

**Alicja Pecio**

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

## INNOWACYJNE PRODUKTY STOSOWANE W PRODUKCJI ROŚLINNEJ\*

**Słowa kluczowe:** nawozy o kontrolowanym uwalnianiu składników, stabilizatory azotu, aminokwasy, kwasy humusowe, hydrożel, nanonawozy, odpady

### Wstęp

Ze względu na nasilające się skutki zmian klimatycznych, postępującą degradację gleb, produkcję energii oraz potrzebę zagospodarowywania odpadów, rolnicy i ogrodnicy wciąż poszukują nowych rozwiązań, które pozwolą im zwiększyć rentowność produkcji, efektywność wykorzystania czynników produkcji oraz zmniejszyć ujemny wpływ na środowisko. Naprzeciw temu wychodzą innowacje w zakresie żywienia roślin i nawożenia. Przyszłość nawożenia upatruje się w stosowaniu nawozów wolnodziałających i o kontrolowanym uwalnianiu składników pokarmowych, nawozów zawierających aminokwasy oraz środków sprzyjających gromadzeniu materii organicznej i zatrzymujących wodę w glebie, a także w nanotechnologii. Innowacyjność to też zdolność zarządzających i zarządzanych do tworzenia i wdrażania nowych technik i technologii (2). W literaturze przedmiotu występują różne definicje innowacyjności i innowacji. Ogólnie należy przyjąć, że rozwiązania innowacyjne wprowadzają coś nowego, twórczego i bardziej atrakcyjnego w stosunku do poprzedniego stanu.

Celem pracy było przedstawienie innowacyjnych produktów w zakresie nawożenia roślin uprawnych. Artykuł ma charakter przeglądowy, stanowi próbę syntetycznego ujęcia zmian zachodzących na rynku nawozów stosowanych w rolnictwie.

### Nawozy o spowolnionym lub kontrolowanym uwalnianiu azotu

Nawozy zawierające azot mają największe znaczenie w uprawie roślin, które pobierają ten składnik głównie w formie jonów amonowych i azotanów, a także

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

niewielkie ilości w formie mocznika. Azot zastosowany w formie nawozów mineralnych wykorzystywany jest przez rośliny uprawne jedynie w 50–70%. Pozostała część ulega immobilizacji, czyli wbudowaniu w biomasę mikroorganizmów glebowych, lub jest tracona na skutek ulatniania się N w formie amoniaku do atmosfery oraz poprzez wymycie do głębszych warstw – głównie forma azotanowa. Straty azotu mają bezpośredni wpływ na zmniejszenie potencjału plonowania roślin. Mniejsza ilość dostępnego azotu oznacza mniejszy plon masy zielonej, czy też ziarna, a w efekcie straty finansowe rolnika.

Straty azotu powodują też poważne konsekwencje dla środowiska naturalnego, takie jak globalne ocieplenie i utrata różnorodności biologicznej. Podtlenek azotu ( $N_2O$ ) uwalniany w procesie nityfikacji (czyli transformacji jonów amonowych do azotanów) jest gazem cieplarnianym, który jest 300 razy bardziej szkodliwy od dwutlenku węgla ( $CO_2$ ) (15). Amoniak jest uwalniany do atmosfery, a azotany są wymywane do niższych warstw gleby lub do wód, co prowadzi do eutrofizacji oraz wspomnianej już utraty bioróżnorodności.

Kontrolę dostępności azotu w środowisku wzrostu roślin uprawnych można prowadzić, stosując nawozy, w których proces uwalniania azotu z granulki podlega kontroli na drodze chemicznej lub fizycznej. Na tej podstawie specjalistyczne nawozy azotowe dzielą się na dwie podgrupy:

- 1) wolno uwalniające azot – należą do nich produkty kondensacji mocznika z innymi związkami, np. z formaldehydem tworzą polimery moczniko-formaldehydowe;
- 2) kontrolujące uwalnianie azotu – np. nawozy otoczkowane lub kapsułkowane.

Do nawozów wolno uwalniających azot należą produkty, które uzyskuje się przez pełną chemiczną syntezę. Substratami w tym procesie są mocznik oraz związki organiczne, głównie aldehydy, tworzące polimery, które kształtują w zróżnicowany sposób szybkość uwalniania azotu. W produkcji rolniczej znaczenie mają trzy produkty kondensacji obu grup związków, tj. ureaform (UF), który stanowi około 40% rynku tej grupy nawozów, izobutyliidenodimocznik (IBDU) (wraz z CDU – krotonyliidenodimocznik) stanowiący około 15% rynku tej grupy oraz krotonyliidenodimocznik (CDU/CrotoduR).

W przypadku nawozów o kontrolowanym uwalnianiu azotu podstawowym składnikiem jest nawóz konwencjonalny, dobrze rozpuszczalny w wodzie. Nawozy z tej grupy zawierają mocznik, w którym zawartość azotu mieści się w zakresie 30–42%. Po zakończeniu granulowania, granule pokrywane są warstwą ochronną w celu ograniczenia dopływu wody z gleby do ich wnętrza. Do budowy okrywy granulki używa się polew siarkowych, polimerów syntetycznych, np. żywice mocznikowo-formaldehydowe, woski itd. lub polew siarkowo-polimerowych. Rola ochronna okrywy siarkowej zależy od grubości warstwy, natomiast rozkład jest funkcją aktywności mikroorganizmów glebowych. Jest więc tym szybszy, im gleba jest cieplejsza i wilgotniejsza, a pH kształtuje się w zakresie obojętnym do zasadowego.

Klasycznym przykładem nawozów o kontrolowanym uwalnianiu azotu są nawozy z grupy Osmocote®.

Dobrym środkiem na bardziej efektywne wykorzystanie azotu dzięki minimalizacji strat są również stabilizatory azotu (inhibitory nityfikacji oraz inhibitory ureazy).

Zadaniem inhibitorów nityfikacji jest hamowanie procesu nityfikacji, czyli utleniania azotu amonowego do azotanów. Spośród wielu inhibitorów nityfikacji, w praktyce wykorzystywane są trzy, a mianowicie: nitrapiryna, DCD (dicyjanodiamid) oraz DMPP (fosforan 3,4-dimetylopirazolu). Pierwszy z wymienionych inhibitorów znany jest na rynku jako N-lock™ Max. Nitrapiryna w znacznej części działa bakteriocydalnie, czyli częściowo zabija bakterie z rodzaju *Nitrosomonas*, hamując w ciągu dwóch tygodni od zastosowania proces nityfikacji o ok. 80%. W praktyce zaleca się stosowanie N-lock™ Max łącznie z nawozem azotowym (RSM, mocznik) lub natychmiast po jego aplikacji.

