

Synteza 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu z trinitrorezorcyny

Mateusz SZALA*, Leszek SZYMAŃCZYK – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Warszawa

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2016, 70, 1, 51–58

Wprowadzenie

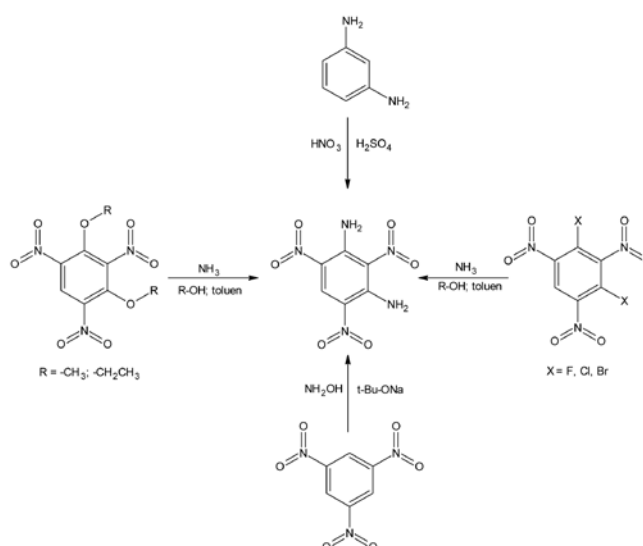
Współczesny materiał wybuchowy kruszący powinien charakteryzować się wysokimi parametrami detonacyjnymi (prędkość detonacji >7,5 km/s) oraz niską wrażliwością na uderzenie (15 J), tarcie (360 N), a także brakiem detonacji po przestrzeleniu pociskiem lub strumieniem kumulacyjnym. Pozostałe wymagania dotyczące właściwości są silnie związane z rodzajem formy użytkowej, w której będzie zastosowany. Np. do pocisków burzących o dużym wagomiarze poszukuje się kompozycji topliwych, umożliwiających elaborację poprzez odlewanie; temperatura topnienia nie może przekroczyć 110°C i związek musi być stabilny w fazie ciekłej (trotyl, dinitroanizol). Do pocisków o małym kalibrze poszukuje się materiałów o niskiej średnicy krytycznej (heksogen). Jeżeli przewidywana jest deelaracja materiału, to poszukiwane są materiały rozpuszczalne w popularnych i dostępnych rozpuszczalnikach, np. woda (nitrotriazolon), aceton (heksogen) itp. Osobnym, ale ważnym, czynnikiem determinującym przydatność materiału wybuchowego jest jednostkowy koszt wytworzenia. Jeżeli proces technologiczny wymaga wysokich temperatur, długich czasów kontaktu reagentów, złożonych substratów, jest wieloetapowy a wydajności etapów są niskie, to nawet materiał o pożądanych właściwościach nie znajdzie szerszego zastosowania. Przykładem materiału wybuchowego będącego standardem wśród MW o obniżonej wrażliwości jest 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzen (TATB). Przy gęstości 1,80 g/cm³ ma prędkość detonacji 7,3 km/s i wrażliwość na uderzenie 50 J [1], lecz ze względu na relatywnie wysoki koszt wytworzenia, jego użycie jest ograniczone do konstrukcji specjalnych.

Alternatywą dla TATB jest jego homolog mający tylko dwie grupy aminowe, czyli 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzen (DATB). Usunięcie jednej grupy aminowej z TATB powoduje, że powstały DATB ma korzystniejszy bilans tlenowy i niższą średnicę krytyczną [1]. Po raz pierwszy otrzymał go w 1884 r. Noelting i Collin w wyniku działania amoniakiem na 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzen [2]. Czysty DATB topi się w 284–285°C [3, 4], a następnie ulega egzotermicznemu rozkładowi w temp. powyżej 300°C. Wrażliwość na uderzenie (h_{50}) wynosi >320 cm (dla TNT 200 cm). Przy gęstości 1,82 g/cm³ prędkość detonacji wynosi 7,64 km/s, a ciśnienie detonacji 25,1 GPa. Średnica krytyczna detonacji materiału wynosi ok. 0,5 mm [5].

