



**WSTĘPNE BADANIA EKSPERYMENTALNE Z ZASTOSOWANIEM
PROMIENIOWANIA POD-TERAHERCOWEGO**
***INITIAL EXPERIMENTS ON APPLICATION OF SUB-TERAHERTZ
RADIATION***

Waldemar ŚWIDERSKI, Paweł HŁOSTA

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyński St., 05-220 Zielonka, Poland
Auhtor's e-mail address: swiderskiw@witu.mil.pl, hlostap@witu.mil.pl

DOI 10.5604/01.3001.0012.8310

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki wstępnych prac eksperymentalnych dotyczących techniki terahercowej. Przedstawiono wybrane wyniki uzyskane z użycia skanera terahercowego do wykrywania ukrytej broni oraz wykrywania komórek wypełnionych wodą w kompozytach typu plaster miodu. Uzyskane wyniki wskazują na duży potencjał zastosowania promieniowania terahercowego również w innych aplikacjach wskazanych w tym artykule.

Słowa kluczowe: promieniowanie terahercowe, badania nieniszczące, kompozyty, broń

1. Wstęp

W czołowych gospodarkach świata od kilkadziesiąt lat następuje wzrost zainteresowania i znaczenia badań nieniszczących. Prowadzone w wielu ośrodkach naukowych prace badawcze w tej dziedzinie powodują rozwój dotychczasowych metod oraz wprowadzanie nowych, bardziej zaawansowanych technik badawczych. Niewątpliwym wpływem na ich dynamiczny rozwój ma również postęp w technice komputerowej, algorytmach przetwarzania sygnałów i algorytmach sztucznej inteligencji. W ostatnich latach występuje duże zainteresowanie promieniowaniem terahercowym.

Abstract: Some results of first experiments on terahertz technology are presented in the paper. A terahertz scanner was used to detect the weapons and cells of a honeycomb composite filled with water. Received results indicate that there is a large potential for using the terahertz radiation in other applications indicated in the paper.

Keywords: terahertz radiation, no-destructive tests, composites, weapon

1. Introduction

The main world economies have been indicating a steady interest in non-destructive testing for last decades. Scientific projects carried out by many research centres make the existing methods develop and more advanced techniques of investigation appear. Progress in the IT, and algorithms for signal processing and artificial intelligence undoubtedly contributes to their dynamical development. Terahertz radiation has attracted a lot of interest in recent years.

W zakresie promieniowania elektromagnetycznego pasmo terahercowe znajduje się między promieniowaniem podczerwonym a mikrofalami. Dlatego często jest nazywane promieniowaniem dalekiej podczerwieni lub jest zaliczane do zakresu pasma mikrofalowego. Pasma terahercowe obejmuje fale w przedziale od 300 GHz do 10,0 THz. Fale elektromagnetyczne w tym zakresie widma są silnie tłumione w substancjach przewodzących prąd elektryczny, takich jak metale oraz w wodzie i w elektrolitach, natomiast są bardzo słabo tłumione w dielektrykach. Terahercowy obszar częstotliwości jest szczególnie atrakcyjny dla obrazowania w dziedzinie medycyny i biologii, ponieważ promieniowanie z tego zakresu nie jonizuje materii, jest bezpieczne dla organizmów żywych [1].

Promieniowanie to jest nieszkodliwe dla człowieka, może przenikać przez materiały, takie jak ubranie. Dlatego prowadzone są próby zastosowania do bezpiecznego „prześwietlania” ludzi np. na lotniskach. Może również w wielu aplikacjach medycznych zastępować promieniowanie rentgenowskie. Prowadzone są również badania zastosowania promieniowania terahercowego w badaniach nieniszczących kompozytów [2, 3]. Są to jednak stanowiska badawcze umożliwiające badania niewielkich próbek (o powierzchni kilkunastu cm^2) w warunkach laboratoryjnych. Obecnie wyposażenie takiego stanowiska związane jest z wysokimi kosztami, co powoduje, że technika ta nie jest jeszcze konkurencyjna w stosunku do stosowanych powszechnie metod badań nieniszczących. Fale terahercowe przechodząc przez niektóre substancje wchodzi w interakcję z molekułami. Powoduje to, że fale terahercowe o określonej częstotliwości są silnie absorbowane, co umożliwia identyfikację składu chemicznego badanej substancji [3].

Coraz większe zainteresowanie jest również komunikacją terahercową. Dotychczas główną przeszkodą był brak odpowiednich generatorów sygnałów oraz wysoki poziom tłumienia fal w atmosferze, przez wodę i parę wodną [4]. Warto podkreślić, że promieniowanie terahercowe jest jednym z najmniej poznanych przez człowieka zakresów widm [5], przez co jest także niezwykle „atrakcyjne” z naukowego punktu widzenia.