Drugi z inhibitorów, dicyjanodiamid (DCD), zawiera aż 67% azotu i jest dodawany w różnych ilościach do nawozów mineralnych oraz do gnojowicy. Działanie DCD jako inhibitora nityfikacji wpływa bakteriostatycznie na bakterie z rodzaju *Nitrosomonas*. Bakterie nie są zabijane, ale inhibitor zmniejsza w ciągu 6–8 tygodni ich aktywność. W ciągu 2 tygodni od zastosowania DCD hamuje proces nityfikacji o około 50%.

Najnowszy inhibitor nityfikacji, DMPP, jest składnikiem nawozów azotowych (grupa COMPO Expert: NovaTec®One, NovaTec®26). Dodany do nawozu zawierającego kation amonowy hamuje przez pewien okres aktywność mikroorganizmów utleniających ten związek.

Działanie inhibitorów ureazy w glebie polega na kontroli procesów przekształcania form organicznych w formy mineralne, np. mocznika w formę amonową (hydroliza mocznika), który jest podstawowym organicznym nawozem azotowym. W ten sposób można zmniejszyć straty wywołane ulatnianiem się amoniaku, które zachodzą intensywnie w glebie o odczynie zasadowym.

Na rynku UE są dostępne różne inhibitory ureazy, jednak zdaniem wielu badaczy spośród inhibitorów spowalniających rozkład mikrobiologiczny mocznika najbardziej efektywny jest Triamid N-(n-butylo) tiofosforowy – NBPT. Jak wynika z badań Marcinkowskiej i Kierónczyka (28), redukcja emisji gazowego amoniaku pod wpływem małego dodatku NBPT kształtuje się nawet na poziomie około 80%, co w konsekwencji powoduje, iż jest on bardziej efektywny pod względem działania nawozowego od saletry amonowej.

W Polsce na rynku pojawiły się dwa nawozy na bazie mocznika zawierające inhibitor ureazy NBPT, tj. UREAstabil oraz moNolith46®. Do stosowania w rolnictwie zarejestrowano także inhibitor ureazy Agrotain® – produkt płynny, zawierający dwa aktywne składniki: N-(n-butylo) tiofosforan triamid – NBPT (25%) i N-metylopirolidynę (10%) oraz Limus® Clear opatentowany połączeniem działania dwóch substancji czynnych NBPT i NPPT (triamid kwasu N-(n-propylo) tiofosforowego), który zmniejsza straty azotu z nawozów na bazie mocznika. Preparat jest o ok. 40%

skuteczniejszy w hamowaniu działania enzymu ureaza niż pojedyncza substancja czynna (NBPT) (16).

### Nawozy fosforowe o kontrolowanej szybkości uwalniania fosforu

Do grupy tej zalicza się nawozy fosforowe o bardzo zróżnicowanej szybkości uwalniania fosforu. Często określane są terminem „nawozy fosforowe o kontrolowanej szybkości uwalniania fosforu” (C-RPF, ang. *controlled-release phosphate fertilizers*), co ma raczej związek z ich mniejszą rozpuszczalnością w wodzie w porównaniu z superfosfatami. Do tej licznej i niejednorodnej grupy należą takie nawozy, jak:

- fosforyty (PR, ang. *phosphoric rock*) określane jako reaktywne lub miękkie;
- fosforyty zakwaszone częściowo (PAPR, ang. *partially acidulated phosphoric rocks*);
- fosforyty termiczne – spieki fosforytowe (termofosfaty) (9).

Fosforyty miękkie to wzbogacone w procesie flotacji skały fosforanowe. Ich nawozowe użytkowanie nie jest w rolnictwie czymś nowym, ale w skali globalnej udział tej grupy nawozów stanowi zaledwie 2%.

Fosforyty zakwaszone częściowo powstają w wyniku celowego niedokwaszenia fosforytu w procesie produkcji superfosfatu. Do zakwaszania fosforytów używa się kwasu siarkowego i fosforowego, rzadziej azotowego.

Odmiernym wariantem technologicznym, stosowanym w produkcji tej grupy nawozów fosforowych, są produkcyjne mieszaniny superfosfatu z fosforytem, które powstają na skutek zmieszania superfosfatu z fosforytem lub dodania fosforytu do dojrzewającego superfosfatu.

Technologiczne i agrochemiczne zalety fosforytów zakwaszonych częściowo wynikają z mniejszego zużycia kwasu (fosforowego lub siarkowego) niż w produkcji superfosfatu, większej koncentracji fosforu w nawozie, tzw. wzbogacone nawozy fosforowe, obecności fosforu w dwóch formach, to znaczy szybko i wolno działającej, mniejszej podatności fosforu zawartego w nawozie na uwstecznianie w glebie, mniejszej rozpuszczalności w glebie, a tym samym mniejszego zagrożenia dla środowiska, mniejszych kosztów transportu surowców, a także nawozów z fabryki do gospodarstwa, możliwości użycia do produkcji nawozów surowca zawierającego mniej fosforu.

Ogólna koncepcja agrochemiczna stosowania fosforytów jako nawozów i wprowadzania do gleby czystych fosforytów lub częściowo niedokwaszonego fosforytu zakłada, że w glebie zachodzą procesy jego dalszego rozkładu. Analiza cech chemicznych częściowo zakwaszonych fosforytów wykazała obecność w nawozie związków fosforu zarówno łatwo, jak i słabo rozpuszczalnych, czynne i stałe oddziaływanie produktów hydrolizy pierwszorzędowego fosforanu wapnia na rozpuszczalność fosforytu oraz korzystne zmiany fizyczne i chemiczne w nawozie w następstwie wtórnego zakwaszenia nawozu, zwiększające szybkość uwalniania ortofosforanów z fosforytu (9).

Nawozy fosforowe pochodzenia termicznego powstają w wyniku trzech typów procesów termicznych, tj.: kalcynacja, czyli rozkład węglanów z jednoczesnym usunięciem CO<sub>2</sub>, sintering – termiczna aglomeracja małych cząstek substratu, ale bez osiągnięcia punktu topnienia oraz fuzja, czyli traktowanie surowców mineralnych temperaturami powyżej punktu topnienia.

Powstające w ten sposób nawozy fosforowe zawierają wapń, magnez lub sód, a więc z natury mają odczyn alkaliczny. Na ich wytworzenie zużywa się jednak bardzo dużo energii. Surowcem wyjściowym do produkcji tych nawozów są, jako trudniej poddające się obróbce mokrej, apatyty ze złóż magmowych (9).

