

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII RENTGENOWSKIEGO ROZPROSZENIA WSTECZNEGO (XBT)

APPLICATION OF INSPECTION SYSTEM BASED ON THE REGISTRATION OF THE BACKSCATTERED X-RAY TECHNIQUE (XBT)

mgr inż. Jan KIELCZYK (jan@kielczyk.pl)

Energomontaż-Północ, Technika Spawalnicza i Laboratorium, Sp. z o.o.

Artykuł recenzowany

Streszczenie

W przeciwieństwie do konwencjonalnej radiografii technologia odbiciowa (XBT) wykorzystuje promieniowanie odbite wywołane efektem Comptona. Praktyczną korzyścią XBT jest badanie obiektów z jednostronnym dostępem. Promieniowanie odbite nie jest ukierunkowane i otrzymany obraz jest nieostry. Problem ten rozwiązano na dwa różne sposoby: jedna koncepcja wykorzystuje wysokoskolimowaną wiązkę promieniowania (technika wiązki ołówkowej) i wysokoczuły detektor o dużych rozmiarach; drugą zasadą tworzenia obrazów odbitych jest napromieniowanie dużej powierzchni źródłem promieniowania o wysokim kW i odbiór promieniowania odbitego przez kamerę otworkową zawierającą detektor cyfrowy. Charakterystyka komptonowskiego promieniowania odbitego, mianowicie zdolność odróżniania materiałów o niskiej liczbie atomowej, jest kluczowym powodem stosowania technologii odbiciowej do wykrywania materiałów wybuchowych narkotyków, ludzi ukrytych w cargo i innej organicznej kontrabandy. Bardzo małe są dawki promieniowania otrzymywane przez badany obiekt (ludzi).

Słowa kluczowe: rentgenowskie obrazowanie odbiciowe, efekt Comptona, wykrywanie materiałów niebezpiecznych

Summary

In contrast to X-ray transmission imaging, such as conventional radiography, the X-ray backscatter technology (XBT) utilizes the scattered radiation caused by the Compton effect. The practical advantage of the XBT is to inspect an object from only one-side. The scattered radiation is not directed, i.e. distributed into any spatial direction, and obtained image is not sharp. This problem has been resolved by two different ways: one concept utilizes a highly collimated beam of radiation (pencil-beam technique) and a high sensitive large area detector; the second principle of generating X-ray backscatter images is the illuminating of a large area with a high kW X-ray source of radiation and a pinhole like camera encompassing a digital detector. The characteristic of Compton backscatter, namely the ability to discern low atomic number materials, is the key reason why this technology is useful for detecting explosives, drugs, stowaways in cargo and other organic contraband. Radiation dose of inspected object (person) is very small.

Keywords: X-ray backscatter imaging, Compton effect, detection of dangerous materials

1. Wprowadzenie

W czasie badania radiograficznego nie cała wiązka promieniowania przechodzi przez badany element i dociera do detektora. Część wiązki ulega rozproszeniu na skutek zjawiska Rayleigha, efektu fotoelektrycznego, efektu Comptona oraz zjawiska tworzenia par. W średnim i wyższym zakresie energii promieniowania dominującym rodzajem oddziaływania wiązki promieniowania z badanym elementem jest efekt Comptona. Polega on na wybiciu elektronu z zewnętrznej powłoki atomu kosztem części energii padającego fotonu. Tak powstałe promieniowanie posiada energię znacząco niższą od energii wiązki pierwotnej i rozchodzi się w różnych kierunkach. Część tego promieniowania odbita w kierunku źródła promieniowania wykorzystywana jest do badania własności materiałów.

2. Przegląd literatury

Badanie radiograficzne polega zwykle na rejestracji wiązki promieniowania przechodzącej przez badany obiekt, w wyniku czego otrzymujemy cieniowy obraz wewnętrznej struktury tego obiektu. W wielu przypadkach nie jest możliwy dwustronny dostęp do obiektu i detektor umieszczany jest po tej samej stronie obiektu, co źródło promieniowania. Wykorzystuje się tu promieniowanie odbite wywołane efektem Comptona.

