

ANALIZA KEMIJSKE SESTAVE IN SEVALNIH LASTNOSTI ALUMINIZIRANE POLIMERNE FOLIJE

Marta Klanjšek Gunde², Alenka Vesel¹, Urša Opara Krašovec³, Matjaž Kunaver², Miran Mozetič¹

¹Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, Ljubljana, ²Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana, ³Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, Ljubljana

POVZETEK

Analizirali smo kemijsko sestavo in sevalne lastnosti t. i. astrofolije, ki se uporablja kot izolacijska folija v primeru, ko je treba preprečiti ohlajanje telesa. Ugotovili smo, da je osnovni material, iz katerega je narejena folija, polimer PET, na katerem se nahaja plast aluminija (srebrna stran folije). Ker je folija prozorna, ji dodajo dodatek (najverjetneje organsko barvilo), ki jo obarva rumeno. Zato je na eni strani zlate, na drugi pa srebrne barve. Rumena barva sicer nima posebne funkcije pri termičnem delovanju folije, pač pa ima pomembno vlogo pri razlikovanju obeh strani zaradi različnega videza. Kadar je telo ovito s folijo, se toplota v glavnem prenaša le s sevanjem. Prehod sevalnega toka telesa skozi folijo je zanemarljiv, ker je folija praktično neprepustna. Drugače je s sevalnim tokom, ki ga izseva telo, in se odbije od folije. Odbojnost folije pa je odvisna od strani, na kateri pride do odboja. Na "srebrni" strani se sevanje telesa odbije skoraj v celoti, na "zlati" strani pa le manjši delež.

Chemical composition and radiation properties of aluminized polymer foil

ABSTRACT

Chemical composition and radiation properties of Astro-foil were analyzed. Astro-foil is usually used as a rescue sheet to protect the victim's body from cooling. It is made of a polymer foil, most likely PET. One side of the foil is covered with thin layer of aluminium. Since the foil is transparent some additives (e.g. organic dyes) are added in order to distinguish visually between both sides. Therefore one side is silver-coloured (Al) and on the other side is gold-coloured (dye). When the body is wrapped into the foil the heat is transferred mostly by radiation. The radiation transfer through the foil is negligible since the foil is almost impermeable. The reflectivity of the foil depends on the side where the reflection occurs. On the silver-coloured side the radiation is almost completely reflected, while on the gold-coloured side only small portion of the radiation is reflected.

1 UVOD

Astrofolija se uporablja kot izolacijska folija, ker odbija sevanje in zmanjšuje toplotno ohlajanje ali segrevanje telesa. Telo, ki ni v toplotnem ravnovesju z okolico, lahko izmenjuje toploto na tri načine: s kondukcijo, konvekcijo ali s sevanjem. Kondukcija je prevajanje toplote skozi snov (npr. skozi zidove hiše), od mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo. Kako hitro snov pri danih pogojih prevaja toploto, je odvisno od njene toplotne prevodnosti. Zelo veliko toplotno prevodnost imajo kovine, majhno pa npr. stiropor. Konvekcija je prenos toplote s pretakanjem tekočine (tudi plinov). Pri tem se toplejše plasti dvigajo, hladnejše pa spuščajo. Tipičen primer take konvekcije je cirkulacija ozračja zaradi neenakomernega segrevanja tal⁽¹⁾. Sevanje pa je prenos toplote skozi prostor z elektromagnetnim valovanjem

različnih valovnih dolžin, ki jih oddajajo segreta telesa. Kolikšen je izsevan energijski tok in kakšen je njegov spekter, je odvisno predvsem od temperature telesa ter od velikosti in vrste sevalne površine. Najmočnejše seva t. i. črno telo, ki vse vpadlo sevanje absorbira in nato odda v okolico v obliki sevanja⁽²⁾. Za kondukcijo in konvekcijo je potreben medij, v katerem potekata prenos toplote, medtem ko telo lahko izmenjuje toploto s sevanjem tudi v vakuumu (npr. Sonce in zvezde).