The terahertz band is placed between the infrared and microwave radiation bands of electromagnetic spectrum. For this reason it is often named as the radiation of far infrared or microwave band. The interwall of terahertz band is from 300 GHz to 10.0 THz. The electromagnetic waves of this band are strongly attenuated in substances conducting the electric current such as the metals and electrolytes whereas in dielectrics the attenuation is low. The terahertz band of frequency is especially attractive for visualisations in domains of medicine and biology as it does not ionise the matter and is safe for the living organisms [1].

This radiation is unarmful for people and may penetrate the fabrics of clothes. Hence are some trials for “raying through” the people for instance at the airports. It may also replace the X-ray radiation for many medical applications. Some investigations are carried out as well to use the terahertz radiation for non-destructive tests of composites [2, 3]. But these setups can be used to test small size samples (with the size of a dozen cm^2) at laboratory conditions. Now the equipment of such setup is expensive and for that reason the technique is still not competitive against the commonly used non-destructive methods. As the terahertz radiation interacts with some molecules of penetrated substances an effect of strong absorption for terahertz waves at specific frequencies occurs what enables the identification of chemical composition of the investigated substance [3].

Moreover there is an increased interest in terahertz communication. Up to now the lack of suitable signal generators and a high level of atmospheric absorption by water and steam [4] was the main obstacle. It is worth to note that the terahertz radiation is a band which has been explored in the lowest degree by people [5] and for this reason it seems to be attractive from the scientific point of view.

The paper presents first results of

W artykule przedstawiono wstępne wyniki prac eksperymentalno-badawczych przeprowadzonych w WITU z użyciem techniki terahercowej.

2. Stanowisko do badań eksperymentalnych

Stanowisko do badań eksperymentalnych zostało zbudowane na bazie skanera terahercowego TERA 1024 firmy Terasense Development Labs (fot. 1) i generatora promieniowania pod-terahercowego o następujących parametrach:

1. Skaner TERA 1024
 - rozdzielczość obrazu 256x4 piksele
 - rozmiar piksela 1,5x1,5 mm
 - częstotliwość ~ 100 GHz
 - moc 1 nW/Hz
2. Generator Sub-THz – IMPATT diode 100 GHz
 - częstotliwość 100 GHz (\pm 5GHz)
 - moc ~ 30 mW
 - modulacja TTL
3. Oprogramowanie – SDK dla Terasense Viewer©Software, C/C++
4. Układ optyczny.

W celu zapewnienia przesuwu skanera wzdłuż badanej próbki materiału zbudowano specjalny układ mechaniczny ze sterowaniem zapewniającym ruch zarówno skanera, jak i źródła promieniowania pod-terahercowego. Badania aktywne z użyciem promieniowania terahercowego mogą być realizowane zarówno metodą odbiciową, jak i transmisyjną.

W metodzie odbiciowej skaner i źródło promieniowania znajdują się po tej samej stronie badanego obiektu. W metodzie transmisyjnej (fot. 1), skaner znajduje się po przeciwnej stronie badanego obiektu niż źródło promieniowania.

experimental investigations on terahertz technique performed in the Military Institute of Armament Technology (MI-AT).

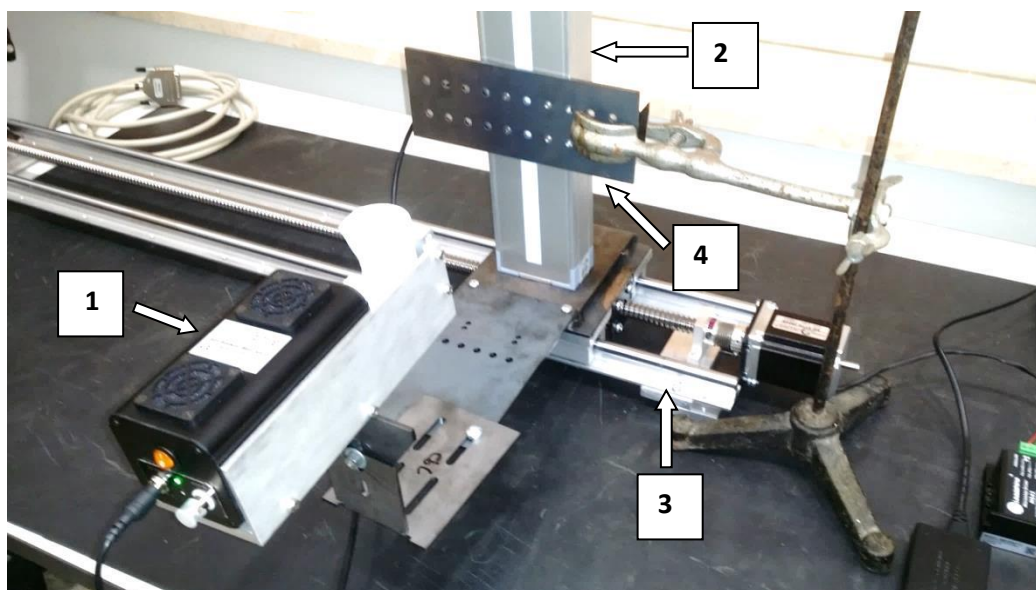
2. Setup for Experimental Tests

The experimental setup was built on the basis of terahertz scanner TERA 1024 made by company Terasense Development Labs (Photo 1) and a sub-terahertz generator of the radiation with following performance:

1. Scanner TERA 1024
 - Resolution of picture: 256x4 pixels
 - Size of pixel: 1.5x1.5 mm
 - Frequency: ~ 100 GHz
 - Power: 1 nW/Hz
2. Generator: Sub-THz – IMPATT diode 100 GHz
 - Frequency: 100 GHz (\pm 5GHz)
 - Power: ~ 30 mW
 - Modulation: TTL
3. Software: SDK for Terasense Viewer©Software, C/C++
4. Optic system.

In order to displace the scanner along the tested sample of material a special mechanical device was built with a control system securing the movement for the terahertz scanner and the source of radiation. The active test deploying the terahertz radiation may use both the method of reflection and transmission.

In the reflective method the scanner and the source of radiation are placed in the same side of a tested object. In the transmission method (Photo 1) the scanner is placed on the opposite side of a tested object to the source of radiation.



Fot. 1. Stanowisko badawcze – aktywna metoda transmisyjna: 1 – źródło promieniowania terahercowego, 2 – skaner, 3 – układ przesuwu, 4 – badana próbka

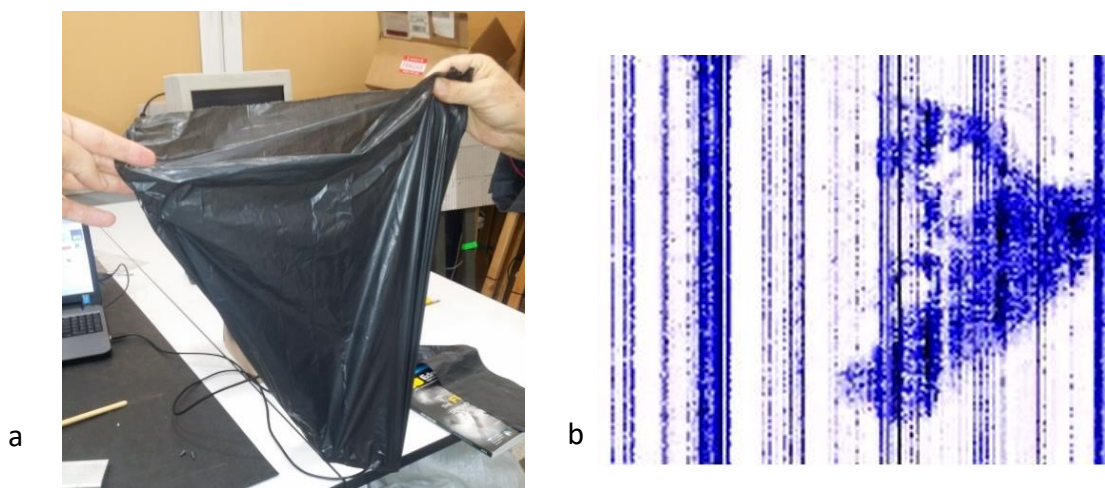
Photo 1. Testing setup – active transmission method: 1 – Source of terahertz radiation, 2 – Scanner, 3 – Displacement device, 4 – Tested sample

3. Wykrywanie ukrytej broni

Testy możliwości zastosowania promieniowania w zakresie pod-terahercowym do wykrywania ukrytej broni przeprowadzono metodą transmisyjną jak i odbiciową. Jako obiekty badań użyto pistoletów: HK-45 firmy Heckler&Koch i Glock 17 GEN 4.

3. Detection of Concealed Weapon

Possibilities of terahertz radiation to detect hidden weapon were tested for both transmitting and reflecting methods. Pistols HK-45 of Heckler&Koch and Glock 17 GEN 4 were used as tested objects.



