

## O NIEKTÓRYCH ASPEKTACH ZDARZEŃ Z MATERIAŁAMI WYBUCHOWYMI

*Streszczenie: W pracy przedstawiono niektóre aspekty zdarzeń związanych z materiałami wybuchowymi, oddziaływaniem procesu detonacji na otoczenie oraz metodami ich detekcji. W zakończeniu zaproponowano zadania badawcze jakie należy wykonać w celu opracowania optymalnego systemu inspekcyjno - śledczego do spraw związanych z materiałami wybuchowymi.*

*Abstract: In this work some aspects of events connected with explosives, detonation acting on surroundings, and methods for detonation of explosives are presented. Investigation tasks are proposed which should be performed to obtain the optimum system of inspection and inquiry for problems related to explosives.*

### WSTĘP

Przy analizie i opracowaniu systemu inspekcyjno - śledczego dla zdarzeń z materiałami wybuchowymi należy prowadzić prace badawcze w dwóch bardzo odmiennych dziedzinach nauki: chemii materiałów wybuchowych i oddziaływania procesów wybuchowych na otoczenie oraz robotyki mobilnej.

Na Wydziale Uzbrojenia i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej, w Zakładzie Systemów Sterowania Uzbrojeniem od szeregu lat prowadzone są prace naukowo - badawcze i aplikacyjne z zakresu systemów sterowania obiektami ruchomymi, a w Zakładzie Materiałów Wybuchowych i Fizyki Wybuchu prace dotyczące górnictwowych materiałów wybuchowych: sypkich [1-4], zawieszonych [5-6] i emulsyjnych [7]. Również przed kilku laty rozpoczęto badania nad zastosowaniem w gospodarce narodowej materiałów wybuchowych pozyskiwanych z wyrobów wojskowych [8, 9]. Jednocześnie realizowane są prace obejmujące problem oddziaływania procesów wybuchowych na różnego typu tworzywa [10-13]. Prowadzone były również badania z dziedziny analizy składu produktów wybuchu [14, 15].

Natomiast w Zespole Inteligentnych Systemów Mobilnych Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP prowadzone są od kilku lat badania [16-25] dotyczące nawigacji robotów, pojazdów autonomicznych, symulacji związanych z robotami mobilnymi, sterowania z użyciem logiki rozmytej i sieci neuronowych, identyfikacji stanu otoczenia robotów mobilnych, konstrukcji robotów interwencyjno - inspekcyjnych.

Można wnioskować, że doświadczenia zdobyte przy realizacji wyżej wymienionych prac dają odpowiednie podstawy do opracowania, we współpracy wyżej wymienionych zespołów badawczych, systemu inspekcyjno - śledczego dla zdarzeń z materiałami wybuchowymi.

W niniejszym referacie przedstawiono niektóre aspekty zagadnień związanych z materiałami wybuchowymi i oddziaływaniem procesu detonacji na otoczenie, oraz metodami ich detekcji. Poruszenie tych problemów może stanowić interesujące uzupełnienie tematyki sesji dotyczącej wyposażenia, oprogramowania i zastosowania robotów mobilnych, szczególnie interwencyjno - inspekcyjnych.

## 1. MATERIAŁY WYBUCHOWE I ODDZIAŁYWANIE PROCESU DETONACJI NA OTOCZENIE

Materiały wybuchowe (MW) można zdefiniować jako substancje ulegające pod wpływem bodźca prostego (uderzenie, nakłucie, tarcie, podgrzewanie, oddziaływanie falą uderzeniową) szybkiej reakcji egzotermicznej, podczas której wydzielają się duże ilości gazowych produktów. Według klasycznej klasyfikacji materiały wybuchowe dzielimy na cztery grupy: inicjujące, kruszące, miotające (prochy, paliwa raketowe) i mieszaniny pirotechniczne. W technice wojskowej i przemyśle, a także do celów terrorystycznych jako ładunki podstawowe stosowane są materiały wybuchowe kruszące. Istnieje wiele sposobów ich podziału. Według jednego z nich materiały wybuchowe kruszące dzielimy na związki chemiczne i mieszaniny. Najpopularniejszymi związkami chemicznymi charakteryzującymi się własnościami wybuchowymi są nitropochodne. Można je podzielić na trzy grupy: C - nitrozwiązki (trotyl, tetryl), N - nitrozwiązki (heksogen, oktogen) i O - nitrozwiązki (pentryt). Ilość stosowanych indywidualnych materiałów wybuchowych jest ograniczona i dlatego najczęściej wykorzystywane są mieszaniny wybuchowe, ponieważ w ich przypadku można w bardzo szerokim zakresie regulować własności detonacyjne, fizykochemiczne i użytkowe.

