

Procena transmisivnosti materijala za maskiranje u infracrvenom području elektromagnetnog spektra

Marina Tripković i Milena Jovanović

Apstrakt—Objekat ispitivanja transmisije je materijal za maskiranje koji se primenjuje u vojne svrhe, a treba da omogući maskiranje ljudstva, naoružanja i vojne opreme i objekata na kopnu u vidnom području, bliskom infracrvenom, toplotnom infracrvenom i radarskom „X” području elektromagnetnog spektra, odnosno u talasnom opsegu od 0,4 μ m do 14 μ m. Materijal za maskiranje mora da omogući pouzdanu maskirnu zaštitu u propisanom veku trajanja, pa samim tim treba da ispuni i zahteve za kvalitet tkanine. Zaštita koja se postiže ovim materijalom se ispituje kroz proveru površinskih maskirnih karakteristika materijala i procenom transmisivnosti toplote kroz materijal. U ovom opitu je primenjena interna metoda za preliminarnu procenu transmisivnosti materijala u IC opsegu. Metoda koristi elemente metode, opisane u dostupnom važećem standardu MIL-PRF-53134, prilagodene tehničkim mogućnostima laboratorije za optoelektroniku.

Ključne reči — IC zračenje; transmisivnost materijala; crno telo; radijansa; nivo signala objekta; termovizijska kamera.

I. UVOD

Razmena energije zračenjem između objekata se ostvaruje na sledeće načine: emisijom – odavanje zračenja; apsorpcijom – primanjem i zadržavanjem zračenja; refleksijom – odbijanjem zračenja i transmisijom - propuštanjem zračenja [1]. Upadno zračenje je svo ono zračenje koje pogađa objekat iz njegove okoline. Od ukupnog zračenja koje upada na objekat, određen deo će biti apsorbovan, reflektovan i transmitovan. U kojoj će meri zračenje biti apsorbovano, reflektovano ili transmitovano zavisi će od osobina materijala.

Izlazno zračenje je svo ono zračenje koje napušta površinu objekta bez obzira na njegov izvor. Kao dodatak emitovanoj energiji od samog objekta imamo i reflektovanu i transmitovanu energiju od drugih izvora. Od ukupnog izlaznog zračenja od objekta, deo zračenja može biti:

- emitovano od samog objekta,
- reflektovano od izvora ispod objekta i
- transmitovano od izvora iza objekta

Sposobnost nekog objekta da apsorbuje upadnu izračenu energiju je uvek ista, kao sposobnost tog tela, da emituje svoju energiju kao zračenje.

Crna tela ne postoje u realnom svetu. Crno telo je model idealnog tela, koje apsorbuje svo upadno elektromagnetno

zračenje, bez obzira na frekvenciju ili upadni ugao uz to održavajući toplotnu ravnotežu.

Idealno crno telo ne postoji, ali ga može dobro zameniti, velika zatvorena šupljina sa malim otvorom, koja je toliko ne prozirna, tako da zračenje koje uđe u tu šupljinu, gotovo da nema šansu da izađe. Idealno crno telo upija sve talasne dužine bez gubitaka, ono takođe emituje sve talasne dužine bez gubitaka u zavisnosti od termodinamičke temperature tog tela.

U laboratoriji za optoelektroniku, idealno crno telo se ostvaruje sa velikim krutim telom, koje ima šupljinu, koje ima mali otvor, ravnomerno raspoređenu temperaturu, kompletno je mutno i samo vrlo malo odbija svetlost. Karakteristike crnog tela odgovaraju karakteristikama Sunca. Ako telo zagrejemo na tu temperaturu i obezbedimo višestruke refleksije zračenja, kada se stabilizuje zračenje koje izlazi iz tog tela, onda kroz jednu malu šupljinu propustimo to zračenje, onda će to zračenje da ima karakteristike zračenja crnog tela [2]. Emitovaće se konstantno zračenje u širokom opsegu talasnih dužina. Kroz različite refleksije nam se menja faza, promena faze menja talasnu dužinu i tako dobijamo širokopojasni svetlosni izvor, odnosno crno telo. Crno telo (šupljina) je telo u kome jednom zarobljeno zračenje ne može da izađe.