Wszystkie opisane dotychczas metody syntezy DATB opierają się na trzech strategiach: (1) wprowadzeniu grup aminowych za pomocą amoniaku w miejsce halogenu lub grup alkoksylowych w pochodnych trinitrobenzenu, (2) bezpośrednim aminowaniu trinitrobenzenu w warunkach zastępczego podstawienia nukleofilowego (VNS), (3) nitrowaniu diaminobenzenu (Rys. 1).

Historycznie drugą metodę syntezy DATB opracował Meisenheimer (od jego nazwiska pochodzi nazwa kompleksu powstającego podczas nukleofilowego podstawienia w arenach), działając na trinitrobenzen hydroksyloaminą w środowisku metanolu sodu w metanolu [6]. Trzecią oryginalną ścieżką syntezy DATB odkryli Bell

i Cohen, działając mieszaniną nitrującą na 1,3-diaminobenzen [7]. Ostatnie odkryte metody syntezy DATB dotyczą działania amoniakiem na dichloro- lub difluorotrinitrobenzen [3, 8]. W 2002 r. Bellamy i współp. przedstawili modyfikację oryginalnego przepisu Noeltinga, w którym dimetoksytrinitrobenzen jest otrzymywany w wyniku alkilowania trinitrorezorcyny za pomocą ortomrówczanu trimetylu [4]. Powstały prekursor jest następnie traktowany amoniakiem w toluenie, w wyniku czego powstaje DATB z wydajnością 98% (etap aminowania) o temp. ze topnienia 285°C.



Rys. 1. Schemat przedstawiający różne metody syntezy DATB

Celem pracy było sprawdzenie, czy możliwe jest otrzymanie DATB z wykorzystaniem trinitrorezorcyny (tzw. kwas styfniowy, TNR), którą w pierwszym etapie etoksyloowano ortomrówczanem trietylu, a następnie aminowano za pomocą amoniaku rozpuszczonego w toluenie przy ciśnieniu 8 bar w temperaturze otoczenia. Bellamy [4] opisał tylko alkilowanie za pomocą ortomrówczanu trimetylu, tymczasem w przypadku syntezy TATB podane są opisy alkoksylowania ortomrówczanem tri-: -metylu, -etylu i -propylu [4]. Jako substrat wybrano trinitrorezorcynę ze względu na łagodne warunki jej otrzymywania; natomiast ze względu na dihydroksypodstawienie, pierścień benzenowy ulega nitrowaniu w łagodnych warunkach, w przeciwieństwie do nitrowania di- i trichlorobenzenu (TCB). Otrzymanie trinitrowej pochodnej TCB wymaga zastosowania temperatur rzędu 140–150°C i czasu kontaktu reagentów ok. 20 h [9]. Ponadto, trinitrorezorcyna jest surowcem dostępnym i relatywnie tanim; ze względu na ciągle stosowany trinitrorezorcynianu ołowiu w spłonkach zapalających amunicji strzeleckiej i zapłonnikach artyleryjskich ładunków miotających.

Wyniki badań i dyskusja

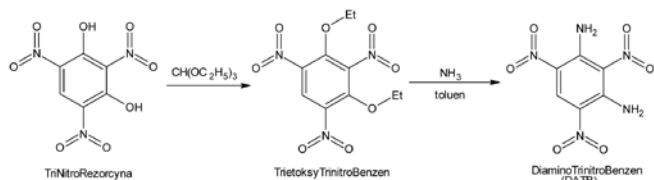
Podczas doświadczeń używano trinitrorezorcyny (Loba Chemie), ortomrówczanu trietylu (Acros), toluenu (Chempur), amoniaku (Mulltax), dimetylosulfotlenku (Avantor) i etanolu (POCh). Badania DTA wykonano za pomocą różnicowego analizatora termicznego Labsys

Autor do korespondencji:

Dr inż. Mateusz SZALA, e-mail: mszala@wat.edu.pl

firmy SETARAM. Próbkę o masie ok. 10 mg umieszczano w otwartym tyglu o objętości 75 μ L wykonanym z tlenku glinu i ogrzewano z szybkością 10 K/min. Podczas badań tygiel odniesienia był pusty. Atmosferę pieca stanowiło syntetyczne powietrze podawane z natężeniem 50 ml/min. Widma magnetycznego rezonansu jądrowego rejestrowano dla homogenicznych próbek rozpuszczonych w deuterowanym dimetylosulfotlenku (d_6 -DMSO). Podczas badań stosowano spektrometr firmy Bruker model Avancell HD o częstotliwości rezonansowej dla protonów wynoszącej 500 MHz. Wszystkie widma rejestrowano w temperaturze otoczenia (20°C) techniką impulsową, a uzyskane wyniki poddawano automatycznej transformacji Fouriera.

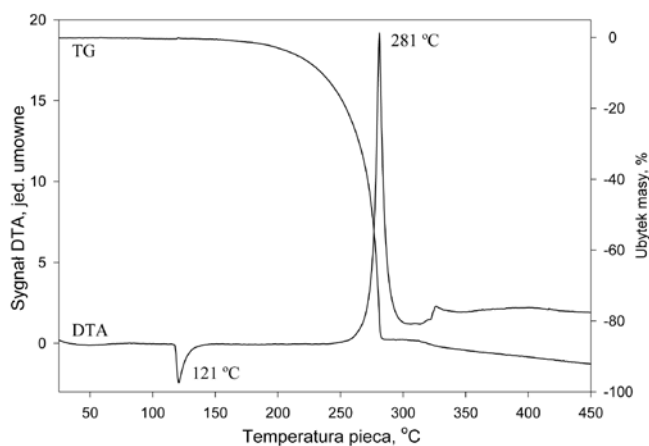
Schemat przeprowadzonych reakcji przedstawiono na Rysunku 2. W pierwszym etapie ogrzewano ortomrówczan trietylu z trinitrorezorcyną. Następnie na produkt etylowania działano amoniakiem rozpuszczonym w toluenie.



Rys. 2. Schemat syntezy DATB. Do otrzymania prekursora (TEtTNB) wykorzystano ortomrówczan trietylu

Synteza 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzenu: w kolbie kulistej o objętości 100 cm^3 , zaopatrzonej w termoparę i chłodnicę zwrotną, umieszczono 50 cm^3 ortomrówczanu trietylu i dodano 3,0 g trinitrorezorcyny. Układ umieszczono w łaźni olejowej i ogrzewano w temp. 100°C przez 3 h. Początkowo roztwór miał barwę żółtą, a po osiągnięciu 100°C zmienił kolor na brązowy, ale transparentny. Następnie chłodnicę zwrotną zamieniono na destylacyjną, rozpoczęto podnoszenie temperatury do 140°C odbierając ok. 15 cm^3 destylatu po osiągnięciu 140°C. Po zakończeniu destylacji ochłodzono mieszaninę reakcyjną do 25°C i umieszczono w lodówce (4°C) na 0,5 h. Wytrącone kryształy odsączono i przekryształizowano z 50 cm^3 etanolu. Suszono na powietrzu w temp. 100°C przez 24 h. Otrzymano 2,5 g jasnożółtych igieł ($\alpha = 69\%$), które poddano analizie strukturalnej techniką NMR. Na widmie 1H NMR obserwowano tryplet 1,3 ppm, kwartet 4,25 ppm oraz singlet 8,97 ppm. Pierwsze dwa multiplety odpowiadają grupom etylowym w podstawniku etoksyowym, ostatni singlet pochodzi od protonu aromatycznego w położeniu 5 pierścienia. Stosunek powierzchni sygnałów wynosi 6:4:1 i w pełni odpowiada przewidywanej strukturze dietoksytrinitrobenzenu. Na widmie ^{13}C NMR obserwowano dwa sygnały w obszarze alifatycznym (15,6 ppm i 17,0 ppm) pochodzące od grup etylowych w podstawnikach etoksyowych. Ze względu na symetrię cząsteczki DiEtTNB w obszarze aromatycznym, obserwowano cztery sygnały 126,1 ppm (C5); 137,5 ppm (C2); 142,5 ppm (C4;6) i 149,6 (C1;3) ppm. W widmie ^{15}N NMR obserwowano dwa sygnały o przesunięciach chemicznych 361,0 ppm (pozycja 4; 6) i 361,7 ppm (pozycja 2).

