

Jolanta Korzeniowska

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

POSTĘP W BADANIACH NAD NAWOZAMI O KONTROLOWANYM DZIAŁANIU*

Wstęp

Podstawowymi problemami związanymi z nawożeniem roślin uprawnych jest zbyt mała efektywność tego zabiegu oraz jego niekorzystne oddziaływanie na środowisko. Efektywność nawożenia jest ograniczona z powodu unieruchomienia bądź strat składników pokarmowych dostarczanych do gleby w nawozach. Z całkowitej ilości składnika wprowadzonego w dawce nawozowej jedynie część zostaje pobrana przez rośliny. Przyjmuje się, że wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych wynosi 50-70%, fosforu 10-25% i potasu 50-60%. Jednak, podczas gdy immobilizacja składników w glebie uniemożliwia wykorzystanie ich przez rośliny, to straty są poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Niepobrane przez rośliny pierwiastki wprowadzone do gleby z dużymi dawkami nawozów mogą zanieczyszczać wody i powietrze poprzez wymywanie, ulatnianie do atmosfery, spływy powierzchniowe i wywiewanie poprzez erozję wietrzną. Problem ten dotyczy głównie azotu, choć przedostawanie się innych składników z nawozów do środowiska jest również poważnym niebezpieczeństwem. Przykładem takich zagrożeń jest skażenie wód gruntowych azotanami lub eutrofizacja wód powierzchniowych spowodowana nadmiarem związków azotu i fosforu.

Jedyną możliwością zwiększenia efektywności nawożenia i uniknięcia strat składników pokarmowych jest ściśle dostosowanie dawek nawozowych do tempa ich pobierania i potrzeb pokarmowych roślin. Jednym z rozwiązań tego problemu jest stosowanie nawozów o powolnym, kontrolowanym uwalnianiu składników. Wychodząc naprzeciw temu zapotrzebowaniu światowy przemysł nawozowy ciągle udoskonala i wprowadza na rynek nowe nawozy wolnodziałające, które charakteryzują się rozłożonym w czasie wydzielaniem składników pokarmowych, coraz lepiej dopasowanym do tempa pobrania ich przez rośliny.

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

Terminologia i definicje

Terminologia dotycząca nawozów wolnodziałających jest niejednolita, bowiem różni autorzy posługują się różnymi terminami. W literaturze światowej omawiane są nawozy o spowolnionym (slow-release fertilizers – SRF) lub kontrolowanym uwalnianiu składników (controlled-release fertilizers – CRF), przy czym brak jest jednoznacznych definicji, a określenia te często stosowane są zamiennie. Również AAPFCO (Association of American Plant Food Control Officials), amerykańska organizacja powołana do ujednoczenia praw i zasad dotyczących produkcji i stosowania nawozów w USA i Kanadzie, używa w swoich publikacjach obu terminów wymiennie. Najczęściej jednak produkty azotowe rozkładane przez mikroorganizmy, takie jak mocznikoformaldehydy zaliczane są do nawozów typu SRF, a produkty otoczkowane do nawozów CRF (40). Równie często w odniesieniu do szeroko pojętych nawozów wolnodziałających używany jest skrót SRF/CRF (nawozy o spowolnionym lub kontrolowanym uwalnianiu). W niniejszym opracowaniu zdecydowano się na używanie skrótów przejętych z języka angielskiego ze względu na wygodę stosowania oraz powszechne ich występowanie w literaturze światowej.

Termin nawozy wolnodziałające SRF/CRF używany jest w tym opracowaniu w odniesieniu do nawozów, z których uwalnianie składników pokarmowych do środowiska zachodzi w sposób mniej lub bardziej spowolniony lub kontrolowany, dostosowany do potrzeb roślin. Nawozy te charakteryzują się znacznie wolniejszym uwalnianiem składników w porównaniu z dobrze rozpuszczalnymi nawozami tradycyjnymi. Aktualnie przyjmuje się, że termin CRF stosowany jest do określania produktów, dla których sposób, czas trwania i tempo uwalniania składników z nawozu są znane i możliwe do zaplanowania w czasie ich produkcji.

Według AAPFCO (1) nawozy SRF/CRF charakteryzują się:

- opóźnioną dostępnością składników pokarmowych w stosunku do terminu aplikacji nawozu,
- znacznie dłuższą trwającą dostępnością składników w stosunku do odpowiadającym im szybko rozpuszczalnym nawozom mineralnym, takim jak: azotan amonu lub mocznik, fosforan amonu i chlorek potasu.

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) przyjmuje, że produkt może być nazwany nawozem o działaniu spowolnionym jeśli spełnia w określonych warunkach (25°C) każde z 3 poniższych kryteriów:

- nie więcej niż 15% składników uwalnia się w ciągu 24 godzin,
- nie więcej niż 75% składników uwalnia się w ciągu 28 dni,
- co najmniej 75% składników uwalnia się w deklarowanym przez producenta tzw. „czasie uwalniania”.

Podział i charakterystyka nawozów wolnodziałających

Można wyróżnić dwie główne grupy nawozów wolnodziałających (SRF/CRF):

- produkty kondensacji mocznika z aldehydami (często zaliczane do typu SRF);

- nawozy otoczkowane, gdzie uwalnianie substancji pokarmowych kontrolowane jest przez barierę fizyczną (CRF).

Ponadto wielu autorów (17, 31, 38) do nawozów wolnodziałających zalicza trudno rozpuszczalne fosfority, a zwłaszcza nawozy fosforowe wytworzone przez częściowe rozтворzenie surowców fosforowych kwasem siarkowym lub fosforowym, zwane PAPR (Partially Acidulated Phosphate Rock).

W szerszym znaczeniu do nawozów wolnodziałających zaliczane są również nawozy azotowe z dodatkiem inhibitorów nitryfikacji lub ureazy (40, 42). Nawozy te jednak nie będą omawiane w pracy dotyczącej nawozów o kontrolowanym działaniu.

Produkty kondensacji mocznika z aldehydami

Produkty kondensacji mocznika z aldehydami to azotowe nawozy organiczne o słabej rozpuszczalności. Największe praktyczne znaczenie mają 3 z nich: nawóz mocznikowo-formaldehdowy, tzw. ureaform (UF), izobutilidenodimocznik (IBDU) i krotonolidenodimocznik (CDU).