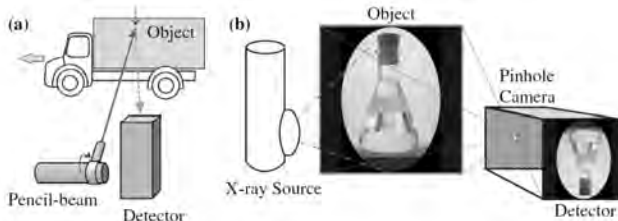
Zjawisko Comptona polega na tym, że foton zderza się z wolnym lub słabo związanym elektronem na zewnętrznej powłoce elektronowej atomu, oddając mu tylko część swojej energii. W wyniku zderzenia energia fotonu maleje, przy czym następuje odchylenie jego toru od kierunku pierwotnego, a elektron przejmuje część energii fotonu powodując w dalszej kolejności jonizację materii.

Zjawisko Comptona powoduje, że część promieniowania pierwotnego zamienia się w promieniowanie bardziej miękkie, o różnych długościach fal, skierowane w różnych kierunkach, czyli w promieniowanie rozproszone. Zjawisko Comptona jest proporcjonalne do gęstości i liczby atomowej ośrodka, a odwrotnie proporcjonalne do liczby masy, oraz maleje wraz ze wzrostem energii fotonu pierwotnego. Promieniowanie odbite od ośrodka i skierowane w kierunku źródła promieniowania nazywa się promieniowaniem rozproszonym wstecznym (XBT→X-ray backscatter technology).

Dzięki małej zdolności do absorbowania promieniowania rentgenowskiego lżejsze materiały składające się z pierwiastków o niskim Z są bardziej podatne na efekt rozproszenia Comptona. Jeśli promieniowanie rozproszone zostanie wizualizowane, obraz będzie zdominowany przez materiały lekkie, odwrotnie do radiografii z wiązką przechodzącą przez obiekt. Efekt obrazowania w technologii XBT jest podobny do fotografowania zawartości pojemnika przez optycznie przezroczystą ściankę tego pojemnika, z jasnością obrazu silnie powiązaną ze średnią liczbą atomową obrazowanych składników w zewnętrznej powierzchni obiektu.

Metoda odbiciowa najczęściej stosowana jest ze względów bezpieczeństwa do wykrywania materiałów wybuchowych, narkotyków, ukrytych ludzi, do wykrywania kontrabandy w portach i przejściach granicznych, do kontroli bagażu i ludzi. Dodatkowym walorem technologii XBT są niskie dawki promieniowania uwolnione do otoczenia i docierające do badanego obiektu, co jest szczególnie ważne przy badaniu osób. Dla niektórych systemów dawka ekspozycyjna badanego obiektu wynosi 130 nSv na jeden skan, a poza wiązką roboczą moc dawki nie przekracza $1 \mu\text{Sv/godz.}$ Dla porównania jest ona podobna do dawki spowodowanej działaniem promieniowania kosmicznego otrzymywanej przez pasażerów samolotu odrzutowego na przelotowej wysokości w ciągu 2 minut lotu.

Promieniowanie rozproszone nie posiada określonego kierunku, co powoduje problem z pozyskiwaniem czytelnego obrazu. Rozwiązaniem jest stosowanie dwóch technik pozyskiwania obrazu.