Krzywe DTA/TG uzyskane dla DEtTNB przedstawiono na Rysunku 3. Na krzywej DTA obserwowano sygnał endotermiczny o maksimum w temp. 121°C, który można przypisać topnieniu próbki oraz sygnał egzotermiczny o dużej intensywności i maksimum w temp. 281°C, który można przypisać rozkładowi próbki. Próbka jest stabilna termicznie do temperatury ok. 170°C, kiedy to zaczyna się powolny ubytek masy. Maksimum szybkości ubytku masy obserwuje się w temp. 280°C i pokrywa się ono z ekstremum piku DTA odpowiadającemu rozkładowi próbki. Niewielki sygnał egzotermiczny, o maksimum w temp. ok. 320°C, to efekt przemian stałych produktów rozkładu. Analiza krzywych DTA-TG próbki 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzenu pozwala stwierdzić, że związek wykazuje właściwości wysokoenergetyczne i może być traktowany jako materiał wybuchowy.



Rys. 3. Krzywe DTA i TG uzyskane dla 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzenu

Synteza 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu: 100 cm^3 toluenu umieszczono w autoklawie (obj. 300 cm^3) i za pomocą łaźni etanol/stały CO_2 ochłodzono do $-40^\circ C$. Następnie przepuszczano gazowy amoniak przez toluen z natężeniem (500 cm^3/min) przez 15 min. Po zakończeniu wysycania toluenu, w jednej porcji dodano do układu 1,5 g 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzenu, po czym zamknięto autoklaw i uruchomiono mieszadło (magnetyczne). Pozwolono mieszaninie ogrzać się w sposób naturalny do temperatury otoczenia (20°C); uzyskane naciśnienie amoniaku wynosiło 8 bar. W tych warunkach mieszano układ przez 24 h. Następnie zredukowano ciśnienie do atmosferycznego i otwarto autoklaw. Zawieszinę żółtych kryształów w toluenie odsączono, przemyto zimnym tolueniem i zimnym metanolem. Suszono na powietrzu w temp. 100°C przez 24 h. Otrzymano 1,1 g drobnokryształicznego żółtego osadu ($\alpha = 91\%$).

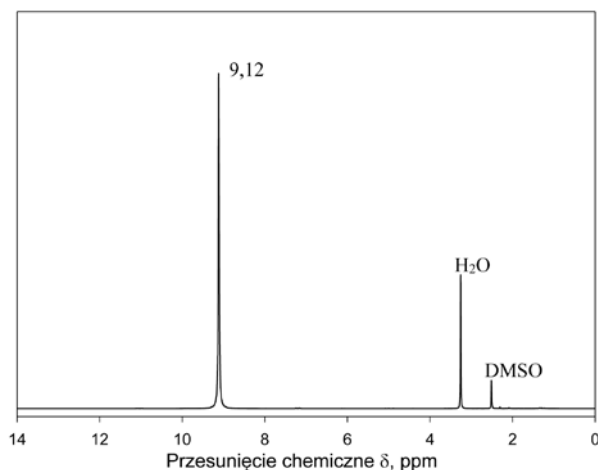
Ze względu na niską rozpuszczalność DATB w większości rozpuszczalników organicznych [10], widma NMR o zadowalającej jakości można otrzymać tylko w polarnych aprotycznych rozpuszczalnikach, takich jak DMSO, DMF czy NMP. Prezentowane widma DATB rejestrowano w DMSO- d_6 . Na widmie 1H NMR (Rys. 4) obserwuje się singlet 9,12 ppm pochodzący od protonu związanego z pierścieniem aromatycznym. Protony grup aminowych mają bardzo zbliżone przesunięcie chemiczne do protonów C-H w DATB, co powoduje, że sygnały się pokrywają. Widmo zarejestrowane na spektrometrze 500 MHz pozwala dostrzec niewielką asymetrię piku i wykonać dekonwolucję. Sygnał protonów grup aminowych można zarejestrować techniką 1H - ^{15}N HSQC; ma on przesunięcie chemiczne ok. 9,1 ppm.

