

ZAPEWNIENIE JAKOŚCI PRODUKCJI GRANULOWANYCH NAWOZÓW MINERALNYCH

Przemysław MALINOWSKI, Mariusz KOŁOSOWSKI, Andrzej BISKUPSKI

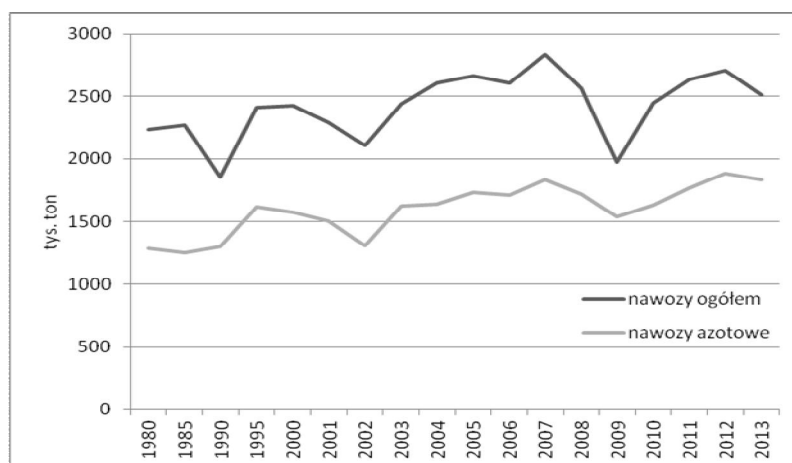
Streszczenie: W artykule przedstawiono metody wytwarzania nawozów mineralnych w formie granulowanej. Scharakteryzowano główne parametry charakteryzujące jakość nawozów granulowanych i zaprezentowano wybrane wskaźniki jakości nawozów saletrzanych. Zaprezentowano także istotę doskonalenia jakości procesów produkcyjnych z wykorzystaniem statystycznego sterowania procesami oraz analizy zdolności jakościowej.

Słowa kluczowe: nawóz, granulacja, jakość, SPC, zdolność jakościowa.

1. Wstęp

Nawozy mineralne są jednym z podstawowych produktów przemysłu chemicznego. Można je klasyfikować według różnych kryteriów, spośród których dwa podstawowe to postać fizyczna nawozu oraz liczba składników pokarmowych w nim obecnych [1]. Nawozy mogą mieć postać stałą lub płynną. W formie stałej nawozy występują jako granulowane lub pyliste. Większość nawozów wytwarza się obecnie w formie granulowanej, która ułatwia obrót i ich aplikację.

Ocenia się, że światowe zapotrzebowanie na nawozy w 2015 r. osiągnie poziom 185,9 mln ton w przeliczeniu na czyste składniki (N, P₂O₅, K₂O) [2]. W Polsce mamy do czynienia z przewagą mocy produkcyjnych nawozów nad potrzebami naszego rolnictwa. W przeliczeniu na czyste składniki w 2013 r. w krajowych wytwórniach nawozowych wyprodukowano ponad 2,5 mln ton nawozów (rys. 1.) [3]. Znakomitą większość produkcji stanowią stałe nawozy granulowane.



Rys. 1. Wielkość produkcji nawozów mineralnych w Polsce (w przeliczeniu na czyste składniki) w latach 1980-2013 r. [3]

Największymi polskimi producentami nawozów mineralnych są: Grupa Azoty S.A. (skupiająca największe fabryki nawozowe zlokalizowane w Tarnowie, Puławach, Policach, Kędzierzynie-Koźlu) oraz Anwil S.A. Ponadto, znaczne ilości nawozów granulowanych wytwarza się w następujących zakładach: GZNF „Fosfory” Sp. z o.o. (członek Grupy Azoty), Fosfan S.A., Luvena S.A., ZCh „Siarkopol” S.A. oraz Alwernia S.A. Wobec przewagi mocy wytwórczych nad lokalnym zapotrzebowaniem, rodzimi producenci nawozów zmuszeni są do poszukiwania rynków zagranicznych dla zbytu swoich wyrobów. Wiąże się to z koniecznością zapewnienia najwyższej jakości nawozów tak, aby mogły one konkurować z produktami światowych potentatów w tej dziedzinie. Należy zaznaczyć, że po konsolidacji polskiego przemysłu chemicznego, Grupa Azoty S.A. znalazła się wśród światowych liderów producentów nawozów azotowych [4].