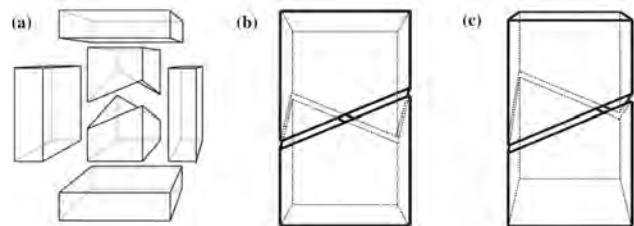


Rysunek 2.1. Zasady wytwarzania obrazu odbiciowego za pomocą techniki wiązki ołówkowej (a) i metody kamery otworkowej (b)

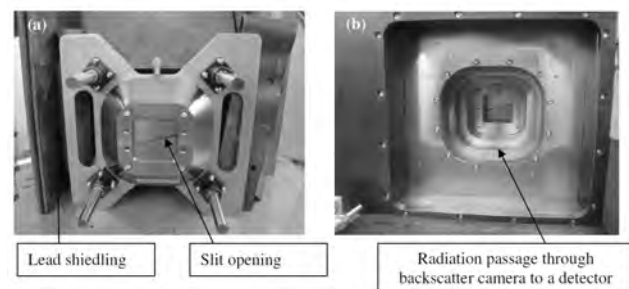
A-Technika wyprowadzania silnie skolimowanej (ołówkowej) wiązki promieniowania (rysunek 2.1a) i wysokoczuły detektor o dużej powierzchni;
B-Technika polegająca na naświetlaniu dużego obszaru szeroką wiązką promieniowania i zbieraniu odbitej wiązki

przez przepuszczanie jej przez komorę otworkową zawierającą detektor (rysunek 2.1b).

x Jako przykład techniki B skonstruowano kamerę z odchyloną szczeliną jak pokazano schematycznie na rysunku 2.2 i na fotografii na rysunku 2.3.

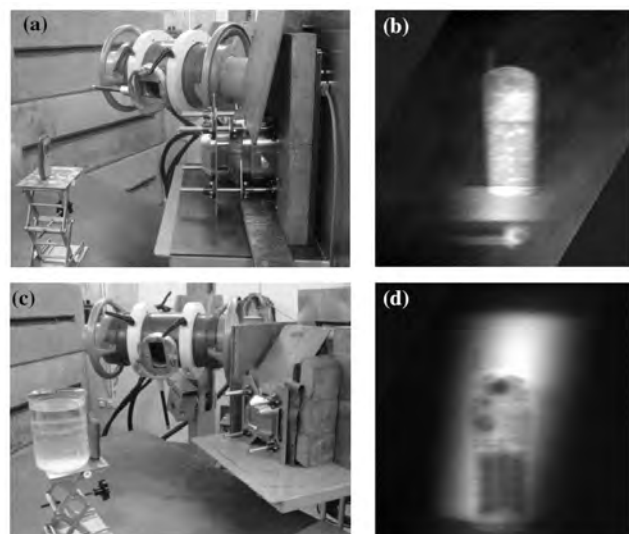


Rysunek 2.2. Schemat kolimatora z odchyloną szczeliną



Rysunek 2.3. Fotografia kamery szczelinowej. a-widok z przodu, b-konstrukcja wewnętrzna

Jako źródło promieniowania zastosowano przemysłowy aparat rentgenowski GE ISOVOLT Titan E o maksymalnym napięciu 420 kV i prądzie 10 mA. Kamera odbiciowa wyposażona jest w cyfrowy detektor typu płaski panel VIDISCO Rayzor-x. Obszar detekcji $22,2 \times 22,2 \text{ cm}^2$, rozdzielczość obrazu 3,5 lp/mm. Detektor zawiera 1560×1560 pikseli, wymiar piksela $143 \mu\text{m}$. Zastosowano oprogramowanie XbitPro.