Ze względu na symetrię cząsteczki DATB na widmie ^{13}C NMR (Rys. 5) obserwuje się cztery sygnały węglowe o przesunięciach chemicznych wynoszących 121,4 ppm, 122,9 ppm, 132,1 ppm i 146,4 ppm. Pierwszy sygnał można przypisać węglowi związanemu z grupą nitrową w położeniu 2, kolejny sygnał pochodzi od atomów węgla w położeniu 4 i 6, sygnał 132,1 ppm można przypisać atomowi węgla pierścienia związanemu z protonem (intensywność wzmocniona przez efekt Overhausera (NOE)), ostatni pik odpowiada jądrom węgla w położeniach 1 i 3 pierścienia.

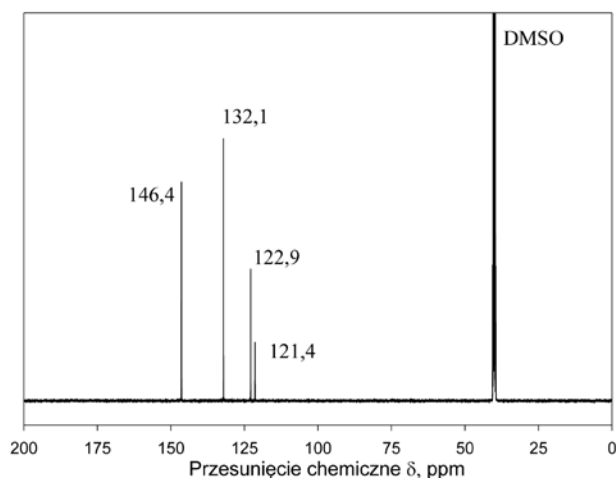
Grupy nitrowe DATB dają dwa sygnały w widmie ^{15}N NMR (Rys. 6) o przesunięciach chemicznych wynoszących 366,9 ppm (pozycja 4 i 6) i 368,3 ppm (pozycja 2). Grupy aminowe reprezentuje sygnał 95,0 ppm.

Na krzywej DTA otrzymanego DATB (Rys. 7) obserwowano dwa sygnały endotermiczne znacznie różniące się intensywnością i powierzchnią: 229°C (szeroki i małej intensywności) i 284°C (ostry). Pierwszemu sygnałowi nie towarzyszył ubytek masy, więc można go zinterpretować jako przemianę polimorficzną [4]. Drugi sygnał, endotermiczny, odpowiada topnieniu próbki i towarzyszy mu niewielki ubytek masy, co oznacza, że topnienie zachodzi z częściowym rozkładem

