

Helena Sztuder, Stanisław Strączyński

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

OCENA NAWOZÓW PŁYNNYCH W BADANIACH ROLNICZYCH*

Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój rolnictwa, będący współczesną formą rozwoju gospodarczego, wymaga m.in. zrównoważonej gospodarki składnikami mineralnymi, polegającej na możliwości bilansowania ich rozchodu i przychodu z uwzględnieniem produkcyjnych, ekonomicznych i ekologicznych skutków nawożenia. Wprowadzaniu nowoczesnych systemów gospodarowania w rolnictwie towarzyszy racjonalizacja zużycia agrochemikaliów przy założeniu uzyskiwania zadowalającego poziomu plonowania, a jednocześnie zmniejszenia negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi i zwierząt oraz na środowisko. Można to osiągnąć modyfikując właściwości i skład produktów nawozowych, a także wprowadzając nowe systemy dystrybucji i stosowania nawozów (1-3, 5, 9, 12-14, 17, 18, 21-24, 26-28, 38).

Podstawowym zadaniem zrównoważonego nawożenia jest zwiększenie efektywności wykorzystania składników nawozowych; szacuje się, że może ono wzrosnąć nawet o około 30% poprzez podwyższanie ich jakości (skład chemiczny, substancje balastowe, domieszki szkodliwe, forma) i dalsze ulepszanie precyzji aplikacji nawozów stałych, ciekłych i zawieszinowych (20, 21).

W nawożeniu roślin uprawnych powszechnie przyjętą metodą było i jest stosowanie składników pokarmowych w formie nawozów stałych. Od kilkunastu lat wykorzystuje się również nawozy w postaci płynnej i to zarówno dolistnie, jak i doglebowo (1-5, 7, 10, 12-14, 17-19, 21-23, 25-28).

Formy, rodzaje i właściwości nawozów płynnych

W grupie nawozów płynnych można wyróżnić dwie formy:

1. Nawozy ciekłe klarowne – składniki nawozowe całkowicie rozpuszczone w wodzie:

- bezwodny amoniak,
- wodny roztwór amoniaku,

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

- roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM-28, 30 i 32),
- roztwór saletrzano-mocznikowy z dodatkiem $Mg(NO_3)_2$ – RSMMg, roztwór saletrzano-mocznikowy z dodatkiem $NH_4(SO_4)_2$ – RSMS, wodny roztwór mocznika o różnym stężeniu,
- azotan wapnia, siarczan magnezu, azotan sodu i potasu – sole rozpuszczalne w wodzie o przeznaczeniu nawozowym, wytwarzane jako produkty uboczne,
- nawozy wieloskładnikowe typu NPK,
- nawozy płynne zawierające mikroelementy typu INSOL.

2. Nawozy zawieszinowe typu N-P, P-K i N-P-K – obok składników rozpuszczonych w wodzie występują w nich składniki również w formie zdyspergowanej, drobnokrystalicznej, utrzymywane w fazie ciekłej, na ogół za pomocą dodatkowego czynnika stabilizującego.

W stosunku do nawozów klarownych nawozy zawieszinowe posiadają szereg zalet. Do najważniejszych z nich należą:

- wyższa zawartość składników nawozowych,
- możliwość użycia do produkcji surowców o mniejszej czystości, a nawet odpadów.

Nawozy zawieszinowe posiadają też pewne wady, do których można zaliczyć:

- ograniczony czas przechowywania wskutek osiadania zawiesin,
- konieczność ich wytwarzania w pobliżu miejsca stosowania,
- stosowanie dodatków stabilizujących zawiesiny (np. glinokrzemiany, bentonity, hydrolizaty skrobi, sorbit i inne minerały ilaste).

Z danych zawartych w tabeli 1 wynika, że w produkcji nawozów zawieszinowych można uzyskać wysoką koncentrację składników pokarmowych porównywalną ze składem stałych nawozów wieloskładnikowych, a wyższą niż w nawozach płynnych produkowanych w postaci roztworów.

Produkcja i stosowanie nawozów płynnych

Wielkość produkcji światowej nawozów płynnych szacuje się na około 5 mln $t \cdot rok^{-1}$, w tym około 90% stanowi RSM. Z tego 70% produkcji światowej jest zużywane w rolnictwie USA, około 20% w krajach Unii Europejskiej, a w Polsce około 0,3%. Produkcja krajowa nawozów płynnych osiągnęła poziom 1 mln $t \cdot rok^{-1}$, głównie w formie RSM, a zużycie tego nawozu w Polsce nie przekracza 200 tys. $t \cdot rok^{-1}$. Nawozy zawieszinowe w USA stanowią około 40% całkowitego zużycia NPK, zaś w Polsce ich zużycie nie przekracza 1% całkowitego zużycia NPK. Szacuje się, że w kraju około 10% azotu jest aplikowane w postaci płynnej przez rozpuszczenie stałych nawozów azotowych (mocznik), często łącznie ze środkami ochrony roślin i mikroelementami (20, 21, 30).

Na skalę wielkoprzemysłową nawozy płynne typu RSM (roztwory saletrzano-mocznikowe) produkują Zakłady Azotowe „Puławy” S.A. i Zakłady Azotowe „Kę-

Tabela 1

Typowy skład nawozów płynnych

Składniki	Nawozy płynne w postaci roztworów	Nawozy płynne w postaci zawiesin
N-0-0	24-0-0 28-0-0 30-0-0 32-0-0	29-0-0 36-0-0
N-P-0	7-21-0 8-24-0 10-30-0 11-33-0 (44)	9-32-0 13-38-0 12-40-0 13-41-0 (54)
N-P-K	2-6-12 3-9-9 8-8-8 (24) 4-10-10 (24)	4-12-24 4-14-28 7-21-21 5-15-30 (50) 14-14-14 15-15-15 20-10-10

Źródło: Hoffmann J., 2001 (17).

dzierzyn” S.A. Niewielkie ilości nawozów tego typu wytwarzają Zakłady Azotowe „Tarnów” S.A. Oprócz nawozów typu RSM Zakłady Azotowe „Puławy” S.A. oferują także nawozy typu RSMS (z dodatkiem siarczanu amonu), RSMMg (z dodatkiem azotanu magnezu), ale masa sprzedawanych nawozów tego typu jest niewielka (29). Ze względu na brak wystarczającej ilości kwasu fosforowego nie produkuje się w Polsce większych ilości płynnych, klarownych nawozów wieloskładnikowych doglebowych typu NPK (29). Dużym postępowaniem w produkcji nawozów płynnych w kraju było opracowanie przez Instytut Nawozów Sztucznych w Puławach technologii wytwarzania nawozów zawiesinowych (6, 8, 9, 15, 16, 29). Obecnie funkcjonuje jedna stacja produkująca nawozy zawiesinowe w Łagiewnikach Średzkiej koło Legnicy (fot. 1 i 2). Stacja oferuje nawozy o dowolnym składzie i obsługuje około 15 tys. ha użytków rolnych w najbliższym jej otoczeniu.

