

# Metodyka modelowania procesu formowania strumienia kumulacyjnego wydłużonych ładunków materiałów wybuchowych

Andrzej WOJEWÓDKA, Tomasz WITKOWSKI – Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska; Gliwice

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2011, 65, 1, 28-35

## Wstęp

Wykonanie symetrycznego wgłębienia w ładunku materiału wybuchowego, np. w kształcie stożka (tzw. wnęka kumulacyjna) powoduje, że w wyniku procesu detonacji występuje koncentracja energii produktów detonacji na tej powierzchni. Efekt kierunkowego działania ładunku wnękowego można znacznie zwiększyć poprzez wyłożenie wnęki kumulacyjnej warstwą ciała stałego w kształcie wgłębienia [1]. Warstwę tę nazywa się wkładką kumulacyjną, a ładunek wnękowy z wkładką – ładunkiem kumulacyjnym. Składa się on z MW kruszącego, wkładki oraz obudowy:

- MW kruszący posiada wysokie właściwości detonacyjne, takie jak prędkość detonacji, czy ilość produktów gazowych [2]. Innym elementem wyboru materiału wybuchowego jest np. jego odporność na temperaturę, która decyduje o zakresie zastosowania ładunków kumulacyjnych.
- Wkładka we wnęcie kumulacyjnej, wykonana jest z materiału stałego np. z ceramiki, metalu, szkła. Najczęściej stosowanym materiałem wkładki jest miedź. Dawniej wkładki były otrzymywane w wyniku procesu tłoczenia z blachy, natomiast obecnie wykonywane są z proszków: jednego metalu (cyna, miedź, ołów, wolfram), jak również z odpowiednio przygotowanych mieszanin (aluminium, bizmut, cynk, kobalt, molibden, nikiel, tantal), które umożliwiają uzyskanie wkładki o odpowiedniej gęstości. Wpływa to na zwiększenie zdolności perforacyjnych ładunku kumulacyjnego.
- Obudowa, wykonana z odpowiednio dobranych materiałów (najczęściej stosowane materiały to cynk, aluminium, stop cynk-aluminium, stal) o tak dobranym kształcie, aby energia detonacji MW w jak największej części skierowana była na tworzenie strumienia.

Tablica I

Właściwości najczęściej stosowanych MW kruszących w ładunkach kumulacyjnych [2]

MW \ Właściwość	RDX $C_3H_6N_6O_6$	HMX $C_4H_8N_8O_8$	PETN $C_5H_8N_4O_{12}$	TNT $C_7H_5N_3O_6$
Masa molowa, g/mol	222,1	296,2	316,1	227,1
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,76	1,9	1,70	1,60
Entalpia tworzenia, kJ/kg	+301,4	+253,3	-1704,7	-295,3
Ciepło detonacji, kJ/kg	6322	6197	6322	4564
Bilans tlenowy, %	-21,6	-21,6	-10,1	-73,9
Prędkość detonacji, m/s	8750	9100	8400	6900
Objętość PD, dm <sup>3</sup> /kg	903	902	780	825

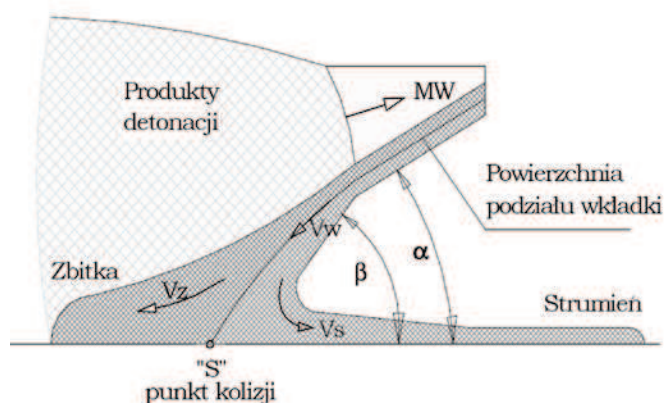
Dzięki prowadzonym rozważaniom teoretycznym oraz badaniom doświadczalnym ustalono strukturę strumienia kumulacyjnego, mechanizm jego powstawania [1, 3÷6], wnikania w przeszkodę zarówno jednolitą [7] jak i kilkuwarstwową [8]. Ciśnienie produktów detonacji stopniowo deformuje oraz napęcza wkładkę. W wyniku jego wzrostu

następuje rozplyw zgromadzonego przy osi materiału na dwie części, których masy i prędkości zależą od parametrów ładunku kumulacyjnego. Pierwsza z nich nosi nazwę strumienia kumulacyjnego, natomiast druga nazywana jest zbitką.