Fot. 2. Wykrywanie pistoletu Glock 17 (bez magazynka) ukrytego w worku foliowym:
a) zdjęcie worka foliowego z ukrytym pistoletem, b) obraz ukrytego w worku pistoletu w zakresie promieniowania pod-terahercowego

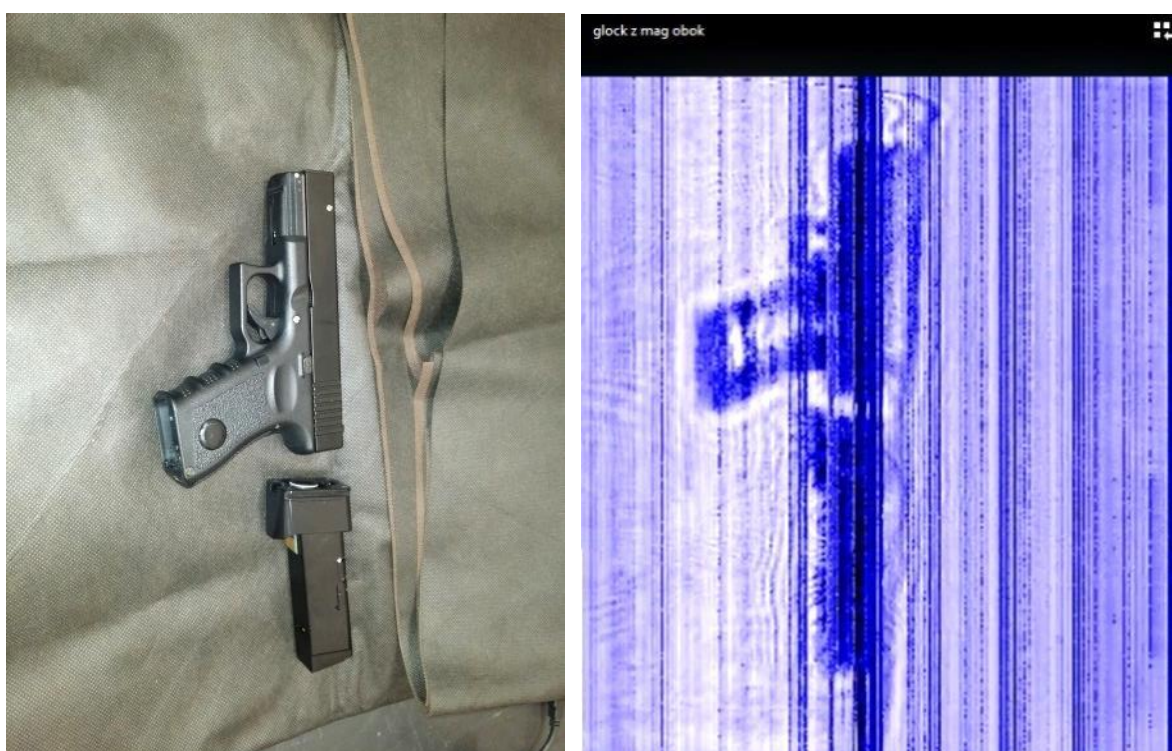
Fig. 2. Detection of Glock 17 pistol (without magazine) hidden in a foil bag:
a) Picture of foil bag with hidden pistol, b) Picture of pistol hidden in the bag taken on sub-terahertz radiation band

Na fot. 2 przedstawiono wykrycie pistoletu Glock 17 ukrytego w czarnym worku foliowym. Na obrazie ze skanera widać wyraźnie kształt pistoletu. Ponieważ rękojeść pistoletu ma plastikowe wkładki to również widoczny jest brak magazynka w pistolecie.

Nie jest również możliwe ukrycie pistoletu za wielowarstwową (4 warstwy) tkaniną poliestrową co widać na fot. 3. Test przeprowadzono metodą transmisyjną, a tkanina (po 4 warstwy) znajdowała się z obu stron pistoletu.

Detection of Glock 17 pistol hidden in the black foil bag is shown in photo 2 where the picture from the scanner clearly reveals the shape of the pistol. As the pistol's grip has plastic pads then the missing magazine is clearly visible.

The pistol cannot be also hidden behind a multilayer (4 layers) polyester fabric shown in photo 3. The test was made for transmitting method and the fabric consisted of 4 layers for each side of pistol.



a)

b)

Fot. 3. Wykrywanie pistoletu Glock 17 i magazynka osłoniętych czterema warstwami tkaniny poliestrowej: a) zdjęcie pistoletu i magazynka na tle tkaniny, b) obraz ukrytego pistoletu i magazynku w zakresie promieniowania pod-terahercowego