2. Sposoby granulacji nawozów

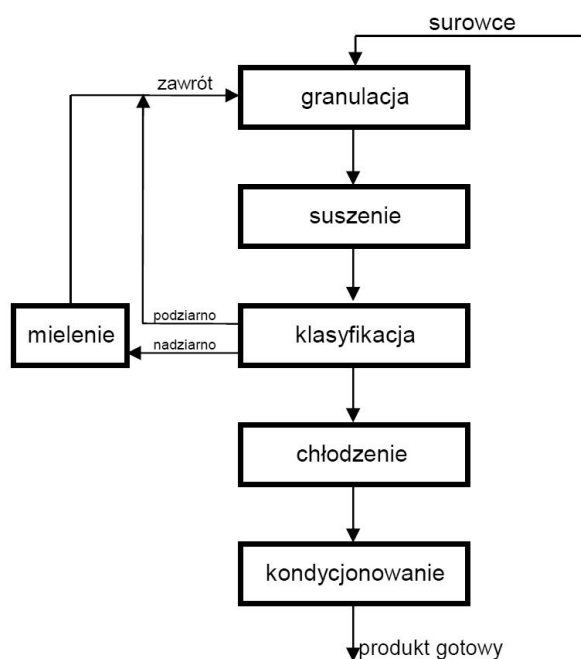
Metody wytwarzania nawozów w formie granulowanej można sklasyfikować według co najmniej dwóch kryteriów, a mianowicie rozwiązań aparaturowych i postaci granulowanej nadawy surowców [5]. Biorąc pod uwagę rozwiązania aparaturowe można wymienić następujące główne typy stosowanych granulatorów [5, 6]:

- mieszkarkowy (pugmill),
- talerzowy,
- bębnowy,
- fluidalny,
- Spherodizer®,
- wieża granulacyjna.

Pomimo znacznej różnorodności rozwiązań techniczno-aparaturowych wytwórni nawozów, w zależności od postaci nadawy surowców można wyróżnić trzy zasadnicze typy procesów, w jakich otrzymuje się granulowany produkt. W pierwszym z nich granulacji poddaje się surowce w postaci stopu. Ten sposób polega na wytworzeniu ze stopu kropel rozpylanych w górnej części wieży i ich zestaleniu przy użyciu powietrza przemieszczającego się w wieży w przeciwnym kierunku do formujących się granulek nawozu. W ten sposób wytwarza się na przykład saletrę amonową, mocznik, a granule uzyskiwanych nawozów mają przeważnie średnicę wynoszącą 1-3 mm. Drugi proces polega na wprowadzaniu do granulatora jednego z podstawowych składników nawozu w postaci płynnej (zawiesiny) i tworzeniu się granulatu w wyniku zestalenia się fazy ciekłej, wypełnionej cząstkami stałymi pozostałych surowców oraz zawrotu części granulatu. Tę metodę stosuje się, między innymi, do wytwarzania nawozów wieloskładnikowych. Według trzeciego sposobu operuje głównie surowcami stałymi, a dodatkowo wprowadza się substancje ciekłe (np. woda, kwasy) i gazowe (np. para wodna, amoniak) w ilościach niezbędnych do wytworzenia spoiwa wiążącego pyliste składniki w trwałe granule. Tą metodą granuluje się na przykład superfosfaty. W porównaniu z wieżową granulacją stopu, w przypadku granulacji zawiesiny lub stałych surowców można w większym zakresie regulować uziarnienie uzyskiwanego nawozu, które najczęściej zawiera się w granicach 2-5 mm.

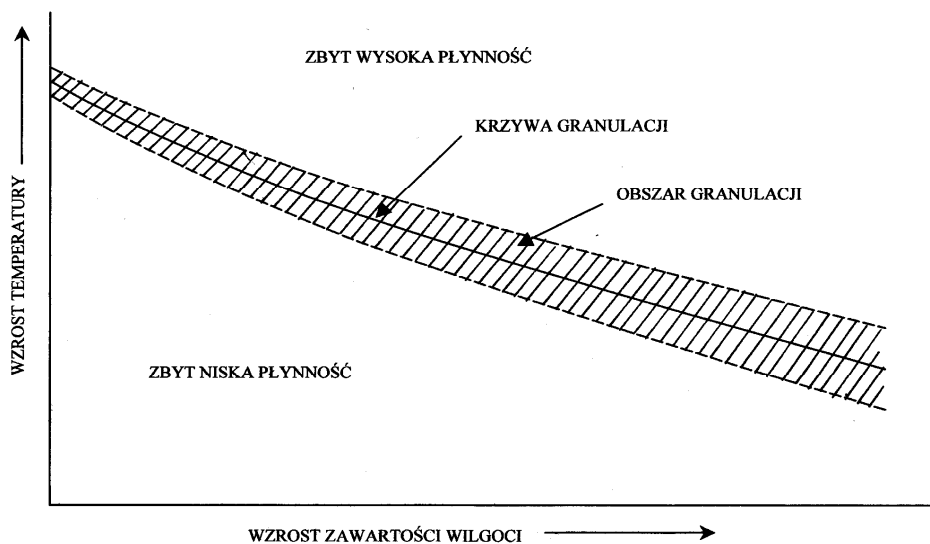
Niezależnie od zastosowanego typu granulatora czy też postaci surowców produkcja nawozów ma charakter ciągły, a po wytworzeniu granul najczęściej następują operacje suszenia, sortowania, chłodzenia i kondycjonowania właściwej frakcji produktu (rys. 2). Cechą charakterystyczną procesów wytwarzania nawozów jest zawrót podziarna, zmielonego nadziarna oraz niekiedy części frakcji właściwej produktu do węzła granulacji.