### Aminokwasy

Aminokwasy to związki organiczne zawierające przynajmniej jedną grupę aminową i jedną karboksylową. Są naturalnym, łatwo rozpoznawalnym przez rośliny nośnikiem składników pokarmowych i czynnikiem stymulującym wzrost. Należą do najważniejszych związków organicznych znajdujących się w żywych organizmach, ponieważ to z nich zbudowane są białka. Niektóre aminokwasy stanowią produkty wyjściowe do produkcji enzymów i hormonów. Mimo że rośliny mają zdolność tworzenia wszystkich aminokwasów z azotu, węgla, tlenu i wodoru, to proces biosyntezy jest bardzo energochłonny. Dlatego bezpośrednie podanie młodym roślinom aminokwasów wraz z deficytowymi składnikami pokarmowymi pozwala tę energię zaoszczędzić, a jednocześnie dynamizuje tempo ich rozwoju. Aminokwasy są także prekursorami syntezy fitohormonów roślinnych (substancji wzrostowych), a dostarczenie ich w nawozach stymuluje rośliny do zwiększenia produkcji tych związków (11).

W produkcji roślinnej aminokwasy są stosowane jako nawozy mikroelementowe lub biostymulatory. Wprowadzenie aminokwasów do składu nawozów stało się przełomem w odżywianiu dolistnym roślin. Rola wykorzystywanych w nawozach aminokwasów polega na chelatyzowaniu składników, czyli neutralizowaniu ich ładunku. Molekuły aminokwasów, w odróżnieniu od soli technicznych czy syntetycznych chelatów, są elektrycznie obojętne, dlatego mogą być transferowane w komórce rośliny przez ektodesmy (pory) do membrany plazmatycznej (plasmalemma). Końcowa absorpcja minerałów z plasmalemy do cytoplazmy jest możliwa dzięki aminokwasom zawartym w nawozie. W związku z tym czas pobrania składników pokarmowych z nawozów, w których są one skompleksowane aminokwasami, jest bardzo krótki, gdyż wynosi tylko 2–4 godziny. Ponadto wykorzystanie składników pokarmowych jest prawie stu procentowe (35).

W ostatnich latach środki nawozowe z aminokwasami zyskują na popularności. Należy zaznaczyć, że wysoki efekt odżywczy warunkowany jest wykorzystaniem naturalnych aminokwasów do produkcji takich nawozów. Ich bardzo wysoka przyswajalność wynika z faktu, że są one uzyskiwane w wyniku enzymatycznej hydrolizy białek roślinnych, czyli są pochodzenia roślinnego. Dzięki pełnej

kompatybilności z metabolizmem nawożonych roślin, zapewniają szybki i łatwy transport składników pokarmowych wewnątrz roślin do miejsc, w których jest największy deficyt danego składnika. Zwiększają też wykorzystanie nawozów mineralnych, szczególnie azotowych, co zdecydowanie wpływa na zmniejszenie zawartości szkodliwych azotanów w warzywach i owocach. Zalety te sprawiają, że nawozy z aminokwasami są coraz popularniejsze, mimo że dużo droższe od tradycyjnych nawozów. Pierwszymi na polskim rynku nawozami zawierającymi aminokwasy pochodzenia roślinnego są: Metalosate Ca, Metalosate Potassium oraz Metalosate Multimineral, produkowane przez amerykańską firmę Albion.

Szczególnie silne działanie kompleksujące wykazują glicyna i kwas glutaminowy. Glicyna jest najmniejszym, a zarazem najbardziej mobilnym i najszybciej wchłanianym przez rośliny aminokwasem. Znalazła zastosowanie m.in. w nawozach AminoUltra firmy InterMag, które aplikowane nalistnie są szybciej i efektywniej przyswajane niż standardowe nawozy mikroelementowe.

Biostymulatory aminokwasowe są jedną z nowszych propozycji na zwiększenie odporności roślin i efektywności plonowania (19). Szczególnie istotne znaczenie w nawozach mają następujące aminokwasy: tryptofan, który jest prekursorem auksyn, odpowiedzialnych za szybkość wydłużania się łodyg i korzeni oraz za otwieranie się pąków liściowych i aktywność enzymów, glicyna i kwas glutaminowy, które są podstawowymi składnikami tkanek roślinnych oraz chlorofilu, dzięki czemu rośliny mogą produkować więcej asymilatów w procesie fotosyntezy, prolina – podana przed kwitnieniem wpływa na płodność pyłku oraz lizyna, metionina i kwas glutaminowy, które pobudzają ziarna pyłku do kiełkowania i stymulują wzrost łagiewki pyłkowej, a także metionina, która reguluje aktywność wytwarzania przez rośliny etylenu i wpływa na dojrzewanie owoców.

Aminokwasy doskonale sprawdzają się w warunkach stresowych, tj. wysoka temperatura, niska wilgotność, przymrozki, atak szkodników, grad, okresowe podtopienia, choroby lub fitotoksyczne działanie pestycydów, które oddziałują negatywnie na metabolizm roślin. Także w momencie wystąpienia długotrwałych okresów suszy w trakcie wegetacji, które osłabiają kondycję roślin, tradycyjne środki chemiczne nie zawsze są skuteczne. Stąd lepszym rozwiązaniem w tym przypadku wydają się preparaty, które są inicjatorem procesów i naturalnych mechanizmów obronnych roślin, a nie środki zwalczające np. chorobę. Roślinom można dostarczyć aminokwasy, które bezpośrednio wpływają na ich procesy enzymatyczne i biochemiczne. Preparaty te stymulują odporność roślin, a także łagodzą lub eliminują niepożądane skutki stresu (10). Przykładem może być Aminoplant firmy Agrosimex, który jest pierwszym biostymulatorem zawierającym wolne aminokwasy i krótkie łańcuchy peptydowe. Poprzez korzystny wpływ na procesy metaboliczne przyczynia się do szybszego wzrostu i regeneracji roślin, zwiększa plon i poprawia jego jakość.

## Preparaty na bazie substancji humusowych

Substancje humusowe są podstawowymi, organicznymi składnikami gleby. Powstają w wyniku rozkładu resztek roślinnych oraz zwierzęcych na skutek działania biotycznych i abiotycznych czynników środowiska. Naturalne, łatwo dostępne i wyróżniające się nieograniczonymi możliwościami otwierają znakomite perspektywy przed współczesnym rolnictwem i sadownictwem, wpisującym się w filozofię poszanowania środowiska naturalnego.

Substancje humusowe są stosowane najczęściej jako stymulatory wzrostu lub mikronawozy. W przeciwieństwie do analogicznych syntetycznych regulatorów wzrostu wpływają nie tylko na przemianę materii roślin, ale mogą wykazywać działanie poprawiające ich środowisko życia, czyli warunki glebowe (6, 34). W wyniku prowadzonych badań naukowych dowiedziono, że podczas stosowania preparatów zawierających substancje humusowe znacząco poprawia się struktura podłoża, wzrastają jego zdolności buforowe, zwiększa się pojemność wymiany jonowej, a bytujące w glebie pożyteczne mikroorganizmy stają się bardziej aktywne (26). Szczególną uwagę należy zwrócić na właściwości adaptogenne kwasów humusowych, które skutecznie zwiększają odporność roślin na suszę, nadmierną wilgotność, choroby oraz zbyt wysokie stężenie soli azotu w podłożu.