Vsa segreta telesa sevajo – tudi stanovanjski objekti in človeško telo. Eden izmed možnih načinov, kako zmanjšati sevanje in s tem energijske izgube, je z odbojem sevanja nazaj proti telesu, ki ga je oddalo. V te namene se uporablja zaščitna astrofolija, ki po navadi ne manjka v kompletu prve pomoči pri ljudeh, ki se radi veliko gibljejo v naravi. Kaj hitro se lahko pripeti, da nas ujame noč ali vremenski obrat in takrat je zelo pomembno, da čim bolj zmanjšamo izgubljanje toplote in s tem preprečimo podhladitev telesa. Folija je zelo tanka in lahka, a kljub temu zelo trpežna. Je tudi vodoodporna, tako da pride prav tudi v primeru dežja ali vetra.

Folija se uporablja tako, da se vanjo zavijemo. To je mogoče napraviti na dva načina:

- s "srebrno" stranjo proti telesu
- z "zlato" stranjo proti telesu

Glede na navodila za uporabo folije se prva možnost uporabi takrat, ko nas zebe, druga pa takrat, ko nam je vroče. Sklepamo, da je prenos toplote v teh dveh smereh različno velik. Folija ne prepušča tekočine, zato ne omogoča prenosa toplote s konvektivskimi tokovi. Prenos toplote s sevanjem prevladuje, če zagotovimo, da je prevajanje toplote skozi folijo (kondukcija) zanemarljivo. Zato mora biti folija toplotno izolirana od telesa. To lahko dosežemo z ustrežno obleko ali pa tako, da se folija ne dotika telesa. V takih okoliščinah je prenos s sevanjem prevladujoč oz. edini način izmenjave toplote med telesom, ovitim v folijo, in okolico. Prenos s sevanjem določajo optične lastnosti sevalca (telesa) in okolice ter folije, skozi katero gre prenos toplote.

Podoben princip zaščite se uporablja tudi v gradbeništvu⁽³⁾. Posebna astrofolija, ki je narejena iz večplastnega polietilena z mehurčki zraka, se uporablja za zaščito objektov. Tu plast zraka med plastmi folije še dodatno deluje kot izolator, saj je zrak slab toplotni prevodnik. Ta folija je precej debelejša od navadne astrofolije in ima obe strani "srebrni" (pre-

kriti s plastjo Al). Pozimi folija zadržuje toploto v stanovanju zaradi velike odbojnosti za toplotno sevanje, poleti pa aluminijasta površina odbija topolo od zunaj in tako ohranja hladno notranjost objekta.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Sevanje črnega telesa

Da bi bolje razumeli, kako deluje astrofolija, si najprej pogledjmo, kakšno je sevanje telesa npr. človeškega telesa s temperaturo T . Zaradi enostavnosti privzamemo, da človeško telo seva kot črno telo s temperaturo $T = 37\text{ °C} = 310\text{ K}$. Spektralno gostoto sevalnega toka črnega telesa določa Planckova funkcija:

$$P(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

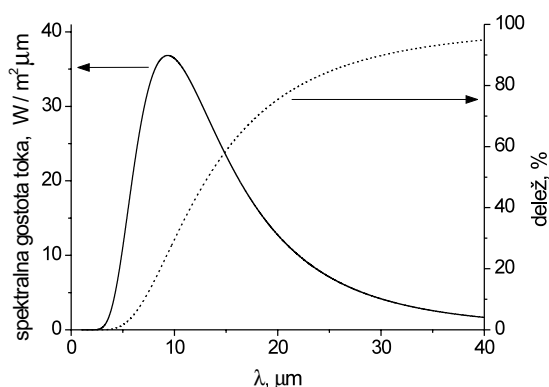
kjer nastopata konstanti $c_1 = 3,7415 \cdot 10^{-16}\text{ W}\cdot\text{m}^2$ in $c_2 = 1,4388 \cdot 10^4\text{ }\mu\text{m K}$ ⁽⁴⁾. Planckova funkcija za $T = 310\text{ K}$ je prikazana na sliki 1. Funkcija ima pri $\lambda < 3\text{ }\mu\text{m}$ zanemarljivo vrednost (pod $0,3\text{ W/m}^2\mu\text{m}$). Z večanjem λ hitro narašča do vrha pri λ_{max} . Zanj velja Wienov zakon:

$$\lambda_{\text{max}} T = k_w \quad (2)$$

kjer je $k_w = 2.8978 \cdot 10^{-3}\text{ mK}$. To je Wienova konstanta in spada med osnovne fizikalne konstante. Za $T = 310\text{ K}$ dobimo $\lambda_{\text{max}} = 9,348\text{ }\mu\text{m}$. Pri večjih λ spektralna gostota izsevanega toka počasi pada. Celotno gostoto sevalnega toka za črno telo dobimo po integraciji čez vse λ . Tako dobimo Stefanov zakon:

$$j_{bb}(T) = \int_0^\infty d\lambda \cdot P(\lambda, T) = \sigma T^4 \quad (3)$$

kjer je $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{ K}^4$. To je Stefanova konstanta (osnovna fizikalna konstanta). Z integracijo Planckove funkcije do končne valovne dolžine λ dobimo delni sevalni tok črnega telesa s temperaturo T :



Slika 1: Spektralna gostota sevalnega toka za črno telo pri $T = 310\text{ K} = 37\text{ °C}$ (polna črta) in delež tega sevalnega toka v celotnem izsevanem toku pri integraciji do valovne dolžine λ (pikčasta črta). Pri izračunu deleža smo uporabili enačbi (3) in (4).

$$j_{bb}^{(\lambda)}(T) = \int_0^\lambda P(\lambda, T) \cdot d\lambda \quad (4)$$

Če ta delni tok delimo s celotnim (enačba (3)), dobimo delež tega delnega sevalnega toka v celotnem toku. Ta je prikazan na sliki 1.

2.2 Sevanje telesa, ki je ovito v folijo

Kaj se zgodi, če sedaj telo ovijemo v folijo? Toplotni tok, ki ga izseva v folijo ovito telo, je:

$$j_{iz}(T) = \int_0^\infty d\lambda \cdot P(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda) \quad (5)$$

kjer je $\tau(\lambda)$ prepustnost folije. Toplotni tok, ki ga izseva telo, in se odbija od folije nazaj k telesu, je:

$$j_{odb}(T) = \int_0^\infty d\lambda \cdot P(\lambda, T) \cdot \rho(\lambda) \quad (6)$$

kjer je $\rho(\lambda)$ odbojnost folije. Oba sevalna tokova, j_{iz} in j_{odb} , dobimo z integracijo preko celotnega spektralnega območja, ⁽⁵⁾ $0 < \lambda < \infty$. Pri merjenju spektrov $\tau(\lambda)$ in $\rho(\lambda)$ smo omejeni s spektralnim obsegom spektrofotometra. Oceno ustreznosti merilnega območja naredimo grafično z uporabo obeh funkcij na sliki 1. Lahko pa izračunamo tudi delni sevalni tok, ki preide skozi folijo:

$$j_{iz}^{(\lambda)}(T) = \int_0^\lambda d\lambda \cdot P(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda) \quad (7a)$$

ali pa delni tok, ki se odbije od folije:

$$j_{odb}^{(\lambda)}(T) = \int_0^\lambda d\lambda \cdot P(\lambda, T) \cdot \rho(\lambda) \quad (7b)$$

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Meritve kemijske sestave folije

Kemijsko sestavo folije smo analizirali z metodo profilne analize AES in infrardeče analize. Spektroskopija Augerjevih elektronov – AES (ang. Auger Electron Spectroscopy) temelji na emisiji Augerjevega elektrona s površine preiskovane snovi, ki je izpostavljena curku vpadnih elektronov. Emitiran Augerjev elektron ima karakteristično energijo, ki je določena z lego energijskih nivojev elektronov v atomu, ki so vključeni v prehod in je značilna za posamezni element. To nam omogoča kemijsko identifikacijo elementa. Metoda AES je pogosto uporabljena v kombinaciji z ionskim jedkanjem. Z odstranjevanjem atomskih plasti s površine in snemanjem Augerjevih spektrov dobimo globinski profil – informacijo o globinski porazdelitvi posameznih elementov v vzorcu.