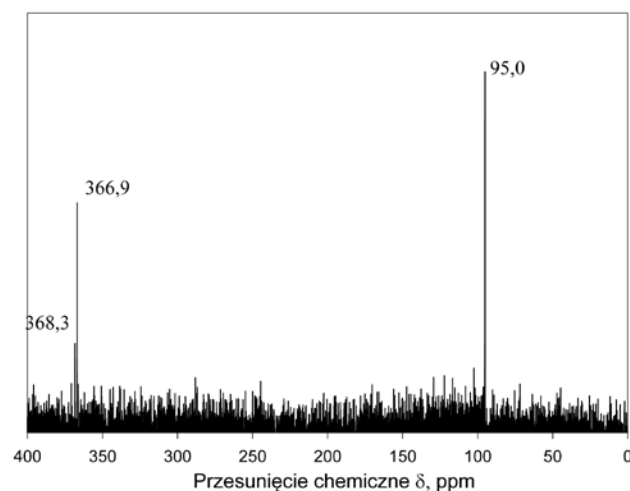
próbki. Maksymalna szybkość ubytku masy zachodzi w temp. 325°C, lecz maksimum egzotermicznego rozkładu obserwuje się w 336°C. Różnicę tę można wyjaśnić wewnątrzcząsteczkową kondensacją grup aminowych i nitrowych, która jest procesem chemicznym poprzedzającym rozkład związków aromatycznych, mających te grupy w położeniu orto. Procesowi kondensacji towarzyszy wydzielanie się wody, co jest obserwowane na krzywej TG jako powolny ubytek masy [11]. Szerokie piki egzotermiczne o niewielkiej intensywności, występujące po pikie rozkładu, można powiązać z utlenieniem stałych produktów rozkładu. Analiza krzywych DTA-TG otrzymanego związku pozwala zaklasyfikować go jako wysokoenergetyczny, co potwierdzają dane literaturowe [1].



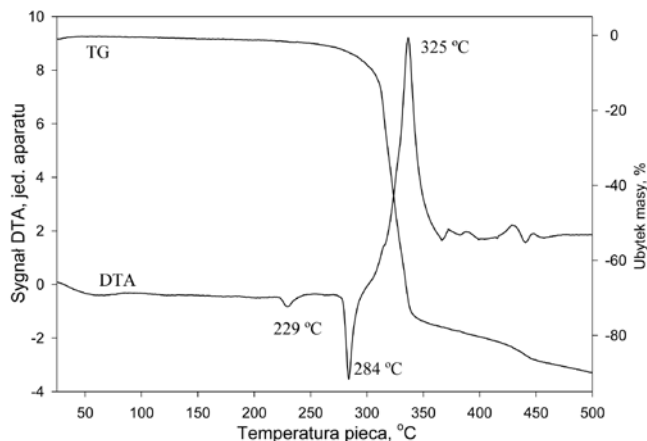
Rys. 4. Widmo ¹H NMR 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu



Rys. 5. Widmo ¹³C NMR 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu



Rys. 6. Widmo ¹⁵N NMR 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu



Rys. 7. Krzywe DTA i TG uzyskane dla 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzenu

Materiał wybuchowy o obniżonej wrażliwości, jakim jest 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzen, można w stosunkowo prosty sposób otrzymać z dostępnej w obrocie trinitrorezorcyny. Oznacza to, że materiał wybuchowy o pożądanych właściwościach można otrzymać wykorzystując inny materiał wybuchowy o znacznie wyższej wrażliwości.

Wnioski

Na podstawie analizy uzyskanych danych eksperymentalnych, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W wyniku reakcji pomiędzy trinitrorezorcyną a ortomrówczanem trietylu, można otrzymać 1,3-dietoksy-2,4,6-trinitrobenzen będący użytecznym prekursorem do syntezy DATB. Otrzymany prekursor można zaklasyfikować jako materiał wybuchowy i, ze względu na relatywnie niską temperaturę topnienia, może on znaleźć zastosowanie np. jako składnik topliwych kompozycji wybuchowych.
2. Podstawianie grup etoksyłowych w DETNB za pomocą amoniaku w toluenie przebiega z wysoką wydajnością. Zastosowany przedłużony czas aminowania prawdopodobnie można skrócić, szczególnie ze względu na użycie nadciśnienia amoniaku w autoklawie.
3. Rozkład DATB zachodzi tuż po jego stopieniu, więc, podobnie jak w przypadku heksogenu, niemożliwe jest jego elaborowanie w fazie ciekłej. Nieznany jest efekt objętościowy towarzyszący przemianie polimorficznej w temp. 229°C. Konieczne jest wykonanie badań ilościowych tego zjawiska, aby możliwe było oszacowanie maksymalnej temperatury bezpiecznego stosowania form użytkowych zawierających DATB.