W przypadku granulacji wieżowej stosunek masy zawracanego materiału do masy produktu opuszczającego instalację jest najmniejszy i wynosi od 0-0,3:1. Przy granulacji stałych surowców przeważnie wynosi około 1:1. Prowadzenie granulacji surowców w postaci zawiesiny wiąże się z wyższym zawrotem, wynoszącym około 4:1.



Rys. 2. Schemat ideowy granulacji nawozów

Dla każdej granulowanej mieszaniny istnieje optymalna wilgotność i temperatura, przy których proces granulacji odbywa się w sposób niezakłócony, a uzyskiwany granulat odznacza się pożądanym uziarnieniem. W zależności od wilgotności i temperatury w granulatorze można znaleźć obszar tak zwanych, dobrych warunków granulacji. Wpływ wody dodawanej do układu w postaci ciekłej i gazowej, a także temperatury ilustruje rysunek 3 [7]. Idealne warunki granulacji będą leżały na krzywej granulacji, a niewielkie odstępstwa znajdujące się w obszarze granulacji nie będą miały istotnego wpływu na jakość uzyskiwanego produktu. Temperatura w granulatorze zależy głównie od temp. surowców i zawrotu, wielkości ciepła wytwarzanego w wyniku reakcji chemicznych oraz ilości wprowadzanej wody i surowców. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta rozpuszczalność substancji, co z kolei zwiększa ilość fazy ciekłej. Należy przy tym pamiętać, że woda krystalizacyjna, a nawet konstytucyjna, wprowadzona w postaci stałego dodatku do granulatora, może zachowywać się jak woda „fizyczna”, czyli w uproszczeniu biorąc udział w tworzeniu fazy ciekłej. Nie można także zapominać o tym, że w układzie granulowanych składników mogą zachodzić różnego typu reakcje chemiczne, których wynikiem może być tworzenie się produktów ciekłych, zmieniających płynność granulowanej mieszaniny, oraz tworzenie się produktów gazowych. Procesy tego typu mogą w dużym stopniu zakłócać pracę węzła granulacji nawozów.



Rys. 3. Wpływ temperatury oraz zawartości wilgoci na proces granulacji nawozów [7]

Idealne warunki granulacji będą leżały na krzywej granulacji, a niewielkie odstępstwa znajdujące się w obszarze granulacji nie będą miały istotnego wpływu na jakość uzyskiwanego produktu. Temperatura w granulatorze zależy głównie od temp. surowców i zawrotu, wielkości ciepła wytwarzanego w wyniku reakcji chemicznych oraz ilości wprowadzanej wody i surowców. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta rozpuszczalność substancji, co z kolei zwiększa ilość fazy ciekłej. Należy przy tym pamiętać, że woda krystalizacyjna, a nawet konstytucyjna wprowadzona w postaci stałego dodatku do granulatora może zachowywać się jak woda „fizyczna”, czyli w uproszczeniu biorąca udział w tworzeniu fazy ciekłej. Nie można także zapominać o tym, że w układzie granulowanych składników mogą zachodzić różnego typu reakcje chemiczne, których wynikiem może być tworzenie się produktów ciekłych, zmieniających płynność granulowanej mieszaniny, oraz tworzenie się produktów gazowych. Procesy tego typu mogą w dużym stopniu zakłócać pracę węzła granulacji nawozów.

Nadmierna płynność powodowana zbyt wysoką temperaturą lub wilgotnością może być przyczyną odkładania się granulowanej mieszaniny w suszarce, a także innych trudności ruchowych. Do czynników powodujących przesunięcie do obszaru nadmiernej płynności w trakcie prowadzenia granulacji należy zaliczyć:

- nadmierną wilgotność nadawy surowców,
- zbyt wysoką temperaturę nadawy surowców,
- zbyt wysoką temperaturę zawrotu,
- zbyt niski stosunek zawrotu do nadawy surowców,
- zbyt duży rozmiar cząstek zawrotu lub surowców stałych.

Zbyt mała płynność powoduje natomiast nadmierną ilość podziarna, co może doprowadzić do stanu, w którym pojawiają się nowe zarodki granul, lecz ich wzrost nie następuje. Do czynników powodujących przesunięcie do obszaru niedostatecznej płynności w trakcie prowadzenia granulacji należy zaliczyć:

- niedostateczną wilgotność nadawy surowców,

- niedostateczną temperaturę nadawy surowców,
- niedostateczną temperaturę zawrotu,
- zbyt wysoki stosunek zawrotu do nadawy surowców,
- zbyt mały rozmiar cząstek zawrotu lub surowców stałych.