Strumień kumulacyjny – jest wydłużoną, silnie nagrzaną strugą materiału wkładki, tworzy się z jej wewnętrznej części. Czoło strumienia osiąga prędkość 7-10 km/s. Rozkład prędkości wzdłuż strumienia można uważać w przybliżeniu za liniowy; masowo stanowi 10-20% wkładki.

Zbitka – zawiera większą część masy wkładki, powstaje z zewnętrznej części wkładki, porusza się stosunkowo wolno (jej prędkość nie przekracza zwykle 1 km/s).

W wyniku występowania efektów ścinania, strumień i wkładka obracają się w przeciwnych kierunkach.



Rys. 1. Proces formowanie się klasycznego strumienia kumulacyjnego dla wkładki stożkowej o kącie 2α

Problem generowania strumienia z ładunku kumulacyjnego również można modelować za pomocą odpowiednich kodów komputerowych. Zjawisko kumulacji należy do szybkozmiennych oddziaływań dynamicznych. Zachowanie się materiałów podczas symulacji opisują odpowiednie modele, a podstawowym dla metali w warunkach silnych obciążeń dynamicznych jest model ciała sprężysto/lepkoplastycznego. Model matematyczno-fizyczny zjawiska oparty jest na równaniach ośrodków ciągłych (prawa zachowania, model konstytutywny Johnsona-Cooka lub Steinberga-Guinana; równaniach stanu dla ciał stałych oraz modelu hydrodynamicznym dla produktów detonacji materiału wybuchowego).

## Model wydłużonego ładunku kumulacyjnego

Celem badań było opracowanie i eksperymentalna weryfikacja modelu wydłużonego ładunku kumulacyjnego, który mógłby służyć do wyznaczania optymalnej odległości ładunku kumulacyjnego od przeszkody. Model ten dotyczy jednego układu geometrycznego ładunku kumulacyjnego, ale nie ogranicza możliwości do zastosowania materiałów, zarówno wybuchowego, wkładki, jak i środowiska (którym zwykle jest powietrze). Model ten może również posłużyć do optymalizacji ładunku kumulacyjnego, w zależności od zastosowania. W pracy tej wykonano model geometryczny ładunku kumulacyjnego liniowego,

który posiada osłonę z miedzi, MW kruszącym zastosowanym przy otrzymywaniu ładunku kumulacyjnego był heksogen flegmatyzowany teflonem. ŁKL charakteryzował się następującymi wymiarami:

- długość – 250 mm
- średnica zewnętrzna – 26 mm
- grubość wkładki – 2,5 mm
- wysokość wnęki kumulacyjnej – 6 mm.

Przeszkodą była blacha stalowa o grubości 20 mm.

Następnie przeprowadzono dyskretyzację modelu odpowiednią siatką elementów skończonych, dobrano równania opisujące zastosowane materiały i zoptymalizowano dystans ładunku kumulacyjnego od przeszkody. Przeprowadzono weryfikację modelu liniowego ładunku kumulacyjnego w warunkach poligonowych. Zbudowany model może być użyty do projektowania kolejnych ładunków liniowych.