Należy oczekiwać, że w najbliższej perspektywie zużycie nawozów płynnych, w tym również zawiesinowych typu NPK, w Polsce może wzrosnąć z uwagi na:

- przemiany w strukturze agrarnej (wzrost udziału gospodarstw o dużym areale),
- lepsze uzbrojenie rolnictwa w specjalistyczny sprzęt do aplikacji nawozów,
- wymogi Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska.

Nawozy zawiesinowe

Sposób wytwarzania nawozów zawiesinowych. Surowcami wyjściowymi do wytwarzania nawozów zawiesinowych są: fosforan jednoamionowy (MAP: 14-54-0), woda amoniakalna (20% N), roztwór saletrano-mocznikowy RSM (28-32 % N),



Fot. 1. Stacja Nawozów Płynnych (SNP) w Łagiewnikach Średzkich – widok ogólny

bentonit (12% zawiesina), chlorek potasowy KCl (57-60% K_2O) i woda. Zawiesinę bazową NP o składzie 8-24-0 sporządza się w mieszalniku przez rozpuszczenie w wodzie stałego fosforanu jednoamonowego (MAP) z równoczesnym amoniakowaniem do momentu uzyskania pH zawiesiny 6,4-6,8. Do stabilizacji zawiesiny dodaje się przygotowaną 12% zawiesinę bentonitu. Powstały produkt (zawiesina bazowa NP) może być przechowywany lub bezpośrednio wykorzystany do sporządzenia nawozu NPK. W tym celu do zbiornika mieszalnika oprócz zawiesiny bazowej NP dodaje się roztwór RSM (zwiększając zawartość azotu), sól potasową i zawiesinę bentonitu.

Skład i właściwości. Formuły nawozów zawiesinowych i technologia ich stosowania zostały opracowane w Instytucie Nawozów Sztucznych przy współudziale Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Skład podstawowych nawozów zawiesinowych podano poniżej w tabeli 2.

Przeznaczenie i zasady stosowania. Nawozy zawiesinowe są w zasadzie nawozami przedsięwziętymi, jednak możliwe jest też ich stosowanie pogłównie w międzyrzędzia na plantacjach roślin z szerokimi międzyrzędziami (kukurydza, ziemniak, burak). Na użytki zielone nawozy te stosuje się wczesną wiosną i po kolejnych pokosach łąk oraz po wypasach pastwisk. Nawozy zawiesinowe można stosować także w zintegrowanych systemach nawożenia płynnego.

Z dotychczasowych doświadczeń można wnioskować, że najbardziej realny i ekonomiczny system stosowania tej grupy nawozów polega na usługowym nawożeniu sprzętem stacji w dużych gospodarstwach rolnych, prowadzących produkcję roślinną na co najmniej 20-30 ha plantacjach.



Fot. 2. Fragment instalacji SNP – zbiorniki, mieszalniki

Tabela 2

Skład nawozów zawieszinowych

Lp.	Formuły nawozów	Zawartość (%) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Suma składników (%) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
1.	3-1-3	9-3-9	21
2.	1-3-9	2-6-18	26
3.	1-3-6	3-9-18	30
4.	1-1-2	8,5-8,5-17	34
5.	1-2-4	5-10-20	35
6.	2-1-2	14-7-14	35
7.	1-1-1	12-12-12	36
8.	3-2-4	12,6-8,4-16,8	37,8
9.	1-2-3	6,7-13,5-20,2	40,4
10.	1-1-3	8,5-8,5-25,5	42,5

Źródło: Czuba R., 2000 (8).

Formy pobieranych składników. Formy makroelementów (N, P, K) występujące w nawozach zawieszinowych są dobrze przyswajalne przez rośliny. **Azot** występuje w trzech formach: amidowej, amonowej i azotanowej. Formy azotu amidowego (NH_2) i amonowego (NH_4) wolno działają w glebie i nie ulegają wymyciu w głąb profilu glebowego. Formy te chronią środowisko glebowe, w tym również wody gruntowe przed nadmiarem azotanów. Azot azotanowy (NO_3) jest końcową formą przemian glebowych azotu amidowego i amonowego. W czasie tych przemian rośliny pobierają z reguły azot już w formie amonowej, który jest również dobrze sorbowany przez glebę i przemiany azotu amonowego do azotanowego (nitryfikacja) przebiegają w znikomym rozmiarze, co chroni środowisko przed nadmiarem azotanów. **Fosfor** zawarty w nawozach płynnych zawieszinowych występuje w fosforanach jednoamionowych i dwuamionowych, czyli w związkach łatwo dostępnych dla roślin (H_2PO_4^- i HPO_4^{2-}). **Potas** w tych nawozach występuje w formie soli chlorkowej o zawartości 60% K_2O , która jest prawie bezbalastowa i umożliwia otrzymywanie wysokoprocen-towych nawozów zawieszinowych.

Systemy nawożenia płynnego

W połowej produkcji roślinnej stosowany jest obecnie duży asortyment płynnych nawozów mineralnych, który umożliwia wyodrębnienie zwartych systemów nawożenia płynnego, w tym: systemu nawożenia doglebowego, dolistnego dokarmiania roślin oraz doglebowo-dolistnego stosowania nawozów płynnych (6, 33, 36). W obrębie każdego systemu istnieje możliwość doboru różnych segmentów agrotechnicznych w zależności od wymagań roślin.

I. System doglebowego nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi:

- RSM + $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (na gleby o niskiej zasobności w Mg),
- nawóz zawieszinowy typu NPK przedsiewnie + doglebowo międzyrzędowo RSM,
- nawóz zawieszinowy typu NPK przedsiewnie + doglebowo międzyrzędowo RSM z $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$.

Do typowych nawozów doglebowych stosowanych obecnie w skali produkcyjnej zaliczamy roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM), rozprowadzany na terenie całego kraju i nawozy zawieszinowe wytwarzane i stosowane regionalnie (dolnośląskie).