Generalnie mieszaniny wybuchowe można podzielić na wojskowe i górnicze, chociaż w niektórych przypadkach podział ten nie jest ścisły. Wynika to z faktu, że część mieszanin wybuchowych jest stosowana zarówno w technice wojskowej jak i cywilnej.

Podstawowymi składnikami wojskowych mieszanin wybuchowych są wymienione powyżej związki chemiczne. Oprócz nich w mieszaninach wybuchowych dla celów wojskowych występują różnego typu komponenty, które odgrywają rolę dodatków technologicznych lub modyfikujących parametry detonacyjne i własności reologiczne. Należą do nich:

- poliestry, poliuretany, polistyren, różnego typu kauczuki, tworzywa fluorowe będące lepszymi plastycznymi MW;
- ftalan dioktylu i inne estry stosowane jako plastyfikatory;
- proszki aluminiowe o różnym stopniu rozdrobnienia podwyższające ciepło wybuchu mieszanin;

ceryzyna, stearyna, wosk montanowy używane jako flegmatyzatory a jednocześnie ułatwiające prasowanie ładunków.

Innego typu dodatki mogą zawierać materiały wybuchowe pochodzące z amunicji stosowanej w czasie I i II wojny światowej, które sporadycznie się pojawiają.

Z formalnego punktu widzenia górnicze mieszaniny wybuchowe można zdefiniować jako MW dopuszczone przez odpowiednią instytucję do stosowania w zakładach górniczych. W Polsce instytucją, która określa zakres i warunki stosowania MW, po pozytywnej opinii Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie, jest Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach. W zależności od postaci fizycznej i składu chemicznego górnicze MW dzieli się na następujące podgrupy:

- sypkie (amonity, karbonity, metanity) - mające strukturę sypką drobnokrystaliczną i zawierające od 0 do 10% mas. nitroestrów (nitrogliceryna, nitroglikol);

- granulowane (saletrole, saletrolity i saletroty) - mające strukturę gruboziarnistą;
- plastyczne i półplastyczne (dynamity, barbaryty) - zawierające powyżej 10% mas. żelatynizowanych nitroestrów;
- zawieszinowe (hydroamonity) - mające strukturę żelowaną lub półpłynną i zawierające wodę;
- emulsyjne (emulity) - mające strukturę plastyczną.

Podstawowym składnikiem prawie wszystkich górniczych MW jest azotan amonu. Oprócz niego występuje szereg składników, które można podzielić na następujące grupy:

- utleniacze: azotany metali alkalicznych oraz metali ziem alkalicznych (głównie azotany sodu, potasu i wapnia);
- substancje sensybilizujące: nitrogliceryna, nitroglikol, trotyl i dinitrotoluen;
- paliwa organiczne (olej napędowy, maszynowy, palny, kandelina, gacz barisolowy, mączka drzewna, paździerzowa, pył grafitowy, glikol etylenowy, mocznik, sorbit) i metaliczne (pył aluminiowy płatkowany i pył aluminiowy rozpylany);
- środki hydrofobizujące, zapewniające wodoodporność i zagęszczające MW zawieszinowe (stearynian wapnia, guar-gum, glikocel);
- sole chłodzące (głównie chlorek sodu);
- woda w przypadku MW zawieszinowych i emulsyjnych.

W zależności od typu górniczego materiału wybuchowego rodzaje i zawartości poszczególnych składników są bardzo urozmaicone. W określonym okresie czasu producenci środków strzałowych wytwarzają wiele odmian materiałów wybuchowych. Aktualnie w różnych ilościach produkowanych jest kilkanaście odmian amonitów, sześć karbonitów, sześć metanitów, siedem typów saletroli i saletrolitów, około dziesięciu dynamitów i pięciu barbarytów. Można przyjąć, że sytuacja na rynku górniczych materiałów wybuchowych zmienia się z miesiąca na miesiąc. W zależności, między innymi, od bazy surowcowej i zapotrzebowania zakładów górniczych następuje rezygnacja z produkcji niektórych odmian MW, a pojawiają się nowe mieszaniny wybuchowe. Taka sytuacja w ewidentny sposób rzutuje na procedury inspekcyjno - śledcze.