### Dystans ładunku kumulacyjnego

Dystans ładunku kumulacyjnego od przeszkody jest bardzo ważnym parametrem, ponieważ poprzez jego odpowiedni dobór można maksymalizować energię przekazaną przeszkodzie przez strumień kumulacyjny, a zarazem zmniejszyć straty energii do otoczenia, a co za tym idzie zwiększyć pracę możliwą do wykonania. W praktyce odległość wkładki od przeszkody jest równa kalibrowi ładunku. Nie zawsze odległość ta zapewnia maksymalne wykonanie pracy. Należy zauważyć, że na ten parametr ma wpływ zarówno geometria wkładki, materiał z jakiego została wykonana, jak i stosowany materiał wybuchowy. Nie bez znaczenia pozostaje również środowisko, w jakim dany ładunek kumulacyjny ma być stosowany. Tak więc powszechne przekonanie, iż odległość ładunku kumulacyjnego od przeszkody powinna być równa kalibrowi ładunku, jest dużym przybliżeniem i nie prowadzi do maksymalizacji energii przekazanej przez strumień przeszkodzie. Dobierając różne materiały należy brać pod uwagę warunki, w jakich będą pracowały. Może się zdarzyć tak, że w warunkach detonacji, materiał wkładki (w skrajnym przypadku) odparuje albo ulegnie spękaniu. Wraz ze zwiększaniem kąta rozwarcia wkładki, optymalna odległość jest mniejsza. Większa część wkładki przechodzi do strumienia, a w granicznym przypadku, gdy kąt rozwarcia wkładki jest większy od 140°, cała jej masa tworzy strumień zwany ładunkiem formowanym wybuchowo (EFP). W wyniku tego strumień kumulacyjny szybciej traci energię, a więc także możliwą do wykonania pracę. Dobierając materiał i kształt wkładki trzeba mieć na uwadze fakt, że jest ona swego rodzaju przekazywaniem energii, a więc jej konstrukcja powinna zapewniać przekazywanie jak największej części energii wybuchu wkładce, przy jednoczesnej minimalizacji strat energii do otoczenia.

### Opis zachowań

Do opisu zachowań materiałów użyto następujących równań:

- *High explosive burn* – model ten opisuje MW (do powstania produktów detonacji), natomiast równanie stanu PD, opisuje procesy zachodzące po detonacji MW. Fragment fazy reakcji wraz z równaniem stanu opisującym PD przedstawia ilość energii wydzielanej w trakcie detonacji MW. W początkowej fazie, czas reakcji jest obliczany dla każdego elementu przez podzielenie odległości punktu inicjacji do centrum elementu przez prędkość detonacji. Jeśli zdefiniowanych jest kilka punktów detonacji, to wybierany jest punkt o najmniejszej odległości od danego elementu. Jeśli wartość strefy przemian, w wyniku obliczeń, przewyższa 1 (dokładność szacowania), to jest ona zredukowana do wartości równej 1. Zazwyczaj potrzeba kilku kroków, aby wartość ułamka strefy przemian była równa 1. Materiał wybuchowy niezainicjowany może być modelowany jako materiał elastyczny doskonale plastyczny [9].
- Johnson-Cook – jest to równanie empiryczne stosowane do opisu metali następującej postaci:

$$\sigma_y = (A + B \cdot \varepsilon^{-n}) \cdot (1 + C \cdot \ln \varepsilon^*) \cdot (1 - T^{*m}) \quad (1)$$

gdzie:

$$T^* = \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \quad (2)$$

gdzie:

A, B, C, n, m - parametry materiałowe w równaniu Johnsona-Cooka  
 T – temperatura

T<sub>m</sub> – temperatura topnienia

T<sub>r</sub> – temperatura otoczenia

ε – energia wewnętrzna

ε\* – prędkość odkształcania

ε̄ – odkształcenia plastyczne

σ<sub>y</sub> – naprężenia plastyczne.