AES-meritve so bile opravljene z vrstičnim spektrometrom Augerjevih elektronov (Scanning

Auger Microprobe – Physical Electronics Ind. SAM 545 A). Vzorec je bil preiskovan s curkom elektronov s kinetično energijo 3 keV, tokom 0,5 μ A in premerom 40 μ m, ki je padal pod kotom 30° glede na normalo na površino vzorca. Vzorce smo pri vpadnem kotu ionov 47° jedkali s curkom Ar⁺-ionov z energijo 1 keV na površini 5 mm \times 5 mm. Hitrost jedkanja je bila 1 nm/min. Višine Augerjevih konic so bile merjene pri energijah C (272 eV), O (511 eV), Al (1392 eV). Koncentracija elementov je bila izračunana z uporabo faktorjev občutljivosti za Augerjev prehod, vzetih iz priročnika proizvajalca ⁽⁶⁾. Uporabljeni so bili naslednji faktorji občutljivosti: O (0,50), C(0,18), Al (0,386).

Infrardeče (IR) spektre smo izmerili na FT-IR spektrofotometru IFS 66/S (Bruker). Uporabili smo merilno celico Golden Gate Mk II ATR (Specac), ki omogoča merjenje oslabiljene totalne odbojnosti (attenuated total reflectance, ATR). Kristal, ki omogoča način merjenja ATR, je germanij ($n = 4,00$ pri $\lambda = 10 \mu\text{m}$). Vzorec z lomnim količnikom $n = 1,5$ (kar velja za večino plastičnih materialov) postavimo v idealno tesen stik z ATR-kristalom. IR-svetlobo usmerimo skozi ATR-kristal na površino vzorca. Vpadni kot svetlobe mora biti tako velik, da je izpolnjen optični pogoj za totalni odboj. V takih okoliščinah se v vzorcu širi evanescentni val z vdorno globino 0,6–0,7 μm ⁽⁷⁾. To je globinski doseg ATR-meritve v opisanih merskih razmerah. Ker se evanescentni val v snovi selektivno absorbira, je totalno odbiti žarek oslabiljen pri frekvencah nihanj v snovi. Izmerjeni ATR-spekter je zelo podoben spektru prepustnosti, ki bi ga izmerili na materialu z debelino, ki ustreza vdorni globini ATR-meritve. Take spektre lahko uporabimo v analitske namene tudi brez ustreznih korekcij.

3.2 Meritve optičnih lastnosti folije, ki so pomembne za njeno delovanje

Optične lastnosti folije smo merili v širokem spektralnem območju od ultravijoličnega (UV, $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$), vidnega (VIS, $0,4 < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$), bližnjega (NIR, $0,7 < \lambda < 2,5 \mu\text{m}$) in srednjega (MIR, $2 < \lambda < 25 \mu\text{m}$) infrardečega področja. Spektralno tako obsežno meritev smo napravili na dveh spektrofotometrih:

- UV-VIS-NIR: med 0,2 μm in 2,5 μm s spektrofotometrom Lambda 950 (Perkin-Elmer),
- MIR: med 2 μm in 16,6 μm pa s spektrofotometrom IFS 66/S FT-IR (Bruker).

V spektralnem območju med 0,2 μm in 16,6 μm zajamemo 65 % celotnega sevalnega toka črnega telesa s $T = 310 \text{ K}$.

Prepustnost $\tau(\lambda)$ smo merili v obeh spektrofotometrih pri pravokotnem vpadu vzporednega pramena svetlobe. To je najpreprostejša meritev in jo omogoča osnovna konfiguracija vsakega spektrofotometra. V

spektralnem območju UV-VIS-NIR smo merili tudi $\tau(\lambda)$ pri večjih vpadnih kotih (20°, 40°, in 60°). Za meritev smo uporabili nastavek za merjenje usmerjene prepustnosti (Variable-angle-transmittance sample holder kit, Perkin Elmer).

Spektre odbojnosti $\rho(\lambda)$ smo v obeh instrumentih merili z integracijsko kroglo. Pri taki meritvi vzorec namestimo na obod krogle. Vzporeden pramen svetlobe pade v notranjost krogle in na vzorec pod kotom 8°, kjer se odbije v poljubne smeri. Odbita svetloba se odbija v notranjosti krogle in pade na detektor, ki ja na vrhu krogle. Tako izmerjene spektre pogosto imenujemo tudi totalna hemisferična odbojnost. Geometrija meritve je prikazana na sliki 2.