Procesy granulacji są procesami wyjątkowo złożonymi ze względu na występującą w ich trakcie mnogość zjawisk fizycznych, ale także ze względu na możliwość przebiegu reakcji chemicznych. Uzyskanie produktu o dobrej jakości uzależnione jest zatem od wielu czynników.

3. Wskaźniki jakości nawozów

Jakość granulowanego nawozu mineralnego można zdefiniować jako zespół cech określających jego właściwości użytkowe, odróżniających ten nawóz od innych wyrobów tego typu i określających jego zachowanie w czasie od wytworzenia do zużycia. Do oceny jakości nawozów służą kryteria, ujęte najczęściej w normach, dotyczące całych grup nawozów lub pojedynczych wyrobów przemysłu nawozowego i przemysłów pokrewnych [8]. Podstawowe wymagania dotycząc nawozów w prawodawstwie europejskim określone zostały w rozporządzeniu WE 2003/2003 [9]. W Polsce podstawowym aktem prawnym w tym zakresie jest Ustawa o nawozach i nawożeniu [10]. Wymagania dotyczące pakowania nawozów, informowania o zawartości składników pokarmowych oraz sposobie badań nawozów zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. wydanym na podstawie powyższej ustawy [11]. Pod pojęciem nawozu o dobrej jakości należy rozumieć nawóz o:

- zgodnej z deklarowaną zawartością składników pokarmowych,
- zgodnej z deklarowaną zawartością zanieczyszczeń,
- odpowiednich właściwościach fizykochemicznych (granulacja).

Pojęcie jakości w odniesieniu do różnych nawozów może być sprecyzowane w sposób odmienny. Chcąc porównywać jakość różnych nawozów należy sprecyzować kryteria uniwersalne, które pozwolą na porównywanie zespołu właściwości użytkowych poszczególnych wyrobów. Przy takim pojmowaniu jakości nawozu do zespołu kryteriów oceny należy włączyć wielkości i cechy dodatkowe, takie jak łączna zawartość składników pokarmowych, możliwości mieszania z innymi nawozami, wymagane warunki przechowywania i stosowania oraz efekty agrochemiczne ich stosowania. Wynikiem oceny jakości nawozów dokonywanej przez ich użytkownika jest dobór odpowiednich rodzajów i ilości nawozów do planowanej uprawy dla zdefiniowanych warunków glebowych.

Podstawowym elementem oceny jakości nawozu jest jego skład chemiczny. Do określania składu chemicznego nawozów mineralnych służą metody analizy chemicznej opisane w normach i cytowanych aktach prawnych. Analiza składu nawozów ma na celu określenie zawartości deklarowanych składników pokarmowych, jak i zawartości zanieczyszczeń. Dopuszczalne tolerancje zawartości składników pokarmowych w nawozach także są przedmiotem uregulowań prawnych.

Kompleksowa ocena jakości nawozów zależy od typu nawozu i wymaga szeregu badań, testów i ocen. Główne parametry oceny to:

- uziarnienie,
- wytrzymałość granul na ściskanie,
- kształt granul,
- skłonność do zbrylania,

- higroskopijność,
 - trwałość granul podczas długotrwałego przechowywania w różnych warunkach.
- Dla tej grupy nawozów saletrzanych dodatkowo przeprowadza się badania:
- zagrożenia bezpieczeństwa procesowego,
 - odporności na detonację,
 - porowatości (retencji oleju).

Sposoby oceny części wyżej wymienionych parametrów zostały ujęte w aktach normatywnych, natomiast część z nich to metody opracowane przez wiodące w kraju jednostki zajmujące się problematyką wytwarzania nawozów (Instytut Nowych Syntez Chemicznych w Puławach, Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej).

Uziarnienie ocenia się przy wykorzystaniu analizy sitowej. Na podstawie jej wyników oblicza się wartości, takie jak zawartość poszczególnych frakcji, średni rozmiar badanych granul (SGN), współczynnik jednorodności UI. Na podstawie wyników obliczeń przeprowadza się, między innymi, ocenę przydatności nawozu do sporządzania mieszanek nawozowych z innymi produktami.

Wytrzymałość granul na ściskanie w przybliżeniu można przyjąć jako miernik twardości granul. Obecnie pomiary wytrzymałości wykonuje się przy wykorzystaniu specjalistycznych urządzeń, głównie firmy ERWEKA GmbH. W trakcie pomiaru wytrzymałości na ściskanie mierzona jest także średnica granul. Wytrzymałość na ściskanie jest niezwykle ważna przy obrocie i aplikacji nawozu.

Ocena kształtu granul polega na wizualnej analizie próbki rozdzielonej na poszczególne frakcje w analizie sitowej. Ocena kształtu opiera się na podziale na 6 klas kształtu, przy czym do klasy 1. zalicza się granule idealnie kuliste, a do klasy 6. granule o nieregularnych kształtach, tzw. „łamańce”. Można użyć stwierdzenia, że klasa kształtu produktu jest miarą doskonałości prowadzenia procesu granulacji. Ocena kształtu granul jest szczególnie użyteczna przy próbach przemysłowych, pozwalając na ocenę wpływu zmienianych parametrów procesowych na właściwości produktu.