Zdecydowanie najpopularniejszym produktem z tej grupy jest ureaform, który był pierwszym wprowadzonym na rynek nawozem wolnodziałającym. Jego produkcja ruszyła w USA w 1955 roku. W Polsce w latach 70. Zakłady Azotowe w Kędzierzynie wyprodukowały nawóz tego rodzaju o nazwie agroform. Jednak ze względu na wysokie koszty wytwarzania zaprzestano jego produkcji. Ureaform powstaje w reakcji formaldehydu z nadmiarem mocznika. Typowy nawóz UF zawiera 37-40% azotu i nie stanowi jednolitego związku chemicznego, lecz jest mieszaniną polimetylenomoczników o różnym stopniu spolimeryzowania. Na jego rozpuszczalność, a tym samym na przyswajalność dla roślin ma wpływ długość łańcuchów powstających związków. W skład ureaformu wchodzi 3 frakcje o różnym stopniu rozpuszczalności (w zimnej wodzie, w gorącej wodzie i nierozpuszczalne w gorącej wodzie). Rozpuszczalność nawozu, a tym samym jego efektywność zależy od stosunku frakcji do siebie. Na podstawie stosunku poszczególnych frakcji oblicza się tzw. „indeks aktywności”, który informuje o szybkości uwalniania azotu i efektywności działania nawozu. Według AAPFCO indeks 40 uznany jest za minimalny. Dawniej produkowane ureaformy charakteryzowały się indeksami na poziomie 40-50, dzisiaj to raczej poziom 55-65. Rozkład UF zachodzi głównie przy udziale mikroorganizmów glebowych, dlatego uwalnianie N jest silnie uzależnione od aktywności mikrobiologicznej gleby, a tym samym od jej uwilgotnienia, temperatury, pH i składu granulometrycznego (19). Ponieważ ureaformy wykazują lepsze działanie w wyższych temperaturach, są szerzej stosowane w cieplejszych strefach klimatycznych (rejon śródziemnomorski, południowe stany USA). Ponadto wadą tych nawozów jest uwalnianie (w wielu przypadkach) z frakcji łatwo rozpuszczalnych większych ilości mocznika niż są potrzebne roślinom we wczesnych fazach wzrostu oraz uwalnianie w zbyt wolnym tempie mocznika z frakcji trudno rozpuszczalnych. Jest to prawdopodobnie przyczyną relatywnego zmniejszenia się udziału UF w całej puli nawozów SRF/CRF stosowanych aktualnie na świecie.

IBDU i CDU, stosowane znacznie mniej powszechnie, zawierają około 32% mocznika i są produktami trudniej rozpuszczalnymi niż ureaform. IBDU powstaje w wyniku reakcji płynnego aldehydu izobutylowego ze stałym mocznikiem, a CDU jest produktem kondensacji mocznika i aldehydu octowego. Rozkład nawozów zachodzi w wyniku hydrolizy i procesów mikrobiologicznych. Stopień uwalniania azotu z IBDU zależy od wielkości cząstek nawozu, wilgoci, temperatury i pH. Im mniejsze są granule, tym tempo uwalniania jest większe, a duże granule rozpuszczają się bardzo wolno.

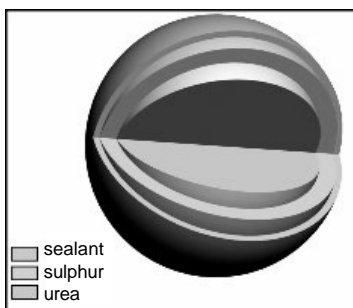
Nawozy otoczkowane

W nawozach otoczkowanych uwalnianie substancji pokarmowych kontrolowane jest przez barierę fizyczną. Nawozy te mają formę granul wytworzonych z łatwo rozpuszczalnych składników pokarmowych, a następnie pokrytych warstwą innej substancji zwanej otoczką lub powłoką, która utrudnia wydostawanie się składników na zewnątrz. Ze względu na materiał użyty do wytworzenia powłoki nawozy te dzielimy na otoczkowane:

- siarką,
- siarką i polimerami organicznymi (poliolefinami i żywicami),
- polimerami organicznymi.

Mocznik otoczkowany siarką

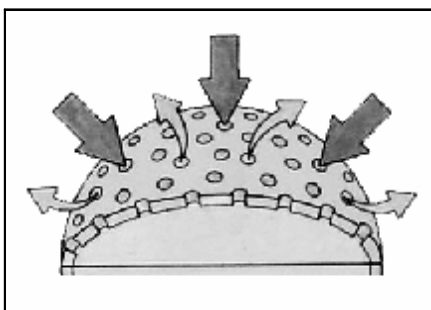
Spośród nawozów otoczkowanych siarką największe znaczenie ma mocznik zwany w skrócie SCU (Sulfur Coated Urea). Technologia wytwarzania tego nawozu została opracowana w 1961 r. w USA, a jego masowa produkcja ruszyła w 1972 roku w Wielkiej Brytanii. SCU jest otrzymywany w wyniku powlekania podgrzanych granul mocznika stopioną siarką. Następnie na powierzchni otoczek siarkowych rozpylany jest wosk w celu wypełnienia szczelin w otoczce siarkowej i zmniejszenia tempa jej rozkładu przez mikroorganizmy glebowe (rys. 1). Aktualnie produkowane nawozy SCU zawierają ok. 30-42% N i 6-30% S. Siarka jest używana do otoczkowania granul ze względu na jej zdolność do topienia się w relatywnie niskich temperaturach, niewielki koszt i podatność na rozkład w wyniku procesów mikrobiologicznych.



Rys. 1. Granula mocznika otoczkowanego siarką. Warstwa zewnętrzna – wosk uszczelniający, warstwa druga – siarka, środek – mocznik

Źródło: <http://www.zafaran.net>

Mechanizm działania mocznika otoczkowanego siarką został opisany już na przełomie lat 1979/1980 (21). Na uwalnianie się mocznika ma wpływ temperatura (13), zawartość wody w glebie i aktywność mikroorganizmów glebowych. Tempo uwalniania azotu z SCU zależy również od wielkości granul oraz grubości i jakości ich otoczek. Część wytworzonych otoczek siarkowych posiada defekty mechaniczne typu pęknięć lub dziurek. W typowym nawozie SCU występują 3 typy granul: z uszkodzonymi otoczkami posiadającymi pęknięcia, z otoczkami, w których pęknięcia uszczelnione są woskiem i z idealnymi nieuszkodzonymi grubymi otoczkami. Z granul o uszkodzonych otoczkach azot uwalnia się natychmiast po wprowadzeniu do gleby i zetknięciu się z wodą. Otoczka woskowa drugiego typu granul jest rozkładana przez mikroorganizmy, odsłaniając otwory, które pozwalają na wnikanie wody. Zakłada się, że mocznik dyfunduje z granul przez pory lub szczeliny powstałe w otoczce (rys. 2). Proces uwalniania azotu z granul o nieuszkodzonych grubych otoczkach jest bardzo długotrwały. Niekiedy słabej jakości SCU może składać się z 1/3 części granul uszkodzonych i 1/3 granul o nieuszkodzonych bardzo grubych otoczkach. W efekcie z takiego nawozu 1/3 azotu uwalnia się natychmiast po wprowadzeniu go do gleby (tzw. burst effect), a 1/3 może uwolnić się dopiero po zbiorze roślin (tailing effect); (30).



