

# Technologia wytwarzania nawozów azotowo-siarkowo-wapniowych na bazie fosfogipsu i mocznika

Mieczysław BOROWIK – Instytut Nawozów Sztucznych, Puławy; Przemysław MALINOWSKI – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Nysa; Andrzej BISKUPSKI, Michał DAWIDOWICZ, Sebastian SCHAB, Piotr RUSEK, Janusz IGRAS – Instytut Nawozów Sztucznych, Puławy; Kazimierz KĘSIK – Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy, Puławy

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, 66, 5, 525-534

## Wstęp

Mocznik reaguje z siarczanem wapnia o różnym stopniu uwodnienia tworząc addukt  $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , który w porównaniu z mocznikiem wykazuje obniżoną higroskopijność oraz spowolnienie działania nawozowego [1 ÷ 3]. Nawozy typu adduktu można otrzymywać na drodze krystalizacji z wodnego roztworu mocznika, do którego dodawany jest siarczan wapnia o różnym stopniu uwodnienia lub poprzez stapianie mieszaniny mocznika i siarczanu wapnia [4 ÷ 7]. Otrzymywanie adduktu metodą krystalizacji z roztworu wymaga rozwiązania problemu ponownego wykorzystania roztworu macierzystego mocznika, który ulega rozcieńczeniu wodą pochodzącą z gipsu. Otrzymywanie adduktu na drodze stapiania wiąże się z prowadzeniem procesu w wysokiej temperaturze, w której przebiega reakcja kondensacji mocznika do biuretu niepożądanego w nawozach ze względu na fitotoksyczność. Do wytwarzania nawozów typu adduktu siarczanu wapnia i mocznika może zostać wykorzystany siarczan wapnia w różnych postaciach. Ze względów ekologicznych i ekonomicznych najkorzystniejsze wydaje się wykorzystanie do tego celu fosfogipsu. W wyniku dotychczasowych prac prowadzonych w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach zaproponowano dwa sposoby wytwarzania nawozów zawierających addukt siarczanu wapnia i mocznika. Pierwszy z nich polega na granulacji ślimakowej mieszaniny fosfogipsu i mocznika. Pierwszy etap tego procesu obejmuje mieszanie mocznika, fosfogipsu i ewentualnie wody, w trakcie którego zachodzi reakcja tworzenia adduktu. W drugim etapie otrzymaną mieszaninę poddaje się granulacji ślimakowej. Otrzymane granule nawozu suszy się, a następnie odsiewa w celu uzyskania odpowiedniego uziarnienia. Podziarno i nadziarno zawracane są do węzła granulacji. Według drugiego sposobu nawóz otrzymywany jest z pominięciem etapu wytłaczania. W wyniku reakcji mocznika z fosfogipsem o obniżonej zawartości wilgoci, prowadzonej w mieszalniku łopatkowym, uzyskiwany jest pregranulat, który podaje się na talerz granulacyjny, gdzie następuje nadanie odpowiedniego kształtu cząstkom nawozu. Następnie granule nawozu poddaje się suszeniu. Produkt odsiewa się w celu uzyskania odpowiedniego uziarnienia. Podziarno i rozdrobnione nadziarno zawracane są do węzła granulacji. Wytwarzanie nawozów typu adduktu mocznika i siarczanu wapnia, według zaproponowanych sposobów, wymaga użycia fosfogipsu lub innego surowca siarkowego o całkowitej zawartości wody nieprzekraczającej 30% mas. Biorąc pod uwagę powyższe ograniczenie, podjęto badania mające na celu opracowanie metody granulacji tego typu nawozów pozwalającej na wykorzystanie surowców bogatszych w wodę.

## Metodyka

Jako źródło siarczanu wapnia podczas badań stosowano fosfogipsy pochodzące z ZCh POLICE SA, GZNF FOSFORNY Sp. z o.o.

oraz ZCh WIZÓW S.A (Tab. I). Mocznik stosowano w postaci krystalicznej (Zakłady Azotowe KĘDZIERZYN SA) oraz granulowanej (Zakłady Azotowe PUŁAWY SA).