Podziękowania

Praca finansowana ze środków MNiSW w ramach projektu WTC WAT PBS 23–851 w latach 2014–2015. Autorzy pragną podziękować prof. W. Trzcińskiemu za cenne wskazówki i owocne dyskusje.

Literatura

4. Meyer R., Kohler J., Homburg A.: *Explosives*. Wiley-VCH, Weinheim, 2007.
5. Noelting E., Collin A.: *Chemische Berichte* 1884, 17, 265.
6. Dauben W., Cargill R.: *Preparation of 1,3-difluoro-2,4,6-trinitrobenzene*. *Journal of Organic Chemistry* 1962, 27, 1911.
7. Bellamy A., Ward S., Golding P.: *A new synthetic route to 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene (TATB)*. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* 2002, 27, 49.
8. Coleburn N., Drimmer B., Liddiard T.: *The detonation properties of DATB*. DoD Report nr AD-363–365, 1960.
9. Meisenheimer J., Patzig E.: *Chemische Berichte* 1906, 36, 2540.

10. Bell F., Cohen R.: *Some derivatives of m-phenylenediamine*. Journal of Chemical Society 1934, 243.
11. Warman M., Siele V.: *Improved procedure for the preparation of 1,3-diamino-2,4,6-trinitrobenzene*. Journal of Organic Chemistry 1961, 2997.
12. Cetner W.P.: *Preparatyka materiałów wybuchowych i produktów pośrednich*. Wyd. WAT, Warszawa 1986.
13. Sitzmann M., Foti S.: *Solubilities of explosives – dimethylformamide as general solvent for explosives*. Journal of Chemical and Engineering Data 1975, 20, 1, 53.
14. Pati P., Das S., Zade S.: *Benzooxadiazole-based D-A-D co-oligomers: synthesis and electropolymerization*. Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry, 2012, 19, 50, 3996.

*Dr inż. Mateusz SZALA jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej (2004). Doktorat uzyskał w 2008 r. na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Obecnie pracuje w Zakładzie Materiałów Wybuchowych WAT. Zainteresowania naukowe: synteza heterocyklicznych związków wysokoazotowych i polimerów energetycznych, analiza techniką magnetycznego rezonansu jądrowego. Jest współautorem 2 monografii i 49 artykułów w czasopismach specjalistycznych oraz 39 komunikatów konferencyjnych.

e-mail: mszala@wat.edu.pl, tel. 22 261 83 93 82

Dr inż. Leszek SZYMAŃCZYK jest absolwentem Wydziału Chemii i Fizyki Technicznej WAT (1993). Doktorat uzyskał w 2004 r. na Wydziale Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Obecnie pracuje w Zakładzie Materiałów Wybuchowych WAT. Zainteresowania naukowe: wytwarzanie i zastosowanie mieszanin pirotechnicznych, synteza i badanie właściwości związków wysokoazotowych. Jest autorem lub współautorem 25 artykułów w czasopismach specjalistycznych oraz 20 komunikatów konferencyjnych.

Aktualności z firm

News from the Companies

Dokończenie ze strony 50

Pierwsza ropa z bałtyckiego złoża B8 już w rafinerii

Do rafinerii Grupy LOTOS w Gdańsku przetransportowano pierwszy ładunek ponad 100 tys. baryłek ropy naftowej z bałtyckiego złoża B8. Łączne wydobywalne zasoby złoża B8 zdefiniowano na poziomie ok. 27 mln baryłek ropy oraz 484 mln m³ gazu.