Skłonność do zbrylania jest niepożądaną cechą nawozów powodującą trudności w ich aplikacji. W trakcie składowania i rozkruszania zbrylonego bloku nawozu dochodzi najczęściej do uszkodzenia granul nawozów, co powoduje kłopoty przy ich aplikacji. Ocenę skłonności do zbrylania przeprowadza się dwoma metodami. Pierwsza polega na przechowywaniu nawozów w warunkach zbliżonych do magazynowych (pryzmy z workami). Druga metoda, stosowana dla nawozów saletrzanych, polega na termostatowaniu próbek nawozów w specjalnych zbrylalnikach pod obciążeniem. Po zaprogramowanym czasie termostatowania wykonuje się pomiary siły niezbędnej do rozkruszenia wytworzonych stożków nawozów.

Nadmierna higroskopijność nawozów jest cechą niepożądaną, która powoduje kłopoty podczas magazynowania przyczyniając się do zwiększonej skłonności do zbrylania granul. Ocenę higroskopijności przeprowadza się na podstawie pomiarów przyrostu masy próbek przechowywanych w atmosferze powietrza o różnej wilgotności względnej.

Ocena trwałości granul podczas długotrwałego przechowywania w różnych warunkach ma na celu określenie odporności granul na szokowe zmiany temperatury, a także wilgotności powietrza. Pomiary te pozwalają na ocenę zachowania granul w różnych porach roku oraz różnych strefach klimatycznych, przechowywanych przez dłuższy okres.

Grupą nawozów wymagających odrębnego potraktowania są nawozy saletrzane. Spośród innych nawozów wyróżniają się one silniejszą skłonnością do zbrylania, a także stwarzają zagrożenie bezpieczeństwa przy obrocie i magazynowaniu. Do oceny zagrożenia

bezpieczeństwa procesowego stosuje się różnicową i wagową analizę termiczną (DTA i TG). Pomiary DTA i TG pozwalają na rejestrację zmian masy badanej próbki nawozu i towarzyszących im efektów energetycznych. Szczególnie istotna jest w tym przypadku temperatura początku egzotermicznego rozkładu azotanu amonu. Obniżenie tej temperatury dla badanej próbki świadczy o wzroście zagrożenia bezpieczeństwa procesowego.

Wśród nawozów saletrzanych, ze względów bezpieczeństwa, szczególną uwagę poświęca się nawozom o wysokiej zawartości azotu (pow. 28% – saletra amonowa). Zgodnie z wymaganiami obowiązującymi w Unii Europejskiej nawozy typu saletry amonowej podlegają dodatkowym obostrzeniom dotyczącym składu chemicznego (zawartość miedzi, chloru, substancji palnych, pH), uziarnienia oraz porowatości. Ponadto nawozy takie muszą wykazać się odpornością na detonację (test rurowy).

Nawozy granulowane stanowią grupę produktów różniących się między sobą składem oraz metodami wytwarzania. Rozpatrując jakość uzyskiwanych nawozów trudno porównywać produkty o różnych składach (np. saletrzane z fosforowymi), gdyż różne substancje chemiczne mają odmienne właściwości. Można natomiast porównywać jakość produktów o zbliżonym składzie uzyskiwanych różnymi metodami. Najlepszym przykładem są nawozy saletrzane wytwarzane metodą wieżową i granulowane mechanicznie. W tabelach 1 i 2 przedstawiono przykładowe dane dotyczące jakości nawozów saletrzanych [12].

Tabela 1. Wskaźniki charakteryzujące jakość saletry amonowej, cz.1

Lp.	Sposób granulacji, Zawartość azotu	Uziarnienie			Wytrzymałość granul		Klasa kształtu
		Średnica zastępcza wg. Leva, mm	SGN	UI	Średnica badanych granul, mm	Wytrzymałość na ściskanie, N	
1.	wieżowy 34 % N, wytwórnia 1	2,25	225,2	81,6	2,32	10,35	1,23
2.	wieżowy 34 % N, wytwórnia 2	2,22	222,7	61,8	2,47	9,05	1,19
3.	mechaniczny 32 % N, wytwórnia 1	3,57	360,3	65,1	3,67	53,5	2,55
4.	mechaniczny 32 % N, wytwórnia 3	3,94	387,2	67,1	3,99	69,3	2,26
5.	mechaniczny 30 % N, wytwórnia 4	3,76	374,8	59,5	4,06	117,1	2,54