II. System dolistnego dokarmiania roślin uprawy połowej obejmuje dolistne stosowanie:

- azotu w formie wodnego roztworu mocznika,
- mikroelementów w formie nawozów płynnych,
- azotu łącznie z mikroelementami,
- 5% roztworu $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ lub 3% $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$,
- azotu łącznie z magnezem,
- magnezu łącznie z nawozem mikroelementowym,
- azotu łącznie z magnezem i mikroelementami.

System dolistnego dokarmiania roślin zawiera głównie mocznik, ale także magnez i niezbędne mikroelementy. System ten należy do najbardziej efektywnych, a jednocześnie korzystnych ekologicznie. Dokarmianie roślin pozwala na obniżenie ogólnej dawki nawozów, głównie azotowych, zwiększenie ich wykorzystania dzięki dostarczaniu roślinom składników pokarmowych zgodnie z zapotrzebowaniem w określonych fazach rozwojowych. System pozwala również na precyzyjne dostarczanie mikroelementów zgodnie ze specyficznymi potrzebami odmian roślin w dawkach wielokrotnie mniejszych niż doglebowo.

III. System doglebowo-dolistnego stosowania nawozów płynnych:

- RSM lub nawóz zawieszinowy doglebowo + dolistnie roztwór mocznika,
- RSM lub nawóz zawieszinowy doglebowo + dolistnie nawóz płynny zawierający mikroelementowy,
- RSM lub nawóz zawieszinowy doglebowo + dolistnie roztwór mocznika z nawozem mikroelementowym,
- RSM lub nawóz zawieszinowy doglebowo + dolistnie $MgSO_4 \times 7 H_2O$, ewentualnie łącznie z mocznikiem i nawozem mikroelementowym.

W tym systemie przedsięwzięcie można stosować typowe płynne nawozy doglebowe, jak RSM lub odpowiedni wieloskładnikowy nawóz zawieszinowy, a następnie stosuje się dokarmianie dolistne.

Ocena rolnicza nawozów płynnych

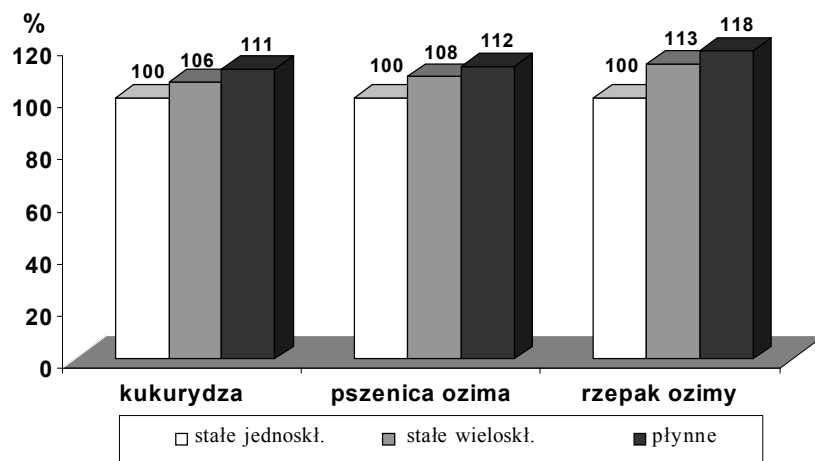
Ocenę nawozów płynnych przeprowadzono na podstawie wieloletnich ścisłych doświadczeń polowych z różnymi gatunkami roślin uprawnych (jęczmień jary, pszenica ozima, rzepak ozimy i kukurydza uprawiana na nasiona) poprzez określenie skutków ich oddziaływania w kryteriach produkcyjnych, ekologicznych i ekonomicznych. W badaniach porównano działanie nawozów płynnych z ekwiwalentnymi dawkami nawozów stałych jednoskładnikowych i wieloskładnikowych (31, 32, 34, 35, 37).

Efekty produkcyjne

Skutki produkcyjne obejmowały: wielkość plonu głównego, pobranie składników pokarmowych z plonem głównym roślin i efektywność rolniczą.

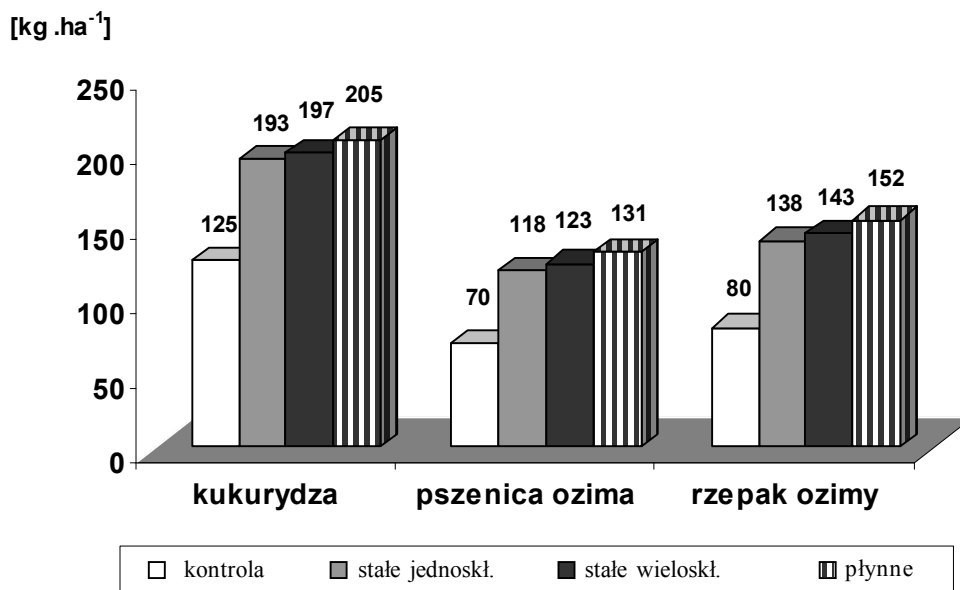
Efekt plonotwórczy nawozów płynnych wyrażony zwyżką plonu w stosunku do stałych nawozów jednoskładnikowych był większy i wynosił 11-18% (rys. 1). Wielkości te dla rzepaku ozimego, pszenicy ozimej i kukurydzy były udowodnione statystycznie i wynosiły odpowiednio: 18, 12 i 11%. Natomiast w odniesieniu do stałych nawozów wieloskładnikowych zwyżki plonu były niższe i nie przekraczały 5%. Różnice pomiędzy plonami na korzyść nawozów płynnych mogły wynikać z wysokiej równomierności rozprowadzania nawozów zawieszinowych (nie występuje zjawisko rozdzielania się składników), dostosowania składu nawozu do potrzeb pokarmowych roślin oraz lepszych efektów plonotwórczych w latach o mniejszej ilości opadów w okresie wegetacji, które wystąpiły podczas trwania doświadczeń (31,32).