Uporabili smo dve integracijski krogli:

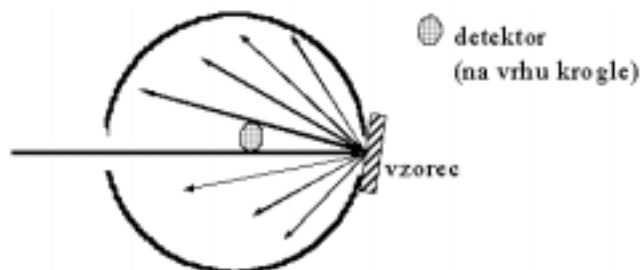
- Za spektralno področje UV-VIS-NIR smo uporabili kroglo z notranjim premerom 150 mm (PELA 1000, Perkin-Elmer). Ta krogla je v notranjosti prekrita s plastjo Spectralona®. To je material z najvišjo znano difuzno odbojnostjo v UV-VIS-NIR-območju. Ima dve kemijski komponenti, politetrafluoroetilen (PTFE) in barijev sulfat. Merska odprtina ima premer 25 mm.
- Za spektralno območje MIR smo uporabili integracijsko kroglo z notranjim premerom 200 mm, ki je v notranjosti prekrita z difuznoodbojno plastjo zlata (Optosol GmbH, Nemčija). Merska odprtina ima premer 35 mm.

Vse spektre smo merili na obeh straneh folije. Poimenovali smo jih glede na barvo strani, ki je bila pri meritvi obrnjena proti detektorju – "zlata" in "srebrna" stran.

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Analiza kemijske sestave folije

Profilni diagram AES folije je prikazan na sliki 3. Ugotovili smo, da se na foliji iz polimernega materiala nahaja plast aluminija debeline okoli 15 nm, na površini te pa je naravna oksidna plast debeline okoli 1 nm. Aluminijeva plast se nahaja samo na eni strani



Slika 2: Shema merske geometrije pri merjenju v integracijski krogli. Svetloba vstopa v kroglo kot kolimiran žarek in pade na vzorec pod kotom 8°. Detektor je nameščen na vrhu krogle in meri svetlobo, ki se odbije od vzorca, nato se odbija v notranjosti krogle in v katerikoli smeri pade na detektor.

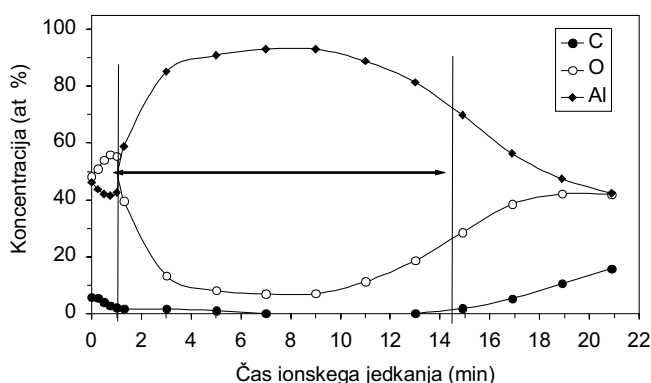
folije – na tisti, ki je videti srebrna. Na drugi, zlati strani folije smo opazili samo elementa kisik in ogljik iz polimera. Zlata barva je zato verjetno posledica organskega barvila, ki ga dodajo sicer prozornemu polimeru, zato da lahko ločimo eno stran od druge. Celotna debelina folije, izmerjena z mikrometrskim vijakom, je 14 μm . Čeprav je folija zelo tanka, pa je zelo trpežna. Če jo poskušate raztrgati, ne bo šlo kar zlepa.

IR-ATR-spektra obeh strani folije sta prikazana na sliki 4. Na "zlati strani" smo dobili tipični spekter polimernega materiala. Po iskanju v bazi IR-spektrov smo ugotovili, da gre za spekter preoblikovanega PET (polietilen-tereftalat) ⁽⁸⁾. Na "srebrni" strani opazimo nekaj šibko izraženih absorpcij. Sklepamo, da se evanescentni val širi skozi tanko plast aluminija, kjer "oplazi" neko drugo snov. Ta snov ima drugačen IR-spekter kot polimerni material na "zlati" strani (slika 4b). Spekter je prešibak, da bi lahko ugotovili, kateri snovi pripada.