Tabela 2. Wskaźniki charakteryzujące jakość nawozów saletrzanych, cz.2

Lp.	Sposób granulacji, Zawartość azotu	Właściwości próbek nawozu poddanych cyklicznym zmianom temperatury 20°C -50°C									Retencja oleju
		Zmiana objętości [%] po liczbie cykli				Wytrzymałość na ściskanie [N] po liczbie cykli					
		2	5	10	15	0	2	5	10	15	
1.	wieżowy 34 % N, wytwórnia 1	6	7	8	9	10,4	8,68	9,00	9,75	9,25	2,04
2.	wieżowy 34 % N wytwórnia 2	2	4	8	9	9,05	7,95	5,74	7,32	4,10	2,42
3.	mechaniczny 32 % N wytwórnia 1	8	23	40	55	53,5	39,3	23,8	9,9	6,1	3,57
4.	mechaniczny 32 % N wytwórnia 3	5	10	16	24	65,4	54,9	25,5	30,6	23,7	2,25
5.	mechaniczny 30 % N wytwórnia 4	2	4	10	15	73,2	72,6	42,3	41,0	37,1	1,54

W przypadku pierwszych z nich mamy do czynienia z granulem o niskiej wytrzymałości mechanicznej (10-20 N/gran.) i małej średnicy granul (1-3 mm), podczas gdy drugie odznaczają się znacznie wyższą wytrzymałością (nawet do 100 N/gran.) i większą średnicą (2-5 mm). Nie oznacza to, że produkty granulowane wieżowo są złej jakości. Należałoby raczej użyć określenia „inne”. Na jakość nawozu będzie miał wpływ także szereg innych czynników, takich jak rodzaj i czystość użytych surowców, warunki prowadzenia procesu, a także poziom kompetencji i zaangażowania osób obsługujących instalację.

3. Statystyczne sterowanie procesem oraz analiza zdolności jakościowej

Na etapie produkcji należy dążyć do zapewnienia możliwie najwyższej wierności przeniesienia jakości projektowej na jakość wykonania. Dlatego też, dla poprawnej realizacji procesów, nie tylko dotyczących produkcji nawozów mineralnych, niezwykle istotne jest zapewnienie warunków, w których proces będzie realizowany w sposób powtarzalny, ustabilizowany. Warunki realizacji procesu wytwarzania są z reguły mało stabilne. Spowodowane jest to wieloma czynnikami, m.in.: zużywaniem się maszyn i narzędzi, rozregulowywaniem się przyrządów kontrolno-pomiarowych, a także rutyną pracowników, którzy niejednokrotnie nie są zdolni do podjęcia skutecznych działań w sytuacjach nietypowych. W związku z tym, konieczne jest regularne przeprowadzanie audytów i przeglądów systemu zarządzania jakością lub przynajmniej jego wybranych obszarów [13].

Aby podejmowane w celu doskonalenia (organizacji, systemu, procesu) działania przyniosły oczekiwany skutek, należy właściwie dobrać metody i narzędzia umożliwiające diagnozę systemu i realizowanych procesów, a następnie ich usprawnianie.

Z punktu widzenia jakości procesów w przedsiębiorstwie, niezwykle ważna jest

znajomość istoty zmienności, która jest trudnym do przecenienia narzędziem, jakim przedsiębiorstwo może się posłużyć. Pozwala usprawnić organizację, a przede wszystkim stwarza możliwości stałej jej poprawy. Brak zrozumienia istoty zmienności przyczynia się do [14]:

- podejmowania złych decyzji i działań,
- dostrzegania trendów tam, gdzie one nie występują,
- przedstawiania naturalnej zmienności jako zdarzenia o specjalnym znaczeniu,
- karania i nagradzania podwładnych za rzeczy, na które ci nie mają wpływu,
- brak zrozumienia dotychczasowego działania przedsiębiorstwa, procesu produkcji itd.,
- braku możliwości poprawnego przewidywania lub podejmowania planów na przyszłość,
- ograniczonej zdolności czynienia usprawnień.

Amerykański badacz i praktyk Walter Shewhart, badając procesy produkcyjne odkrył, że na zmienność każdego z procesów cząstkowych (podprocesów procesu produkcji) składają się dwa, jakościowo odmienne, typy zmienności [13, 14, 15, 16]:

- Zmienność „własna” procesu, wynikająca z przyczyn „losowych”, zwanych też „ogólnymi” lub „przypadkowymi”. Przyczyny losowe są integralną częścią procesu, nie można ich wyeliminować, a ich ograniczenie jest możliwe przez zmianę technologii, co często jest związane z dużymi nakładami finansowymi. Jeżeli przyczyny zmienności procesu mają tylko przypadkowy charakter, wówczas proces jest kontrolowany statystycznie (proces jest uregulowany).
- Zmienność wynikająca z przyczyn „wyznaczalnych”, zwanych też „specjalnymi” lub „wyjątkowymi”. Przyczyny specjalne występują sporadycznie, wpływają na procesy w sposób niemożliwy do przewidzenia. Pojawienie się czynników specjalnych powoduje, że proces przestaje być kontrolowany statystycznie (proces staje się rozregulowany). Cechą tych przyczyn jest to, że dają się one stosunkowo łatwo wykluczyć, jeżeli tylko zostaną zidentyfikowane.