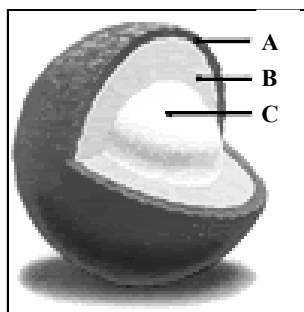
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie uwalniania składnika pokarmowego z granul przez otwory w otoczce

Źródło: na podstawie www.dkimages.com

Nawozy otoczkowane siarką i polimerami organicznymi

W związku z wadami zwykłego mocznika otoczkowanego siarką (SCU) wprowadzono modyfikację polegającą na pokrywaniu granul SCU dodatkową cienką warstwą organicznego polimeru – poliolefiny lub żywicy (rys. 3). Otoczkowany polimerem SCU nosi nazwę PCSCU (Polimer Coated Sulfur Coated Urea) i wykazuje znacznie lepsze własności niż zwykły SCU. Otoczki siarkowo-polimerowe łączą zarówno lepszą kontrolę uwalniania dzięki zewnętrznej, cieniutkiej powłoce polimerowej, jak i niskie koszty otoczek siarkowych.

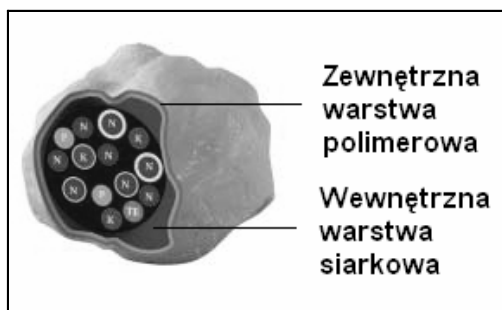
Technologia otoczkowania siarką i polimerami może być z powodzeniem wykorzystywana nie tylko do mocznika, ale również do innych nawozów. Aktualnie tę metodę otoczkowania stosuje się do różnych rodzajów kompletnych nawozów NPK, często



Rys. 3. Granula mocznika otoczkowanego siarką i polimerem: A – warstwa polimeru, B – warstwa siarki, C – mocznik

Źródło: www.greensleeves-uk.com

z innymi dodatkami, takimi jak magnez, siarka i mikroelementy (rys. 4). Tego typu nawozy stanowią obecnie większość nawozów otoczkowanych dostępnych na rynku i stosowanych w praktyce.



Rys. 4. Przykład granuli nawozu wieloskładnikowego z otoczką polimerowo-siarkową

Źródło: na podstawie <http://www.scottspprofessional.co.uk>

Nawozy otoczkowane polimerami organicznymi

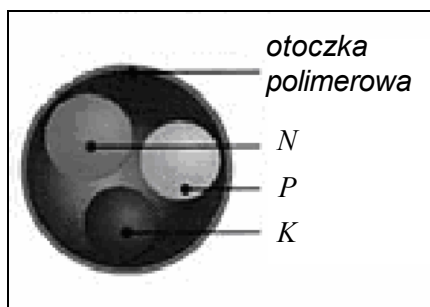
Przez wiele lat na rynku nawozów otoczkowanych dominował standardowy SCU. Jednak w wyniku wzrostu wymagań odbiorców pojawiła się potrzeba stworzenia nawozów o bardziej precyzyjnym mechanizmie uwalniania składników pokarmowych. Doprowadziło to do opracowania nowych metod otoczkowania, w których do wytwarzania powłok na granulach wykorzystuje się różne związki organiczne. Wśród nich największe znaczenie mają poliolefiny, takie jak polietylen i polipropylen oraz żywice alkidowe i poliuretanowe. Ponadto do powlekania granul używane są również woski (18), parafiny, asfalty, lateks, oleje, akryloamid (23, 25) i polistyren (4, 26). W Polsce prowadzono badania nad powlekaniami granul polisulfonami (36) oraz poliakrylonitrylem (37). Kontrola nad uwalnianiem składników pokarmowych z nawozów otoczkowanych osiągana jest poprzez różny skład i grubość powłok (28). W tym celu granule

pokrywa się nawet kilkoma różnymi warstwami tej samej lub różnych substancji (22, 46, 47), przy czym do powłok polimerowych można dodawać specjalne substancje modyfikujące ich działanie.

Większość organicznych polimerów używanych do otoczkowania granul bardzo dobrze przylega do nieorganicznego rdzenia granul. Dzięki temu powstają nawozy odporne na ścieranie, co daje im przewagę nad SCU, którego otoczki siarkowe nie mają takich właściwości. W przeciwieństwie do SCU uwalnianie składników z granul otoczonych polimerami jest znacznie mniej uzależnione od właściwości gleby, takich jak pH, uziarnienie i aktywność mikrobiologiczna, a bardziej od temperatury i przepuszczalności wodnej zastosowanych powłok (12, 15, 28). Stwarza to możliwość dość precyzyjnego regulowania uwalniania składników w określonym czasie.

Nowe nawozy otoczkowane polimerami mogą zawierać tylko jeden składnik (najczęściej mocznik) lub mieszanki wieloskładnikowe NPK z dodatkiem lub bez mikroelementów o różnych stosunkach składników (rys. 5). Prowadzone są również badania nad nawozami będącymi połączeniem typowych produktów o działaniu spowolnionym typu UF lub IBDU, a nawozami otoczkanymi. W takich nawozach rdzeniem otoczkanymi granul są produkty kondensacji mocznika z aldehydami lub inne substancje nawozowe o działaniu spowolnionym (23, 45).

Pierwszym nawozem otoczkanym polimerami organicznymi, który pojawił się na rynku był wyprodukowany w Kalifornii w 1967 roku nawóz Osmocote z granulami pokrytymi żywicą alkaidową. Innym przykładem nawozów z powłokami żywicowymi są Polyon, Plantacote i Multicote otoczkowane żywicami poliuretanowymi. Na ogół powłoki poliuretanowe wytwarza się w reakcji poliizocyjanianów z alkoholami wielowodorotlenowymi (poliolami) na powierzchni granul nawozu. Poliizocyjaniany reagują również z rdzeniem granul dzięki czemu nawóz odporny jest na ścieranie. Produkty tego typu nazywane są RLC (Reactive Layer Coated). Technologia RLC pozwala na otoczkowanie wielu różnych granulowanych produktów. Zapewnia ona dobrą kontrolę nad uwalnianiem składników pokarmowych poprzez różną grubość otoczki i w pewnym stopniu poprzez modyfikację jej składu.