Tablica I

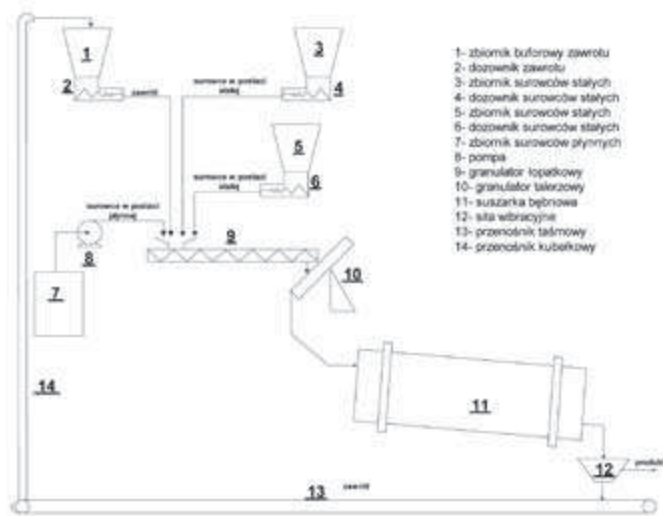
Skład chemiczny fosfogipsów wykorzystywanych do badań

Lp.	Oznaczenie	Miejsce pochodzenia fosfogipsu			
		ZCh POLICE SA	GZNF FOSFORNY sp. z o.o.	ZCh WIZÓW SA	
1	Straty suszenia, 105°C, % mas.	33,21	24,90	24,46	19,21
2	Straty prażenia, 400°C, % mas.	44,50	37,36	28,66	23,69
3	Straty prażenia, 1000°C, % mas.	45,6	38,86	31,49	25,12
4	SO <sub>3</sub> , % mas.	35,27	34,97	40,88	43,17
5	CaO, % mas.	24,08	24,10	26,51	29,25
6	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % mas.	0,60	0,52	1,00	1,25

Próby laboratoryjne wytwarzania granulowanych nawozów typu adduktu prowadzono przy użyciu mieszalnika oraz granulatora telerzowego firmy ERWEKA. Badania w skali półtechnicznej prowadzono w instalacji granulacji Instytutu Nawozów Sztucznych w Puławach, której schemat przedstawiono na Rysunku 1. Głównymi elementami instalacji są:

1. Granulator łopatkowy dwuwąłowy: długość = 1000 mm, szerokość = 240 mm, głębokość = 150 mm, liczba łopatek na wale = 92, średnica wału = 30 mm, wymiary łopatek: szerokość = 20 mm, długość = 45 mm, prędkość obrotowa = 80 obr./min.
2. Talerz granulacyjny o średnicy 1000 mm i wysokości obrzeża 200 mm. Kąt pochylenia 60°. Prędkość obrotowa = 18 obr./min.
3. Suszarka bębnowa: długość = 6000 mm, średnica = 600 mm, ilość obrotów: 4 obr./min. Kąt pochylenia 3°. Suszarka ogrzewana parą pracująca współprądowo. Szybkość przepływu powietrza przez suszarkę ok. 0,5 m/s.
4. Przesiewacz wibracyjny dwupokładowy. Powierzchnia siania 0,75 m<sup>2</sup>.

5. Przenośnik taśmowy: długość = 6000 mm, szerokość = 500 mm.  
6. Przenośnik kulekowy: wysokość podnoszenia 9000 mm.



Rys. 1. Schemat instalacji półtechnicznej INS do granulacji nawozów

Wytworzone w trakcie badań nawozy poddawano analizom chemicznym oraz oceniano ich własności użytkowe (skład, uziarnienie, wytrzymałość granul, higroskopijność) [8, 9]. Oznaczenia zawartości mocznika w otrzymanych nawozach wykonywano metodą spektrofotometryczną z użyciem p-DMABA (p-(dimetylo)aminobenzaldehyd) [10]. Oznaczenie stopnia przereagowania mocznika w formę adduktu wykonywano metodą opierającą się na różnicy rozpuszczalności w n-butanolu mocznika wolnego i mocznika związanego w addukt [11]. Pomiar wytrzymałości na ściskanie granul wytworzonych nawozów wykonywano przy użyciu aparatu ERWEKA TBH 200D. Każdorazowo do pomiaru używano po 20-30 granul o średnicy 2,50-4,00 mm.