Atutem preparatów humusowych jest także zwiększanie zdolności przyswajania przez rośliny substancji odżywczych, co z kolei pozwala ograniczyć ilość stosowanych nawozów mineralnych, przy jednoczesnym zachowaniu dużej masy plonu (8, 17). Coraz większą popularnością cieszą się więc organiczne mikronawozy mineralne zawierające humiany potasu, humiany sodu oraz dodatek takich pierwiastków, jak: żelazo, miedź, mangan, molibden, kobalt czy bor, dostępnych w postaci związków chelatowych. Rozwiązanie to znalazło zastosowanie na glebach węglanowych, w których stężenie mikroelementów jest bardzo wysokie, jakkolwiek pierwiastki te występują w formie niedostępnej dla roślin. Warto jednak pamiętać, że organiczne mikronawozy mineralne wytwarza się na bazie ligandów syntetycznych, a ich produkcja wymaga zastosowania kwasu monochlorooctowego i etylenodiaminy, co stwarza poważne zagrożenie dla organizmów żywych i przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Nawozy te stosowane systematycznie powodują ponadto odkładanie się ligandów syntetycznych w glebie, co z kolei prowadzi do pogorszenia się jej struktury i w perspektywie prowadzi do degradacji podłoża. Kwasy humusowe, których produkcja i zastosowanie nie niesie niebezpieczeństwa dla człowieka i otaczającej go przyrody są zatem bardziej bezpieczną, ekologiczną metodą nawożenia gleby (23, 26, 27).

Na rynku znajduje się szereg produktów do stosowania w produkcji roślinnej, wśród których wymienić należy preparaty o szerokim spektrum działania, tj.: GumiSil-A, Greenhum, HumiAgra, Rosahumus, Humus Active, Humus-I, Perfekt, Biohumus, Plonar Active Ekodarpol, Tradecorp Humistar, Bio Złoto Aktywator, Lonite firmy

Milagro, Wapno microflora, Lignohumat Super, Humat potasowy, Lignohumat Super Humic, Humus Plus, Totalhumus, Humico Active.

## Hydrożele

Zmiany klimatu, które w ostatnich latach są przyczyną nieregularnych opadów deszczu i występujących okresów suszy, często powodują zmniejszenie wydajności upraw polowych. Gwałtowne deszcze, występujące podczas trwania suszy w okresie wegetacyjnym roślin, powodują spływanie wody z pól wraz z nawozami i środkami ochrony roślin. Stosowanie sztucznych nawodnień, które mogą zlikwidować jedynie niedobory wody, nie zawsze jest możliwe i z reguły bardzo drogie. Z problemami tymi borykają się szczególnie gospodarstwa posiadające gleby lekkie, przepuszczalne, wrażliwe na brak opadów. Jednym ze sposobów częściowego zmniejszenia deficytu wody może być zastosowanie przez rolników, ogrodników i leśników dodatków doglebowych powodujących zwiększenie retencji wodnej, a tym samym poprawiających strukturę gleby. Do grupy takich produktów należą hydrożele (21).

Hydrożele, popularnie nazywane też agrożelami, czyli superabsorbenty polimerowe (SAPs) są związkami wielkocząsteczkowymi zdolnymi chłonać wodę lub płyny fizjologiczne w ilościach od 10-krotnie do nawet 1000-krotnie większych od ich masy. Należą do grupy polimerów. Hydrożele polimerowe są to materiały o charakterystycznej budowie, która warunkuje ich nietypowe właściwości. Wyróżniają one te związki na tle innych tworzyw sztucznych, w wyniku czego polimery te znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym także w rolnictwie (5, 24, 32).

Hydrożele po wymieszaniu z glebą potrafią zatrzymać bardzo duże ilości wody z opadów lub nawadniania, a następnie powolnie oddawać wodę do dyspozycji korzeni roślin. Stwierdzono, że hydrożele pozwalają uwalniać nawet 95 procent wody z powrotem do systemu korzeniowego, dlatego ich stosowanie zapewnia stały dostęp wilgoci dla korzeni roślin, eliminując przy tym narażanie ich na tzw. stres wodny (21). Dzięki temu można zapobiec wędnięciu i usychaniu roślin, nawet podczas długotrwałych okresów suszy. Hydrożele umożliwiają zmniejszenie częstości podlewania, lepszy rozwój korzeni oraz szybsze kiełkowanie nasion, dzięki dłuższemu utrzymaniu składników pokarmowych w korzeniach.

Zastosowanie hydrożelu wiąże się z ciekawym zjawiskiem. Otóż hydrożele, pochłaniając kolejne porcje wody, znacznie zwiększają swoją objętość. Natomiast oddając wodę w miarę przesychnienia gleby, kurczą się. Poprzez zwiększanie i zmniejszanie objętości hydrożele poprawiają strukturę gruzelkową gleby (32). Mogą one zatrzymywać także niektóre składniki pokarmowe, ograniczając ich wymywanie do głębszych warstw gleby. W szczególności są to kationy ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ). W ten sposób hydrożele pomagają zmniejszyć zanieczyszczenie wód gruntowych i korzystnie wpływają na kondycję roślin (14).

Niezaprzeczalną zaletą hydrożeli jest również ich 100% biodegradowalność, co oznacza, że są bezpieczne dla środowiska (32).



Hydrożele sprzedawane są zazwyczaj w postaci proszku lub żelowego granulatu, który najlepiej jest dozować w okresie przygotowania gleby do siewu czy sadzenia w okolice systemu korzeniowego i wymieszać z glebą. Należy pamiętać, że zanim hydrożel będzie mógł oddawać wodę roślinom, musi najpierw wchłonąć jej zapas. Dlatego po zastosowaniu hydrożelu niezbędne jest wstępne nawodnienie gleby. Wówczas woda jest najefektywniej pochłaniana przez hydrożel.