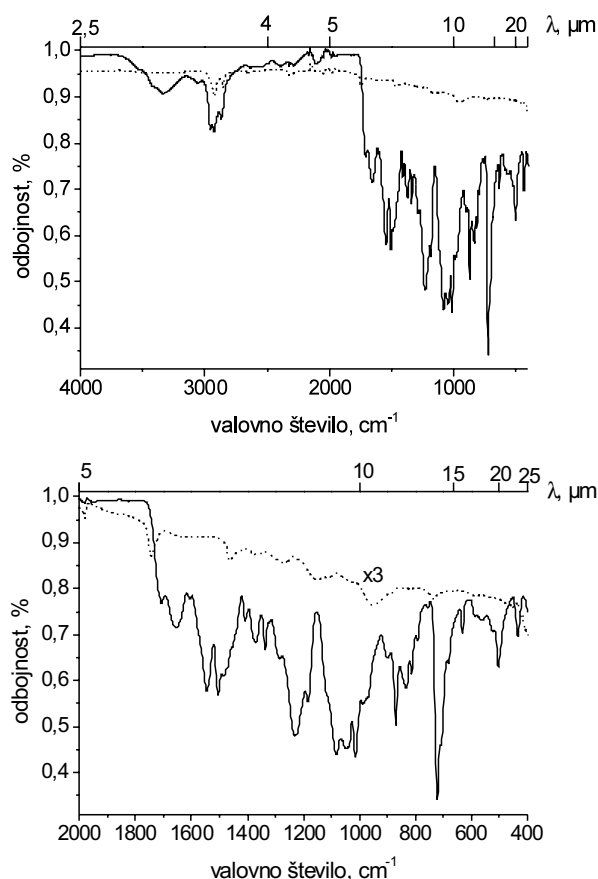
4.2 Delovanje folije

Pri danem vpadnem kotu vzporednega pramena svetlobe je prepustnost kateregakoli vzorca simetrična funkcija. Zato izmerimo popolnoma enak spekter prepustnosti, ne glede na to, katero stran vzorca obrnemo proti izviru. Prepustnost folije je v obeh spektralnih področjih nižja od 0,5 %, razen okoli 1000 nm, kjer se približa 1 %. Prepustnost vzporednega pramena svetlobe z vpadnim kotom narašča, vendar ostaja zanemarljivo majhna. Toplotni tok, ki ga izseva telo in preide folijo (j_{iz} , enačba (1)), je torej zanemarljiv. To pomeni, da folija ne prepušča toplote, ne glede na to, kako jo obrnemo, ko se ovijemo vanjo.

Spekter hemisferične odbojnosti $\rho(\lambda)$ je odvisen od strani folije, ki je pri meritvi obrnjena proti izviru sevanja oziroma v notranjost integracijske kroglice. Preko enačbe (7b) ta dva spektra določata delež toplotnega toka j_{odb} , ki se odbije na foliji, kadar je proti telesu obrnjena "srebrna" oz. "zlata" stran folije. Na



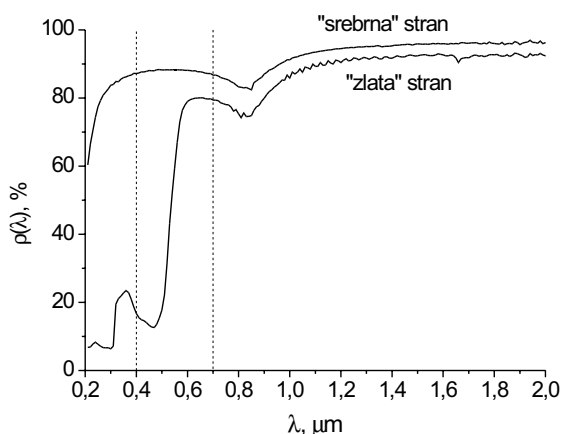
Slika 3: Profilni diagram AES astrofolije, ki prikazuje plast aluminija (Al) z naravno oksidno plastjo (~1 nm) na površini. Plast aluminija je debela ~15 nm in se nahaja na polimerni podlagi (C, O).