Rys. 5. Schemat granul nawozu wieloskładnikowego z otoczką polimerową

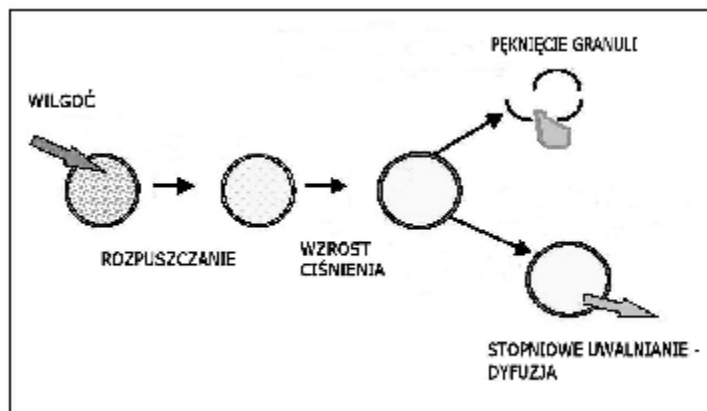
Źródło: na podstawie http://demo.itent.hu/scotts/portal/downloads/English/D165_Br_Agroblen.pdf

Drugą grupą polimerów organicznych, prócz żywic, z powodzeniem używaną do wytwarzania powłok na granulach są poliolefiny. Związki takie, jak polietylen czy polipropylen charakteryzują się dużą stabilnością chemiczną oraz małą przepuszczalnością dla wody. Najbardziej rozpowszechnioną technologią otoczkowania nawozów poliolefinami, takimi jak polietylen jest rozpuszczenie materiału przeznaczonego do otoczkowania w rozpuszczalniku organicznym, a następnie rozpylenie go na granulach lub naprzemienne natryskiwanie granul polimerem i rozpuszczalnikiem (39). Inną stosowaną metodą jest zalewanie granul roztworem polimeru, a następnie wprowadzaniem ich do kąpieli żelującej i suszenie (20, 36). Grubość powłoki, od której zależy dynamika uwalniania, regulowana jest ilością naniesionych warstw lub czasem natryskiwania polimeru (38).

Mechanizm uwalniania składników z nawozów otoczkowanych polimerami

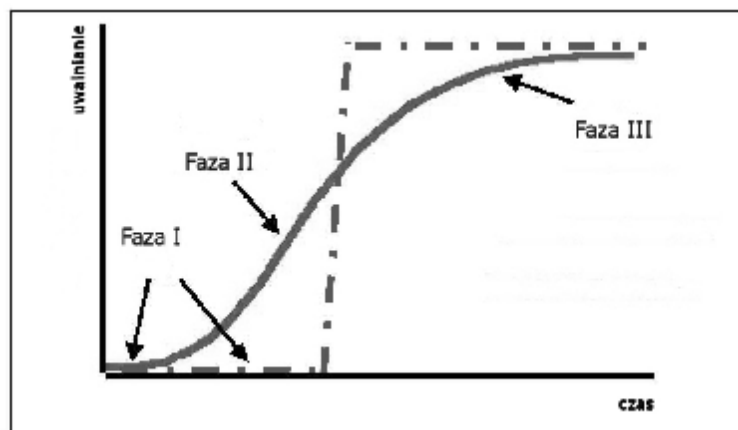
Czas od wprowadzenia granul nawozu do gleby do całkowitego uwolnienia z nich składników pokarmowych nazywa się niekiedy „cyklem życia” nawozu. Proces uwalniania z otoczkowanych granul przebiega stopniowo i składa się z 3 faz: wstępnej, właściwego uwalniania i zanikania uwalniania. Pierwszą wstępną fazą jest wnikanie wody przez otoczkę do wnętrza granul i rozpuszczanie zawartych w niej substancji pokarmowych (29); (rys. 6 i 7). Ciśnienie wewnątrz granul stopniowo wzrasta, osiągając znaczne wartości przy równoczesnym wzroście nasycenia roztworu. Od tego momentu rozpoczyna się II faza uwalniania, która może przebiegać według dwóch różnych schematów:

- uwalnianie stopniowe: otoczka wytrzymuje wewnętrzne ciśnienie, a po uzyskaniu nasycenia roztworu składniki pokarmowe uwalnianie są z granul w stałym tempie w wyniku zjawiska dyfuzji;
- uwalnianie skokowe: otoczka pęka na skutek wytworzonego wewnętrznego ciśnienia przewyższającego jej wytrzymałość, a cała zawartość granul natychmiast wydostaje się na zewnątrz.



Rys. 6. Mechanizm uwalniania składników z otoczkowanej granul nawozu CRF
Źródło: Shaviv, 2001.

Ostatnia III faza cyklu „życia granuli” zwana też fazą zanikania uwalniania to dalsze i coraz wolniejsze uwalnianie na skutek zmniejszania się stężenia wewnątrz granuli, aż do całkowitego wydostania się składników pokarmowych na zewnątrz. Skutkiem pęknięcia granul jest nagłe, skokowe uwalnianie, podczas gdy mechanizm dyfuzyjny powoduje stopniowe uwalnianie składników z nawozu dopasowane do potrzeb pokarmowych roślin (rys. 7). Rozrywanie granul jest charakterystyczne dla kruchych, nieelastycznych otoczek. Uwalnianie poprzez dyfuzję zachodzi w nawozach otoczkowanych polimerami, takimi jak: poliuretany, żywice alkaidowe i poliolefiny.



Rys. 7. Przebieg procesu uwalniania składników pokarmowych z pojedynczej otoczkowanej granuli. Linia ciągła – uwalnianie stopniowe (dyfuzyjne), linia przerywana – uwalnianie skokowe (pęknięcie otoczki)

Źródło: Shaviv, 2001.

Opisany powyżej mechanizm uwalniania odnosi się do zachowania pojedynczej granuli. Natomiast zjawisko uwalniania składników z nawozu dotyczy całej populacji granul, zazwyczaj silnie zróżnicowanej pod względem właściwości otoczek. Różnorodność grubości i jakości powierzchni otoczek poszczególnych granul powoduje, że uwalnianie składników zachodzi stopniowo nie tylko z nawozów o elastycznych niepękających otoczkach, ale również z nawozów, których otoczki pękają w wyniku wzrostu ciśnienia wewnątrz granul. Ponieważ grubsze otoczki rozpadają się później niż cienkie wydzielanie się składnika z nawozu jest rozłożone w czasie. Oczywiście dyfuzyjny stopniowy mechanizm uwalniania daje znacznie większą możliwość kontroli tempa wydzielania się składników z nawozu niż uwalnianie skokowe.

Obecnie prowadzi się coraz więcej badań dotyczących możliwości kontrolowania mechanizmu uwalniania składników pokarmowych z nawozów CRF. W tym celu opracowuje się modele matematyczne, które umożliwiają przewidywanie dynamiki uwalniania w zależności od warunków glebowych i pogodowych (3, 32).