W sprzedaży dostępne są hydrożele o chłonności wody od 200 do 600 g/g. I tak np. chłonność 200 g/g oznacza, iż 1 gram hydrożelu jest w stanie wchłonąć 200 g wody. Do obliczania tego parametru stosuje się wodę destylowaną, gdyż zawartość różnych substancji w wodzie może zmienić zdolność chłonną polimeru. Zastosowanie hydrożeli o mniejszej chłonności powoduje, iż trzeba zwiększyć ich dawki, a to zwiększa koszty inwestycji. Z kolei polimery o bardzo dużej chłonności są mocno narażone na uszkodzenia mechaniczne (14). Na rynku dostępnych jest wiele preparatów do stosowania w ogrodnictwie i sadownictwie, np. Hydrogel HRT Polska, TerraCottem – nawóz z hydrożelem, AquaGel, Substral (hydrożel + ukorzeniacz do kwiatów balkonowych).

### Nanonawozy

Nanotechnologia jest szybko rozwijającą się interdyscyplinarną dziedziną wiedzy, która zajmuje się tworzeniem nanostruktur, czyli struktur na poziomie pojedynczych atomów oraz cząsteczek w celu kontrolowania wielu struktur już na poziomie cząsteczkowym. Znajduje dziś szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia człowieka, stwarzając nowe możliwości rozwoju, między innymi w medycynie, przemyśle, rolnictwie, produkcji zwierzęcej oraz w przetwórstwie i magazynowaniu żywności.

Znaczenie nanotechnologii wynika stąd, że pierwiastki, czy znane związki chemiczne po rozdrobnieniu do rozmiarów nano, nabywają (ujawniają) nieznane wcześniej, a przy tym bardzo przydatne właściwości. Nanocząsteczki są zazwyczaj bardzo aktywne chemicznie. Mogą też łatwiej przenikać do wnętrza komórek i tam ingerować w procesy metaboliczne.

W rolnictwie dzięki nanotechnologii możliwe jest wprowadzenie nowych, skutecznych regulatorów wzrostu roślin, nawozów, czy też środków ochrony roślin. Dużą szansą dla rolnictwa są preparaty zawierające nanocząsteczki przeciwko szkodnikom, a także środki grzybobójcze oraz zaprawy nasienne z zastosowaniem nanomateriałów.

Największe jednak nadzieje związane z nanotechnologią dotyczą rolnictwa precyzyjnego, które z założenia ma przynosić rolnikowi oszczędność czasu, pracy, zużytkowanej energii i środków produkcji typu nawozy mineralne czy pestycydy. Wizjonerzy rolnictwa przyszłości przewidują, że w ramach rolnictwa precyzyjnego powszechne będzie korzystanie z sieci nanoczuJNIKÓW rozlokowanych w glebie i roślinach. Pozwolą one na bardzo precyzyjną kontrolę procesów przebiegających zarówno w glebie, jak i w roślinach.

Naukowcy sukcesywnie rozwijają też nowe systemy dostarczania substancji odżywczych. Opierają się one między innymi na 60-atomowych kapsułach węglowych zawierających w swym wnętrzu składniki odżywcze, głównie mikroelementy (4, 20). Zawartość jest uwalniana tylko we wnętrzu rośliny i to dopiero w odpowiedzi na sygnał fizjologiczny – niedobór danego pierwiastka lub np. inwazję patogenicznego grzyba. Szczególną uwagę zwrócono na miedź, która w formie pojedynczych atomów wykazuje silne właściwości grzybobójcze. Można więc przypuszczać, że dzięki nowej technologii, zmniejszeniu ulegnie zagrożenie niektórymi chorobami grzybowymi. Będą one eliminowane w bardzo wczesnych fazach rozwojowych, ale nie przy użyciu fungicydów, lecz nawożenia mineralnego.

W nawozach metale szlachetne przekształcone w nanocząsteczki sprawiają, że minimalna ilość tych metali wpływa na ich skuteczne i długotrwałe działanie. Zastosowanie nanomateriałów w rolnictwie stwarza realne szanse nie tylko na poprawę kondycji roślin, ale może również przyczynić się do zmniejszenia zużycia środków ochrony roślin, a także do poprawy struktury gleby (3).

Obecnie szczególnie dużym zainteresowaniem cieszy się nanosrebro wykazujące silne właściwości antyseptyczne. Stąd też jego duża skuteczność w walce z bakteriami, grzybami, drożdżami czy wirusami. Wykazuje ono również działanie ochronne przed zakażeniem ran przez bakterie i grzyby oraz stymuluje mechanizmy obronne roślin (29). Wpływa na lepsze natlenienie komórek roślinnych, aktywizuje procesy życiowe roślin, jak oddychanie, pobieranie czy transport składników pokarmowych w roślinie (1, 3).

Produktem, który niedawno pojawił się na rynku, a który zyskuje coraz większe uznanie rolników jest nawóz z nanocząstkami srebra. Nanosrebro to mikroskopijnej wielkości cząstki w postaci jonów, których nie da się dostrzec gołym okiem. Takie rozdrobnienie sprawia, że mają one duży potencjał oddziaływania bakteriobójczego, wirusobójczego i grzybobójczego. Właściwości srebra były już znane i wykorzystywane w starożytności, szczególnie w czasach zarazy. Dzięki aktywności biologicznej, którą charakteryzuje się nanosrebro, może ono niszczyć szkodliwe dla roślin mikroorganizmy. Główny mechanizm działania nanocząsteczek srebra na komórki bakterii polega na jej szczelnym otoczeniu, uniemożliwieniu poruszania się oraz wywołaniu ostatecznej śmierci drobnoustrojów. Zablockowana komórka nie może budować nowej ściany komórkowej, przylegając do innych komórek, ani koniugować, a grupy tiolowe cysteiny reagują z tlenem atomowym i tworzą wiązania siarkowe między aminokwasami, które są zabójcze dla bakterii. Bakterie tracą możliwość oddychania, gdyż dochodzi do zakłócenia przepływu elektronów i zamknięcia łańcucha oddechowego, powodując obumarcie komórki (30). Przeprowadzone badania polegające na ekspozycji komórek *Chlamydomonas reinhardtii* na działanie jonów srebra ( $\text{AgNO}_3$ ) lub nanocząsteczek srebra wykazały, że to jony srebra są bardziej skuteczne w pierwszej godzinie kontaktu z materiałem biologicznym, natomiast po ok. 2 godzinach większą siłą niszczenia komórek mają nanocząstki srebra (33). Według Banacha i in. (1), użycie nanocząsteczek

srebra na kultury bakteryjne *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* oraz *Pseudomonas aeruginosa*, *Sclerotinia sclerotiorum*, potwierdziło założenie, iż nanocząsteczki te wnikają do protoplazmy bakterii, zaburzając działanie ich mitochondriów oraz materiału genetycznego. Przeprowadzone liczne badania potwierdzają tezę, iż działanie nanosrebra na bakterie powoduje ich degradację w 95–100% (31).