Slika 4: IR-ATR-spektra folije na "zlati" (polna črta) in "srebrni" strani (črtkano) v celotnem območju (a) in v "fingerprint" območju (b). Tu je spekter "srebrne" strani folije navpično raztegnjen s faktorjem 3.

sliki 5 sta prikazana spektra obeh strani folije v spektralnem območju UV-VIS-NIR. Ugotavljamo, da je razlika med njima največja v UV-VIS-območju, pri večjih valovnih dolžinah (NIR) pa je razlika zelo majhna. V področju vidne svetlobe dobimo značilna spektra srebrno-sive barve za "srebrno" stran folije in zlato-rumene barve za "zlato" stran folije. Na sliki 6 sta prikazana spektra totalne hemisferične odbojnosti obeh strani folije v celotnem območju merjenja. Merilni območji obeh spektrofotometrov smo združili pri 2,2 μm , kjer smo dosegli skoraj idealno ujemanje odbojnosti v obeh spektrofotometrih. Večji šum na tem območju je posledica majhne razpoložljive energije pri merjenju.

Na sliki 6 je prikazana tudi spektralna gostota sevalnega toka, ki ga seva črno telo pri 310 K. Ugotavljamo, da tako telo seva najizdatneje pri valovnih dolžinah, kjer sta odbojnosti folije najbolj različni: odbojnost "zlate" strani je najmanjša, odbojnost "srebrne" pa največja. Za kvantifikacijo efekta izračunamo delne sevalne tokove v celotnem merilnem območju za tri primere: delni tok, ki ga izseva telo (enačba (4)) ter delna tokova, ki se odbijeta od folije na obeh straneh (enačba (7b)). Rezultati so zbrani v tabeli 1. Na "srebrni" strani folije se odbije 98 % delnega sevalnega toka, ki ga izseva telo, na



Slika 5: Totalna hemisferična odbojnost folije na "srebrni" in "zlata" strani. Označeni sta meji vidnega (VIS) spektralnega območja. Pri manjših λ je UV, pri večjih pa NIR spektralno območje.

"zlata" strani pa le 39 %. Razlika odbitih delnih tokov pri enakih pogojih je 203 W/m^2 .

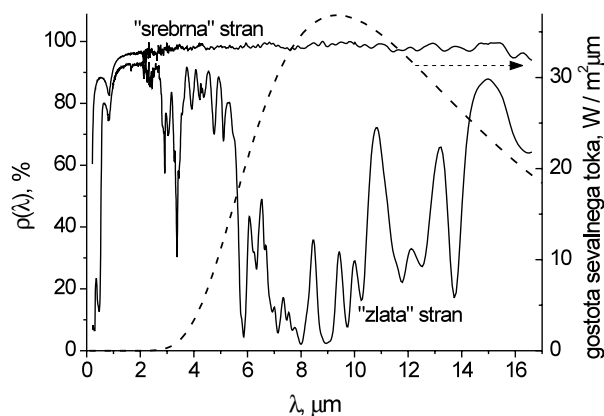
Tabela 1: Delni sevalni tok $j^{(\lambda)}$, ki ga izseva človeško telo (črno telo pri $T = 37 \text{ }^\circ\text{C} = 310 \text{ K}$) in delna sevalna tokova, ki se odbijeta na "zlata" in "srebrni" strani folije. Delni tokovi so računani po enačbah (4) in (7b) preko celotnega merilnega območja (do $\lambda = 16,6 \text{ } \mu\text{m}$). V tem spektralnem območju zajamemo 65 % celotnega sevanja črnega telesa s temperaturo 310 K (glej tudi sliko 1).