Odkrycie Shewharta dotyczące przyczyn losowych i specjalnych okazało się kamieniem milowym w dziedzinie ograniczania zmienności. Jeżeli zmienność procesu jest duża, wówczas nie można przewidzieć, jaki będzie następny produkt, ani co będzie się działo w miarę upływu czasu. Z punktu widzenia systemu zapewnienia jakości, taka sytuacja jest nie do zaakceptowania i stała się przyczyną rozwinięcia Statystycznego Sterowania Procesem - SPC (Statistical Process Control). SPC jest metodą pozwalającą na monitorowanie i przewidywanie stanu procesu, a także nadzorowanie poszczególnych składników procesu produkcyjnego, tzn. maszyn i urządzeń technologicznych oraz aparatury pomiarowej.

Typowy algorytm wdrażania SPC można przedstawić się następująco:

1. Doprowadzenie do stanu uregulowania procesu poprzez identyfikację i eliminację tzw. wyznaczalnych przyczyn rozregulowania (zastosowanie np. kart kontrolnych Shewharta).
2. Określenie zdolności procesu do spełnienia wymagań klienta wewnętrznego lub zewnętrznego (zastosowanie np. współczynników C_p , C_{pk}).
3. W przypadku stwierdzenia niedostatecznej zdolności procesu dążenie do jej poprawy poprzez redukcję zmienności własnej procesu.
4. Utrzymanie „zdolnego” procesu w stanie uregulowanym poprzez identyfikację i eliminowanie przyczyn specjalnych.
5. Okresowa analiza zdolności procesu w celu jej stałej poprawy i utrzymanie „zdolnego” procesu w stanie uregulowanym (punkt 4).

Podstawowym narzędziem SPC są karty kontrolne. Do najczęściej stosowanych kart dla cech mierzalnych zaliczamy [13, 16]:

- kartę wartości średniej i rozstępu $\bar{x} - R$,
- kartę wartości średniej i odchylenia standardowego $\bar{x} - s$,
- kartę mediany i rozstępu $M - R$,
- kartę pojedynczych obserwacji x_i ,
- kartę średniej ruchomej \bar{x}_R ,
- kartę sum skumulowanych.

Przy wyborze karty kontrolnej należy uwzględnić charakter produkcji. W produkcji masowej elementów policzalnych (tzw. sztukowych) najbardziej przydatna jest karta \bar{x} . W procesach ciągłych, zalecane jest wykorzystanie karty ze średnią ruchomą. W produkcji jednostkowej i małoseryjnej, nierytmicznej oraz dla procesów ciągłych wykorzystuje się kartę pojedynczych obserwacji, a w przypadku procesów ciągłych, w których nie ma możliwości pobierania próbek wieloelementowych, stosuje się kartę opartą o średnią ruchomą. W produkcji małoseryjnej i jednostkowej, gdzie nie ma możliwości pobierania dużych próbek, można stosować kartę pojedynczych obserwacji, na której, oprócz linii kontrolnych, zaznacza się również linie tolerancji [13].

Procesy produkcyjne powinny być weryfikowane pod kątem zdolności produkcyjnej, zgodnie ze specyfikacją wyrobu. Weryfikacji tej służy analiza zdolności (zdatności) jakościowej procesu (wskaźniki zdolności jakościowej C_p i C_{pk}). Pojęcie zdolności jakościowej procesu związane jest ze zmiennością charakteryzującą proces przebiegający w danych warunkach, odniesioną do przewidywanego pola tolerancji dla parametru wyrobu (cechy), uzyskiwanego w tym procesie. Znając parametry statystyczne opisujące rezultaty danego procesu, czyli wartość średnią i odchylenie standardowe, można dla danej tolerancji określić spodziewaną wadliwość procesu [15, 17].

Wskaźniki zdolności jakościowej są wyznaczane dla konkretnej cechy wyrobu. W praktyce proces, ze względu na niektóre cechy, może charakteryzować się wysoką zdolnością, a ze względu na inne – niską. Najniższy wskaźnik wyznacza cechę krytyczną dla procesu.

Tolerancja i odchylenie standardowe wyznaczane są w tych samych jednostkach, więc opisane wskaźniki są wielkościami bezwymiarowymi, dzięki czemu nadają się do przeprowadzania porównań różnych procesów. Trzeba jednak pamiętać, że operowanie wartością 6σ wymaga przyjęcia założenia, że rozkład normalny właściwie opisuje rozkład zmiennej losowej badanej cechy. Ponadto, odchylenie standardowe jest z reguły nieznanne – jest szacowane za pomocą odchylenia standardowego z próby. Dlatego też otrzymywane wartości wskaźników są tylko przybliżeniem prawdziwych ich wartości i to tylko wtedy, gdy proces jest kontrolowany statystycznie [18, 19].