Nawozy zawierające nanocząsteczki srebra działają również na poziomie komórkowym roślin, wpływają korzystnie na podstawowe procesy fizjologiczne. Przeznaczone są one do stosowania w uprawie wszystkich gatunków roślin polowych, warzyw gruntowych i pod osłonami, roślin sadowniczych, na plantacjach roślin jagodowych oraz ozdobnych.

Inteligentny nawóz został także zaprezentowany przez Pratima Biswasa z Washington University na spotkaniu stowarzyszenia naukowego American Chemical Society w Nowym Orleanie (12). Jest to nanokompozyt złożony z azotu, fosforu, potasu, cynku i tytanu. Jego cząsteczki mają kilka mikronów, a wielkość inkluzji waha się od 20 do 100 nanometrów. Według autora konieczne są zmiany w sposobie produkcji żywności i w całym systemie rolniczym. Aby sprostać wymaganiom rosnącej populacji, do 2050 roku produkcja żywności powinna wzrosnąć o 50%. Nawóz nanokompozytowy zwiększa przyrost biomasy o 26% w stosunku do nawozów konwencjonalnych (12). Nawóz wchłaniany przez liście jest skuteczny, powodując wzrost roślin większy o 97% w stosunku do roślin nawożonych tradycyjnymi nawozami.

Przewiduje się, że nanotechnologia spowoduje gwałtowny spadek użycia nawozów. Nanokompozyt stworzony przez zespół Biswasa może być stosowany 3 razy rzadziej (12). Nawóz taki może być dostarczony na różne sposoby, między innymi w trakcie przygotowania nasion, razem ze składnikami odżywczymi lub środkami ochronnymi przeciwko mikrohom i insektom. Można dostarczyć go w trakcie masowego oczyszczania wody lub rozpylić razem z odpowiednimi składnikami, czy pokryć nim nasiona. Można nawozić glebę lub zastosować dolistnie.

Wyniki badań wskazują, że nawozy nanokompozytowe to obiecujący materiał również ze względu na bezpieczeństwo środowiska. Biswas (12) zasugerował, że najnowsze nawozy mogą zmniejszyć ryzyko zanieczyszczenia środowiska oraz nie szkodzą owadom zapylającym. Wszystko dzięki rzadkiemu stosowaniu i możliwości bezpośredniego dostarczenia nawozu roślinom. Właśnie dlatego nawozy te mogą okazać się przyjazne dla środowiska. Nowe nawozy mogą być rozwiązaniem problemów nadużywania nawozów sztucznych oraz zanieczyszczenia wody.

Trwają też prace nad nanokapsułami dla insektycydów. Badacze zakładają, że powinny one uwalniać swoją śmiertcionośną zawartość dopiero po dostaniu się do przewodu pokarmowego szkodnika. Mało tego, preparat użytkowy będzie jednocześnie zawierał nanoczuJNIKI określające przydatność gatunkową owada. Chodzi o to, aby przypadkowy i niegroźny owad, który tylko incydentalnie uszkodził naszą uprawę, nie zginął. Nowa broń ma działać z chirurgiczną precyzją (20).

## Innowacyjne technologie przetwarzania odpadów na nawozy wykorzystywane w rolnictwie

W wyniku działalności człowieka, zarówno tych związanych z jego bytowaniem, jak i tych związanych z działalnością przemysłową i rolniczą powstaje wiele różnorodnych materiałów odpadowych. Szacuje się, że w krajach wysoko rozwiniętych przy wzroście liczby ludności rocznie 1–2% produkcja przemysłowa rośnie o 4–6% i w podobnym tempie zwiększa się ilość wytwarzanych w ciągu roku odpadów (25).

Spośród wielu kierunków przetwarzania odpadów szczególne miejsce mają technologie ukierunkowane na przyrodnicze ich wykorzystanie, głównie na cele nawozowe i poprawę właściwości gleb użytkowanych rolniczo. Do celów nawozowych najlepiej nadają się odpady biodegradowalne. Pod pojęciem „odpady biodegradowalne” rozumie się wszystkie odpady ulegające tlenowemu lub beztlenowemu rozkładowi. Do odpadów ulegających biodegradacji zalicza się głównie odpady komunalne i rolnicze oraz niektóre przemysłowe. Z odpadów biodegradowalnych, obecnie największą ilość do zagospodarowania stanowią osady ściekowe, odpady z przemysłu rolno-spożywczego oraz odpady rolnicze z dużych ferm oraz produkcji pieczarek. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi muszą one zostać poddane procesowi uzdatniania, który pozwoli na ich powtórne wykorzystanie. Może to być np. kompostowanie, produkcja biogazu bądź nawozów organiczno-mineralnych.

Wśród nieorganicznych odpadów przemysłowych do przyrodniczego wykorzystania nadają się głównie odpady przemysłu energetycznego, a w szczególności popioły głównie ze spalania węgla brunatnego, a także odpadowy miął z węgla brunatnego. Mają one znaczenie dla poprawy właściwości fizycznych gleb piaszczystych.

Ważną grupę wśród odpadów przemysłowych stanowią odpady, które ze względu na obecność związków zasadowych ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  itp.) wykorzystywane są w produkcji nawozów stosowanych w rolnictwie do odkwaszania gleb nadmiernie zakwaszonych. (7, 18, 25). Nawozy te stanowią około 1/3 wszystkich surowców do produkcji nawozów wapniowych. Pochodzą one z wielu przemysłów (25). Największe praktyczne znaczenie w przyrodniczym wykorzystaniu mają odpady z przemysłu: hutniczego, chemicznego, budowlanego, energetycznego i spożywczego.

W produkcji nawozów i polepszaczy glebowych najczęściej tworzy się kompozycje nawozowe z wykorzystaniem kilku różnych odpadów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Przy ustalaniu składu nawozów bierze się pod uwagę wymagania różnych gatunków roślin, pod które te nawozy mają być stosowane oraz właściwości gleb (22).

Nawozy wytworzone z odpadów powinny mieć taką formę fizyczną, aby można je było równomiernie wysiać na glebę nowoczesnymi maszynami używanymi w rolnictwie. Dlatego końcowym etapem produkcji nawozów z odpadów jest przetworzenie ich w formę granul o jak najbardziej wyrównanej granulacji lub peletu,

jeżeli nie ma możliwości granulacji. Taka postać nawozów umożliwia również ich łatwe magazynowanie. (18)

Stosowanie odpadów na użytkach rolnych związane jest z ryzykiem zanieczyszczenia nie tylko wód podziemnych i gleb, ale może także stanowić czynnik ryzyka dla jakości wytworzonych płodów rolnych. Należy podkreślić, że postęp badań w zakresie przyrodniczego wykorzystania odpadów tworzy z jednej strony nowe możliwości ich wykorzystania, ale z drugiej rozpoznawane są coraz lepiej złożone, długofalowe interakcje, jakim odpady podlegają w środowisku glebowym, co skutkuje odpowiednimi zmianami w systemach prawnych, normach i technologiach ich stosowania, zapewniając coraz lepsze bezpieczeństwo ich nawozowego stosowania na użytkach rolnych (25).