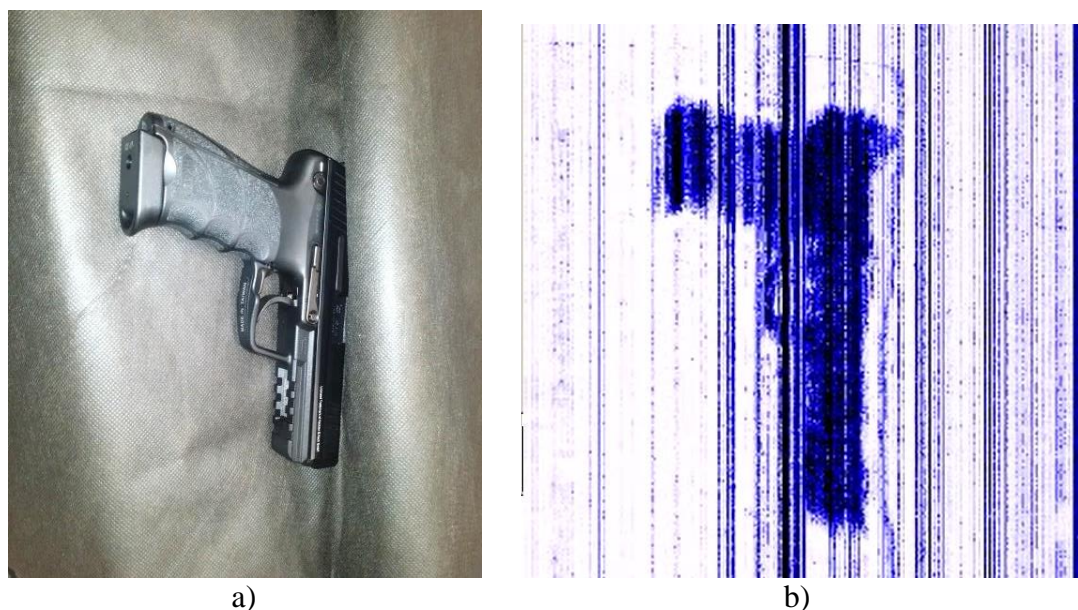
Fig. 3. Detection of Glock 17 pistol and magazine wrapped in polyester fabric folded four times:
a) Picture of the pistol and magazine on the fabric background, b) Picture of hidden pistol and magazine taken on sub-terahertz radiation band

Na fot. 4 przedstawiono wynik wykrycia pistoletu HK-45 z włożonym magazynkiem i osłoniętego wielowarstwową tkaniną poliestrową.

Wykrycie pistoletu HK-45 pod ubraniem przedstawiono na fot. 5. Test przeprowadzono metodą odbiciową.

The result of detection for HK-45 pistol with magazine protected by a multilayer polyester fabric is shown in photo 4.

Detection of HK-45 pistol kept under the clothes is shown in photo 5. Test was carried out by the reflection method.

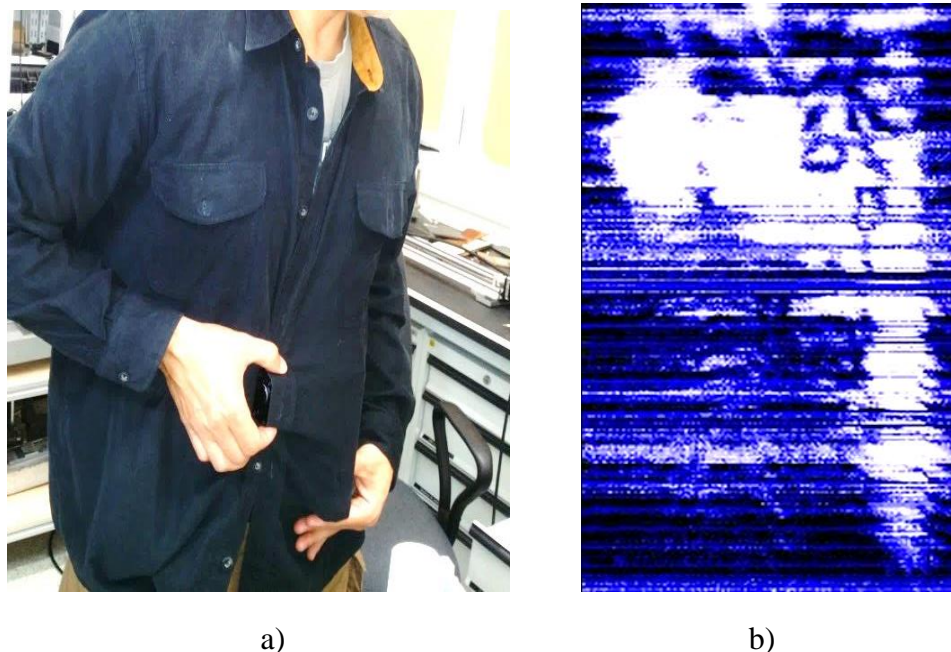


Fot. 4. Wykrywanie pistoletu HK-45 z załadowanym magazynkiem osłoniętego czterema warstwami tkaniny poliestrowej:

a) zdjęcie pistoletu na tle tkaniny, b) obraz ukrytego pistoletu w zakresie promieniowania pod-terahercowego

Fig.4. Detection of HK-45 pistol with the magazine covered by four layers of polyester fabric:

a) Picture of the pistol on the fabric background, b) Picture of hidden pistol taken on sub-terahertz radiation band



Fot. 5. Wykrywanie pistoletu HK-45 ukrytego pod ubraniem:

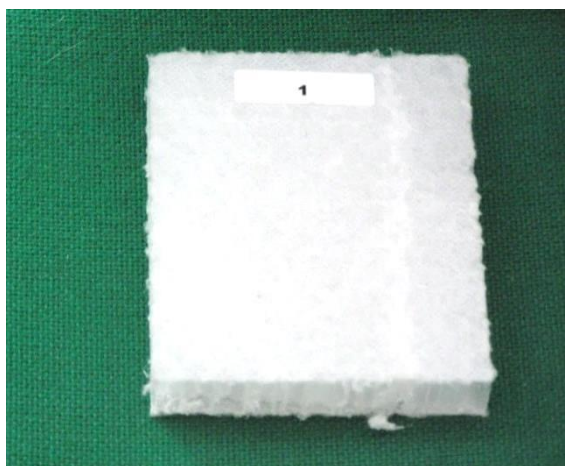
a) zdjęcie – pistolet ukryty pod ubraniem, b) obraz ukrytego pistoletu w zakresie promieniowania pod-terahercowego

Fig. 5. Detection of HK-45 pistol hidden under the clothes:

a) Picture – pistol hidden under the clothes, b) Picture of hidden pistol taken on sub-terahertz radiation band

4. Badania nieniszczące

Badania nieniszczące z użyciem skanera terahercowego TERA 1024 przeprowadzono na 2 próbkach (fot. 6 i 8) typu plaster miodu (honeycomb), w których niektóre komórki były wypełnione wodą. Dla porównania wyników przeprowadzono również badania nieniszczące tych próbek z zastosowaniem termografii w podczerwieni z wymuszeniem cieplnym za pomocą lampy grzewczej. Badania jedną i drugą metodą przeprowadzono techniką transmisyjną [6].

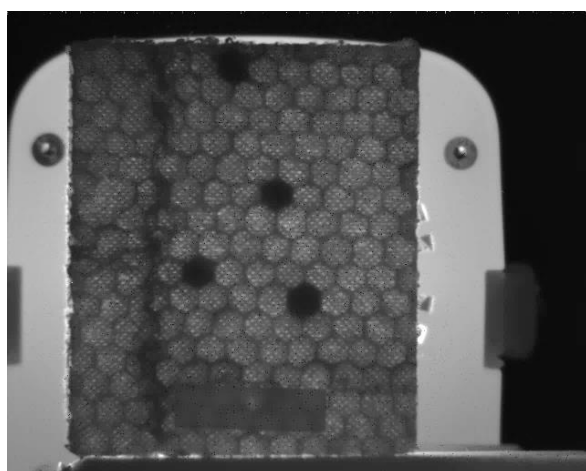


4. Non-destructive Tests

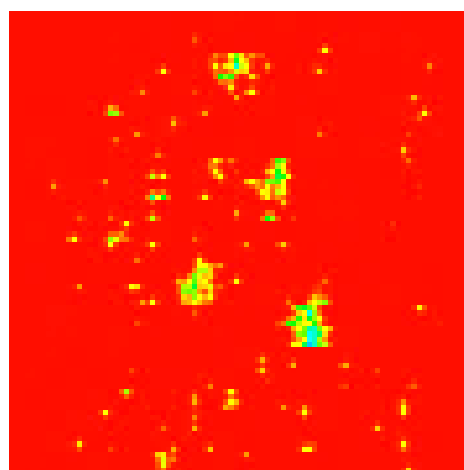
Terahertz scanner TERA 1024 was used for non-destructive tests of two honeycomb samples (Photo 6 and 8) having some cells filled with water. The results were compared with non-destructive tests of these samples by using the infrared thermography with the thermal excitation of a heating lamp. Both methods deployed the transmission technique [6].

Fot. 6. Próbką 1 – rdzeń z polipropylenu (heksagonalne komórki o wymiarze boku - 8 mm) pokryte poliesterem i polipropylenową folią o grubości 50 μm – całkowita grubość 20 mm

Fig. 6. Sample 1 – polypropylene core (honeycomb cells with the side of 8 mm) covered by polyester and polypropylene foil of 50 μm thickness – total thickness 20 mm



a)



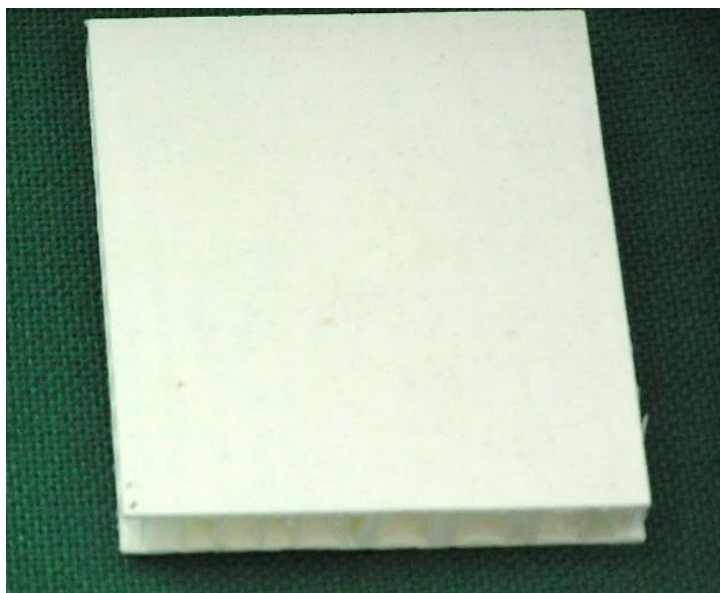
b)