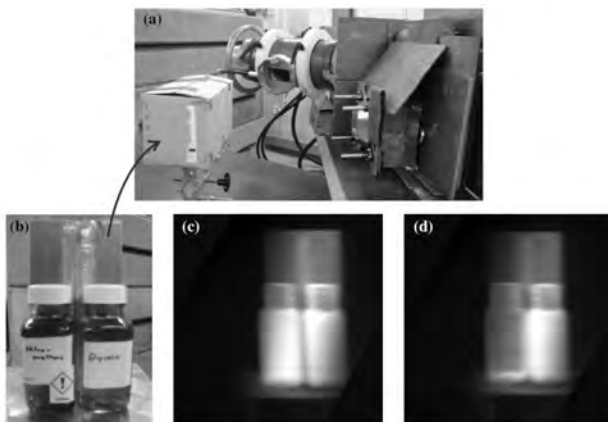


Rysunek 2.4. Układ eksperymentalny z telefonem komórkowym

Opisany system zastosowano do kontroli bagażu i cargo celem identyfikacji podejrzanych szczegółów i domniemych niebezpiecznych płynów. Zaprezentowano układ

eksperymentalny (rysunek 2.4) do badania telefonu komórkowego bez podłoża i niżej przed butelką z wodą jako materiałem o niskiej liczbie atomowej Z.

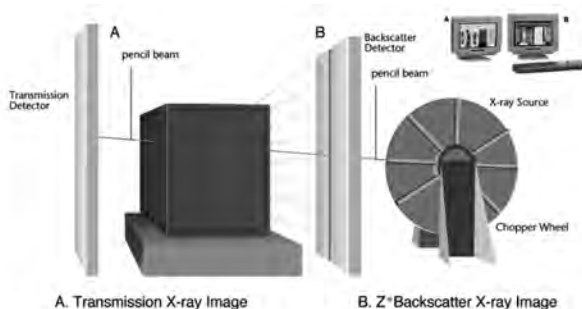
Innym potencjalnym zastosowaniem techniki odbiciowej jest przesiewowe badanie kontenerów cargo celem wykrycia niebezpiecznych substancji wśród innych przedmiotów (rysunek 2.5). Butelki szklane wypełnione są materiałami o cechach zbliżonych do materiałów wybuchowych-nitrometanem (CH_3NO_2) po lewej i gliceryną ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) (rysunek 2.5c). Na rysunku 2.5d butelka z nitrometanem została zastąpiona pustą butelką. Za butelkami ustawiona jest płyta aluminiowa o grubości 10 mm ze spoiną w środku.



Rysunek 2.5. Układ eksperymentalny z materiałami imitującymi materiały wybuchowe

Butelki szklane zawierające niebezpieczne płyny są w pełni identyfikowalne pośród złożonych ładunków kontenera, możliwe jest odróżnienie płynów od ciał stałych.

Technika badania z zastosowaniem wiązki ołówkowej pokazana jest na rysunku 2.6.



Rysunek 2.6. Schemat techniki badania

Przed źródłem promieniowania umieszcza się kolimator rotacyjny (tzw. koło Choppera) z otworami zaprojektowanymi w taki sposób, aby przepuścić wiązkę ołówkową o żądanym wymiarze. Źródło promieniowania może być umieszczone w osi koła lub na jego obwodzie.

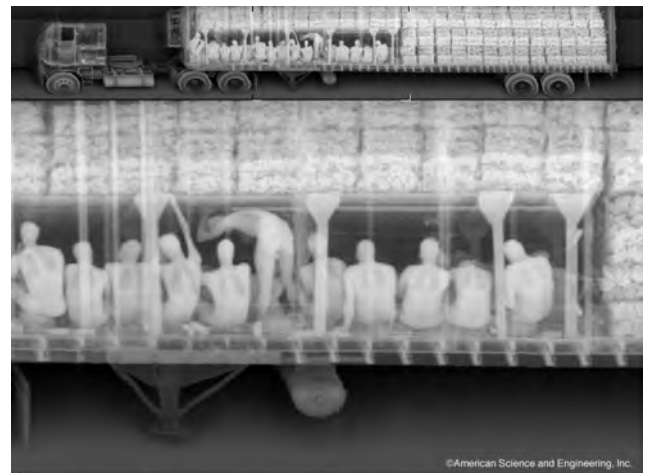
Odbite od badanego przedmiotu promieniowanie odbierane jest przez detektor o dużych wymiarach. Jeśli istnieje dwustronny dostęp do badanego przedmiotu można w tym układzie uzyskać również obraz przedmiotu z wiązki przechodzącej przez przedmiot. Umieszczając urządzenie badawcze w poruszającym się pojeździe można badać stojące

obiekty (samochody, kontenery). Gdy urządzenie badawcze jest nieruchome, możliwe jest badanie pojazdów będących w ruchu. Maksymalna szybkość poruszania się urządzenia względem badanego obiektu dochodzi do 10 km/godz.