## 2. METODY I NIEKTÓRE URZĄDZENIA DO DETEKЦИИ

Każde postępowanie inspekcyjno - śledcze powinno obejmować dwa aspekty działalności związanych z materiałami wybuchowymi: detekcję ładunku MW i analizę jego składu. Detekcja powinna być realizowana poprzez usytuowanie na urządzeniu samojezdnym układu wykrywającego nitrozwiązki. Natomiast działania analityczne powinny obejmować określenie składu jakościowego i ilościowego znalezionej ładunku MW jak również badania pozostałości po ewentualnym wybuchu MW.

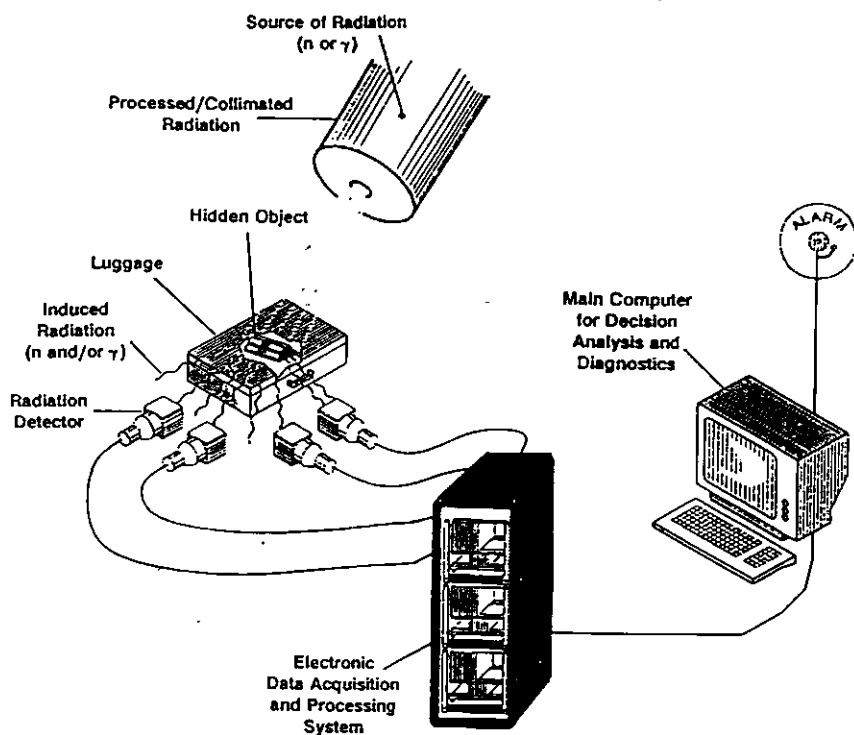
Określenie składu znalezionej ładunku materiału wybuchowego powinno być wykonane standardowymi metodami porównawczymi np. chromatografią cienkowarstwową. Dysponując chromatografami wykonanymi wcześniej dla wszystkich dostępnych typów MW można byłoby bardzo szybko sklasyfikować rodzaj znalezionej MW. Bardziej złożona jest sytuacja w przypadku określenia składu MW na podstawie jego produktów wybuchowego rozkładu. W tej sytuacji mogą być zidentyfikowane:

- stałe produkty wybuchu (np. tlenek glinu);
- nieprzereagowane składniki MW (chlorek sodu, chlorek amonu, mikrosfery szklane, tlenek żelaza (II), siarczan baru);

- ślady nierozłożonych aktywnych składników MW;
- związki powstałe podczas współreagowania produktów rozkładu z podłożem na którym nastąpiła detonacja MW;
- produkty gazowe zaadsorbowane przez porowate środowisko otaczające rejon wybuchu.

Kompleksowa analiza chemiczna wszystkich wyżej wymienionych substancji pozwoli na sprecyzowanie z dużym prawdopodobieństwem składu jakościowego i ilościowego zdetonowanego MW. Przy badaniach należy również uwzględnić potencjalne pozostałości po układzie inicjującym.