Na rysunku 2 przedstawiono pobranie składników pokarmowych jako sumę azotu, fosforu i potasu z plonem głównym roślin doświadczalnych. Wielkość pobrania tych



Rys. 1. Przyrost plonu roślin doświadczalnych

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Pobranie N+P+K z plonem głównym roślin

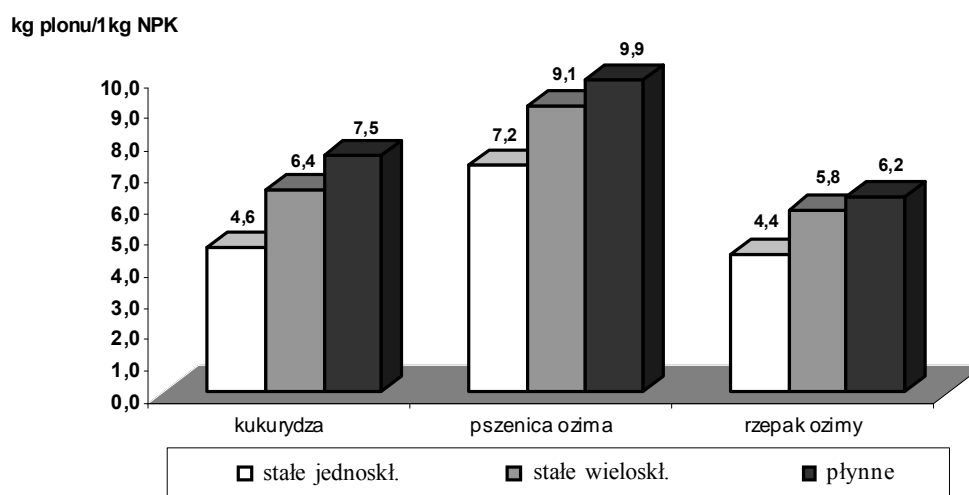
Źródło: Opracowanie własne.

składników była uwarunkowana ilością wytworzonego plonu i zawartością w nim składników pokarmowych. Pobranie NPK z nawozów płynnych przez plon główny wszystkich roślin doświadczalnych było wyższe niż pobranie tych składników z nawozów stałych, a zwłaszcza z nawozów stałych jednoskładnikowych, w stosunku do których wzrost pobrania wyniósł od 6% dla kukurydzy ($205 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do 11% ($131 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dla pszenicy ozimej.

Wyniki uzyskane w doświadczeniach umożliwiły również określenie efektywności rolniczej nawożenia NPK zastosowanego w różnych formach (stałej i płynnej), wyrażonej w kg plonu użytkowego na 1 kg NPK zastosowanego w nawozie. Jak wynika z rysunku 3 rolnicza efektywność nawożenia NPK wahała się od 4,4 do 9,9 kg plonu na 1 kg NPK zastosowanego w nawozach i zależała od gatunku uprawianej rośliny oraz formy stosowanego nawozu. Efektywność ta wynosiła dla: kukurydzy 4,6-7,5, pszenicy ozimej 7,2-9,9, a rzepaku ozimego 4,4-6,2 kg ziarna/nasion. Najwyższą skuteczność nawożenia nawozami płynnymi uzyskano w przypadku kukurydzy uprawianej na ziarno.

Efekty środowiskowe

Nawozy płynne można zaliczyć do nawozów bezpiecznych dla środowiska. W czasie rozlewu nawozu na rolę uzyskuje się znacznie lepszą równomierność rozprowadzenia nawozu na powierzchni niż w rozsiewie nawozów stałych, co umożliwia lepsze wykorzystanie składników przez roślinę. Nawozy te nie zawierają zbędnych substancji balastowych, co ogranicza skażenie środowiska glebowego pierwiastkami toksycznymi występującymi często w nawozach stałych. Ponadto składniki pokarmowe występujące w nawozach płynnych są łatwiej przyswajalne dla roślin i nie zalegają w glebie, co ogranicza ich wymywanie do wód gruntowych.

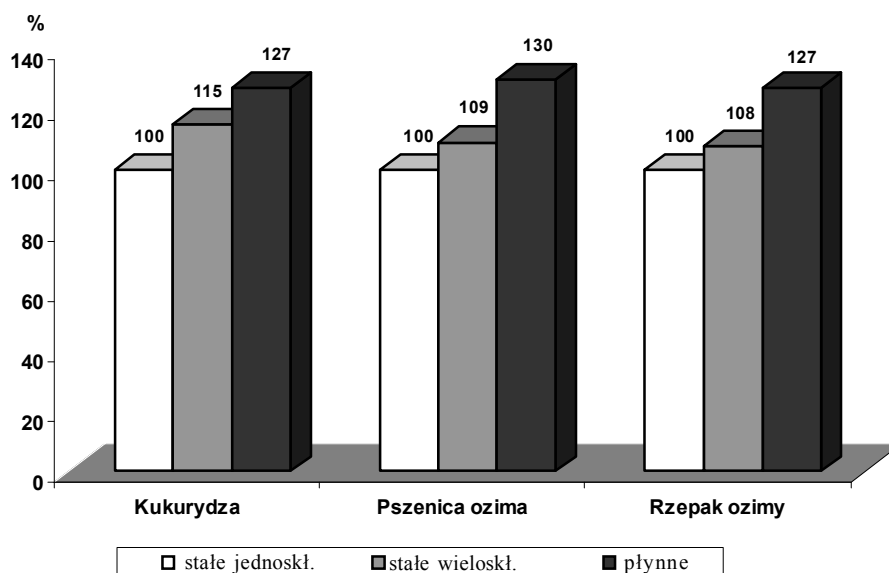


Rys. 3. Efektywność rolnicza nawozów mineralnych

Źródło: Opracowanie własne.