Opisany system służy do kontroli i sortowania pojemników morskich, pojazdów, bagaży a nawet ludzi. Celem badania jest wykrycie kontrabandy, materiałów wybuchowych, narkotyków i ukrytych w pojemnikach ludzi. Rysunki 2.7 i 2.8 pokazują uzyskane w wyniku badania obrazy.



Rysunek 2.7. Obraz zawartości kontenera cargo

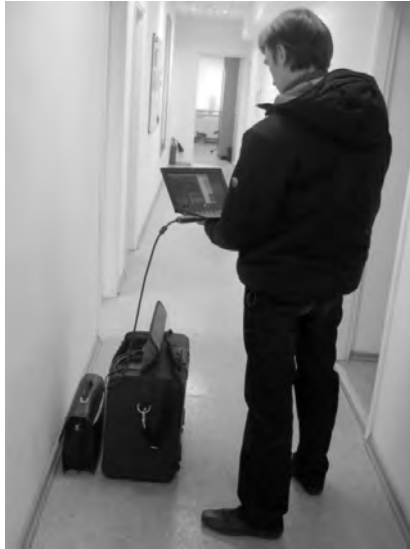


Rysunek 2.8. Obraz odbiciowy ujawniający obecność ludzi ukrytych w naczepie

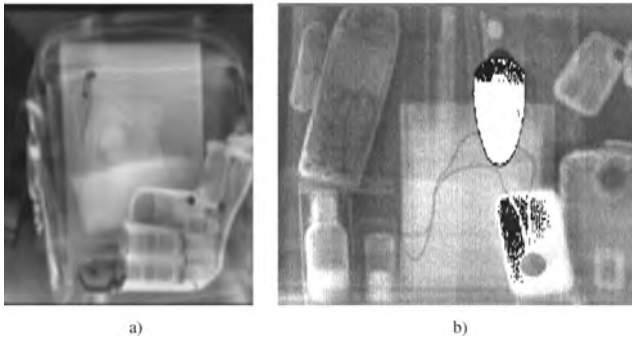
Przenośny system Phoenix składa się ze skanera (wymiary 430x320x170 mm, ciężar 13,5 kg) i laptopa do sterowania skanerem i wyświetlania obrazu. Kontakt laptopa ze skanerem dokonywany jest za pomocą przewodu o długości 10 m lub bezprzewodowo z odległości do 100 m. Rozdzielczość obrazu 0,5 mm, czas skanowania 20 s. (rysunek 2.9)

Na rysunek 2.10 przedstawiony jest wynik badania bagażu

Stacjonarny system rentgenowski „Rubezh” służy do wykrywania niebezpiecznych przedmiotów – metalowych i niemetalowych w ubraniu i na ciele kontrolowanych osób. System składa się z dwóch kabin o wymiarach 1200x720x2230 mm i ciężarze 250 kg każda.



Rysunek 2.9. Badanie opartej o ścianę saszetki



Rysunek 2.10. a-pistolet w bagażu, b-zawartość saszetki

Rysunek 2.11 przedstawia widok systemu a rysunek 2.12 przykłady obrazów.