### Wyniki badań

Fosfogips pochodzący z Zakładów Chemicznych POLICE SA zawiera znaczną ilość wody (do 45% mas.). W związku z tym przy wykorzystaniu tego fosfogipsu do wytwarzania nawozów typu adduktu według zaproponowanej metody, wskazane byłoby jego częściowe odwodnienie. W wyniku prób przeprowadzonych w skali laboratoryjnej stwierdzono, że wymieszanie fosfogipsu o tak wysokiej zawartości wody z mocznikiem w ilości odpowiadającej wytworzeniu adduktu  $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  powoduje wytworzenie pulpy, którą będzie można prawdopodobnie podawać do węzła granulacji. W przypadku zastosowania fosfogipsu o niższej zawartości wody (do 30% mas.) uzasadnione wydaje się wykorzystanie do wytworzenia pulpy technicznych roztworów mocznika (TRM) o zawartości ok. 70%  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Należy dodać, że sposób wytwarzania nawozów wielokładnikowych poprzez granulację nadawy w postaci pulpy ze strumieniem zawrotu stosują obecnie Zakłady Chemiczne POLICE SA, a także Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych FOSFOR Sp. z o.o. Przeprowadzone badania konsystencji pulp wykazały, że minimalna zawartość wody w pulpie mocznikowo-fosfogipsowej, zapewniająca jej pompowalność w temperaturze 70°C, wynosi 18,5% mas. Przywrócenie pompowalności w temperaturze 70°C pulpie przechowywanej przez okres 4 dób jest możliwe po zwiększeniu całkowitej zawartości wody w pulpie do poziomu 21,5% mas. W Tabelicy 2 przedstawiono przykładowe składy nadawy (do wytwarzania nawozów typu adduktu, które można uzyskać przy zastosowaniu stałego mocznika, TRM oraz fosfogipsów z ZCh POLICE SA, GZNF FOSFOR Sp. z o.o. oraz ZCh WIZÓW SA.

Tabclica 2

### Składy pulp do wytwarzania nawozów typu adduktu w różnych układach surowcowych. Skład pulpy stechiometryczny w stosunku do $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

Lp.	Zawartość surowca w pulpie, % mas.						Zawartość wody w pulpie, % mas.	Właściwości pulpy
	MOCZNIK stały	TRM 70% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	FOSFOGIPS					
			WIZÓW 25% $\text{H}_2\text{O}$	GDAŃSK WIZÓW 30% $\text{H}_2\text{O}$	POLICE 37% $\text{H}_2\text{O}$	POLICE 45% $\text{H}_2\text{O}$		
1	51,5	-	-	-	48,5	-	18,1	pompowalna pulpa (T = 70°C)
2	48,0	-	-	-	-	52,0	23,4	pompowalna pulpa (T = 40°C)
3	-	64,2	35,8	-	-	-	28,2	pompowalna pulpa (T = 20°C)
4	-	62,6	-	37,4	-	-	30,0	pompowalna pulpa (T = 20°C)
5	-	60,3	-	-	39,7	-	32,9	pompowalna pulpa (T = 20°C)
6	-	56,8	-	-	-	43,2	36,5	pompowalna pulpa (T = 20°C)

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, przeprowadzono dwie próby półtechniczne wytwarzania nawozów typu adduktu w układzie z dozowaniem do węzła granulacji mieszaniny mocznikowo-fosfogipsowej w postaci pulpy. Pierwszą próbę przeprowadzono z zastosowaniem stałego mocznika i fosfogipsu z ZCh POLICE SA, a drugą 70% roztwór mocznika i fosfogipsu z ZCh WIZÓW SA. Próby przeprowadzono w instalacji półtechnicznej granulacji nawozów INS w Puławach. W trakcie prób nadawę surowców w postaci pulpy o temperaturze 60°C dozowano do dwuwalowego granulatora łopatkowego za pomocą pompy perystaltycznej. Do granulatora kierowano również strumień przygotowanego wcześniej zawrotu. Z granulatora pregranulat nawozowy trafiał na talerz granulacyjny, a następnie do suszarki bębnowej. Po wyjściu z suszarki granulaty kierowano na sito wibracyjne dwupokładowe. Po przejściu przez sita, nadziarno i podziarno poprzez system przenośników: taśmowego, kulekowego i ślimakowego trafiały do zasobnika nawrotu. W pierwszej fazie prób, w celu zwiększenia masy zawrotu nie odbierano frakcji właściwej produktu, lecz razem z nadziarnem i podziarnem kierowana była do obiegu. Po zakończeniu prób rozdzielano wytworzony nawóz na frakcję właściwą, nadziarno oraz podziarno i poddawano dalszym badaniom. W trakcie prób stwierdzono, że proces granulacji nawozu typu adduktu przebiegał stabilnie przy stosunku zawrotu do nadawy wynoszącym 5:1. Temperaturę produktu na wylocie z suszarki utrzymywano na poziomie 90-110°C.