### **Innowacyjne produkty do regulowania odczynu gleby**

Rynek polski dysponuje szerokim asortymentem nawozów wapniowych. Powstają one zwykle jako produkty uboczne w wyniku rozkruszania skał wapiennych lub jako odpady z różnych gałęzi przemysłu.

Przykładem innowacyjnego produktu jest niewątpliwie preparat bi calc+, który został wprowadzony na rynek w 2020 roku przez firmę Polcalc Sp. z o.o. Jest to innowacyjne granulowane wapno węglanowe wzbogacone o hiperaktywne szczepy bakterii *Bacillus* sp. Mikroorganizmy te przyspieszają procesy rozkładu substancji organicznej na prostsze związki dostępne dla roślin oraz wzmacniają odporność roślin na choroby powodowane przez grzyby i bakterie. Nawóz produkowany jest z ekstremalnie rozdrobnionej mączki wapiennej (93–98%  $\text{CaCO}_3$ ), w której aż 50% cząstek ma średnicę mniejszą niż 0,02 mm. Stopień rozdrobnienia mączki wpływa na aktywność chemiczną i szybkość rozpuszczenia w środowisku glebowym.

Granulowane wapno węglanowe bi calc+ jest całkowicie bezpiecznym nawozem zarówno dla zwierząt, roślin, jak i organizmów glebowych (13).

### **Podsumowanie**

Ze względu na nasilające się skutki zmian klimatycznych, postępującą degradację gleb, produkcję energii oraz potrzebę zagospodarowywania odpadów, rolnicy i ogrodnicy wciąż poszukują nowych rozwiązań, które pozwolą im zwiększyć rentowność produkcji, efektywność wykorzystania czynników produkcji oraz zmniejszyć ujemny wpływ na środowisko. Przyszłość nawożenia roślin upatruje się w stosowaniu nawozów wolno działających i o kontrolowanym uwalnianiu składników pokarmowych, powszechniejszym stosowaniu nawozów zawierających aminokwasy oraz środków sprzyjających gromadzeniu materii organicznej i zatrzymujących wodę w glebie, a także w nanotechnologii.

Kontrola dostępności składników pokarmowych w środowisku wzrostu roślin wynika z konieczności ograniczenia ich strat zarówno do atmosfery, jak i do gleby

i wód, a także zwiększenia efektywności ich wykorzystania. Do nawozów wolno uwalniających azot należą produkty kondensacji mocznika z innymi związkami, a kontrolujące uwalnianie azotu, np. nawozy otoczkowane lub kapsułkowane. Dobrym środkiem są również stabilizatory azotu, tj. inhibitory nityfikacji oraz inhibitory ureazy. Do nawozów o kontrolowanej szybkości uwalniania fosforu należą fosforyty, określane jako reaktywne lub miękkie, fosforyty zakwaszone częściowo oraz fosforyty termiczne, czyli spieki fosforytowe (termofosfaty).

W odżywianiu dolistnym roślin przełomem stało się wprowadzenie do składu nawozów aminokwasów naturalnych. W produkcji roślinnej stosowane są jako nawozy mikroelementowe lub biostymulatory. Rola wykorzystywanych w nawozach aminokwasów polega na chelatyzowaniu składników, czyli neutralizowaniu ich ładunku, co znacznie skraca czas pobrania składników pokarmowych z nawozów i zwiększa wykorzystanie składników pokarmowych do niemal 100%.

Coraz większą popularnością cieszą się organiczne mikronawozy mineralne zawierające humiany potasu, humiany sodu oraz dodatek takich pierwiastków, jak: żelazo, miedź, mangan, molibden, kobalt czy bor, dostępnych w postaci związków chelatowych. Stosowane często substancje humusowe jako stymulatory wzrostu lub mikronawozy mogą w przyszłości być wykorzystywane także do poprawy właściwości gleby.

W celu zatrzymywania wody bardzo przydatne okazują się hydrożele, czyli superabsorbenty polimerowe (SAPs), które po wymieszaniu z glebą potrafią zatrzymać bardzo duże ilości wody z opadów lub nawadniania, a następnie powolnie oddawać wodę do dyspozycji korzeni roślin. Dzięki temu można zapobiec wędnięciu i usychaniu roślin nawet podczas długotrwałych okresów suszy. Hydrożele pozwalają na mniejsze zużycie wody, lepszy rozwój korzeni oraz szybsze kiełkowanie nasion, dzięki dłuższemu utrzymaniu składników pokarmowych w korzeniach.

Nanotechnologia jest szybko rozwijającą się interdyscyplinarną dziedziną wiedzy, która zajmuje się tworzeniem nanostruktur, czyli struktur na poziomie pojedynczych atomów oraz cząsteczek w celu kontrolowania innych struktur już na poziomie cząsteczkowym. Znaczenie nanotechnologii bierze się stąd, że pierwiastki, czy znane związki chemiczne po rozdrobnieniu do rozmiarów nano, nabywają (ujawniają) nieznanne wcześniej, a przy tym bardzo przydatne właściwości. W rolnictwie, dzięki nanotechnologii możliwe jest wprowadzenie nowych skutecznych regulatorów wzrostu roślin, nawozów, czy też środków ochrony roślin. Zastosowanie nanomateriałów może przyczynić się do zmniejszenia zużycia środków ochrony roślin, a także do poprawy struktury gleby.

Współcześnie opracowano wiele nowych innowacyjnych technologii i sposobów uzdatniania odpadów, umożliwiając w coraz doskonalszy sposób ich powtórne wykorzystanie jako surowca nadającego się do przetworzenia na produkt użyteczny. Spośród wielu kierunków przetwarzania odpadów szczególne miejsce mają technologie ukierunkowane na przyrodnicze ich wykorzystanie, głównie na cele nawozowe i poprawę właściwości gleb użytkowanych rolniczo. Do celów nawozowych najlepiej

nadają się odpady biodegradowalne, wśród których obecnie największą ilość do zagospodarowania stanowią osady ściekowe, odpady z przemysłu rolno-spożywczego oraz odpady rolnicze z dużych ferm oraz produkcji pieczarek. Muszą zostać poddane procesowi uzdatniania, który pozwoli na ich powtórne wykorzystanie (np. kompostowanie, produkcja biogazu, produkcja nawozów organiczno-mineralnych) i stosowanie w rolnictwie.