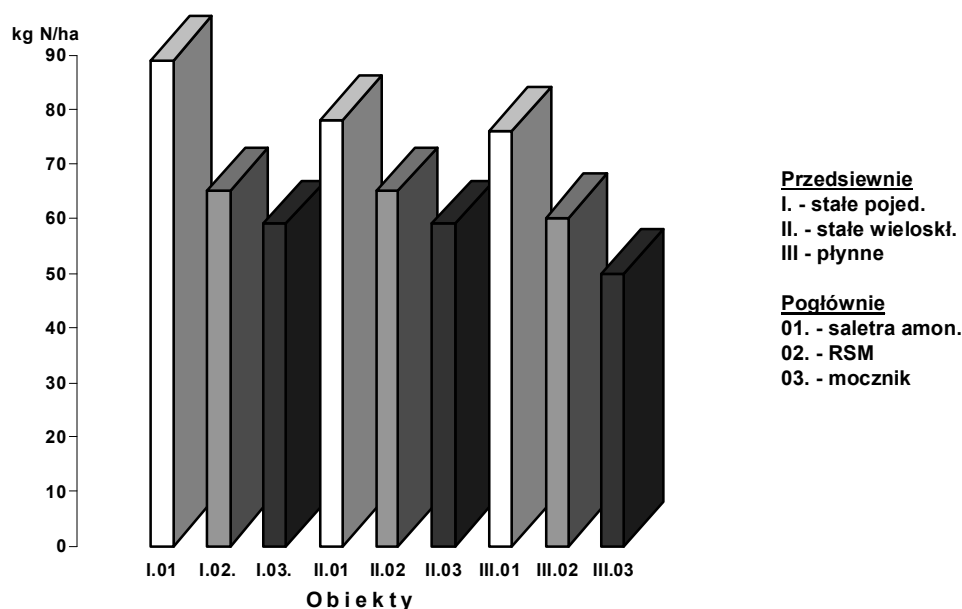
W ocenie skutków środowiskowych uwzględniono wykorzystanie NPK z nawozów i zawartość azotu mineralnego w glebie.

Na rysunku 4 przedstawiono wykorzystanie azotu, fosforu i potasu mierzone różnicą pomiędzy ilością tych składników dostarczoną w nawozach i ilością pobraną z plonem głównym roślin doświadczalnych w procentach (wielkość wykorzystania N+P+K z jednoskładnikowych nawozów stałych przyjęto za 100%). Mierzone w ten sposób wykorzystanie azotu, fosforu i potasu z nawozów przez rośliny było zróżnicowane i zależało od rodzaju zastosowanego nawożenia. Wyraźnie wyższe wykorzystanie wszystkich składników pokarmowych (N + P + K) przez rośliny doświadczalne stwierdzono na obiektach, gdzie stosowano nawozy płynne. Wykorzystanie N+P+K dla kukurydzy i rzepaku z nawozów płynnych wzrosło o 27% w porównaniu z nawozami stałymi jednoskładnikowymi, a dla pszenicy ozimej o 30%. Większe wykorzystanie azotu przez rośliny na obiektach, gdzie nawozy azotowe stosowano w formie płynnej wpłynęło w znacznym stopniu na obniżenie zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze roślin. Najmniej azotu w warstwie gleby do 60 cm – średnio $56 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (niezależnie od formy nawozu przedsięwziętego po zbiorze pszenicy ozimej), stwierdzono w wariacie z nawożeniem wodnym roztworem mocznika, podczas gdy po zastosowaniu azotu w formie stałej jego ilość wzrosła ponad 30% i wynosiła średnio $81 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 5). W przypadku kukurydzy wielkości te przedstawiały się odpowiednio: $96 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, 20% i $119 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z badań prowadzonych w IUNG (11, 31, 32) wynika, że większa zawartość azotu mineralnego znajdowała się w powierzchniowej warstwie gleby (0-30 cm), a dominującą formą w badanym profilu był azot azotano-



Rys. 4. Wykorzystanie N+P+K z nawozów

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze pszenicy ozimej

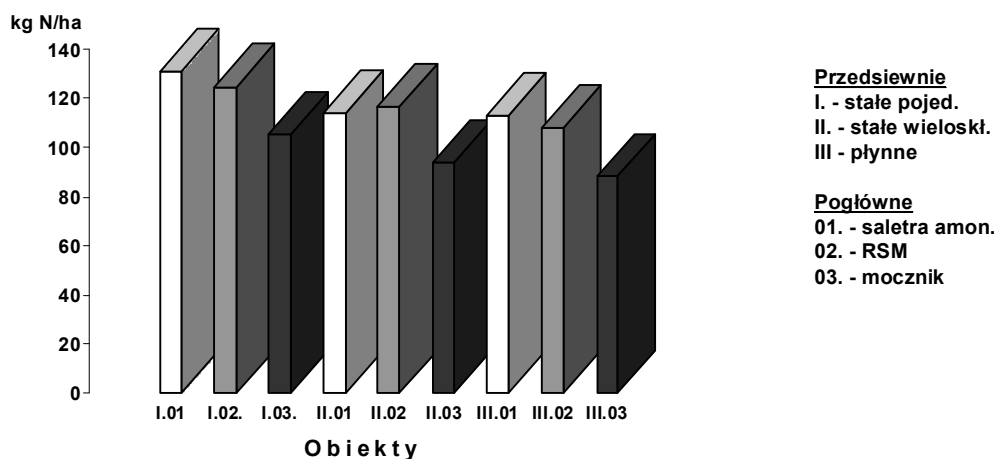
Źródło: Opracowanie własne.

wy, którego udział w azocie mineralnym stanowił średnio 60%. Z przedstawionych danych wynika, że opisane wyżej relacje pomiędzy zawartością azotu mineralnego w glebie można uznać za właściwe, co potwierdzają badania innych autorów (11, 19), a stwierdzone ilości azotu mineralnego jesienią można uznać za bezpieczne w kryteriach ochrony środowiska.

Efekty ekonomiczne

Ocenę efektywności stosowania nawozów płynnych w stosunku do tradycyjnych nawozów stałych (jednoskładnikowych i wieloskładnikowych) przeprowadzono uwzględniając następujące kryteria produkcyjno-ekonomiczne:

- plon główny roślin z 1 ha,
- wartość produkcji z 1 ha jako iloczyn wielkości plonu głównego i ceny jego sprzedaży,
- koszty nawozów łącznie z aplikacją,
- koszty bezpośrednie ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$) obejmujące koszty pracy ludzi i maszyn oraz koszty materiałów,
- opłacalność bezpośrednią – relację wartości produkcji do kosztów bezpośrednich, która określa, w jakim stopniu wartość uzyskanej produkcji pokrywa koszty bezpośrednie poniesione na jej wytworzenie,
- wskaźnik opłacalności jako stosunek poniesionych kosztów do ceny sprzedaży otrzymanego produktu, który określa jaką ilość ziarna/nasion zostaną zrównoważone koszty bezpośrednie lub koszty zastosowanego nawożenia (łącznie koszt nawozu i aplikacji),