Właściwości uzyskanych nawozów przedstawiono w Tabelicy 3. W wyniku prób uzyskano produkty o zakładanej zawartości azotu i siarki, w których stopień przemiany mocznika w addukt wynosił ok. 70%. Wytrzymałość granul kształtowała się na poziomie 20-30 N/gran. i nie zmieniała się w istotny sposób podczas przechowywania.

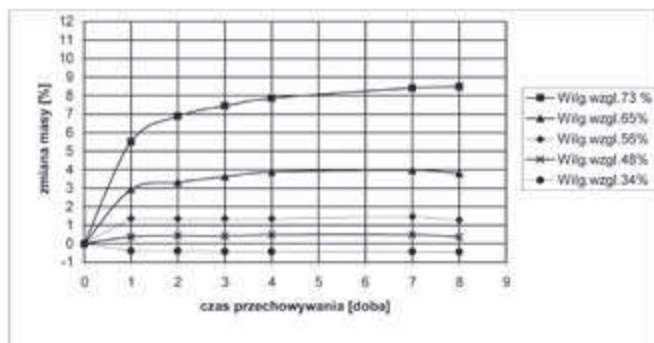
Tablica 3

## Właściwości nawozów uzyskanych podczas prób

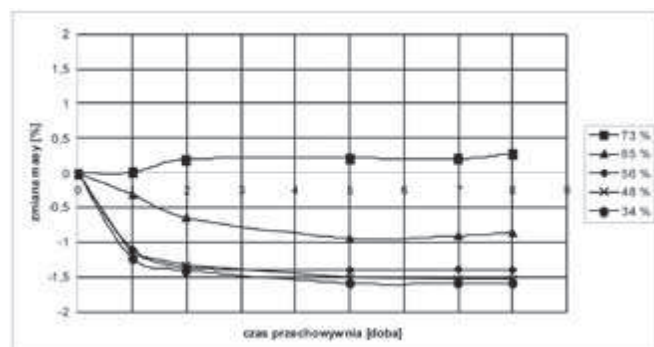
Lp.	Rodzaj oznaczenia	Wynik oznaczenia w produkcie z próby I		Wyniki oznaczenia w produkcie z próby II	
1	N <sub>og</sub> , % mas.	27,6		29,5	
3	S <sub>og</sub> , % mas.	8,6		8,2	
4	Wytrzymałość granul na ściskanie (frakcja 2,5 3,15 mm), N/gran.	po 6 dniach	24,7	po 5 dniach	26,7
		po 60 dniach	23,2	po 21 dniach	30,8
		po 80 dniach	25,4	po 40 dniach	29,7
5	Stopień przereagowania mocznika, %	72,0		69,6	
6	Ubytek masy 105°C, %	1,05		2,55	
7	Średnica zastępcza, mm	4,01		3,24	

Dodatkowe wysuszenie granulatu wytworzonego podczas drugiej próby spowodowało niewielki wzrost wytrzymałości granul, do 29,7 N/gran. W trakcie prób w przenośniku ślimakowym następowało ścieranie granul, przez co w nawrocie pojawiała się duża ilość pyłu. W obecności nadmiernej ilości pyłu granulacja nawozów polegała w dużej mierze na tworzeniu się granul poprzez sklejanie pyłu z nadawą, a co za tym idzie, wytworzone granule cechowała niska wytrzymałość.

Stwierdzono, że nawozy uzyskane podczas prób charakteryzują się umiarkowaną higroskopijnością (Rys. 2 i 3). Próbkę nawozu wytworzonego w trakcie pierwszej próby przechowywane w atmosferze powietrza o wilgotności względnej nieprzekraczającej 50% odznaczają się niskim przyrostem masy. Przy wilgotności powietrza wynoszącej 65% nawozy w ciągu 3 dób chłoną wilgoć do poziomu ok. 3-4%, a w ciągu dalszego przechowywania ich masa nie ulega większym zmianom. Świadczyć to może o uwadnianiu się siarczanu wapnia zawartego w nawozie, który nie został związany w postaci adduktu. Jedynie próbki przechowywane w atmosferze o wilgotności względnej przekraczającej 73% odznaczają się znacznym przyrostem masy. Produkt z próby drugiej, ze względu na zwiększoną zawartość wilgoci, w warunkach pomiarów oddawał wodę.