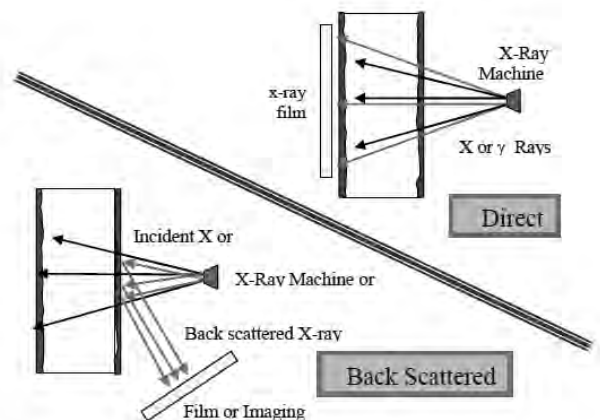
Rysunek 2.11. Widok systemu



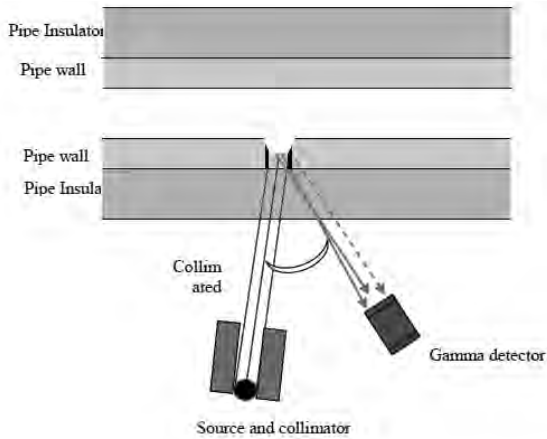
Rysunek 2.12. Przykłady obrazów

Dawki dla osób <30 nSv na skan. System jest niewrażliwy na odzież, nie mają znaczenia wymiary i ciężar kontrolowanych osób.

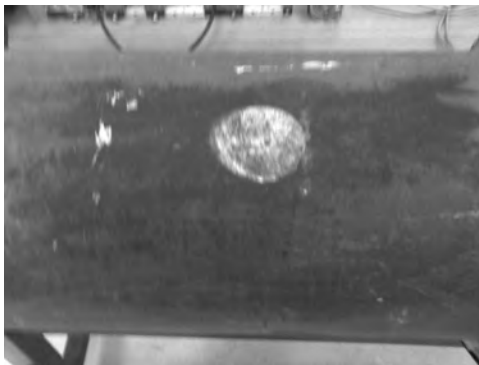
⊗ Obrazowanie korozji w rurociągach bez usuwania izolacji metodą odbiciową gamma. Badana jest rura $\Phi 280 \times 9$ mm z izolacją azbestową o grubości 40 mm. Źródło promieniowania Cs 139 o aktywności 5 mCi i detektor $2'' \times 2''$ z wielokanałowym analizatorem. Obraz tworzony jest z użyciem programu LABVIEW. Rysunki 2.13 i 2.14 przedstawiają zasadę wykrywania korozji, a 2.15 obraz z ujawnioną korozją.