Sevalni tok – opis	$j^{(\lambda)}$ / (W/m^2)
črno telo pri $T = 310 \text{ K}$	341,6
odboj na "zlata" strani folije	132,4
odboj na "srebrni" strani folije	335,7

Zaradi omejenih eksperimentalnih možnosti ne moremo v celoti kvantificirati sevalnih tokov. Z uporabo funkcij na sliki 1 ugotovimo, da zajamemo 65 % celotnega sevalnega toka črnega telesa. Preostali sevalni tok se razteza v daljnje IR-področje (glej sliko 1). Ker poznamo približno kemijsko sestavo folije, lahko ocenimo njene optične lastnosti v tem spektralnem področju. Zaradi zelo majhne prepustnosti plasti aluminija je prepustnost folije zanemarljivo majhna tudi pri bistveno večjih λ ⁽⁹⁾. Večina absorpcijskih trakov materialov na "zlata" strani folije je v merjenem spektralnem območju (glej tudi IR-ATR-spektre na sliki 3). Zato lahko sklepamo, da smo z dobljeno razliko delnih odbitih tokov (203 W/m^2 , tabela 1) zajeli večji del absorpcije.

5 SKLEP

Na podlagi opravljenih analiz lahko sklepamo na kemijsko sestavo folije. Osnovni material je PET-polimer, ki ga modificirajo z ustreznimi dodatki. Pomemben je predvsem dodatek, ki rumeno obarva folijo. Ker v AES-analizah ni bilo najti neorganskih materialov, sklepamo, da barvilna snov ni pigment, ampak neko organsko barvilo. Na modificirano in



Slika 6: Totalna hemisferična odbojnost folije na "srebrni" in "zlata" strani (polna črta) ter spektralna gostota sevalnega toka, ki ga izseva črno telo s $T = 310 \text{ K}$ (črtkana).

obarvano PET-folijo nanesejo tanko plast aluminija. Ker je plast aluminija dovolj debela, da ne prepušča vidne svetlobe, je celotna folija videti zlato-rumena le na eni strani, na drugi pa je srebrno-sive barve. Rumena barva sicer nima posebne funkcije pri termičnem delovanju folije, pač pa ima pomembno vlogo pri razlikovanju obeh strani zaradi različnega videza.

Kadar je telo ovito s folijo in je od nje izolirano tako, da je mogoče zanemariti prevajanje toplote telesa direktno skozi folijo, se toplota prenaša le s sevanjem. Prehod sevalnega toka telesa skozi folijo je zanemarljiv, ker je folija praktično neprepustna. Drugače je s sevalnim tokom, ki ga izseva telo, in se odbije od folije. Odbojnost folije je odvisna od strani, na kateri pride do odboja. Na "srebrni" strani se sevanje telesa odbije skoraj v celoti, na "zlata" strani pa le manjši delež. Preostanek sevanja absorbira folija. Zaradi tega se folija segreje, to toploto pa nato izseva v okolico. To poteče enakomerno na obeh straneh folije, torej proti telesu in v okolico ovitega telesa. Ker se zmanjšano toplotno sevanje s tem še prepolovi, je v veliki meri preprečeno pregrevanje telesa.

LITERATURA

- ¹Kladnik R., *Visokošolska fizika*, Mehanski in toplotni pojavi, DZS, Ljubljana, 1991
- ²Kladnik R., *Visokošolska fizika*, Valovni pojavi, DZS, Ljubljana, 1991
- ³<http://www.videcomp.com/reflectech/astrofoil.html>, september 2005
- ⁴American Institute of Physics Handbook, 3th edition, McGraw-Hill, 1982
- ⁵Sala A., *Radiant Properties of Materials*, Elsevier, Oxford, 1986
- ⁶Davis L. E., MacDonald N. C., Palmberg P. W., Riach G. E., Weber R. E., *Handbook of Auger Electron Spectroscopy*, 2nd ed., Physical Electronics Ind., Minnesota, 1976
- ⁷Suētaka W., Yates J. T., jr. *Surface Infrared and Raman Spectroscopy, Methods and Applications*, Plenum Press, New York, 1995
- ⁸*FDM ATR Spectra of Drugs*, Fiveash Data Management, Inc., 2002–2003
- ⁹Smith D. Y., Shiles E., Inokuti M., The optical properties of metallic aluminum, *Handbook of Optical Constants of Solids*, Ed. Palik D., Academic press, Inc., 1985, 369–406