Rys. 2. Zmiany masy próbek nawozu typu adduktu przechowywanych w atmosferze powietrza o różnej wilgotności względnej (próba I)



Rys. 3. Zmiany masy próbek nawozu typu adduktu przechowywanych w atmosferze powietrza o różnej wilgotności względnej (próba II)

Wyniki prób półtechnicznych wykazały konieczność dalszych prac nad poprawą własności uzyskiwanych granulatów. Przeprowadzono badania laboratoryjne oraz próby w skali ćwierćtechnicznej nad możliwością zastosowania różnych dodatków mających na celu poprawę wytrzymałości granul. Jako dodatki stosowano magnezyt, magnezyt częściowo rozłożony kwasem siarkowym ( $MgO_{rw} = 13,53\%$  i  $MgO_{og} = 33,77\%$ ), bentonit, gips budowlany oraz roztwory siarczanu magnezu i mocznika. Stosunek molowy mocznika do siarczanu wapnia pochodzącego z fosfogipsu w wytwarzanych granulatach wyniósł 4:1. Roztwory siarczanu magnezu i mocznika stosowano w postaci natrysku na granule znajdujące się na talerzu granulacyjnym. W Tablicy 4 przedstawiono wyniki pomiarów wytrzymałości granul z dodatkami, w porównaniu z wytrzymałością granul próbek referencyjnych wytworzonych w tych samych warunkach bez dodatków.

Tablica 4

## Wytrzymałość granul nawozów typu adduktu z różnymi dodatkami

Lp.	Rodzaj dodatku	Zawartość dodatku w granulacie, % mas.	Wytrzymałość granul, N/gran.	Wytrzymałość granul próbki referencyjnej, N/gran.	Zmiana wytrzymałości, %
1	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2,0 MgO	12,8	10,7	+19,6
2	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	4,0 MgO	41,6	10,7	+288,8
3	Magnezyt częściowo rozłożony	2,0 MgO	22,1	10,7	+106,5
4	Magnezyt częściowo rozłożony	4,0 MgO	31,3	10,7	+192,5
5	Bentonit	5,0	40,0	10,7	+273,8
6	Gips budowlany 3	3,0	25,4	29,7	-14,5
7	Gips budowlany 5	5,0	19,6	29,7	-34,0
8	Roztwór siarczanu magnezu	1,0 MgSO <sub>4</sub>	28,7	29,1	-1,4
9	Roztwór siarczanu magnezu i mocznika	1,0 MgSO <sub>4</sub> 0,5 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	32,2	29,1	+10,7
10	Roztwór siarczanu magnezu i mocznika	2,0 MgSO <sub>4</sub> 1,0 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	37,7	29,1	+29,6

Próbki 1-5 wytworzono w skali laboratoryjnej  
Próbki 6-10 wytworzono w skali ćwierćtechnicznej

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że granulaty o najwyższej wytrzymałości uzyskiwano z wykorzystaniem siedmiowodnego siarczanu magnezu oraz bentonitu. W tych przypadkach zaobserwowano wzrost wytrzymałości granul na ściskanie o ok. 300% w porównaniu z granulatem wytworzonym bez dodatków. Próbkę granulatu wytworzonego z udziałem magnezytu częściowo rozłożonego wykazywały wytrzymałość granul zwiększoną maksymalnie o ok. 200% w porównaniu z próbką wytworzoną bez udziału surowca magnezowego. Wyniki pomiarów wytrzymałości granulatów wytworzonych z udziałem gipsu budowlanego nie wykazały wpływu tego dodatku na wzrost ich wytrzymałości. Powodem tego może być obecność resztek nieodmytego kwasu fosforowego w fosfogipsie. Jon fosforanowy



negatywnie wpływa na zdolność wiązania gipsu. Nie zaobserwowano większego wpływu roztworu samego siarczanu magnezu na wytrzymałość granul. Na podstawie uzyskanych wyników można natomiast stwierdzić wzrost wytrzymałości produktów kondycjonowanych roztworem siarczanu magnezu i mocznika. Wzrost wytrzymałości granul nawozów wytworzonych z udziałem różnych form siarczanu magnezu spowodowany jest prawdopodobnie wytworzeniem adduktu siarczanu magnezu i mocznika.