- *Null* – równanie to jest przydatne do modelowania w warunkach, kiedy elementy nim opisane łączą się bezpośrednio za strefą określoną modelem MW. Model tego materiału nie jest stosowany po to, aby usunąć elementy z obszaru obliczeń, można go natomiast użyć dla materiałów, których wytrzymałość może zostać pominięta. Modelem tego użyto do opisanego środowiska otaczającego ładunek kumulacyjny oraz przeszkodę. Jest to równanie stanu, w którym stosuje się dużą ilość stałych, w celu poprawienia zgodności między wartościami rzeczywistymi, a otrzymanymi podczas modelowania. Wielomian ten ma następującą postać:

$$p = C_0 + C_1 \cdot \mu + C_2 \cdot \mu^2 + C_3 \cdot \mu^3 + (C_4 + C_5 \cdot \mu + C_6 \cdot \mu^2) \cdot \varepsilon \quad (3)$$

gdzie:

$$\mu = \frac{l}{V_{rel}} - 1 \quad (4)$$

gdzie:

ε – energia wewnętrzna,

C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> – stałe równania linear polynomial;

- równanie stanu JWL (Jones-Wilkins-Lee); Autorzy aproksymowali wychodzącą z punktu C-J izentropę następującą zależnością

$$p = A \cdot \exp^{-R_1 \cdot V} + B \cdot \exp^{-R_2 \cdot V} \cdot C \cdot V^{-(1+\omega)} \quad (5)$$

gdzie:

$$\bar{V} = \frac{e}{e_0} \quad (6)$$

ρ – gęstość właściwa,

A, B, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ω, wyznacza się w sposób empiryczny. Jedną z podstawowych metod ich wyznaczania jest tzw. test cylindryczny. W metodzie tej napędzana jest otoczka cylindrycznego ładunku MW. Przebieg procesu jest obserwowany i zapisywany za pomocą szybkozmiennych metod rejestracji szybkozmiennych procesów. Zarejestrowane wyniki porównuje się z rezultatami symulacji komputerowych, co stanowi podstawę do otrzymania wyżej wymienionych współczynników. Współczynniki równania dobierane są tak, aby badania eksperymentalne pokrywały się z wynikami symulacji [9].

Zakłada się, iż współczynnik Grüneisena Γ(ρ) w całym zakresie zmian ciśnienia jest stały i równy ω. Równanie powyższe zazwyczaj przedstawia się w postaci:

$$p = A \cdot \left( \frac{\omega}{R_1 \cdot V} \right) \cdot e^{-R_1 \cdot V} + B \cdot \left( A - \frac{\omega}{R_2 \cdot V} \right) \cdot e^{-R_2 \cdot V} + \frac{\omega \cdot \varepsilon}{V} \quad (7)$$

Równania (5), (7) dają dobrą zgodność z wynikami eksperymentalnymi dla wartości  $\frac{e_0}{e} \leq 7$ . W przypadku badań procesu dalszej dekompresji PD w zakresie  $\frac{e_0}{e} > 7$  powinno się zastosować dodatkową poprawkę do równania JWL albo stosować inne równania stanu.

Dodatkowo w celu zainicjowania procesu detonacji MW w modelu umieszczono punkt inicjacji – detonacja.



## Wyniki badań

W niniejszej pracy do opisu kumulacji wykorzystano następujące równania [9]:

- do opisu MW i PD: równanie stanu Jonesa-Wilkinsa-Lee, równanie *high explosive burn*
- do opisu metali: równanie stanu *linear polynomial*, równanie Johnsona-Cooka
- do opisu powietrza: równanie stanu *linear polynomial*, równanie *Null*.

Równania te dostępne są w literaturze [5, 9] oraz bibliotece programu *LS-Dyna*.

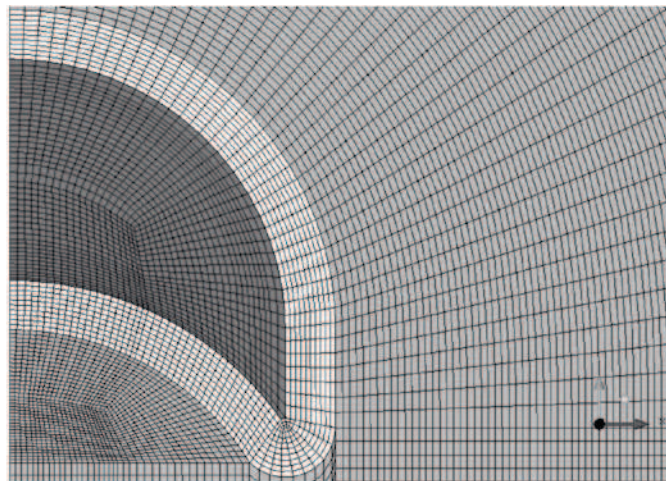
Dodatkowo w celu zainicjowania procesu detonacji MW w modelu umieszczono punkt inicjacji – detonacja.