Również istotnym elementem postępowania inspekcyjno - śledczego jest określenie masy zdetonowanego ładunku MW. Można ją stosunkowo ściśle określić poprzez przeanalizowanie wpływu wybuchu na otoczenie. Na przykład poprzez sporządzenie dokładnej zależności pomiędzy intensywnością oddziaływań produktów wybuchu i fali uderzeniowej a odległością od epicentrum wybuchowego procesu. Porównanie takiej zależności z funkcjami modelowymi, otrzymanymi eksperymentalnie lub teoretycznie dla tego samego typu MW, pozwoli bardzo dokładnie określić masę ładunku, co może mieć bardzo duże znaczenie przy dalszych działaniach śledczych.



Rys. 1. Schemat układu detekcji materiałów wybuchowych techniką jądrową [26]

Jedną z metod wykrywania materiałów wybuchowych są techniki jądrowe, które zapewniają wysoką efektywność detekcji. Ich zaletami są: wysoka wnikliwość promieniowania, duża szybkość operacji badawczych, nieingerencyjność i możliwość samoczynnego decydowania układu. Ogólny schemat układu wykrywającego MW działającego z wykorzystaniem technik jądrowych przedstawiono na rys. 1.

Tablica 1. Charakterystyki technik jądrowych stosowanych do wykrywania materiałów wybuchowych [26].

#	Technique	Probing Radiation	Main Nucl. Reaction	Detected Radiation	Sources	Primary/Secondary Signatures	Comments
1	TNA	Thermalized neutrons	$(n, \gamma)$	Neutron capture $\gamma$ -rays	$^{235}\text{Cl}$ , also accel. based sources: (D,D), (D,T), (D,Be), (P,Li), (P,Be), etc.	N Cl, H	Limited view detectors improve spatial resolution, requires stronger source
2	PTNA	Time dependent epi and thermal neutrons	$(n(t), \gamma)$	Time dependent capture $\gamma$ -rays and neutrons	ns pulsed (D,D), (D,T), (D,Be), (P,Li), (P,Be), and others	N Cl, H	Low sensitivity
3	FNA	Fast (high energy) neutrons	$(n, n' \gamma)$	$\gamma$ -rays produced from inelastically scattered neutrons	(D,T)	O, C, N H, Cl	Limited view detectors improve spatial resolution, requires stronger source
4	FNA/PTNA	Fast neutrons and time dependent thermal neutrons	$(n, n' \gamma) + (n(t), \gamma)$	Like PTNA and FNA	ns pulsed (D,T) accel. source	O, C, N H, Cl	Low sensitivity
5	PFNA	Nanosecond (ns) pulses of fast ( $E_n > 5$ MeV) neutrons	$(n, n' \gamma)$	Like FNA	ns pulsed (D,D) accel. with $E_d \sim 6$ MeV	O, C, N, Cl, Others Metals, Si, Others	Imaging methods improve S/N for the direct imaging, also provides H-imaging
6	API	14 MeV neut. with assoc. $\alpha$ particles	$(n, n' \gamma)$	$\alpha$ in coincidence with $\gamma$	(D,T)	O, C, N	Long measuring time
7	NRA NES	ns pulses of white spectrum, or variable monoenergetic neutrons, $E_n < 7$ MeV	$(n, n)$ resonances	Scattered or attenuated source neutrons	ns pulsed, (D,Be) white neutron spectrum	O, N, C H	Poor S/N, very difficult to get 3-D imaging
8	GRA	Monoenergetic $\gamma$ -rays, 9.17 MeV	$(\gamma, \gamma)$ resonance	Attenuation of photon beam	High current proton ( $E_p < 2$ MeV), using $^{13}\text{C}$ ( $p, \gamma$ ) reaction	N	Require very high current accelerator, complex mechanics for tomographic irradi.
9	Photo-Nuclear Activation	$> 13$ MeV Bremsstrahlung	$(\gamma, n)$	0.511 MeV from $\beta^+$ annihilation	High power electron linac	N	Requires extremely high dose rate, self absorption of signal (.511 MeV) gamma-rays low efficiency, slow

S/N = Signal to noise

Kluczowymi składnikami są:

- źródło promieniowania;
- urządzenie śledzące promieniowanie badanego obiektu;
- segment wykrywający;
- urządzenie gromadzące i przetwarzające dane potrzebne do podjęcia stosownej decyzji.