Realna tela se ne ponašaju kao idealno crno telo, već će to biti samo deo tog zračenja, a to se izražava stepenom emisije, koji upoređuje realno telo sa idealnim crnim telom. Izračena energija od crnog tela je proporcionalna T^4 , o čemu govori Stefan-Bolcmanov zakon [2].

$$W_{BB} = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

$$\sigma = 5.6686 \times 10^{-4} \left[\frac{W}{m^2 K^{-4}} \right] \quad (2)$$

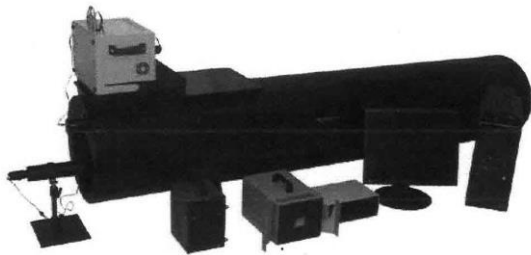
Materijal za maskiranje, koji se koristi u ovom opitovanju, treba da zadovolji zahteve, vezane za površinske maskirne karakteristike, dezen, sjaj i refleksiju [3][4][5], a takođe i zahtev za transmisivnost materijala u infracrvenom području elektromagnetnog spektra.

II. MERNI I ISPITNA OPREMA

Merni sistem MS 300 X za ispitivanje termovizijskih i video uređaja se sastoji od kolimatorske cevi izvora zračenja (vidljivog i infracrvenog – IC), standardnih testova, računara sa upravljačkim softverom i monitora (Slika 1) [6].

Marina S. Tripković – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: marinamakitripkovic9@gmail.com).

Milena N. Jovanović, – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: milenakv1996@gmail.com).



Слика 1. Мерни систем MS 300 X

Pri snimanju IC scene i merenju zračenja korišćena je merna termovizijska kamera FLIR SC 7200 (Slika 2) čije su deklarirane karakteristike date u Tabeli 1 [7]:

TABELA 1

Karakteristike termovizijske kamere FLIR SC 620

Spektralni opseg osjetljivosti	(7, 5 – 13) μm
Rezolucija detektora	640 x 480 piksela
Osetljivost kamere (NETD)	< 40 mK
Temperaturni merni opseg	- 40 °C - + 120 °C
Ugao vidnog polja objektiva	24° x 18°
Žižna daljina korišćenog objektiva	38 mm

S obzirom na činjenicu da merna kamera SC620 ne poseduje mogućnost očitavanja radijanse, očitavane su vrednosti nivoa signala objekta (Object Signal – OS).



Slika 2. Merna termovizijska kamera FLIR SC 620

Ispitivani uzorak je materijal koji je dvostrano jednobojan, odnosno jedna strana zelena, a druga strana braon boje.

III. REZULTATI MERENJA I TUMAČENJE

Laboratorija za optoelektroniku je primenila internu metodu za preliminarnu procenu transmisivnosti materijala u IC opsegu [8]. Ispitivanje termičkog prenosa je vršeno u zatvorenom prostoru. Dve zagrejane ploče, mete, jednakih površina treba da se zagreju do $25 \pm 2^\circ\text{C}$ i do $40 \pm 2^\circ\text{C}$ respektivno, iznad temperature ambijentalnog vazduha. Ciljne temperature se održavaju u granicama od $0,5^\circ\text{C}$ ovih vrednosti, tokom celog ispitivanja.

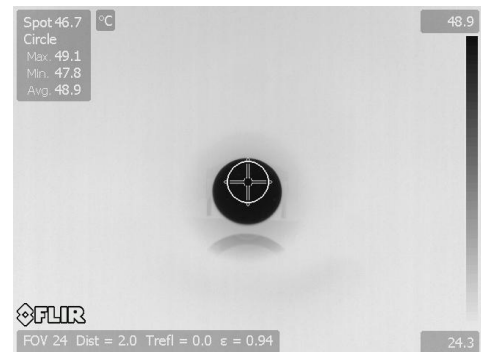
Snimci svake mete treba da se dobiju u opsegu od $3\text{-}5\mu\text{m}$ ili $8\text{-}12\mu\text{m}$, treba da se takođe, dobiju sa ciljevima koji ispunjavaju vidno polje snimača, tako da se mogu izmeriti prosečni nivoi zračenja za svaki od ciljeva.

Termovizijskom kamerom je napravljen snimak, kada je gola meta, bez materijala, a onda je snimano sa pokrivenom metom, tako što je okretana strana materijala, zelena, a onda braon boja.

Na definisanim temperaturama, prema navedenom standardu, u internoj metodi, mereni su nivoi signala objekta crnog tela i uzorka. Podešavanje temperature crnog tela vršeno je u diferencijalnom modu.