Zgodnie ze strategią Grupy Kapitałowej LOTOS, Polska jest kluczowym obszarem rozwoju działalności segmentu wydobywczego. LOTOS Petrobaltic realizuje obecnie wydobywanie na Morzu Bałtyckim ze złoża B3 oraz B8 i prowadzi projekt zagospodarowania złóż B4/B6. Ponadto prowadzi prace poszukiwawczo-rozpoznawcze w tym rejonie. (kk)

więcej na www.miesiecznikchemik.pl

(Komunikat prasowy Grupy LOTOS, 7.01.2016)

NOWE PRODUKTY

Milar z nową ofertą żywic epoksydowych

Od 1 stycznia br. firma Milar jest wyłącznym dystrybutorem żywic epoksydowych spółki Spolchemie na rynku polskim. Czeski producent wyrobów chemicznych zdecydował się powierzyć polskiej spółce sprzedaż na terenie kraju, m.in. ze względu na posiadane doświadczenie w segmencie żywic i systemów epoksydowych.

Działająca od 160 lat spółka Spolchemie z siedzibą w Ústí nad Labem, jest obecnie producentem wysokiej jakości produktów chemicznych: tradycyjnych i specjalistycznych żywic epoksydowych, żywic alkidowych, poliesterów oraz wodorotlenku potasu i nieorganicznych pochodnych. Żyvice epoksydowe firmy Spolchemie dobrze wpisują się w dotychczasową ofertę materiałów do produkcji kompozytów firmy Milar. Polski dystrybutor oferuje ponadto m.in. żywice poliestrowe i winyloestrowe, różnego rodzaju żelkoty, zbrojenia, prepregi, materiały przekładkowe, rozdzielacze, rowingi i materiały pomocnicze. Od 2008 roku firma Milar wchodzi w skład grupy Biesterfeld. (kk)

(<http://www.plastech.pl/>, 13.01.2016)

BADANIA I ROZWÓJ

BASF i Sumitomo Chemical badają procesy oceny bezpieczeństwa chemicznego

Koncerny BASF i Sumitomo Chemical podjęły decyzję o prowadzeniu wspólnych badań w celu odkrycia bardziej zrównoważonego systemu *in vitro* na potrzeby procesu oceny bezpieczeństwa chemicznego. Decyzja ta jest pokłosiem obserwowanego w ostatnich latach zwiększenia liczby restrykcyjnych przepisów odnoszących się do rejestracji produktów chemicznych wykorzystywanych w rolnictwie oraz produktów farmaceutycznych, a także widocznego zapotrzebowania na zwiększenie czynnika ludzkiego w badaniach dotyczących bezpieczeństwa. Celem działań spółek będzie stworzenie systemu wspierającego tworzenie bezpiecznych produktów chemicznych przy jednoczesnym obniżeniu zapotrzebowania na konwencjonalne badania na zwierzętach. Pierwszym etapem Sumitomo Chemical i BASF w prowadzonych badaniach jest opracowanie nowej linii w pełni funkcjonalnych wyhodowanych komórek, umożliwiających przeprowadzenie oceny bezpieczeństwa produktów chemicznych w sposób bardziej efektywny i dokładny od metod konwencjonalnych. (kk)

(<http://www.plastech.pl/>, 28.12.2015)

NOWE INWESTYCJE

Grupa PGE uruchomiła swoją największą elektrownię wiatrową

PGE Polska Grupa Energetyczna oddała do użytku farmę wiatrową Lotnisko o mocy 90 MW. To kolejna i zarazem największa inwestycja Grupy PGE w segmencie energetyki odnawialnej, a jednocześnie największa farma wiatrowa uruchomiona w tym roku w Polsce. Inwestycja o wartości blisko 520 mln PLN zlokalizowana jest w województwie pomorskim, w miejscowości Kopaniewo, na terenie dawnego lotniska wojskowego. Po jej uruchomieniu łączna moc zainstalowana w lądowej energetyce wiatrowej Grupy PGE wzrosła do 441 MW, a po sfinalizowaniu kolejnych projektów, na koniec 2015 r., wyniesie 529 MW. Już teraz energii wyprodukowanej przez wiatraki Grupy PGE wystarczy do zasilania ok. 400 tys. gospodarstw domowych. (kk)

(<http://www.gkpg.pl/>, 1.12.2015)

Dokończenie na stronie 58