Poszczególne elementy cząsteczek badanego obiektu reagują w różny sposób z padającym promieniowaniem. Generalnie, emitują one charakterystyczne promieniowanie wtórne. Wszystkie znane przemysłowe i wojskowe materiały wybuchowe mają rozróżnialne elementarne składy. Są one zazwyczaj bogate w tlen i azot, a ubogie w węgiel i wodór w porównaniu z substancjami niewybuchowymi.

W tablicy 1 zestawiono dziewięć technik jądrowych stosowanych do detekcji materiałów wybuchowych. Techniki te, oprócz dwóch ostatnich, oparte są na analizie wtórnego promieniowania emitowanego przez próbkę naświetloną pierwotną wiązką neutronów. W pięciu pierwszych cechą charakterystyczną jest promieniowanie gamma generowane w wyniku różnych reakcji jądrowych. W szóstej i siódmej technice detekcja polega na analizie rozproszonego wewnątrznie promieniowania neutronowego lub gamma. W ostatniej metodzie zastosowano analizę niskoenergetycznego promieniowania gamma emitowanego przez fotojądrową aktywację azotu.

### 3. ZAKOŃCZENIE

W celu opracowania optymalnego systemu inspekcyjno - śledczego do spraw związanych z materiałami wybuchowymi i zapewnienia jego sprawnego funkcjonowania należy, z punktu widzenia chemii materiałów wybuchowych i oddziaływania procesów wybuchowych na otoczenie, należy zrealizować następujące zadania badawcze:

- Opracowanie charakterystyk dostępnych w kraju środków strzałowych i ich aktualizacja w porozumieniu z Wyższym Urzędem Górniczym w Katowicach;
- Opracowanie kompleksowych metod wykonywania i identyfikacji poszczególnych typów materiałów wybuchowych;
- Badania eksperymentalne i szacowanie teoretyczne efektów oddziaływania poszczególnych typów materiałów wybuchowych w epicentrum i okolicach wybuchu;
- Opracowanie metodyki postępowania podczas penetracji strefy i okolic wybuchu;
- Opracowanie charakterystyk metod i urządzeń mogących znaleźć zastosowanie do inicjowania ładunków materiałów wybuchowych.

### LITERATURA

1. A. Maranda, *The Role of Aluminium Powder in the Process of Detonation of Condensed Explosives*, Proceedings of EUROPYRO 93, Strasbourg 1993
2. S. Cudziło, A. Maranda, J. Nowaczewski, W. Trzciński, *Shock Initiation of Ammonium Nitrate Explosives*, Proceedings of 25th Annual Conference of ICT, Karlsruhe 1994
3. A. Maranda, A. Papiński, E. Włodarczyk, *Badanie charakterystyk detonacyjnych mieszanin azotanu amonu i pyłu aluminiowego*, Mechanika Teoretyczna i Stosowana 1989, 27,3