Fot. 7. Próbką 1 – a) termogram wykonany techniką transmisyjną z widocznymi (czarnymi) czterema komórkami wypełnionymi wodą, b) wynik zastosowania promieniowania pod-terahercowego – widoczne komórki wypełnione wodą – technika transmisyjna

Fig. 7. Sample 1 – a) Thermogram received by transmission technique with visible four cells (black) filled with water, b) Results of deployment of sub-terahertz radiation – the cells containing water are visible – transmission technique

W próbce 1 (fot. 6) cztery komórki zostały wypełnione wodą. Na termogramie (rys. 7 a) widać dokładnie położenie komórek wypełnionych wodą, jak również widoczny jest kształt poszczególnych komórek rdzenia. Zastosowanie promieniowania terahercowego umożliwia lokalizację miejsc gdzie położone są komórki wypełnione wodą, ale nie jest możliwe określenie kształtu pojedynczych komórek rdzenia.

Sample 1 (Photo 6) contains four cells filled with water. Thermogram (Photo 7 a) shows precisely positions of cells filled with water and moreover the shape of particular cells of the core. The deployment of terahertz radiation localises the cells containing the water but the identification of shapes for particular core cells is impossible.

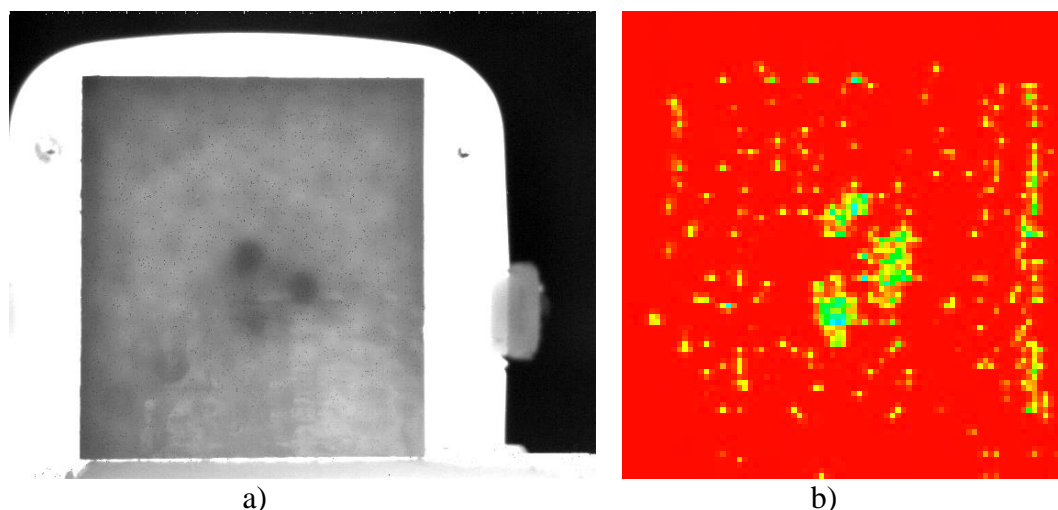


Fot. 8. Próbka 2 – rdzeń z poli-propylenu (komórki heksagonalne o wymiarze 8 mm) pokryty uwodnionym laminatem z włókna szklanego, całkowita grubość– 21,5 mm

Photo 8. Sample 2 – core made of polypropylene (hexagonal cells with size of 8 mm) covered with hydrated fiber glass laminate, total thickness – 21.5 mm

Próbka 2 (fot. 8) różni się od próbki 1 materiałem z jakiego wykonane jest pokrycie kompozytu. Grubości rdzenia w tych próbkach wykonanego z tego samego materiału są podobne. W próbce 2 trzy komórki zostały wypełnione wodą. Porównując termogramy wykonane przy badaniu próbek 1 i 2, widać wyraźnie różnice w jakości zobrazowania. Dobrze widoczne są na termogramie (fot. 9a) komórki wypełnione wodą, ale pozostałe komórki nie są tak dobrze widoczne jak na termogramie (fot. 7a). Ponieważ badanie zostało wykonane w tych samych warunkach i przy tych samych parametrach wymuszenia cieplnego to wpływ na ostateczny wynik może mieć tylko materiał pokrywający rdzeń kompozytu. Tych różnic nie widać przy obrazach próbek 1 i 2 wykonanych techniką terahercową.