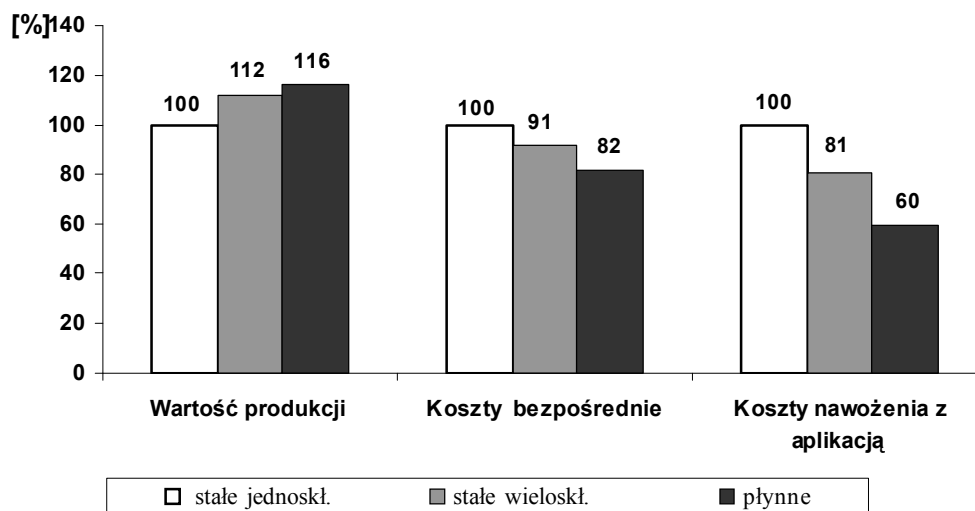
Rys. 6. Zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze kukurydzy

Źródło: Opracowanie własne.

- efekt końcowy netto – różnicę pomiędzy przyrostem wartości produkcji a przyrostem kosztów bezpośrednich; wielkość tę można wyrazić w zł i w dt ziarna.

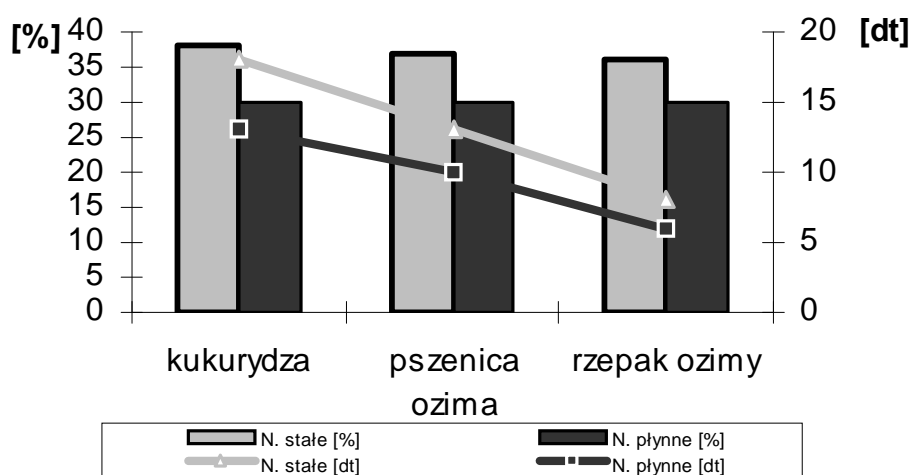
Forma stosowanego nawożenia różnicowała wyraźnie wartość produkcji oraz koszty bezpośrednie. I tak dla rzepaku ozimego (rys. 7) koszty te na obiektach z nawozami płynnymi były około 18% niższe w odniesieniu do ponoszonych przy stosowaniu nawozów stałych jednoskładnikowych i około 11% niższe w stosunku do występujących przy aplikacji nawozów stałych wieloskładnikowych. Różnice te wynikały głównie z wyraźnie niższych kosztów nawożenia (nawóz + aplikacja) w przypadku nawozów płynnych. Natomiast relacje kosztów nawożenia w stosunku do kosztów bezpośrednich dla roślin doświadczalnych przedstawiono na rysunku 8. Wynika z niego, że dla rzepaku ozimego udział kosztów nawożenia nawozami płynnymi był o około 6% niższy w porównaniu ze stwierdzonym przy stosowaniu nawozów stałych.

Z analizy wskaźnika opłacalności wynika (rys. 9), że dla zrównoważenia kosztów bezpośrednich trzeba było przeznaczyć różne ilości nasion rzepaku ozimego, w zależności od zmian ceny sprzedaży; średnio z trzech lat badań wynosiły od 24,2 dt na stałych nawozach jednoskładnikowych, 22,1 dt na stałych nawozach wieloskładnikowych, do 19,8 dt na nawozach płynnych. Natomiast dla zrównoważenia samych kosztów nawożenia (nawóz + aplikacja) trzeba było przeznaczyć odpowiednio 9,8; 7,9 i 5,9 dt nasion rzepaku. Ocena opłacalności bezpośredniej wykazała, że najkorzystniejsze w uprawie rzepaku ozimego było stosowanie nawozów płynnych (wskaźnik opłacalności – 155%), a mniej opłacalne stałych nawozów wieloskładnikowych (134%) i stałych nawozów jednoskładnikowych (109%); (rys. 10). W badaniach z kukurydzą relacje te były jeszcze korzystniejsze i wynosiły odpowiednio: 181, 155 i 133% (rys. 10). Na obiektach z nawozami płynnymi dla rzepaku ozimego wartość dodatkowa,

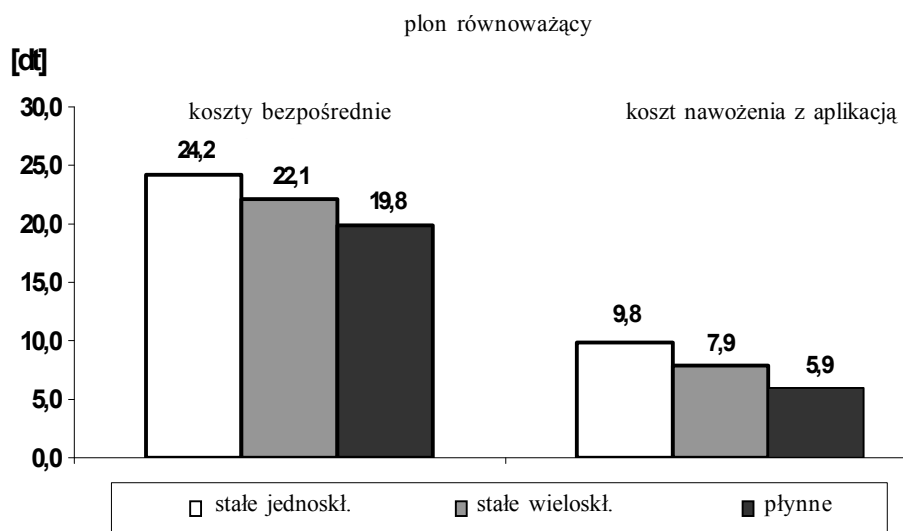


Rys. 7. Wartość produkcji i koszty nawożenia rzepaku ozimego
 Źródło: Opracowanie własne.