Analizę procesu z wykorzystaniem przedstawionych kart kontrolnych oraz wskaźników zdolności jakościowej najlepiej realizować zgodnie z tzw. „Kołem Deminga”, określanym także jako cykl PDCA (ang. Plan – Do – Check – Act). Przykład procedury opartej na tym cyklu przedstawiono m.in. w pracy [20].

4. Podsumowanie

W sytuacji dużej konkurencji na rynku nawozów wytwarzanie produktów o jak najwyższej jakości ma fundamentalne znaczenie dla producentów. Zapewnienie wysokiej jakości produkcji to nie tylko doskonalenie metod wytwarzania, ale także wprowadzanie na rynek nowych produktów. W ostatnich latach polskie zakłady zajmujące się produkcją nawozów poczyniły liczne inwestycje mające na celu poprawę jakości wytwarzanych i wprowadzenie na rynek nowych wyrobów.

Należy jednak pamiętać, że wysoka jakość, a tym samym zadowolenie klienta i sukces rynkowy przedsiębiorstwa, nie są dane raz na zawsze. Zapewnienie najwyższej jakości produkcji wymaga ciągłego stosowania szerokiego wachlarza metod i narzędzi. Kontrola jakości powinna mieć charakter czynny, a nie bierny, dlatego tak istotne jest ciągłe monitorowanie realizowanych procesów, analizowanie ich zmienności oraz badanie zdolności jakościowej. Nadzorowanie i doskonalenie produkcji powinno być realizowane zgodnie z cyklem PDCA, który jest uniwersalną metodą wykorzystywaną nie tylko w odniesieniu do sterowania procesami produkcyjnymi i opiera się na fundamentalnej zasadzie mówiącej, że doskonalenie jakości w organizacji jest procesem, który nigdy nie ma swojego końca.

Literatura

1. Dittmar H., Drach M., Vosskamp R., Trenkel M., Gutser R., Steffens G.: Fertilizers, 2. Types. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. 14, 2012, 199-246.
2. Heffer P. Prud'homme M.: Short-Term Fertilizer Outlook 2014 – 2015, IFA Strategic Forum, Marrakech, November 2014.
3. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014.
4. Yara Industry Handbook, December 2014.
5. Diettmar H.: Fertilizers, 4. Granulation. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. 14, 2012, 253-272.
6. United Nations Industrial Development Organization, International Fertilizer Development Center: Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1998.
7. Kongshaug G. et al. Phosphate Fertilizers, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005, 1-47.
8. Biskupski A., Malinowski P.: Jakość granulatów nawozowych z wytwórni krajowych. Materiały VI Ogólnopolskiego Sympozjum GRANULACJA 2001 „Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji”, Puławy – Kazimierz Dolny 24–25.04.2001, 36-60.
9. Rozporządzenie (WE) Nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów, Dz.U. L 304, 21.11.2003, p.1.
10. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu, Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033.
11. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego, Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229.
12. Biskupski A., Możenski C., Malinowski P., Mioduch R., Grochowski L.: Zagrożenie bezpieczeństwa oraz jakość nawozów saletrzanych w zależności od składu produktu i metody granulacji, Przemysł Chemiczny, t. 92, nr 12, 2186-2191.

13. Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. PWN, Warszawa, 2013.
14. Koronacki J.: Statystyka w kompleksowym zarządzaniu jakością. www.statsoft.pl, dostęp 5.01.2015.
15. Kolman R. (red.): Zarządzanie jakością. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 1996.
16. Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.: Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem. PWE, Warszawa, 2013.
17. Grudowski P., Meller A.: Zdolność jakościowa procesu produkcyjnego. Przegląd Organizacji, nr 12, 1993, s. 18-19.
18. Chen J.-P., Ding C. G.: A new process capability index for non-normal distributions. International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 18, no 7, 2001, pp. 762-770.
19. Nierzwicki W. (red.): Zarządzanie jakością. Wybrane zagadnienia. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. z o.o., Gdańsk, 1999.
20. Sałaciński T.: SPC – statystyczne sterowanie procesami produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2009.

Dr inż. Przemysław MALINOWSKI, prof. nadzw.
 Studium Nauk Podstawowych
 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
 48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7
 tel. (77) 409 16 51 fax. (77)
 e-mail: przemyslaw.malinowski@pwsz.nysa.pl

Dr inż. Andrzej BISKUPSKI, prof. nadzw.
 Zakład Nawozów
 Instytut Nowych Syntezy Chemicznych
 24-110 Puławy, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13a
 tel. (81) 887 53 66, fax (81) 473 14 10
 e-mail: andrzej.biskupski@ins.pulawy.pl

Dr inż. Mariusz KOŁOSOWSKI
 Instytut Zarządzania
 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
 48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7
 tel.: (0-77) 448 47 62
 e-mail: mariusz.kolosowski@pwsz.nysa.pl