Najważniejszym, a także najbardziej pracochłonnym, etapem symulacji danego zjawiska jest wykonanie siatki elementów skończonych. Dyskretyzacja geometrii polega na podzieleniu jej na skończoną liczbę elementów o skończonych wymiarach. Oddziaływania między elementami są wyznaczone w węzłach elementów, natomiast do opisu związku pomiędzy wielkościami węzłowymi danego elementu służy funkcja kształtu, jej zadaniem jest odzwierciedlenie właściwości fizycznych danego elementu. Dobór liczby węzłów oraz funkcji kształtu jest taki, aby w dokładny sposób odzwierciedlić badane zjawisko. Budowa siatki jest swego rodzaju kompromisem, pomiędzy oczekiwaną dokładnością a kosztem analizy. Wielkość elementów tworzących siatkę należy dobrać tak, aby zbudowana siatka elementów skończonych była możliwie rzadka, a zarazem dająca właściwe wyniki. Model użyty do symulacji powinien odpowiadać rzeczywistości na tyle, na ile jest to niezbędne; jeśli jest to możliwe należy stosować następujące uproszczenia:

- geometryczne – w miejscach, gdzie nie jest wymagana duża dokładność obliczeń
- zastosowanie płaszczyzny symetrii – musi to być jednocześnie symetria geometrii, właściwości użytych materiałów jak również obciążenia.

Dodatkowe zwiększenie dokładności obliczeń można uzyskać poprzez zastosowanie tzw. submodelingu. Dokładność dyskretyzacji modelu ma bezpośredni wpływ zarówno na precyzję obliczeń, jak również na ich szybkość.

Należy zwrócić też uwagę, że w siatce mogą występować defekty, które wpływają na wynik analizy, a czasami mogą ją uniemożliwić. Odpowiednio dobrana geometria ośrodka pozwoliła na zbudowanie regularnej siatki heksagonalnej. Dodatkowo znajomość symulowanego zjawiska pozwoliła na zagęszczenie siatki w obszarze potrzebnego zainteresowania oraz na rzadszą jej strukturę w pozostałych rejonach. Dzięki temu zabiegowi zwiększono dokładność obliczeń przy jednoczesnym niewielkim zwiększeniu parametrów komputera. Siatka ta została następnie poddana obróbce w celu wyeliminowa-



Rys. 2. Zdjęcie siatki zbudowanej dla układu badań ładunku kumulacyjnego

nia niedostatków, mogących prowadzić do błędów obliczeniowych. Siatka do dwuwymiarowych symulacji w programie *LS-Dyna* musi mieć grubość minimum 1 elementu, aby obliczenia mogły zostać wykonane, dlatego też dyskretyzacja 2D jest *de facto* 3D. Nie mniej jednak, zadane warunki brzegowe powodują, iż symulacja może być traktowana jako dwuwymiarowa. Siatki zbudowane do symulacji zjawiska kumulacji zawierają wyłącznie regularne heksagonalne elementy bryłowe, których kształt wpływa na zwiększenie dokładności wyników.

Używając symulacji zjawiska kumulacji można wyznaczyć (dla każdego ŁKL) optymalną odległość od przeszkody. Podczas symulacji procesu kumulacji odległość ta jest optymalizowana nie tylko ze względu na kąt rozwarcia wkładki, ale również ze względu na zastosowane materiały, geometrię, warunki otoczenia. Na rysunku 3 zaprezentowano proces tworzenia strumienia kumulacyjnego dla badanych ŁKL.