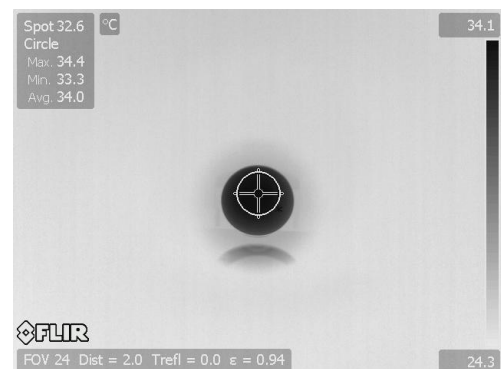
Na termovizijskoj kameri su podešeni sledeći parametri: ambijentalna temperatura $24,3^\circ\text{C}$; emisivnost ispitnog materijala 0,94; reflektovana temperatura nula i distanca 2.0.

Snimak napravljen termovizijskom kamerom (Slika 3), kada je gola meta, a temperatura ploča 25°C iznad temperature ambijentalnog vazduha.



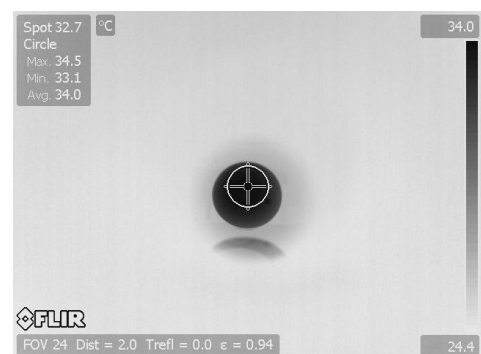
Slika 3. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Sledeći snimak je napravljen kada je pokrivena meta (Slika 4), odnosno okrenuta zelena strana tkanine, a temperatura 25°C iznad ambijentalne temperature.



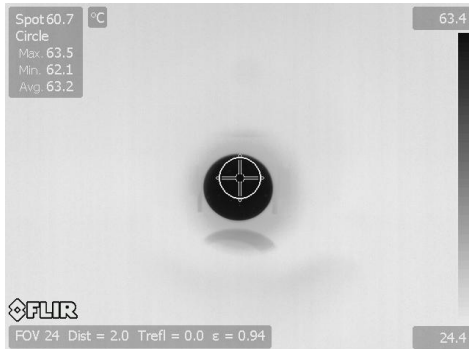
Slika 4. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Sledeći snimak je napravljen, kada je pokrivena meta (Slika 5), odnosno okrenuta braon strana tkanine, a temperatura 25°C iznad ambijentalne temperature.



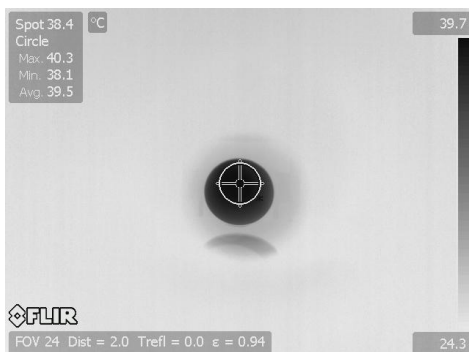
Slika 5. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Snimak napravljen termovizijskom kamerom, kada je gola meta (Slika 6), a temperatura ploča 40°C iznad temperature ambijentalnog vazduha.



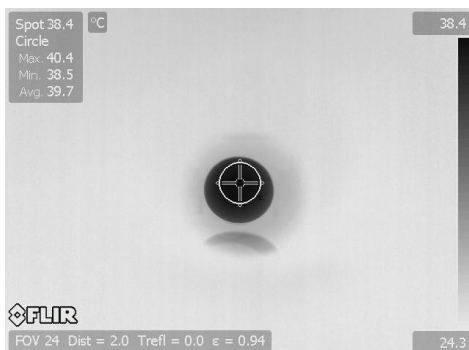
Slika 6. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Sledeći snimak je napravljen, kada je pokrivena meta (Slika 7), odnosno okrenuta zelena strana tkanine, a temperatura 40°C iznad ambijentalne temperature.



Slika 7. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Sledeći snimak je napravljen, kada je pokrivena meta (Slika 8), odnosno okrenuta braon strana tkanine, a temperatura 40°C iznad ambijentalne temperature.



Slika 8. Snimak napravljen termovizijskom kamerom

Svako merenje signala objekta je ponovljeno 3 puta, za dvostrani uzorak, na osnovu čega je urađen proračun transmisije. Ova laboratorijska metoda je potvrdila ponovljivost merenja.