Sample 2 (Photo 8) differs from sample 1 by the material of composite cover. The cores of two samples are made of the same material and have similar thickness. Three cells of sample 2 are filled with water. Comparing the thermograms received at testing samples 1 and 2 the difference in quality of pictures is clearly visible. The cells filled with water are visible well in thermogram (Photo 9 a) but the remaining cells are not visible so well as in thermogram shown in photo 7a. As the testing was made in the same conditions and at the same parameters of thermal excitation then the final result may be affected only by the material covering the core of composite. These differences are not visible in pictures for samples 1 and 2 received by terahertz technique.



Fot. 9. Próbką 2 – a) termogram wykonany techniką transmisyjną z widocznymi (czarnymi) trzema komórkami wypełnionymi wodą, b) wynik zastosowania promieniowania pod-terahecowego – widoczne komórki wypełnione wodą – technika transmisyjna

Photo 9. Sample 2 – a) Thermogram made by transmission technique with three visible cells (black) containing water, b) Result of using the sub-terahertz radiation – the cells with water are visible – transmission technique

5. Podsumowanie

Jakość zobrazowania wyników przedstawionych w artykule przez Yakovleva i inni [7] w badaniach nieniszczących kompozytów z użyciem promieniowania terahecowego (1 THz) jest porównywalna jak wyniki przedstawione w tym artykule przy użyciu źródła promieniowania pod-terahecowego (100 GHz).

W artykule [8] Dickinson i inni przedstawiono zobrazowanie wykrycia ukrytej pod ubraniem broni przy zastosowaniu promieniowania terahecowego o częstotliwości 350 GHz i 1,56 THz. Porównując te wyniki z wynikami przedstawionymi w tym artykule można stwierdzić, że uzyskane zobrazowanie nie jest gorszej jakości nie tylko od zobrazowania przy częstotliwości 350 GHz, ale nawet od wyników przy użyciu częstotliwości 1,56 THz.

Dalsze prace chcemy ukierunkować na poprawę jakości uzyskanego zobrazowania oraz użycia promieniowania pod-terahecowego w badaniach nieniszczących materiałów stosowanych w aplikacjach militarnych.

5. Summary

The quality of visualisation of results presented by Yakovlev and others in [7] at non-destructive testing of composites by terahertz radiation (1 THz) is compared to results presented in this paper exploiting the sub-terahertz radiation source (100 GHz).

The paper [8] prepared by Dickinson and others shows the pictures of weapon concealed under the clothes received by deployment of terahertz radiation in frequencies 350 GHz and 1.56 THz. Comparing these results with results presented in this paper it may be stated that the received pictures are not only of a worse quality than the pictures received at 350 GHz but even at 1.56 THz as well.

Further efforts of authors will be focused on improvement of pictures quality received by sub-terahertz radiation at non-destructive tests of materials designated to military applications.

Literatura / Literature

- [1] Redo-Sanchez A., Karpowicz N., Xu J., and Zhang X.-C., Damage of Defect Inspection with Terahertz Waves, *Proceedings of the 4th International Workshop on Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization*, 2006.

-
- [2] Dragan K., Kornas Ł., Pałka N., Problematyka diagnozowania kompozytowych konstrukcji lotniczych, *Przegląd spawalnictwa*, 13/2011, str. 23-28.
- [3] Chady T., Schabowicz K., Nieniszczące badania płyt włóknisto-cementowych z wykorzystaniem terahercowej spektroskopii w dziedzinie czasu, *Badania nieniszczące i diag-nostyka*, 1-2, 2016, str. 62-66.
- [4] Anastasi R. F. et al. *Terahertz NDE for Aerospace Applications* (Chapter title:). Book title: *Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization*, World Scientific Publishing, 2017, pp. 279–303. ISBN 978-981-270-409-2.
- [5] Ewert U., Potential of TeraHertz Radiation in NDT, *Proceedings of 18 WCNDT*, Durban, 2012.
- [6] Świdorski W., NDE of Honeycomb Structure: A Comparative Study of Infrared and Terahertz Imaging, *Progress in Mechanics and Materials in Design*, FEUP-INEGI, 2017, pp.467-468.
- [7] Yakovlev V. E., Zaytsev K. I., Fokina I. N., Konasik V. E. and Yurchenko S. O., Non-destructive Testing of Polymer Composite Materials Using THz Radiation, *Journal of Physics Conference Series*, 486 (1), 2014.
- [8] Dickinson J. C., Goyette T. M., Gatesmana A. J., Josepha C. S., Roota Z. G., Giles R. H., Waldmana J. and Nixonb W. E., Terahertz Imaging of Subjects with Concealed Weapons, *Proc. of SPIE*, 2006.