Rysunek 2.13. Obrazowanie bezpośrednie i odbiciowe

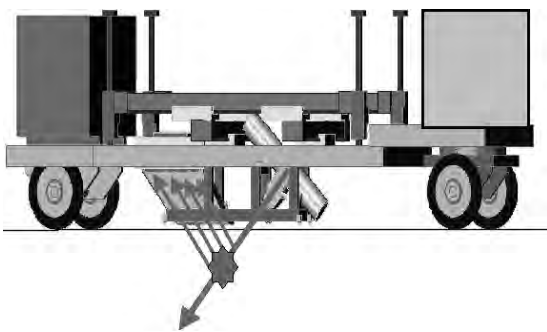


Rysunek 2.14. Odbicie wsteczne skolimowanej wiązki

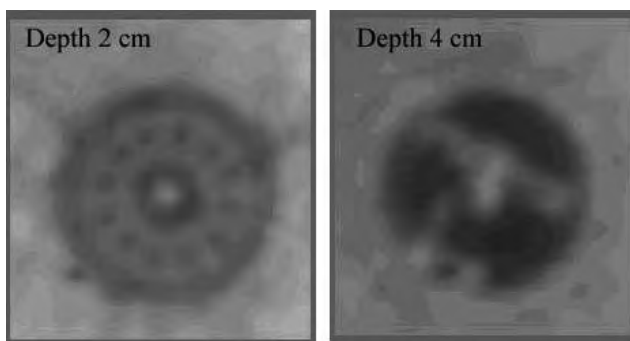


Rysunek 2.15. Obraz odbiciowy rury z ubytkiem korozyjnym

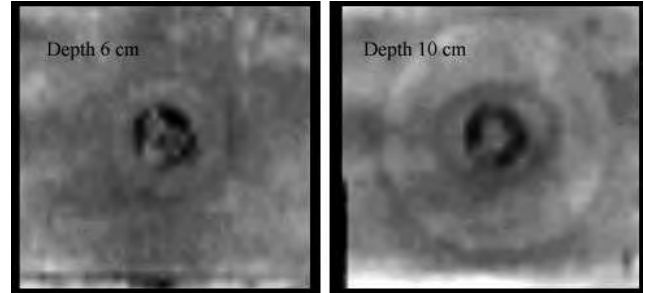
X Rentgenowski system służący do wykrywania zakopanych min. Mobilny system z aparatem rentgenowskim o napięciu do 450 kV umieszczony jest na wózku. Mobilny system widoczny jest na Rysunku 2.16, Rysunki 2.17 i 2.18 pokazują obrazy wykrytych min.



Rysunek 2.16. Mobilny system Com Scan 450

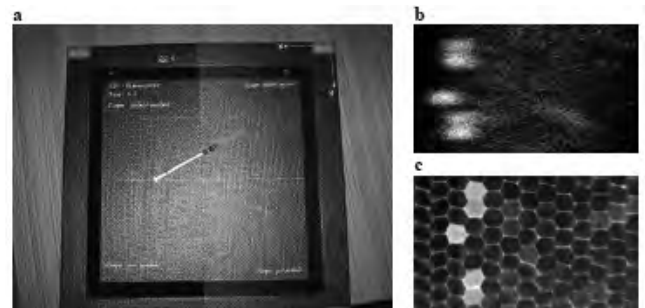


Rysunek 2.17. Obraz XBT miny osobowej typu PPM-2



Rysunek 2.18. Obraz XBT miny przeciwczołgowej typu TM-62

X Wykrywanie wody w strukturze typu plaster miodu. Pokazuje to Rysunek 2.19



Rysunek 2.19. Obraz odbiciowy (b) i konwencjonalny obraz rentgenowski (c) pokazujący obecność wody w komórkach struktury typu plaster miodu do zastosowań w lotnictwie

Literatura

1. *Radiografia przemysłowa*. Grzegorz Jeziński WNT 1993
2. *Promieniowanie rozproszone i jego rola w badaniach radiograficznych*. Sławomir Mackiewicz KKBR 2010
3. *Innovative X-ray Backscatter Technique for Security Applications: Detection of Dangerous Materials*. Norma Wrobel, Sanjeevareddy Kolkoori, Uwe Zscherpel, Uwe Ewert ECNDT 2014
4. *X-Ray Backscatter Imaging: Photography Through Barriers*. Joseph Callerame. Powder Diffraction, Vol 21, pp 132-135, 2006
5. *X-Ray Backscatter Imaging with a Novel Twisted Slit Collimator*. Kurt Osterlok, Uwe Zscherpel, Mirko Jechow, Daniel Fratzscher, Norma Wrobel, Uwe Ewert ECNDT 2010
6. *New Inspection Systems Based on the Registration of the Backscattered X-Rays*. Aleksander A. Buckley, Vladimir V. Klyuev, Ilya A. Parshin ECNDT 2014
7. *Imaging Corrosion under Insulation by Gamma Backscattering Method*. Samir Abdul-Majid, Ahmed Balamesh WCNDT 2012
8. *Detection of Buried Landmines with XORAY Backscatter Technology*. W.Niemann, S. Olesinski, T. Thiele, G. Martens, I. Carlsen ECNDT 2002