Očitane vrednosti srednje temperature u markiranom krugu na termografskom snimku i vrednosti nivoa signala objekta su datoj tabeli 2:

TABELA 2

Vrednosti srednje temperature i nivoa signala objekta za crno telo, zelenu i braon boju materijala

crno telo		zelena boja materijala		Braonn boja materijala	
srednja temperatura [°C]	nivo signala objekta [°F]	srednja temperatura [°C]	nivo signala objekta [°F]	srednja temperatura [°C]	nivo signala objekta [°F]
48,9	201	33,9	160	34,0	160
63,3	246	39,2	174	39,4	174
49,5	203	34,4	161	33,9	160
63,3	246	39,4	174	39,1	174
49,4	203	34,3	161	34,1	161
63,2	246	39,4	174	39,2	174

Procenat transmisije se računa na sledeći način [8]:

$$\% \text{ Transmisije} = \frac{R_{U40} - R_{U25}}{R_{B40} - R_{B25}} \times 100 \quad (3)$$

R – nivo radijanse

U – pokrivena meta

B – gola meta

40 = Cilj 40°C iznad temperature ambijenta

25 = Cilj 25°C iznad temperature ambijenta

S obzirom na činjenicu da merna kamera SC620 ne poseduje mogućnost očitavanja radijanse, očitavane su vrednosti nivoa signala objekta (Object Signal – OS).

Proračunata srednja vrednost transmisivnosti za svaku boju uzorka i srednja kvadratna greška odstupanja merenja, izraženo u procentima date su tabelarno u Tabeli 3:

TABELA 3

Srednja vrednost transmisivnosti materijala u delu IC spektra i srednja kvadratna greška odstupanja merenja

R.br.	Opis	τ [%]	σ [%]
1	materijal - zelena boja	30,52	0,4
2	materijal - braon boja	31,30	1,0

Preliminarni rezultati transmisivnosti materijala odnose se na talasni opseg osetljivosti korišćene termovizijske merne kamere FLIR SC620 (od 7,5μm do 13μm), što predstavlja dugo talasno IC područje spektra.

IV. ZAKLJUČAK

U toku ispitivanja, sa stanovišta maskirnosti, a na osnovu snimaka napravljenih termovizijskom kamerom, gde je napravljena procena transmisivnosti materijala za maskiranje u infracrvenom području elektromagnetnog spektra od 8μm do 12μm, može se zaključiti da ovaj materijal, daje vidljivo prigušenje toplote u odnosu, kada se materijal za maskiranje ne koristi. Na osnovu termovizijskog praćenja toplotnih efekata materijala za maskiranje on može zbog svojih karakteristika, da obezbedi da se konture vozila ne mogu prepoznati kada je vozilo upaljeno, a takođe i termalni odraz čoveka će biti znatno

oslabljeniji, ako se zaštititi maskirnim materijalom. Ukoliko se neko grejno telo, koje zrači veliku količinu toplote, na primer peć, zagreje, neće biti prigušenja toplote. Vidi se da je proizvod perspektivan jer dovodi do prigušenja toplote, a samim tim i do efikasne zaštite ljudstva, naoružanja, vojne opreme i objekata na kopnu.

LITERATURA

- [1] Infrared training center Serbia, Damiba trade, Kurs infracrvene termografije, nivo I, tehnički priručnik ITC.
- [2] Petar Matavulj, Optoelektronika, Beograd, Srbija, 2007, strana 201. i 245.
- [3] Maskirna zaštita – Refleksija maskirnih materijala u UV, V i BIC području EM spektra, SNO 7511, II - 2002.
- [4] Maskirna zaštita – Laboratorijske metode ispitivanja maskirnih karakteristika, SNO 8670, II – 2002.
- [5] Maskirna zaštita – Opšti propisi za proveru maskirnih karakteristika, SNO 8655, II – 2002.
- [6] Vojnotehnički institut, Izveštaj o ispitivanju preliminarna procena transmisivnosti materijala u IC delu spektra – uzorak PT mreže, Beograd, Srbija, 2023.
- [7] Tehničko uputstvo za kameru FLIR SC620.
- [8] MIL – PRF – 53134, januar 1996, strana 24. i 25.

ABSTRACT

The object of transmission testing is a masking material that is used for military purposes, and should enable the masking of personnel, weapons and military equipment and objects on land in the visible range, near infrared, thermal infrared and radar „X” region of the electromagnetic spectrum, i.e. in the wave range from 0,4 μ m to 14 μ m. The masking material must provide reliable masking protection in the prescribed lifetime, and therefore it should meet the requirements for the quality of the fabric. The protection achieved by this material is tested through checking the surface masking characteristics of the material and evaluating the transmissivity of heat through the material. In this experiment, an interval method was applied for the preliminary evaluation of the transmissivity of the material in the IR range. The method uses the elements of the method, described in the available current standard K MIL-PRF-53134, adapted to technical possibilities from the optoelectronics laboratory.

Assessment of the transmissivity of masking materials in the infrared region of the electromagnetic spectrum

Marina Tripkovic and Milena Jovanovic