Rys. 3. Proces formowania się strumienia kumulacyjnego z ŁKL prasowanego – krok czasowy  $3,00 \cdot 10^{-3}$ , ms

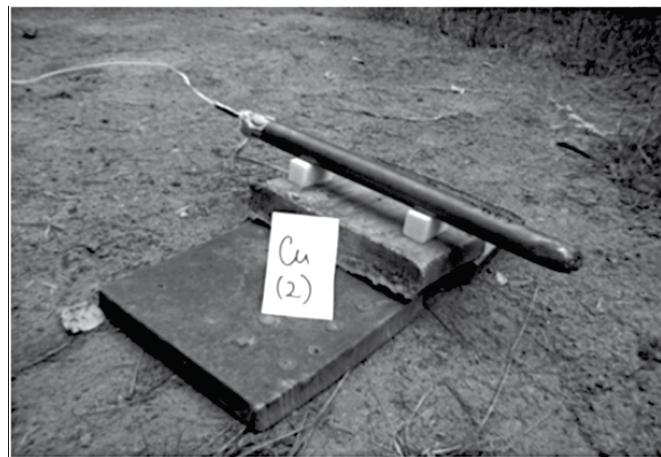
Tablica 2

Parametry procesu formowania się strumienia kumulacyjnego z ŁKL-P, materiał osłony: miedź

krok		1	2	3	4	5	6
$t \cdot 10^{-3}$ , ms		0,00	3,60	7,20	10,80	14,40	18,00
h, mm	ŁKL-P	26,00	24,48	20,07	14,92	9,26	4,12

## Prace poligonowe

Z tablicy 2 wynika, że strumień uzyskuje odpowiedni kształt po czasie  $18 \cdot 10^{-3}$  ms. Prace poligonowe polegały na przygotowaniu stanowiska badawczego, w skład którego wchodził badany ładunek kumulacyjny umieszczony na dystansach oraz przeszkody znajdującej się w ustalonej odległości od podłoża. Wysokość dystansów została tak dobrana, aby szczyt wkładki kumulacyjnej był odległy od przeszkody o długość równą jednemu kalibrowi ładunku (rys. 4). W przypadku niniejszych badań odległość ta wynosi 26 mm. Natomiast przeszkoda, jaką są płyty wykonane ze stali, umieszczona została w pewnej odległości od podłoża, w celu uniknięcia wpływu fali odbitej na końcowy efekt cięcia. MW inicjowany był z przyłożenia zapalnika typu ERG.



Rys. 4. Stanowisko badawcze



Rys. 5. Wygląd stanowiska po detonacji MW



Rys. 6. Efekt działania strumienia kumulacyjnego

#### Podsumowanie

Opracowując model zjawiska kumulacji wydłużonego ładunku, posłużono się programem LS-Dyna oraz równaniami dostępnymi w specjalistycznej literaturze. Proces modelowania jest zwykle szybszy i tańszy od badań wykonywanych eksperymentalnie w warunkach poligonowych, a przede wszystkim bezpieczniejszy. Jak wynika z przedstawionych badań, możliwe jest opracowanie geometrycznych modeli odwzorujących działanie ŁKL, które pozwalają na wyznaczenie optymalnej odległości ŁKL od przeszkody. Modelowanie umożliwia wizualizację strumienia w każdym etapie jego istnienia, a także wyznaczenie jego parametrów (ciśnienia, energii, gęstości, naprężeń, prędkości). Pozwala to na poznanie jego natury i budowę dobrych układów rzeczywistych. Badania poligonowe potwierdziły symulacje otrzymane w wyniku rozwiązania modeli. Modele mogą służyć do optymalizacji ŁKL w zależności od celu przeznaczenia.

#### Literatura

1. Walters W.P., Zukas J.A.: *Fundamentals of shaped charges*. New York: A. Wiley-Interscience Publication, 1989.
2. Meyer R., Köhler J., Homburg A.: *Explosives*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2007.
3. Birkhoff G., MacDougall D., Pugh E., Taylor G.: *Explosives with lined cavities*. J. Appl. Phys. 1948, **19**, 6, 563–582.
4. Лаврентьев М.А.: *Кумулятивный заряд и принципы его работы*. УМН 1957, **12**, 4/76, 41–56.
5. Cudziło S., Maranda A., Nowaczewski J., Trębiński R., Trzciniński W.A.: *Wojсковые материалы взрывчатые*. Wydawnictwo Wydziału Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej 2000, 334.
6. Włodarczyk E.: *Analiza parametrów strumienia i zbitki w procesie kumulacji*. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej 1992, **12**(484), 13.
7. Nowak H.: *Wnikanie strumienia kumulacyjnego w jednolitą przeszkodę*. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej 1970, **1**(209), 59.
8. Nowak H.: *Wnikanie strumienia kumulacyjnego w masywną przeszkodę składającą się z kilku warstw różnych materiałów*. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej 1969, **1**(197), 110.