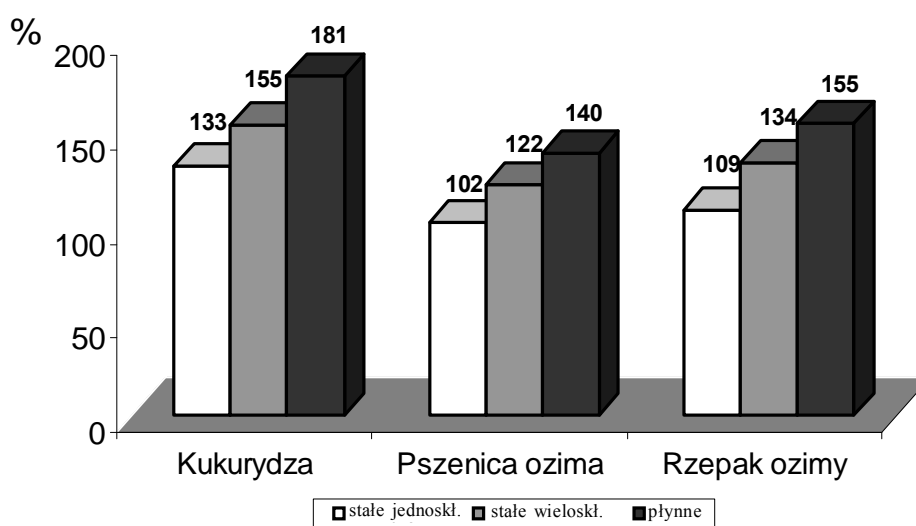
tzw. efekt końcowy netto liczony w odniesieniu do stałych nawozów jednoskładnikowych wynosił 8,7 dt nasion. Natomiast w przypadku zastosowania nawozów stałych wieloskładnikowych wartość dodatkowa była znacznie mniejsza – wynosiła 5,3 dt. W badaniach z kukurydzą otrzymano wartość dodatkową wynoszącą odpowiednio 17,2 i 8,9 dt, a z pszenicą ozimą 12,5 i 7,5 dt (rys. 11).



Rys. 8. Udział kosztów nawożenia w kosztach bezpośrednich
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 9. Wskaźnik opłacalności nawożenia rzepaku ozimego
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 10. Opłacalność bezpośrednia stosowania różnych form nawozów
Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym opracowaniu właściwości nawozów płynnych i efekty ich stosowania pozwalają przypuszczać, że ta forma nawozów mineralnych cieszyć się będzie coraz większym uznaniem u rolników. Ponadto sam proces produkcji nawozów płynnych wywiera pozytywny wpływ na stan środowiska naturalnego i pozwala na ograniczenie ilości wytwarzanych nawozów granulowanych wieżowo, a operacje końcowego zateżnienia i granulacji wieżowej są najbardziej uciążliwe dla środowiska. Produkcja tych nawozów pozwala także na zagospodarowanie ścieków, roztworów odpadowych z produkcji nawozów stałych (saletranych i mocznika), a także koncentratów z operacji oczyszczania ścieków (29). Również korzystny wpływ na stan środowiska wywierają nawozy zawieszinowe. Przy ich produkcji wykorzystywane są odpady powstające przy oczyszczaniu kwasu fosforowego, a także odpady powstające przy produkcji płytek ceramicznych. Zatem uważa się, że technologia wytwarzania nawozów płynnych na skalę wielkoprzemysłową jest technologią praktycznie bezodpadową (29).

Dotychczasowe doświadczenia polowe prowadzone przez IUNG ze stosowaniem systemów nawożenia opartych na nawozach płynnych w uprawie kilku podstawowych gatunków roślin w uprawie polowej wykazały, że wielkość uzyskanych plonów była nieco wyższa w porównaniu z wydajnością osiągniętą w wyniku nawożenia nawozami stałymi, w tym wieloskładnikowymi, uważanymi za najbardziej efektywne. Wyższą efektywność działania nawozów płynnych w stosunku do stałych można tłumaczyć:

- wysoką równomiernością rozprowadzania nawozu na powierzchni pola,
- lepszym wykorzystaniem składników przez rośliny,
- precyzyjnym dostosowaniem składu nawozu do wymagań pokarmowych nawożonych roślin i do zasobności gleby w składniki pokarmowe,
- wyższym efektem plonotwórczym w latach o mniejszej ilości opadów w okresie wegetacji,

Ponadto system płynnego nawożenia roślin zapewnia:

- mniejsze wymywanie składników do wód gruntowych,
- możliwość wprowadzania nawozów pod powierzchnią gleby, co zmniejsza straty związków azotu i korzystnie wpływa na stan środowiska,
- możliwość zintegrowanego stosowania nawozu z mikroelementami i środkami ochrony roślin,
- ograniczoną zawartość zbędnych substancji balastowych,
- pełną mechanizację prac transportowo-przeładunkowych.

Wymienione walory nawozów płynnych zapewniają wymierne efekty produkcyjne, ekologiczne i ekonomiczne. W najbliższej perspektywie należy oczekiwać wyraźnego zwiększonego zużycia tej formy nawozów mineralnych.