4. A. Maranda, *Research on the Process of Detonation of Explosive Mixtures at the Oxidizer-Fuel type Containing Aluminium Powder*, Prop. Exp. Pyrot., 1990, 15, 4
5. A. Maranda, *Study on Detonation of Aluminium Sensitized Slurry Explosives*, Prop. Exp. Pyrot., 1991, 16, 5
6. A. Maranda, *The Role of Water in Detonation of Aluminium Sensitized Slurry Explosives*, Prop. Exp. Pyrot., 1991, 16, 6
7. A. Maranda, E. Włodarczyk, J. Serafinowicz, *Analiza parametrów detonacyjnych materiałów wybuchowych emulsyjnych (MWE) uczulanych szklanymi mikrosferami*, Mechanika Teoretyczna i Stosowana, 1988, 25, 1
8. S. Cudziło, A. Maranda, J. Nowaczewski, W. Trzciniński, R. Morawa, *The Analysis of Demilitarised Explosive Application for the Initiation of Industrial Explosives*, Proceedings of 5th International Symposium on Explosives Technology Pretoria, RSA, 12-14 October 1994
9. A. Maranda, J. Nowaczewski, M. Miszczak, *Application of the Explosives Withdrawn from Military Stock in the Coal-Mining Industry*, Proceedings of 24th Annual Conference of ICT, Karlsruhe 1993
10. St. Popławski, H. Dyja, A. Maranda, J. Nowaczewski, *Umacnianie wybuchowe elementów rozjazdów kolejowych*, Międzynarodowe Seminarium, Nowe technologie w budowie rozjazdów kolejowych, Warszawa 1993
11. Z. Bojar, J. Gębski, A. Maranda, J. Nowaczewski, W. Przetakiewicz, *Wybuchowe umacnianie warstw wierzchnich stali St3, 18H2N2, 40HM, 40HNMA*, XII Konferencja Metaloznawcza, AMT'92, Jadwisin 1992
12. A. Maranda, J. Nowaczewski, W. Przetakiewicz, *Explosive Strengthening of the Surface Layer in St72P Steel Rails*, I Mat. Proc. Tech., 1992, 34, 241
13. H. Dyja, A. Maranda, J. Nowaczewski, *Wytwarzanie taśm trójwarstwowych mosiądz-stal-mosiądz z kęsisk zgrzanych wybuchowo*, III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Przeróbka na zimno prętów i taśm stalowych, Jadwisin 1990
14. A. Maranda, J. Nowaczewski, M. Świetlik, *Problemy emisji szkodliwych gazów podczas wybuchowej eksploatacji złóż w górniczych zakładach odkrywkowych*, III Kolokwium - Spalanie, Problemy Emisji Zanieczyszczeń, Koninki 1993
15. A. Maranda, J. Nowaczewski, J. Bil, *Indication of Nitroesters Concentration in Air by Use of Gas Chromatography*: Proceedings of the 4th International Symposium of Analysis and Detection of Explosives, September 7-10, 1992, Jerusalem, Israel
16. A. Masłowski, A. Andrzejuk, A. Czerniewska-Majewska, P. Szykarczyk, *Hybrid Simulation System for Analysis of the Specialized Mobile Systems*: Proceedings of the Conf., Automation and Robotics in Construction XII, Warsaw, Poland, May-June 1995.
17. A. Masłowski, A. Czerniewska-Majewska, A. Andrzejuk, P. Szykarczyk, *Komputerowo wspomaganą identyfikacją stanu otoczenia zrobotyzowanych układów mobilnych*, Opracowanie naukowo-badawcze PIAP nr 7168, Wyd PIAP, Warszawa 1994
18. A. Masłowski, A. Czerniewska-Majewska, A. Andrzejuk, P. Szykarczyk, *Simulation System to Analysis of the Specialized Mobile Robots* (przyjęty do opublikowania w Robotics in Civil Engineering)
19. A. Masłowski, *Method of Hazardous Environment State Identification for a Robots*: Proceedings of the Int. Conf. on Measurement and Control in Robotics, ISMCR '92, Tsukuba, Japan, 1992
20. A. Masłowski, *Identyfikacja stanu otoczenia zrobotyzowanych układów mobilnych*: Materiały Krajowej Konferencji: Projekty badawcze - granty w robotyce finansowane przez KBN, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa, 1993

21. A. Masłowski, *State Identification of Space-Time Environmental Hazardous Systems in Mobile Robotics*: Proceedings of the Int. Conf. on Intelligent Robotics Systems IRS '94, Grenoble, France, 1994 (invited paper)
22. A. Masłowski, *State Identification of Environment for Inspection Robots*: Proceedings of the Int. Conf. on Mathematical Models in Automation and Robotics, MMAiR '94, Międzyzdroje, Poland, 1994
23. A. Masłowski, L. Szumilas, *Hybrid Simulation of Mobile System*: Proceedings of the Int. Symposium on Models and Methods in Automation and Robotics, MMAR '95, Międzyzdroje, Poland, 1995
24. *Mobilny robot interwencyjno - inspekcyjny*, Projekt celowy KBN nr 8T11A00996C/3303
25. A. Masłowski, *Mobilne roboty interwencyjno - inspekcyjne*, Materiały Konferencji Naukowo - Technicznej AUTOMATION'97, 5 -7 marca 1997, Warszawa
26. T. Gozani, P. M. Shea, *Nuclear Based Explosive Detection Systems - 1992 Status*: Proceedings of the 4th International Symposium of Analysis and Detection of Explosives. September 7 -10 , 1992, Jerusalem, Israel