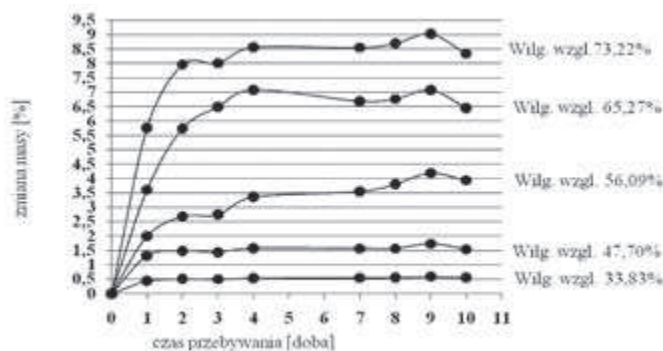
Biorąc pod uwagę wyniki badań wpływu dodatków na wytrzymałość granulatów przeprowadzono próby półtechniczne otrzymania nawozu typu adduktu z zastosowaniem magnezytu częściowo rozłożonego używanego do badań laboratoryjnych. Próby prowadzono z wykorzystaniem fosfogipsu z ZCh POLICE SA w układzie aparaturowym identycznym jak w próbach bez dodatków. Jedną próbę (próba III) przeprowadzono dozując magnezyt częściowo rozłożony do granuladora łopatkowego, do którego była podawana nadawa w postaci pulpy mocznikowo-fosfogipsowej oraz zawrót. W trakcie próby wystąpiły problemy z dozowaniem magnezytu związane z wibracjami generowanymi przez granulator łopatkowy oraz uzyskaniem odpowiedniej temperatury w suszarce. W związku z kłopotami ruchowymi postanowiono przeprowadzić kolejną próbę (próba IV), w której częściowo rozłożony magnezyt zadozowano do pulpy mocznikowo-fosfogipsowej i razem z nią kierowano do granuladora łopatkowego. W wyniku próby IV uzyskano produkt o wytrzymałości ponad 40 N/gran., która po upływie 2,5 miesiąca przechowywania przekroczyła 50 N/gran. (Tab. 5).

**Tablica 5**

**Właściwości nawozu uzyskanego podczas prób z dodatkiem częściowo rozłożonego magnezytu**

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Wynik oznaczenia w produkcie z próby III		Wyniki oznaczenia w produkcie z próby IV	
1	N <sub>og</sub> , % mas.	24,7		25,3	
2	N <sub>amon.</sub> , % mas.	0,52		0,52	
3	S <sub>og</sub> , % mas.	8,4		9,7	
4	CaO <sub>og</sub> , % mas.	15,7		16,1	
5	CaO <sub>rw</sub> , % mas.	7,9		8,1	
6	MgO <sub>og</sub> , % mas.	1,3		2,0	
7	MgO <sub>rw</sub> , % mas.	0,75		0,80	
8	Wytrzymałość granul na ściskanie ( frakcja 2,5 3,15 mm), N/ gran.	Po wytworzeniu	27,6	Po wytworzeniu	42,0
				Po 20 dniach	43,0
				Po 77 dniach	51,0
9	Stopień przereagowania mocznika, %	84,50		81,00	
10	Ubytek masy 105°C, %	3,93		2,39	
11	Średnica zastępcza, mm	3,12		3,26	

Wytworzony podczas próby IV granulat odznacza się higroskopijnością porównywalna do produktu wytworzonego bez udziału dodatków (Rys. 4). Stwierdzono, że próbki umieszczone w atmosferze powietrza o kontrolowanej wilgotności względnej chłonąc wilgoć zwiększają swoją masę od 0,5% (wilg. wzgl. 33,8%) do ok. 8,5% (wilg. wzgl. 73,2%).



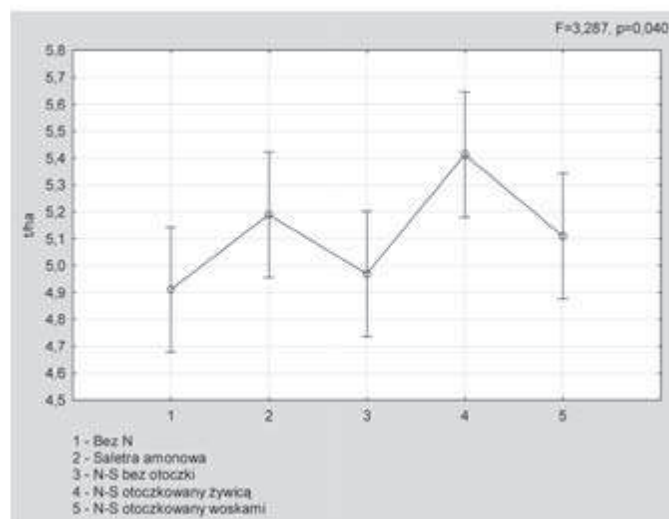
**Rys. 4. Zmiany masy próbek nawozu typu adduktu przechowywanych w atmosferze powietrza o różnej wilgotności względnej (próba IV)**