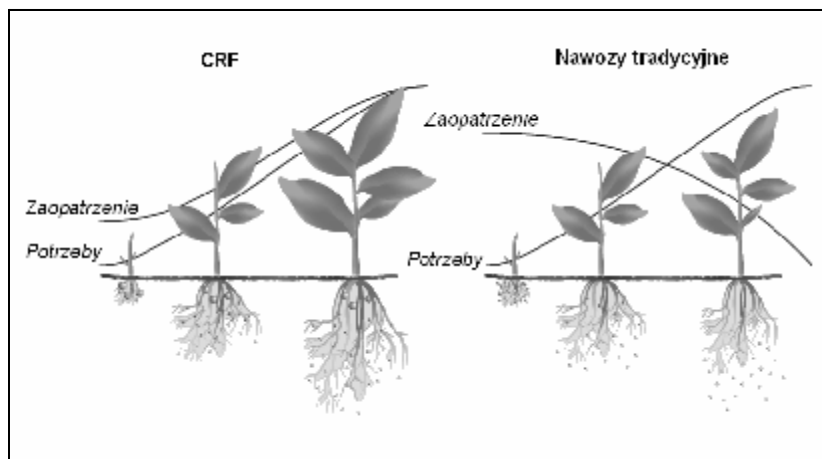
Korzyści ze stosowania nawozów typu SRF/CRF

Wszystkie korzyści wynikające ze stosowania SRF/CRF spowodowane są stopniowym, rozłożonym w czasie w sposób dostosowany do potrzeb roślin uwalnianiem z nich składników pokarmowych. W przeciwieństwie do nawozów tradycyjnych, które rozpuszczają się od razu po wprowadzeniu do gleby przebieg krzywej uwalniania się składników z CRF ma kształt zbliżony do krzywej zapotrzebowania roślin na te składniki (rys. 8).

Stosowanie nawozów o kontrolowanym działaniu powoduje szereg korzyści zarówno agronomicznych, jak i środowiskowych. Do najważniejszych z nich należą:

- wzrost efektywności nawożenia (uwalnianie składników pokarmowych z nawozu zachodzi stopniowo i rośliny są w stanie pobrać je w większej ilości),
- wzrost wielkości i jakości plonów,
- ograniczenie uszkodzeń siewek i sadzonek spowodowanych nadmierną koncentracją soli,
- możliwość obniżenia wielkości stosowanych dawek składników pokarmowych,
- zmniejszenie nakładu pracy ze względu na jednorazową aplikację nawozu,
- ograniczenie unieruchomiania składników pokarmowych w glebie,
- ograniczenie strat składników pokarmowych spowodowanych wymywaniem, spływami powierzchniowymi i ulatnianiem (w przypadku azotu nawet 2–3-krotne w porównaniu z nawozami tradycyjnymi),
- możliwość stosowania w pobliżu ujęć wody pitnej.

Przy stosowaniu SRF/CR na podkreślenie zasługuje zmniejszenie niekorzystnego wpływu nawożenia na środowisko związanego z ograniczeniem strat składników po-



Rys. 8. Porównanie potrzeb i zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe przy stosowaniu nawozów o kontrolowanym działaniu (CRF) i nawozów tradycyjnych

Źródło: na podstawie http://demo.itent.hu/scotts/portal/downloads/English/95L828_D424_Agroblen.pdf

karmowych, szczególnie wymywaniem azotu (8, 13, 14, 27, 43). Przedostawanie się azotu i fosforu oraz innych składników z tradycyjnych nawozów do środowiska jest poważną przyczyną skażenia wód gruntowych i eutrofizacji wód powierzchniowych.

Pomimo niewątpliwych zalet nawozów SRF/CRF należy pamiętać o problemach związanych z ich stosowaniem. Głównym zagadnieniem wymagającym rozwiązania, które limituje zużycie tego typu nawozów jest wysoka cena, prawie 10-krotnie większa niż odpowiednich tradycyjnych nawozów mineralnych. Ogranicza to stosowanie nawozów o kontrolowanym działaniu głównie do upraw wysokonakładowych. Ponadto nie bez znaczenia dla środowiska jest problem nagromadzenia się w glebie substancji, z których wykonane są otoczki polimerowe, szczególnie przy wyższych dawkach nawozów. Z trzech najczęściej używanych w praktyce (żywice alkaidowe, żywice poliureatanowe i poliolefiny) otoczki poliolefinowe (polietylen, polipropylen) mają najdłuższy czas rozkładu. W ostatnich latach prowadzi się coraz więcej badań dotyczących stosowania otoczek biodegradowalnych, a więc bezpiecznych dla środowiska (44). Kolejnym problemem jest rzeczywista, precyzyjna kontrola nad uwalnianiem składników. Aktualnie wciąż można spotkać nawozy charakteryzujące się zbyt długim opóźnieniem III fazy „cyklu życia”, w wyniku czego część składników pokarmowych może uwalniać się dopiero po zbiorze roślin. Dotyczy to głównie SCU i ma związek z nadmierną grubością otoczek na granulach nawozu. Jedną z istotniejszych kwestii jest również opracowanie wiarygodnych testów charakteryzujących proces uwalniania składników z SRF/CRF. Informacje takie umieszczone na etykiecie produktu byłyby pomocne dla nabywców nawozów. Laboratoria przemysłowe od lat starają się opracować taki test uwalniania, który mógłby być używany jako standard. Niestety w wielu przypadkach wysiłki te koncentrują się na testach, które najlepiej służą interesom producentów.

Stosowanie nawozów typu SRF/CRF w praktyce

Pomimo ciągłego rozwoju technologii produkcji i dostępności na rynku nawozów SRF/CRF ich zużycie jest niewielkie, choć stale wzrasta (tab. 1). Szacuje się, że w 2005 roku zużycie SRF/CRF wynosiło około 1000 tys. ton, co stanowiło zaledwie 0,2% całkowitego światowego zużycia nawozów. Jak już wspomniano, głównym czynnikiem ograniczającym stosowanie SRF/CRF jest wysoka cena, kilkakrotnie wyższa niż tradycyjnych nawozów mineralnych.

Tabela 1

Światowe zużycie nawozów typu SRF/CRF

Rok	Zużycie (tys. ton)	Źródło informacji
1983	322	Trenkel, 1997 (40)
1995/1996	562	Trenkel, 1997 (40)
1999	700	SPUR Ventures INC, 2009 (34)
2001	850	SPUR Ventures INC, 2009 (34)
2005	1 000	SPUR Ventures INC, 2009 (34)

Źródło: opracowanie własne.

Okolo 70% wszystkich wytwarzanych nawozów o kontrolowanym działaniu jest zużywanych w USA, głównie na Florydzie i w Kalifornii. Pozostałe 30% przypada na kraje europejskie, Japonię i Chiny. Szacuje się, że obecnie Chiny produkują okolo 150-200 tys. ton każdego roku, co stanowi 1% całkowitego zużycia nawozów w tym kraju. W ostatnich latach obserwuje się wzrost znaczenia nawozów otoczkowanych o działaniu kontrolowanym wobec zwykłych nieotoczkowanych o działaniu spowolnionym (31).