LS-DYNA Keyword Use's Manual Version 970; Livermore Software Technology Corporation; April 2003.

Dr hab. inż. Andrzej WOJEWÓDKA, prof. Pol. Śl. jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej (1974), na którym uzyskał stopień naukowy doktora (1988). Habilitacja w Państwowym Naukowo-Badawczym Instytucie Ochrony Pracy w Kijowie w 2004 r. Medal Edukacji Narodowej 2005 r. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów wybuchowych. Autor 46 artykułów naukowych, 45 referatów i posterów, 13 patentów i zgłoszeń patentowych.

Mgr inż. Tomasz WITKOWSKI jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej (2010). Obecnie jest doktorantem na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów wybuchowych, modelowanie numeryczne. Autor i współautor 1 artykułu naukowego i 1 posteru konferencyjnego.



### Firma BASF wyłącznym partnerem laboratorium chemicznego w Centrum Nauki Kopernik

#### Rozpoczęcie współpracy

Firma BASF Polska, polskie przedstawicielstwo wiodącej firmy chemicznej na świecie BASF – The Chemical Company, nawiązała współpracę z Centrum Nauki Kopernik (CNK) w Warszawie. BASF został wyłącznym partnerem laboratorium chemicznego w Centrum Nauki Kopernik.

Współpraca z CNK rozpoczęła się we wrześniu 2010 i potrwa pięć lat. Szczególnie ważne dla obu partnerów są kwestie merytoryczne.

„BASF zbudował i prowadzi laboratoria dla dzieci i młodzieży w Ludwigshafen w Niemczech, gdzie znajdują się największy zintegrowany kompleks chemiczny na świecie oraz centrala firmy. Rocznie przyjmujemy tam na zajęcia chemiczne kilkadziesiąt tysięcy uczniów ze szkół z całych Niemiec. Ponadto w piętnastu krajach na całym świecie BASF zaangażował się w powstanie podobnych laboratoriów chemicznych. To dla mnie niezwykle zaszczyt i powód do dumy, że mogę uczestniczyć w powołaniu pierwszej tego typu inicjatywy naszej firmy w Europie Środkowej” – podkreślił dr Michael Hepp, prezes zarządu BASF Polska.

BASF w swojej strategii zobowiązuje się do zrównoważonego rozwoju. Przedsiębiorstwo realizuje tę zasadę także poprzez zaangażowanie w sprawy społeczne i wspieranie ważnych, perspektywicznych inicjatyw docierających do wielu ludzi; współpracuje z godnymi zaufania partnerami, wnoszącymi właściwą wiedzę merytoryczną i doświadczenie.

„Współpraca z BASF jest dla nas bardzo ważna nie tylko ze względu na wsparcie finansowe. Liczymy tu także na współpracę merytoryczną, która pozwoli połączyć doświadczenie BASF w tworzeniu laboratoriów w Niemczech oraz naszą wiedzę na temat edukacji nieformalnej i umiejętność pracy z różnymi grupami odbiorców. Skorzystają na tym przede wszystkim przyszli użytkownicy laboratoriów Centrum Nauki Kopernik” – mówi Robert Firmhofer, dyrektor Centrum Nauki Kopernik.

Firma BASF Polska zobowiązała się do finansowego wsparcia laboratorium chemicznego w Centrum Nauki Kopernik. Obie strony będą również dążyć do pogłębiania współpracy w zakresie doświadczeń chemicznych przeznaczonych dla uczniów.

c.d. na stronie 39