Przydatność rolniczą nawozu sprawdzono w doświadczeniach rolniczych wazonowych oraz doświadczeniach polowych w uprawie pszenicy jarej, kukurydzy na ziarno. Do badań polowych użyto próby nawozu I w 3 wersjach: bez otoczki, z otoczką żywicy formaldehydowo-mocznikowej w ilości 3% i otoczką z kompozycji wosków technicznych w ilości 3%. Badania polowe prowadzono w RZD IUNG Kępa. Doświadczenie miało układ doświadczenia jednoczynnikowego, w czterech powtórzeniach w układzie losowanych bloków. Schemat doświadczenia przewidywał następujące objekty nawozowe dla każdej rośliny oddzielnie:

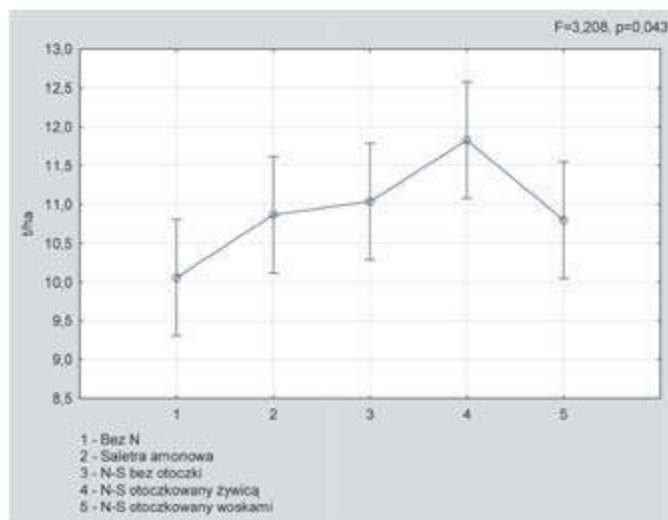
- Kontrola bez azotu
- Saletra amonowa stosowana w dwu dawkach (60% + 40%)
- N-S bez otoczki
- N-S otoczkowany żywicą w ilości 3% mas.
- N-S otoczkowany woskami 3% w ilości 3% mas.

Wyniki doświadczeń polowych przedstawiono na Rysunkach 5 i 6.

Użyty w badaniach nawóz N-S stanowiący addukt mocznika z siarczanem wapnia pochodzącym z ZCH POLICE SA jest niewątpliwie nawozem azotowym nieodbiegającym pod względem działania plonotwórczego od czystej formy saletry amonowej stosowanej w dwu dawkach oraz lepszym w porównaniu z czystym mocznikiem stosowanym przedsięwzię. Zebrane w badaniach fakty wskazują na wolniejsze uruchamianie się azotu z adduktu mocznika i na ograniczające działanie w tym zakresie otoczki żywicznej. Wpływa to także na pewną ochronę korzeni przed nadmierną koncentracją nawozu w początkowym okresie wzrostu roślin oraz najprawdopodobniej na poziom strat azotu. Uzasadnione wydaje się zatem stosowanie tego nawozu w całości przedsięwzię w uprawie roślin wysiewanych i sadzonych wiosną. W przeciwieństwie do czystych form mocznika i saletry amonowej kumulacja azotu w jednej przedsięwzię dawce może równoważyć przeciętne całkowite potrzeby roślin w sezonie wegetacyjnym.