Prawie 90% wytworzonych na świecie nawozów CRF/SRF stosowanych jest w działalności pozarolniczej, takiej jak: utrzymanie pól golfowych i boisk sportowych, szkółkarstwo (9, 10), produkcja roślin ozdobnych (11, 24), trawniki (7) oraz zieleń miejska. W produkcji rolnej nawozy wolnodziałające używane są do nawożenia intensywnych, wysokonakładowych upraw osiągających wysokie ceny, co usprawiedliwia wzrost kosztów nawożenia. Dotyczy to głównie warzywnictwa i sadownictwa. Ponadto nawozy o kontrolowanym działaniu są szczególnie przydatne w uprawach pojemnikowych i kontenerowych. W typowej produkcji polowej takich roślin rolniczych, jak: pszenica, kukurydza, rośliny oleiste i motylkowate nawozy typu CRF/SRF praktycznie nie są stosowane. Wyjątkiem jest ryż uprawiany w Japonii na polach zalewanych wodą. W takich warunkach uprawy wmagają się straty składników pokarmowych, a stosowanie CRF/SRF jest jednym z najbardziej efektywnych rozwiązań podnoszących efektywność nawożenia (6, 33).

Większość nawozów wolnodziałających stosowanych w rolnictwie to otoczkowane nawozy o kontrolowanym uwalnianiu składników (ok. 75%), z widocznym trendem stałego 10% rocznego wzrostu zużycia nawozów otoczkowanych polimerami organicznymi. Wykorzystanie pozarolnicze dotyczy po połowie otoczkowanych SRF/CRF i wolnodziałających produktów kondensacji mocznika z aldehydami. W USA i Europie prawie 90% zużywanych nawozów wolnodziałających jest wykorzystywane w celach pozarolniczych, a tylko 10% nawozów stosuje się w rolnictwie, głównie w uprawie papryki (16), pomidora, cebuli, arbuźów, truskawek (5), cytrusów (2) i innych owoców. W Japonii większość CRF wykorzystywana jest w rolnictwie, głównie w uprawie warzyw, ryżu i owoców, a tylko niewielką część stosuje się na trawniki i w uprawie roślin ozdobnych (35).

Przykłady nawozów typu SRF/CRF

Do czołowych producentów wytwarzających nawozy o spowolnionym i kontrolowanym działaniu należą firmy: Scotts, Compo, Aglukon, Haifa, Argium i Chisso (tab. 2). Oferta nawozów SRF/CRF jest bogata i różnorodna (tab. 3). Nabywcy mają do dyspozycji cały wachlarz produktów od nawozów opartych o produkty kondensacji mocznika z aldehydami (np. Azolon 39), poprzez nawozy pojedyncze lub wieloskładnikowe otoczkowane siarką, żywicami i polimerami (np. SCU, Polyon, Osmocote Pro, Multicote), po najnowsze wieloskładnikowe mieszanki nawozowe skomponowane z produktów o różnej technologii otoczkowania, dopasowane ściśle do potrzeb określonych roślin (Agroblen, Osmocote Exact Hi End). Producenci wprowadzają na ry-

Tabela 2

Przykłady firm produkujących nawozy typu SRF/CRF

Producent	Przykłady produktów	Adres strony internetowej
SCOTTS USA	Osmocote, Ficote, Sierraform, Sierrablen, Agromaster, Agroblen	http://www.scottspromotional.com http://www.scotts.pl
COMPO (BASF) Germany	Triabon, Floranid, Basacote Plus, Basatop/Nitrophoska Top	http://www.international.compo.com http://www.compo.pl
AGLUKON Germany	Plantodur, Plantosan, Azolon, Plantacote	http://www.aglukon.com
HAIFA Izrael	Multicote, CoteN, Multigro	http://www.haifachem.com
ARGIUM USA	IB Nitrogen, ESN, Duration, Polyn	http://www.agriumat.com
CHISSO Japonia	Meister, CDU, UBER, Nutricote	http://www.chisso.co.jp

Źródło: opracowanie własne.

nek całe rodziny nawozów NPK z dodatkiem lub bez magnezu, siarki i mikroelementów różniące się stosunkiem składników oraz czasem ich uwalniania (działania nawozu). Czynnikiem regulującym czas działania nawozu jest rodzaj materiału z jakiego wykonana jest otoczka, ilość naniesionych warstw oraz jej grubość. W tabeli 4 przedstawiono rodzinę 5 nawozów Multicote oraz czas ich działania zależnie od temperatury, a w tabeli 5 najnowszą generację nawozów Osmocote Exact. Nawozy te, zaliczane do czwartej generacji Osmocote, różnią się nie tylko stosunkiem składników i czasem działania, ale również dynamiką tempa uwalniania składników pokarmowych. Umożliwia to nabywcom dopasowanie nawozu do typu ich działalności (produkcja pojemnikowa, utrzymanie terenów zielonych) i do poszczególnych gatunków roślin (o powolnym wzroście początkowym, o dużej wrażliwości na zasolenie).

Podsumowanie

W przyszłości prawdopodobny jest znaczny wzrost zużycia nawozów typu CRF ze względu na możliwość zwiększenia wykorzystania składników pokarmowych, uzyskiwanie dużych plonów o wysokiej jakości oraz zmniejszenie niekorzystnego wpływu nawożenia na środowisko. Jeszcze 10-20 lat temu, porównując działanie nawozów wolnodziałających i tradycyjnych, uwzględniano jedynie wielkość plonu oraz cechy estetyczne, takie jak wybarwienie owoców lub kolor trawy. Dopiero w ostatnich latach, gdy zużycie nawozów otoczkowanych typu CRF stało się bardziej popularne zwrócono uwagę na dopasowanie uwalniania z nich składników pokarmowych do potrzeb pokarmowych roślin oraz wynikającą z tego redukcję strat tych składników, głównie zmniejszenie wymywania azotu. Należy pamiętać, że w dobie rolnictwa zrównoważonego aspekty środowiskowe działalności rolniczej mają kluczowe znaczenie. Pomimo niewątpliwych korzyści stosowania nawozów typu SRF/CRF czynnikiem li-