Przykładem innowacyjnego produktu do regulacji odczynu gleby jest preparat bi calc+, który został wprowadzony na rynek w 2020 roku przez firmę Polcalc Sp. z o.o. Jest to innowacyjne granulowane wapno węglanowe wzbogacone o hiperaktywne szczepki bakterii *Bacillus sp.*

## Literatura

1. Banach M., Kowalski Z., Wzorek Z.: Nanosrebro – wytwarzanie, właściwości bakteriobójcze, zastosowanie. *Chemicz*, 2007, **9**: 435-438.
2. Baruk J.: Innowacyjność przedsiębiorstw w warunkach transformacji systemowej. *Wiadomości Statystyczne*, 1994, **2**: 9-11.
3. Brodowska M.S.: Nanosrebro w rolnictwie. 2020; <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/nawozenie>.
4. Chen H.: Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. Prof USDA Conference, Nov 18–19, 2002, Washington DC.
5. Drabczyk A., Kudłack S., Bialik-Wąs K., Tyliczak B.: Charakterystyka hybrydowych materiałów hydrożelowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN, Oddział w Krakowie, 2016, **II/2**: 581-588.
6. Dziamski A.: Wpływ nawożenia organicznego na zawartość i jakość próchnicy gleb. Substancje humusowe w glebach i nawozach. Pr. Zbior. Red. B. Dębska, S. Gonet. PTSH, Wrocław, 2003, 127-140.
7. Filipiek T., Badora A., Lipiński W., Brodowska M.S., Domańska J., Harasim P., Kozłowska-Strawska J., Skowron P., Skowrońska M., Tkaczyk P.: Zakwaszenie i wapnowanie gleb. Fundacja programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA, 2015, ss. 236.
8. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J.: Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 2007, **26**: 227-242.
9. Grzebiś W.: Nawożenie roślin uprawnych, PWRiL, 2008, **2**: 172-188.
10. Haliniarz M.: Biostymulatory – preparaty o wielokierunkowym zastosowaniu w rolnictwie. 2017; <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/z-kraju.html>.
11. <https://doradztwowyarzynnicze.pl/aminokwasy-dlaczego-warto-stosowac>.
12. <https://nano-magazine.com/news/2018/4/4/nanoparticle-fertilisers-show-promise>.
13. <https://polcalc.pl/encyklopedia/nowy-innowacyjny-produkt-bi-calc>.
14. <https://poradnikogrodniczy.pl/jak-stosowac-hydrozele.php>.
15. <https://smoglab.pl/co-i-jak-nas-truje-tlenki-azotu-1/>.
16. <https://www.agro.basf.pl/Documents/etykiety/limus-clear-ulotka.pdf>.
17. Jones C.A., Jeffrey S.J., Muga A.: Effect of low rate commercial humic acid on phosphate availability, micronutrient uptake, and sprong wheat yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2007, **38**: 921-933.
18. Kęsik K., Jadczyś T.: Wprowadzanie do obrotu środków wapnujących i nawozów mineralnych zawierających wapń. IUNG PIB, Puławy, 2012, ss. 27.
19. Knapik M.: Zastosowanie biostymulatorów we współczesnym rolnictwie. *FASCICLES of Student Scientific Movement the Jan Kochanowski University in Kielce*, 2018, v. 27, **2**: 79-84.
20. Koniczny W.: Technologia maleńkości. *Farmer*, 12/2012; <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/nawozy>.
21. Kotic A.: Hydrożel polimerowy – przyszłość w nawadnianiu upraw? <https://Sady ogrody.pl>.

22. Krzywyy E., Wołoszczyk C., Moździerz E.: Possibility of producing granulated organic-mineral fertilizers from some municipal and industrial wastes. *Chemik*, 2015, **69(10)**: 684-697.
23. Kwiatkowska J., Maciejewska A.: Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. *Rocz. Gleb.*, 2008, Tom LIX, **1**: 128-133.
24. Lecejewski P.: Wpływ wielkości dodatku hydrożelu na zmiany uwilgotnienia i tempo przesuszania gleby piaszczystej w warunkach laboratoryjnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 2008, T.10, **2(18)**: 316-328.
25. Łabętowicz J., Stępień W., Kobiałak M.: Innowacyjne technologie przetwarzania odpadów na nawozy agroekologicznej użyteczności. *Inżynieria Ekologiczna Ecological Engineering*, 2019, v. 20, **1**: 13-23.
26. Maciejewska A., Kwiatkowska J.: Niektóre właściwości chemiczne gleby oraz jej zdolności buforowe po zastosowaniu nawozu organiczno-mineralnego z węgla brunatnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2002, **482**: 351-357.
27. Maciejewska A., Kwiatkowska J.: Kształtowanie się właściwości fizyko-chemicznych gleby użyźnionej Rekulterem. *Rocz. Gleb.*, 2004, Tom LV, **3**: 147-153.
28. Marcinkowski T., Kierończyk M.: Efektywność inhibitora ureazy NBPT w ograniczaniu emisji amoniaku z mocznika i roztworów saletrzano-mocznikowych (RSM) stosowanych w mineralnym żywieniu roślin. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, lipiec-wrzesień 2015, t. XXXII, z. **62 (3/I/15)**: 271-279.
29. Morones J.R., Elechiguerra J.L., Camacho A., Holt K., Kouri J.B., Ramirez J.T., Yacaman M.J.: The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Journal of Nanotechnology*, 2005, **16**: 2346-2353.
30. Mroczek-Sosnowska N., Jaworski S., Siennicka A., Gondak A.: Unikalne właściwości nanocząstek srebra. *Nanotechnologia. Polskie drobiarstwo*, 2013, **2**: 6-8.
31. Piccapietra F.: Colloidal stability of silver nanoparticles and their interactions with the alga *Chlamydomonas reinhardtii*. PhD Thesis, ETH ZURICH, DISS. ETH, 2012, No. 20365; <http://ecollection.library.ethz.ch/eserv/eth:5853/eth-5853-02.pdf>.
32. Skiba A.: Badania wybranych materiałów polimerowych pod kątem ich wykorzystania w otrzymywaniu nawozów mikroskładnikowych. Praca doktorska, 2018, [phavi.umcs.pl](http://phavi.umcs.pl).
33. Song J.Y., Kim B.S.: Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2009, **32**: 79-84.
34. Ulukan H.: Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components of wheat (*Triticum* spp. Hybrids.). *Int. J. Bot.*, 2008, **4(2)**: 164-175.
35. Zachaj K.: Nawozy z aminokwasami – dlaczego warto je stosować? <https://doradztwosadownicze.pl>.

---

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Alicja Pecio*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 834*  
*e-mail: [alicia.pecio@iung.pulawy.pl](mailto:alicia.pecio@iung.pulawy.pl)*

---

AUTOR  
Alicja Pecio

ORCID  
0000-0001-7780-8313