**Rys. 5. Plony ziarna pszenicy jarej, t/ha**



Rys. 6. Plony ziarna kukurydzy, t/ha

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały możliwość wytwarzania nawozów azotowo-siarkowo-wapniowych na bazie mocznika i fosfogipsu poprzez granulację pulpy mocznikowo-fosfogipsowej z wysuszonym zawrotem. Otrzymany granulat suszy się, a następnie odsiewa się w celu uzyskania odpowiedniego uziarnienia. Podziarno i rozdrobnione nadziarno zwraca się do węzła granulacji. Pulpę można wytworzyć stosując stały mocznik i fosfogips o wysokiej zawartości wody, np. z ZCh POLICE SA lub stosując techniczne roztwory mocznika (70% mas.  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) i dowolny fosfogips. W drugim przypadku najbardziej uzasadnione wydaje się użycie fosfogipsu o jak najmniejszej zawartości wody. W celu nadania granułom odpowiedniej wytrzymałości konieczne jest stosowanie odpowiednich dodatków. Stwierdzono, że dodatek częściowo rozłożonego magnezytu powoduje wzrost wytrzymałości uzyskiwanych granulatów przy zawartości całkowitej  $\text{MgO}$  wynoszącej 2%, a więc takiej, przy której możliwe jest deklarowanie tego składnika w nawozie. Częściowy rozkład magnezytu kwasem siarkowym można prowadzić na etapie wytwarzania pulpy. Wzrost wytrzymałości granułu nawozu typu adduktu można osiągnąć również stosując dodatek bentonitu do węzła granulacji w ilości 5% mas. w suszonym granulacie.

Badania rolnicze, w uprawach polowych zbóż wykazały, że opracowany nawóz jest nawozem azotowym nieodbiegającym pod względem działania plonotwórczego od czystej formy saletry amonowej stosowanej w dwu dawkach oraz lepszym, w porównaniu z czystym mocznikiem stosowanym przedsięwzięciem. Spowolnione uwalnianie składników pokarmowych pozwala na zastosowanie całkowitej ilości azotu, przedsięwzięciem w jednej dawce, co ogranicza ilość zabiegów oraz koszty uprawy.

Pracę wykonano w ramach Projektu Rozwojowego Nr N R05 0054 06 „Technologia nawozów azotowo-siarkowo-wapniowych na bazie fosfogipsu i mocznika” dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

## Literatura

- Whittaker C., Lundstom F., Hendricks S.: *Reaction between urea and gypsum*. Ind. & Eng. Chem. 1933, **11**, 1280.
- Uno S.: *Studies on the higroscopicity of chemical fertilizers, I – on the higroscopicity of gypsum-urea*. J. Soc. Chem. Ind. Japan 1940, **43**, 274.
- Achard P., Schwob Y., Limousin L.: *A new route for urea-superphosphate fertilizers*. Phosphorus & Potassium 1994, **191**, 27-29.
- Patent US 2 074 880, 1937.
- Patent US 3 976 467, 1976.
- Patent ZSRR 1 063 800, 1983.
- Patent RO 111 183, 1996.

- Rozporządzenie (WE) Nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 304/1, 21.11.2003.
- Pawlikowski S., Szymonik S.: *O metodyce określania higroskopijności*. Przem. Chem. 1959, **8**, 598-599.
- Maciaszek S.: *Mocznik*. WNT, Warszawa 1967.
- Malinowski P., Biskupski A., Głowiński J.: *Preparation methods of calcium sulphate and urea adduct*. Pol. J. Chem. Tech. 2007, **9**, 4, 111-114.

Dr inż. Mieczysław BOROWIK – ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1986). Obecnie pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach na stanowisku adiunkta w Zakładzie Nawozów. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Dr inż. Przemysław MALINOWSKI, prof. PWSZ w Nysie – ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1998). Obecnie pracuje w Studium Nauk Podstawowych Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Nysie. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Dr inż. Andrzej BISKUPSKI – ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1969). Obecnie pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach na stanowisku kierownika Zakładu Nawozów. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Mgr Michał DAWIDOWICZ – ukończył studia wyższe na Wydziale Chemicznym Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (2008). Obecnie pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach na stanowisku chemika. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Mgr inż. Sebastian SCHAB – ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej (2006). Obecnie pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach na stanowisku asystenta. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Dr Piotr RUSEK – ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (1998). Jest starszym specjalistą w Zakładzie Nawozów Instytutu Nawozów Sztucznych w Puławach. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Dr hab. inż. Janusz IGRAS, prof. INS – ukończył studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Lublinie (1989). Od ukończenia studiów do maja 2011 r. pracował w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, gdzie w latach 1999-2011 był kierownikiem Zakładu Żywności Roslin i Nawożenia. W 1998 r. obronił pracę doktorską, a w 2005 r. – rozprawę habilitacyjną. Od maja 2011 r. jest dyrektorem naukowym w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. Specjalność – chemia rolna.

Dr inż. Kazimierz KĘSIK – ukończył studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Lublinie (1973). Obecnie pracuje w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa PIB w Puławach w Zakładzie Żywności Roslin i Nawożenia na stanowisku głównego specjalisty. Specjalność – chemia rolna.