Tabela 3

Przykłady nawozów o spowolnionym/kontrolowanym działaniu dostępne na rynku

Nazwa handlowa nawozu/Producent	Skład nawozu N + P ₂ O ₅ + K ₂ O + MgO + S + mikroelementy	Czas działania	Uwagi
Plantodur/Aglukon	19 + 07 + 11 + 4.8 + mikro	1-3 lat	N w formie UF (metyleno-mocznik), leśnictwo
Plantosan/Aglukon	20 + 10 + 15 + 2 + mikro	8-10 tygodni	N w formie UF (metyleno-mocznik), rośliny ozdobne, szkółkarstwo
Azolon 39/Aglukon	39 + 0 + 0 + 0 + 0	wolnodziałający	N w formie UF (metyleno-mocznik), trawniki
Azolon Green Speed/Aglukon	20 + 6 + 18 + 2 + S + mikro	wolnodziałający	N w formie UF (metyleno-mocznik), trawniki
Floramid permanent/Compo	16+7+15+2+S+Fe+mikro (37% IBDU-N)	3 M (3 miesiące)	nawozy granulowane, część N w nawozie w formie IBDU (izobutyleno-dimocznik), parki, trawniki
Floramid Master Extra/Compo	19+5+10+2+S+Fe+mikro (45% IBDU-N)		
Floramid Eagle/Compo	24+5+10+0+S+Fe+mikro (61% IBDU-N)		
Triabon/Compo	16 + 8 + 12 (11% CDU-N)	3-4 M	nawóz granulow., część N w nawozie w formie CDU (krotonolidenodimocznik)
SCU/Zafaran (mocznik otoczony siarką)	35 + 0 + 0 + 0	do 6 M	otoczka siarkowa z masą uszczelniającą
Rodzina nawozów Agromaster/Scotts	różnorodne formuły NPK z Mg i mikro	wolnodziałający	otoczka siarkowo-polimerowa
Rodzina nawozów Sierrablen/Scotts	różnorodne formuły NPK z Mg, Fe i mikro	2-3 M, 4-5 M, 5-6 M, 8-9 M	otoczka siarkowo-polimerowa powierzchniowo-trawiste
Polyon PCU/Agrium	41, 42, 43, 44 lub 44,5% N	4-24 tyg. zależnie od typu nawozu i temp.	mocznik z otoczką polimerową
Rodzina nawozów Polyon CRF/Agrium	różnorodne formuły NPK	2-6 M, 4-8 M, 7-12 M, 9-16 M	otoczka poliuretanowa (technologia RLC)
Rodzina nawozów Osmocote Exact/Scotts	różnorodne formuły NPK+mikro	3-4 M, 5-6 M, 8-9 M, 12-14 M, 16-18 M	otoczka żywiczna lub podwójna otoczka polimerowa
Rodzina nawozów Osmocote Pro/Scotts	18 + 10 + 11 + 2 + mikro	3-4 M, 5-6 M, 8-9 M, 12-14 M	otoczka żywiczna
Osmocote Start 4-6 tyg./Scotts	12 + 11 + 17 + 0	4-6 tygodni	otoczka żywiczna, sadzonki

cd. tab. 3

Nazwa handlowa nawozu/Producent	Skład nawozu N + P ₂ O ₅ + K ₂ O + MgO + S + mikroelementy	Czas działania	Uwagi
Rodzina nawozów Plantacote/Aglucon	różnorodne formuły NPK z Mg i mikroelementami	2M, 4M, 6M, 8M, 12M, 16M	otoczka polimerowa (elastyc polymer)
Rodzina nawozów Multicote/Haifa	różnorodne formuły NPK z mikro	4M, 6M, 8M, 12M, 16M	otoczka polimerowa, szkółkarstwo i rośliny ozdobne,
Rodzina nawozów Basacote Plus/Compo	16 + 08 + 12 + 2 + S + mikro	3M, 6M, 9M, 12M	otoczka polimerowa, krzewy, szkółkarstwo, rośliny ozdobne
Rodzina mieszanek Agrobilen Base/Scotts	mieszanki nawozów wieloskładnikowych NPKMg o różnym składzie	2-3 M	tylko część N otoczkowana, otoczki poli- merowo-siarkowe
Rodzina mieszanek Agrobilen Total/Scotts	mieszanki nawozów wieloskładnikowych NPKMg o różnym składzie	5-6 M, 8-9 M	część N P K otoczkowana, Mg bez otoczek, otoczki polimerowo-siarkowe i żywiczne

Tabela 4

Czas uwalniania składników z nawozów typu Multicote 15 + 7 + 15 + mikroelementy w zależności od temperatury

Rodzaj nawozu	Czas działania nawozu (miesiące) w temperaturze		
	15°C	21°C	30°C
Multicote 4	6	4	2
Multicote 6	7-8	6	3-4
Multicote 8	9-10	8	5-6
Multicote 12	15-16	12	7-8
Multicote 16	20-22	16-18	9-10

Źródło: <http://www.haifachem.com>

Tabela 5

Nawozy typu Osmocote Exact różniące się składem, czasem i przebiegiem działania

Rodzaj nawozu Osmocote Exact	Skład (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	Czas działania (miesiące)	Przebieg uwalniania składników
3-4 Standard	16 + 09 + 12 + mikro	3-4	równomierny wzrost uwalniania
5-6 Standard	15 + 09 + 12 + mikro	5-6	równomierny wzrost uwalniania
5-6 Hi End	15 + 09 + 12 + mikro	5-6	dwa okresy większego uwalniania
8-9 Standard	15 + 09 + 11 + mikro	8-9	równomierny wzrost uwalniania
8-9 Hi End	15 + 09 + 11 + mikro	8-9	dwa okresy większego uwalniania
12-14 Standard	15 + 09 + 11 + mikro	12-14	równomierny wzrost uwalniania
12-14 Lo Start	15 + 09 + 11 + mikro	12-14	małe początkowe uwalnianie
16-18 Lo Start	15 + 08 + 11 + mikro	16-18	małe początkowe uwalnianie
5-6 Hi K	11 + 11 + 18 + mikro	5-6	podwyższona zawartość K
8-9 Hi K	11 + 11 + 18 + mikro	8-9	podwyższona zawartość K

Źródło: na podstawie www.scottspprofessional.co.uk/files/MHHYxoDNu.pdf

mitującym dalszy wzrost ich zużycia jest ich wysoka cena. Wydaje się, że jednym z priorytetów w badaniach nad nawozami o kontrolowanym działaniu powinno być opracowanie mniej kosztownych technologii wytwarzania, gdyż tylko niższa cena tego typu produktów może doprowadzić do szerszego ich stosowania w rolnictwie.

Literatura

1. AAPFCO (Association of American Plant Food Control Officials) Official publication published by AAPFCO. Inc. West Lafayette, Indiana, USA, 1992, **45**.
2. Alva A. K., Paramasivam S.: Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, **62**: 1335-1342.
3. Al-Zahrani S. M.: Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation. Int. J. Eng. Sci., 1999, **37**: 1299-1307.
4. Al-Zahrani S. M.: Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. Ind. Eng. Chem. Res., 2000, **39(2)**: 367-371.
5. Cadahfa C., Masaguer A., Vallejo A., Sarro M. J., Pefialosa J. M.: Pre-plant slow-release fertilization of strawberry plants before fertigation. Fert. Res., 1993, **34**: 191-195.

