.: Studia nad zależnością pomiędzy zasobnością gleby w potas a efektywnością nawożenia tym składnikiem. Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie nr 13, 1971.
19. Nemeth K.: The determination of desorption and solubility rates of nutrients in the soil by means of electroultrafiltration Proceedings of 9<sup>th</sup> Congress Intern. Potash Inst. Landshut, 1972.
20. Nowosielski O.: Metody oznaczania potrzeb nawożenia PWRiL Warszawa 1973.
21. Płudowski H.: Badania efektywności nawożenia metodą funkcji produkcji IUNG R (103) Puławy, 1975.
22. Schroeder D.: Relationships between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. Proceed. 10<sup>th</sup> Congress of the International Potash Institute Budapest, 1974.
23. Zbiorowa pod red. Boguszewskiego W. Efektywność nawożenia mineralnego na użytkach ornych S (20) Puławy 1973.