Literatura

1. Biskupski A. i in.: Nowe nawozy ciekłe azotowo-siarczanowe. Prace Nauk. ITNiNM PWr, 1996, **45**: 85-95.
2. Biskupski A., Pochwałski M., Kwaśniewski G.: Stabilność ciekłych nawozów azotowo-siarkowych i azotowych podczas długotrwałego przechowywania. Prace Nauk. ITNiNM PWr, 1996, **45**: 96-107.
3. Biskupski A., Winiarski A., Malinowski P.: Stan produkcji krajowej nawozów zawierających siarkę oraz tendencje światowe ich wytwarzania i stosowania. Nawozy i Nawoż., 2003, **4(17)**: 9-30.
4. Borwik M., Biskupski A., Winiarski A., Malczewski Z.: Technologia i własności nawozów dolistnych Insol wytwarzanych w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. Acta Agroph., 2003, **85**: 347-355.
5. Cichy B., Paszek A.: Nawozy ciekłe o wysokiej zawartości siarki. Nawozy i Nawoż., 2003, **4(17)**: 31-39.
6. Czuba R.: Systemy nawożenia roślin płynnymi nawozami mineralnymi. Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej, Wrocław 15-18.09.1997. Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1504-1507.
7. Czuba R.: Zasady stosowania nawozów płynnych w uprawie zbóż. Wieś Jutra, 1999, **6(11)**: 28-30.
8. Czuba R.: Nawozy zawieszinowe – nowa generacja nawozów płynnych. Wieś Jutra, 2000, **11(28)**: 11-14.
9. Dankiewicz M.: Technologia produkcji nawozów zawieszinowych. Sprawozdanie, INS Puławy, 1991.
10. Dubrovin V., Efiimenko A., Kamiński E.: Ocena porównawcza technologii nawożenia pogłównego nawozami granulowanymi i roztworami azotowymi. Wyd. SGGW, Mat. konf., Warszawa 19-23 czerwca 2002, 109-110.
11. Fotyła E.: Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. Nawozy i Nawoż., 2000, **3(4)**: 17-37.
12. Górecki H.: Nowe technologie i nowe techniki stosowania nawozów w świecie. Chemik, 1993, 47, Nr spec., 48-58.
13. Górecki H.: Wpływ nawozów i nawożenia na środowisko. Przemysł Chemiczny, 2002, **10**: 635-643.
14. Hoffmann J.: Wytwarzanie nawozu zawieszinowego azotowo-fosforowego z mikroelementami. Prac. Nauk. AE Wrocław, 1988, **426**: 128-135.
15. Hoffmann J., Górecki H., Milewska A.: Ekologiczne nawozy zawieszinowe. Prace Nauk., ITNiNM PWr, 1994, **40**: 17-23.
16. Hoffmann J.: Nowe rozwiązania w zakresie produkcji i stosowania nawozów płynnych. Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej, Wrocław 15-18.09.1997, Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1385-1395.
17. Hoffmann J.: Nowe kierunki wykorzystania fosforanu mocznika w technologii związków fosforowych. Prace Nauk. ITNiNM PWr, 2001, Seria Monografie, Nr **16**.
18. Hoffmann J., Hoffmann K., Górecka H.: Chelaty mikronawozowe w roztworach zawierających makroskładniki nawozowe. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 791-795.
19. Jadczyzyn T., Kubsik K., Igras J.: Produkcyjna i ekologiczna ocena różnych technik stosowania nawozów azotowych. Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej, Wrocław 15-18.09.1997, Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1474-1478.
20. Kamiński E., Roszkowski A.: Technika rolnicza XXI wieku. Cz. VI. Nawożenie mineralne. Prz. Tech. Rol. Leś., 2001, **10**: 2-5 i 9.
21. Kamiński E.: Nawożenie ciekłymi nawozami mineralnymi. Tech. Rol., 2001, **50(1)**: 27-28.
22. Kamionka J.: Techniki stosowania ciekłych nawozów azotowych. Agrochemia, 2004, **4**: 10-12.

23. K ę s i k K.: Nowe nawozy i techniki nawożenia. Biul. Inf. IUNG, 1999, **10**: 4-10.
24. K ę s i k K.: Nowe generacje nawozów stałych i ciekłych oraz innowacje w zakresie techniki ich stosowania. Mat. szkol., IUNG, 2003, 107-134.
25. K u b s i k K.: Produkcyjne i ekologiczne skutki różnych technik stosowania nawozów azotowych. IUNG Puławy, 1998.
26. M a y J.: Suspension fertilizers: theoretical and practical aspect of production and storage. Proc.-Inter.-Fertilizer Soc., 2005, **560**: 1-35.
27. P o p ł a w s k i Z.: Roztwór saletrzano-mocznikowy RSM. Zalecenia dla użytkowników i sprzedawców. IUNG Puławy, 1995.
28. Praca zbiorowa pod red. Z. Popławskiego: Katalog, Cz. 1 – Płynne nawozy mineralne. Wyd. INS i IUNG Puławy, 1995.
29. Praca zbiorowa pod red. A. Biskupskiego: Najlepsze dostępne techniki (BAT). Wytyczne dla branży chemicznej w Polsce. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2005.
30. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. 2005.
31. Sprawozdanie z badań pt. „Ocena różnych systemów uprawy roli i technik nawożenia w zmianowaniu”. Raport końcowy, IUNG Puławy, 2002.
32. Sprawozdanie z badań pt. „Agroekologiczne i ekonomiczne aspekty stosowania zintegrowanych technik płynnych agrochemikaliów w zmianowaniu w warunkach różnych systemów uprawy roli”. Raport końcowy, IUNG Puławy, 2006.
33. S t r ą c z y ń s k i S.: Współczesne techniki nawożenia nawozami mineralnymi. Wieś Jutra, 2001, **11(40)**: 1-2.
34. S z t u d e r H.: Wyniki oceny nowych nawozów zawieszinowych typu NPK w badaniach rolniczych. Prace Nauk. ITNiNM PWr, 1996, **45**: 289-295.
35. S z t u d e r H., Ś w i e r c z e w s k a M.: Agrochemiczna i ekonomiczna ocena nawozów płynnych w badaniach rolniczych. Fragm. Agron., 1997, **3**: 165-172.
36. Ś w i e r c z e w s k a M., S z t u d e r H.: Stosowanie płynnych nawozów mineralnych w nowych systemach nawożenia roślin uprawnych. Fragm. Agron., 1997, **3**: 159-164.
37. S z t u d e r H., Ś w i e r c z e w s k a M.: Agrochemiczna ocena wieloskładnikowych nawozów zawieszinowych typu NPK. Sprawozdanie końcowe, IUNG Puławy, 1998.
38. V a s i l y u k G. V., S h a p s h e e v a T. P.: Efficiency of the use suspension mineral fertilizers under agricultural crops. Pochowiedenie i Agrokhimiya, 2002, **32**: 209-218.

Adres do korespondencji:

dr Helena Sztuder
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363-87-07, w.108
e-mail: hsztuder@wp.pl