6. Carreres R., Sendra J., Ballesteros R., Valiente E. F., Quesada A., Carrasco D., Leganes F., De La Cuadra J. G.: Assessment of slow release fertilizers and nitrification inhibitors in flooded rice. *Biol. Fertil. Soils*, 2003, **39**: 80-87.
7. Carrow R. N.: Turfgrass response to slow-release nitrogen fertilizers. *Agron. J.*, 1997, **89**: 491-496.
8. Cheng W., Nakajma Y., Sudo S., Akiyama H., Tsuruta H.: N₂O and NO emissions from a field of Chinese cabbage as influenced by band application of urea or controlled-release urea fertilizers. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2002, **63(2-3)**: 231-238.
9. Chochura P.: Nawozy wolno działające dla produkcji szkółkarskiej. W: Miejsce polskiego szkółkarstwa w Unii Europejskiej: IX Ogólnopolska Konferencja Szkółkarska, Skierniewice, 18-19 lutego 2004 r., Wyd. ISiK Skierniewice, 2004, 55-59.
10. Chochura P.: Nawozy wolno działające w szkółkarstwie ozdobnym. *Szkółkarstwo*, 2004, **4**: 10-13.
11. Cieciora M., Czuchaj P., Szczepaniak S.: The effect of fertilizers on growth and flowering of heterosis cultivars of *Cyclamen persicum* Mill. from Halios group. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 2006, **5(2)**: 3-10.
12. Du C., Zhou J., Shaviv A.: Release characteristics of nutrients from polymer-coated. *J. Polym. Environ.*, 2006, **14**: 223-230.
13. Engelsjord M. E., Fostad O., Singh B. R.: Effects of temperature on nutrient release from slow-release fertilizers. I. Commercial and experimental products. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 1997, **46**: 179-187.
14. Fernández-Escobar R., Benlloch M., Herrera E., Garcia-Novelo J. M.: Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Hort.*, 2004, **101**: 39-49.
15. Gandez A. T., Shoji S., Yamada I.: Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: I. Field dissolution. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 1991, **55**: 1462-1467.
16. Gołcz A., Komosa A.: Uwalnianie się azotu, fosforu i potasu z nawozu wolnodziałającego Osmocote Plus w uprawie papryki (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agroph.*, 2006, **7(134)**: 567-576.
17. Grzmil B.: Niskoodpadowy proces kompleksowego wytwarzania produktów nawozowych o regulowanej rozpuszczalności. *Prace Nauk. Politechniki Szczecińskiej*, 1998, **542(4)**: 1-146.
18. Ibrahim A. A., Jibrii B. Y.: Controlled release of paraffin wax/rosin-coated fertilizers. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2005, **44(7)**: 2288-2291.
19. Jahns T., Kaltwasser H.: Mechanism of microbial degradation of slow-release fertilizers. *J. Polymer Environ.*, 2000, **8(1)**: 11-16.
20. Jarosiewicz A., Tomaszewska M.: Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, **51(2)**: 413-417.
21. Jarrell W. M., Boersma L.: Release of urea by granules of sulfur-coated urea. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 1980, **44**: 418-422.
22. Liang R., Liu M.: Preparation and properties of a double-coated slow-release and water-retention urea fertilizer. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54(4)**: 1392-1398.
23. Liang R., Liu M., Wu L.: Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *React. Func. Polym.*, 2007, **67**: 769-779.
24. Matysiak B.: Wpływ nawożenia, pH i składu podłoża na wzrost i skład chemiczny liści kalmii szerokolistnej (*Kalmia latifolia* L.). *Fol. Univ. Agricult. Stetin. Agricult.*, 2004, **93(234)**: 233-237.
25. Mingyu Guo M., Liu M., Zhan F., Wu L.: Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2005, **44(12)**: 4206-4211.
26. Opis patentowy PL 197802 B1. Nawóz o kontrolowanym uwalnianiu i sposób jego wytwarzania. Zgłoszony 1999, udzielony 2008.
27. Paramasivam S., Alva A. K.: Leaching of nitrogen forms from controlled-release nitrogen fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1997, **28(17)**: 1663-1674.

28. Pérez-García S., Fernández-Pérez M., Villafranca-Sánchez M., González-Pradas E., Flores-Céspedes F.: Controlled release of ammonium nitrate from ethylcellulose coated formulations. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, **46(10)**: 3304-3311.
29. Shavit U., Reiss M., Shaviv A.: Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. *J. Contr. Release*, 2003, **88**: 71-83.
30. Shaviv A.: Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilisers. *Progress in nitrogen cycling studies*. Eds. Van Clempet et al., Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1996, 285-291.
31. Shaviv A.: Advances in controlled-release fertilizers. *Adv. Agron.*, 2001, **71**: 1-49.
32. Shaviv A., Raban S., Zaidel E.: Modelling controlled nutrient release from a population of polymer coated fertilizers: statistically based model for diffusion release. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, **37(10)**: 2257-2261.
33. Shoji S., Kanno H.: Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Fert. Res.*, 1994, **39**: 147-52.
34. Speciality fertilizers. SPUR Ventures INC. 2009. Dostępne jako: <http://www.spur-ventures.com>
35. Tian X., Saigusa M.: Merits, utilization, and perspectives of controlled release nitrogen fertilizers. *Tohoku J. Agr. Res.*, 2002, **52(3-4)**: 39-55.
36. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Use of polysulfone in controlled-release NPK fertilizer formulations. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50(16)**: 4634-4639.
37. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Encapsulation of water-soluble granular fertilizer with polyacrylonitrile. *Ann. Polish Chem. Soc.*, 2003, **2**: 719-723.
38. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Inteligentne nawozy. *Chemik*, 2006, **59(6)**: 328-332.
39. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination*, 2006, **198**: 346-352.
40. Trenkel M. E.: Controlled-release and stabilized fertilisers in agriculture. IFA Paris, 1997, 1-151.
41. Trenkel M. E.: Slow- and controlled-release fertilizers. *Ullmann's agrochemicals 1*. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim, Germany, 2007, 47-56.
42. Trenkel M. E.: Nitrification and urease inhibitors. In: *Ullmann's Agrochemicals 1*. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim, Germany, 2007, 56-63.
43. Wang F. I., Alva A. K.: Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 1996, **60**: 1454-1458.
44. Wu C.: Controlled release evaluation of bacterial fertilizer using polymer composites as matrix. *J. Contr. Release*, 2008, **132**: 42-48.
45. Wu L., Liu M.: Slow-release potassium silicate fertilizer with the function of superabsorbent and water retention. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, **46(20)**: 6494-6500.
46. Wu L., Liu M.: Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydr. Polym.*, 2008, **72**: 240-247.
47. Wu L., Liu M., Liang R.: Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology*, 2008, **99**: 547-554.

dr hab. Jolanta Korzeniowska
IUNG-PIB

Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
email: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl