

JASNA GALEKOVIĆ\*, VERONIKA MARINOVIĆ\*\*, ANDREA LEDIĆ\*\*\*

## NEDESTRUKTIVNE METODE VJEŠTAČENJA POLIMERNIH OSOBNIH ISPRAVA

### **Sažetak**

*Polimerni osobni dokumenti identifikacijske su i putne isprave koje se u cijelosti ili djelomično izrađuju od polimernih materijala. Sukladno odredbama Europske Unije, države članice EU u izradi osobnih dokumenata kartičnog formata (ID-1) koriste polimer polikarbonat (PC). Isprave izrađene od polikarbonata posjeduju visoku razinu sigurnosti budući polikarbonat omogućuje primjenu brojnih zaštitnih elemenata, a zbog širokog raspona temperaturne otpornosti, moguća je individualizacija isprava laserskim graviranjem.*

*Vještačenje spornih polimernih isprava provodi se u svrhu utvrđivanja jesu li iste krivotvorene te načina njihovog krivotvorenja.*

*Vještačenja polimernih isprava u pravilu se provode primjenom nedestruktivnih metoda ispitivanja bez oštećenja dokumenta (uzorka), no, u iznimnim se slučajevima mogu provesti i destruktivne metode.*

*U ovom radu opisane su nedestruktivne metode vještačenja polimernih isprava država članica EU. Video-spektralna analiza i stereomikroskopska analiza primjenjuju se radi utvrđivanja vjerodostojnosti obrazaca spornih polimernih isprava, načina izrade krivotvorenih isprava te tehnika korištenih za njihovu individualizaciju, dok se metoda IR spektroskopije s ATR tehnikom koristi za ispitivanje kemijskog sastava polimera krivotvorenih isprava u svrhu identifikacije polimera.*

*Za individualizaciju krivotvorenih putnih i identifikacijskih isprava izrađenih od polimera donedavno su korištene različite tehnike izrade, poput termalnog tiska i ispisa na pisačima. Međutim, u posljednje vrijeme pojavljuju se i krivotvorene isprave izrađene od polimera sličnih općih karakteristika polikarbonatu, a na kojima je izvršeno lasersko graviranje*

---

\* Naslovno nastavno zvanje predavač. Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“, MUP RH. Samostalni vještak za dokumente i rukopise

\*\* Naslovno nastavno zvanje predavač. Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“, MUP RH. Glavni vještak za kemijsko-fizikalna vještačenja

\*\*\* Naslovno nastavno zvanje predavač. Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“, MUP RH. Načelnica Centra

*fotografije i podataka nositelja, kao što je to slučaj kod legalno izdanih isprava izrađenih od polikarbonata.*

*Ovim radom pokazano je da se kod pojedinih krivotvorenih polimernih isprava treba provesti i ispitivanje kemijskog sastava polimera kako bi se identificirao polimer koji omogućuje uporabu laserskog graviranja.*

**Ključne riječi:** *osobne isprave, polimeri, laserska gravura, IR spektroskopija*

## 1. UVOD

Suvremene osobne isprave, kao što su osobne iskaznice, zdravstvene iskaznice, vozačke dozvole, bankovne kartice, studentske iskaznice i drugo, uglavnom se izrađuju u obliku kartica od polimernih materijala. Polimeri su sve sintetski priređene i modificirane prirodne makromolekule (Janović, 1997), polikarbonat (PC), polivinil klorid (PVC), polietilenteraftalat (PET), Teslin®, kompozit PET/PVC, akrilonitrilbutadienstiren (ABS) i drugi (Meštrović, 2018; Kovačić, Andričić, 2010).

Identifikacijske i putne isprave kartičnog formata država članica Europske Unije, poput osobnih iskaznica, vozačkih dozvola i dozvola boravka, izrađuju se od polikarbonata<sup>1</sup> koji omogućuje primjenu brojnih zaštitnih elemenata te individualizaciju laserskim graviranjem.

Nedestruktivne metode vještačenja spornih polimernih isprava provode se u svrhu utvrđivanja jesu li iste originalne ili se radi o krivotvorinama te načina izrade krivotvorenih isprava, a važnost nedestruktivnih metoda je u tome da nema oštećenja uzorka odnosno da nije potrebna priprema uzorka za vještačenje.

Primjena nedestruktivnih metoda omogućuje kontrolu istog uzorka u različitom vremenu, što im daje značajnu prednost u odnosu na destruktivne metode kod kojih se u postupku mjerenja uzorak mora uništiti. Nedestruktivne metode nam omogućuju brze informacije s vrlo jednostavnim postupkom mjerenja. U radu su opisane metode za nedestruktivno utvrđivanje vjerodostojnosti obrazaca spornih polimernih isprava te određivanje kemijskog sastava polimera (IR spektroskopija s ATR tehnikom).

Korištenje polimernih isprava u obliku kartica postalo je rutina u modernom društvu, a većina pojedinaca posjeduje nekoliko takvih kartica koje koriste u financijske, sigurnosne ili identifikacijske svrhe. Osobne iskaznice, dozvole boravka i vozačke dozvole glavna su meta krivotvoritelja, čineći gotovo 50% lažnih isprava otkrivenih u Europskoj uniji. Ove su krivotvorine usko povezane s različitim vidovima organiziranog kriminaliteta, a što predstavlja značajne sigurnosne i ekonomske prijetnje na europskoj i međunarodnoj razini (McGann i sur., 2020; EUROPOL, 2017).

---

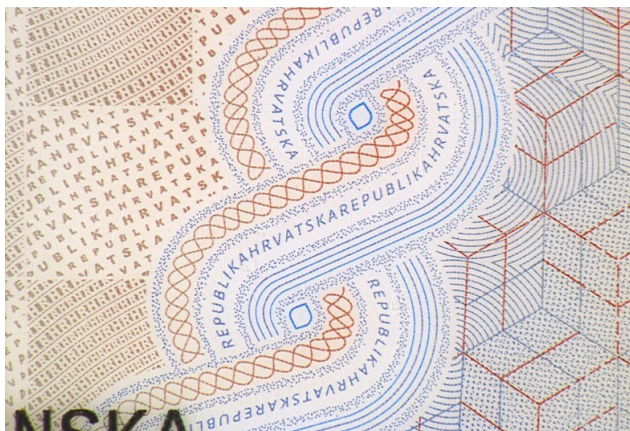
<sup>1</sup> False and Authentic Documents Online (FADO) – internetska baza podataka lažnih, krivotvorenih i vjerodostojnih isprava Vijeća Europske, uspostavljena je u skladu sa Zajedničkom akcijom Vijeća EU 98/700/JHA od 10. prosinca 1998. godine.

## 2. ISPITIVANJE VJERODOSTOJNOSTI OBRAZACA POLIMERNIH ISPRAVA

Prema direktivama Europske unije<sup>2</sup> (EU) za izradu osobnih dokumenata, kao što su osobne iskaznice i boravišne isprave formata ID-1, države članice obvezne su se koristiti polikarbonat (PC).

Polikarbonat je poliestar karbonatne kiseline i polivalentnih alkohola ili fenola i vodeći je materijal u izradi zaštićenih isprava. Tijekom proizvodnje polikarbonatnih isprava, više slojeva polikarbonatnih listova spajaju se u jednu cjelinu djelovanjem visokog tlaka i temperature, uslijed čega dolazi do povezivanja molekula polikarbonata te se dobiva homogena cjelina. Polikarbonat odlikuje kemijska inertnost, iznimna trajnost i veliko područje temperaturne otpornosti (Mršić, 2014: 110-111).

Ispitivanje vjerodostojnosti obrazaca spornih polimernih isprava provodi se primjenom nedestruktivnih metoda vještačenja, usporedbom s istovrsnim nespornim materijalom pohranjenim u internoj Zbirci originalnih dokumenata Centra<sup>3</sup>. Ispitivanje se provodi korištenjem suvremene instrumentalne opreme, poput video-spektralnog komparatora i stereomikroskopa. Stereomikroskopskom analizom utvrđuje se tehnika izrade obrazaca i način individualizacije spornih isprava. Tiskovna podloga originalnih polimernih isprava u pravilu se izrađuje ofset-nim tiskom te sadržava brojne zaštitne elemente, poput mikrotiska, kompleksnih, anti-kopirajućih motiva, iris-tiska i *guilloches*-a (Slika 1).



Slika 1. Zaštitna tiskovna podloga obrasca elektroničke osobne iskaznice (eOI) Republike Hrvatske

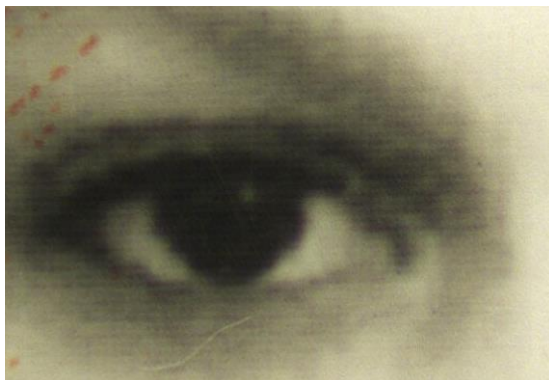
Izvor: Zbrička originalnih dokumenata CFIV "Ivan Vučetić"

<sup>2</sup> UREDBA (EU) 2017/1954 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 25. listopada 2017. o izmjeni Uredbe Vijeća (EZ) br. 1030/2002 o utvrđivanju jedinstvenog obrasca boravišnih dozvola za državljane trećih zemalja UREDBA (EU) 2019/1157 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 20. lipnja 2019. o jačanju sigurnosti osobnih iskaznica građana Unije i boravišnih isprava koje se izdaju građanima Unije i članovima njihovih obitelji koji ostvaruju pravo na slobodno kretanje

<sup>3</sup> Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“

Daljnjom video-spektralnom analizom utvrđuje se sadrži li ispitivana polimerna isprava potrebne zaštitne elemente, poput difraktivnog optički promjenjivog zaštitnog elementa, optički promjenjive tinte (engl. *Optically Variable Ink*, OVI), fluorescentne tinte i dr.

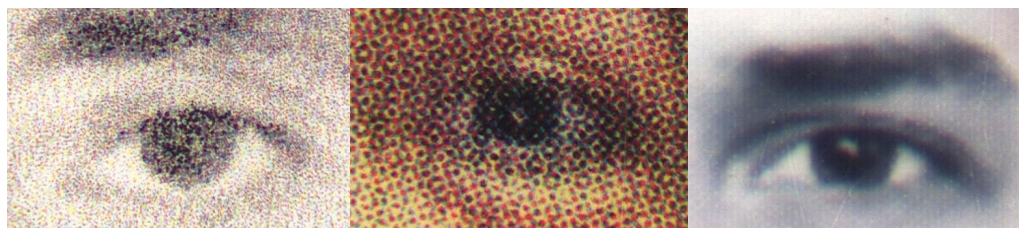
Na legalno izdanim ispravama izrađenim od polikarbonata individualizacija se provodi uporabom suvremene tehnologije laserskog graviranja. Lasersko graviranje predstavlja tehniku individualizacije kod koje laserska zraka odgovarajuće valne duljine dolazi u doticaj s polikarbonatnim slojem unutar kartice koji je osjetljiv na djelovanje laserske zrake budući je obogaćen ugljikom te dolazi do kemijske reakcije čija je posljedica karbonizirani izgled slike ili teksta (Slika 2). Laserskim graviranjem dobiva se trajni zapis koji je kemijski inertan i ne blijedi, ne mijenja boju niti migrira unutar strukture polikarbonata, a što predstavlja dobar vid zaštite od krivotvorenja izmjenom fotografije i/ili podataka nositelja isprave. Pored toga, na polikarbonatnim ispravama moguće je uporabom lasera implementirati suvremene zaštitne elemente poput promjenjive laserske slike i laserske perforacije.



*Slika 2. Uvećani detalj laserski gravirane fotografije nositelja na izvornoj ispravi*

*Izvor: Zbirka originalnih dokumenata, CFIV „Ivan Vučetić“*

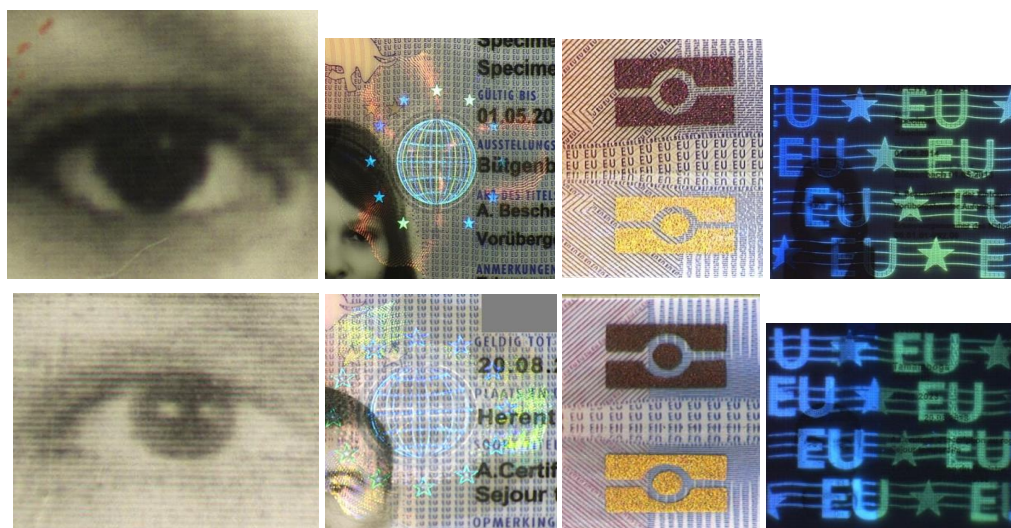
Karakteristike izgleda laserskog graviranja moguće je detektirati i prilikom provjere na prvoj liniji granične kontrole te je već uporabom povećala od 10x moguće diferencirati lasersku gravuru od ispisa pomoću tintnog (inkjet) i laserskog pisača ili termalnog tiska (termosublamacija, termalni transfer), a koje su tehnike individualizacije do nedavno korištene na krivotvorenim ispravama kartičnog formata izrađenim od polimera (Slika 3).



Slika 3. Individualizacija polimernih isprava tintnim pisačem (lijevo), laserskim pisačem (sredina) i termosublimacijom (desno)

Izvor: Zbirka krivotvorenih dokumenata, CFIIV „Ivan Vučetić“

No, svjedoci smo sve učestalijeg novog pojavnog oblika krivotvorenja osobnih iskaznica, boravišnih iskaznica i drugih isprava izrađenih od polimera, na kojima su fotografija nositelja i podaci laserski gravirani, kao što je to slučaj kod legalno izdanih isprava izrađenih od polikarbonata. Osim laserske gravure, predmetne krivotvorene isprave posjeduju i dobro imitirane zaštitne elemente, poput UV-zaštite i optički promjenjivih zaštitnih elemenata, a koji se u pravilu provjeravaju prilikom provođenja granične kontrole (Slika 4).



Slika 4. Laserska gravura i zaštitni elementi izvorne isprave (gore) te laserska gravura i imitacija zaštitnih elemenata na krivotvorenim ispravama (dolje)

Izvor: Zbirke originalnih i krivotvorenih dokumenata, CFIIV „Ivan Vučetić“

Zbog sve učestalije pojave krivotvorenih polimernih isprava s laserski graviranom fotografijom i podacima nositelja i vrlo dobro imitiranim zaštitnim obilježjima legalno izdanih isprava izrađenih od polikarbonata, bilo je potrebno provesti dodatna ispitivanja u cilju utvrđivanja vrste polimernog materijala korištenog za njihovu izradu. Posebice stoga što se individualizacija laserskim graviranjem dovodila u vezu isključivo s polikarbonatom te se pregledom laserski graviranih krivotvorenih isprava od strane policijskih službenika koji obavljaju poslove granične kontrole, moglo pogrešno zaključiti kako se radi o legalno izdanoj ispravi izrađenoj od polikarbonata.

### 3. ISPITIVANJE KEMIJSKOG SASTAVA POLIMERA POLIMERNIH ISPRAVA

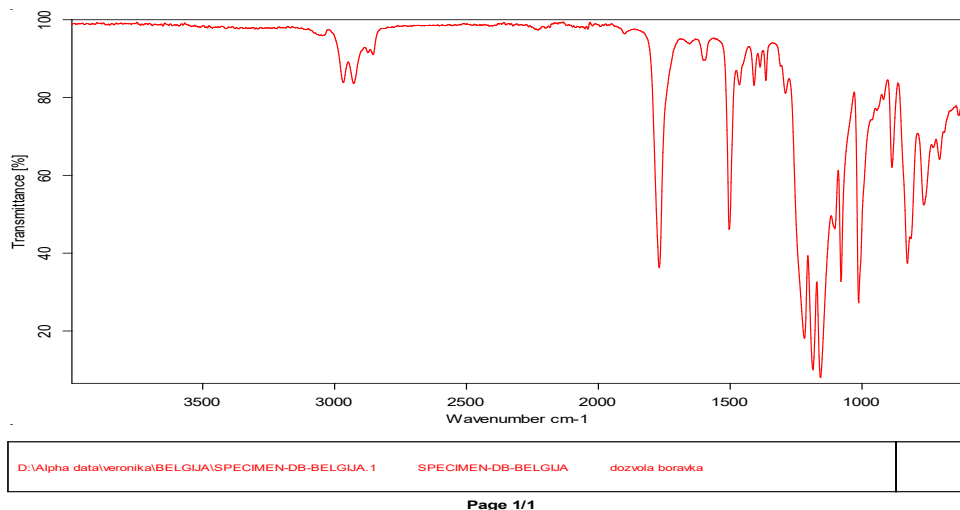
Ispitivanje kemijskog sastava polimera može se provesti različitim destruktivnim ili nedestruktivnim metodama, a odabir metode ovisi o vrsti uzorka, količini uzorka kao i tome što se ispitivanjem želi postići odnosno koje informacije o kemijskom sastavu uzorka trebamo dobiti. Kod ispitivanja kemijskog sastava polimera od kojih su izrađene polimerne isprave važno je odabrati nedestruktivnu metodu odnosno metodu kod koje nije potrebna priprema uzorka za ispitivanje kemijskog sastava te stoga neće doći do oštećenja polimerne isprave. Iako se ispitivanje kemijskog sastava polimera može provesti različitim metodama, nedestruktivna metoda IR-spektroskopije s ATR tehnikom kod koje nije potrebna priprema uzorka je pouzdana metoda za ispitivanje kemijskog sastava polimera od kojih su izrađene polimerne isprave.

#### 3.1. IR spektroskopija s ATR tehnikom

##### a) IR-spektroskopija

Spektroskopija je znanstvena disciplina koja proučava interakciju elektromagnetskog zračenja i tvari, a ta interakcija obuhvaća procese emisije, apsorpcije i raspršenja zračenja. IR spektroskopija temelji se na interakciji tvari i elektromagnetskog zračenja koje obuhvaća proces apsorpcije zračenja. Infracrveno zračenje (engl. *infrared*, IR) pokriva spektar elektromagnetskog zračenja koje obuhvaća valne duljine od 780 do 500000 nm (izraženo preko valnog broja od 12820 do 10  $\text{cm}^{-1}$ ). Infracrvena spektroskopija (engl. *Infrared spectroscopy*) se, u ovisnosti o području valnih duljina koje koristi, dijeli na: blisku infracrvenu (engl. *near infrared*, NIR), srednju infracrvenu (eng. *middle infrared*, MIR) i daleku infracrvenu spektroskopiju (engl. *far infrared*, FIR). Međutim, u IR spektroskopiji se umjesto valne duljine češće koristi valni broj koji je recipročna vrijednost valne duljine pa su područja infracrvenog zračenja izražena preko valnog broja sljedeća: blisko infracrveno zračenje (*NIR*) od 12820-4000  $\text{cm}^{-1}$ , srednje infracrveno zračenje (*MIR*) od 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  i daleko infracrveno zračenje (*FIR*) od 400-10  $\text{cm}^{-1}$ . Većina tvari selektivno apsorbira IR zračenje i daje karakterističan IR spektar (Slika 5).

IR spektar je snimka apsorbiranog zračenja kao funkcija valne duljine koja daje važne informacije o kemijskoj prirodi i molekulskoj strukturi tvari (Günzel, Gremlich, 2006). IR spektroskopija je najpopularnija metoda za određivanje kemijskog sastava i identifikaciju različitih tvari pa tako i polimera. Činjenice zbog kojih je ova metoda interesantna i zbog čega se izdvaja u odnosu na druge su efikasnost i brzina mjerenja, kao i visoka informacijska vrijednost IR spektra.



Slika 5. IR-spektar polimera polikarbonata (PC).

## b) ATR tehnika

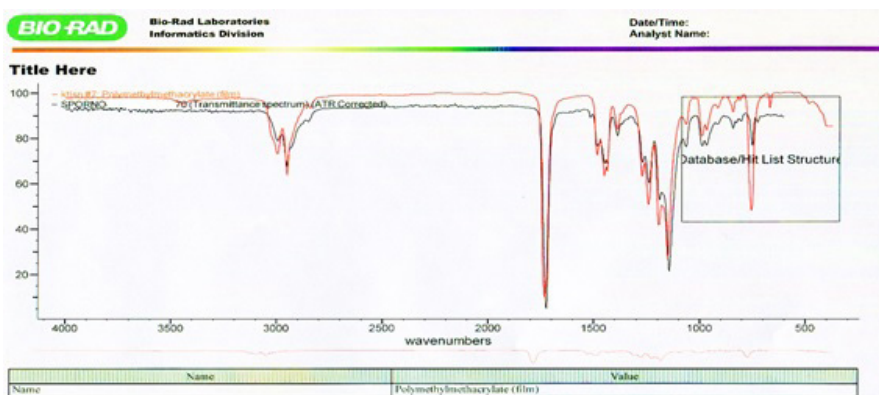
Spektroskopija prigušene totalne refleksije (engl. *attenuated total reflectance*, ATR) je tehnika koja se koristi u IR spektroskopiji, a velika prednost ove tehnike je mogućnost ispitivanja širokog izbora čvrstih i tekućih uzoraka i to bez kompleksne pripreme samog uzorka (McGann, 2020; Bruker Corporation, 2022). Najbitniji dio dodatka za ATR tehniku je ATR kristal, pri čemu su najčešće korišteni kristali dijamant C, cinkov selenid (ZnSe) i germanij (Ge). Kriteriji koje treba uzeti u obzir prilikom odabira ATR kristala su: indeks loma kristala, spektralni opseg, fizikalno-kemijske osobine kristala i osjetljivost. Kako bi se ATR tehnika mogla uspješno primjenjivati, uzorak mora biti u direktnom i čvrstom kontaktu s kristalom, a indeks loma kristala mora biti značajno veći od indeksa loma uzorka. Indeksi loma kristala imaju vrijednosti u rasponu od 2.4 do 4.0, a vrijednosti indeksa loma za polimere su u rasponu od 1.2 do 1.5. (Bruker Corporation, 2022). Većina ATR kristala je dizajnirana kao horizontalni kristali kako bi se osigurao dobar kontakt uzorka i površine ATR kristala. ATR je postao glavna mjerna tehnika u IR spektroskopiji i to iz sljedećih razloga: brže uzorkovanje bez pripreme, dobra ponovljivost ispitivanja te minimalne varijacije rezultata uzrokovane operaterom.

### c) Uvjeti snimanja IR spektra (metoda IR-spektroskopije s ATR tehnikom)

Prije snimanja IR spektra polimernih isprava nije potrebna posebna priprema uzorka. Polimerne isprave se moraju obrisati staničevinom natopljenom etanolom ( $W=70\%$ ) kako bi se uklonile nečistoće s površine, a na isti način potrebno je očistiti i ATR kristal. Uvjeti analize odnosno snimanja IR spektra ovise o instrumentalnoj opremi, a snimanje IR spektara uzoraka polimernih isprava obično se provodi u području od 4000 do 400  $\text{cm}^{-1}$  uz 10 ciklusa snimanja i razlučivost od 4  $\text{cm}^{-1}$ . Polimerne isprave stavljaju na površinu ATR kristala, a okretanjem preše u smjeru kazaljke na satu do krajnjeg položaja može se, zbog jakog pritiska preše na površinu ATR kristala, postići dobar kontakt s uzorkom polimerne isprave. Svi uzorci polimernih isprava se snimaju u triplikatu (i to sa vanjskih strana kartice) kako bi se procijenila ponovljivost rezultata analiza. Snimanje IR spektara provodi se pomoću uređaja IR spektrometra s ATR tehnikom.

### d) Baze IR spektara

Dobiveni analitički podaci (IR spektri) omogućuju prepoznavanje analiziranog uzorka. U tu svrhu mogu se usporediti dobiveni IR spektri uzorka sa spektrima referentnih materijala ili gotovih zbirki koje prodaju proizvođači opreme. Softver omogućuje pretraživanje baze podataka i pristup informacijama o sastavu materije (uzorka) koju pretražujemo. Svaki forenzični laboratorij stvara svoje baze IR spektara različitih tvari koje se koriste u identifikaciji tragova odnosno uzoraka, a kako bi se omogućila dostupnost podataka i njihovo širenje/dijeljenje, što je od velikog značaja u forenzičnoj istrazi, nužna je suradnja između forenzičnih laboratorija. U konkretnom slučaju, usporedbom IR spektara krivotvorene polimerne isprave s IR spektrima iz dostupnih baza podataka može se utvrditi kemijski sastav polimera, odnosno, može se identificirati da polimer krivotvorene isprave nije polikarbonat već se radi o polimetilmetakrilatu (PMMA), poznatijem pod nazivom pleksiglas (Slika 6).



Slika 6. IR spektar krivotvorene polimerne isprave države članice EU (crni IR-spektar) uspoređen s IR spektrom polimetilmetakrilata (PMMA) iz baze podataka (crveni IR-spektar).



#### 4. ZAKLJUČAK

Vještačenje polimernih isprava može se provesti različitim destruktivnim ili nedestruktivnim metodama, međutim, prednost se daje nedestruktivnim metodama kod kojih nije potrebna priprema uzorka.

U ovom radu su opisane nedestruktivne metode vještačenja polimernih isprava država članica EU:

- video-spektralna analiza i stereomikroskopska analiza koje se koriste za utvrđivanje vjerodostojnosti obrazaca spornih polimernih isprava, načina izrade spornih isprava te tehnika korištenih za njihovu individualizaciju;
- metoda IR spektroskopije s ATR tehnikom koja se koristi za ispitivanje kemijskog sastava polimera krivotvorenih isprava u svrhu identifikacije polimera.

Kod pojedinih krivotvorenih polimernih osobnih isprava potrebno je, uz video-spektralnu i stereomikroskopsku analizu, provesti i ispitivanje kemijskog sastava polimera kako bi se identificirao polimer koji omogućuje uporabu laserskog graviranja.

Premda se ispitivanje kemijskog sastava polimera može provesti različitim metodama, nedestruktivna metoda IR-spektroskopije s ATR tehnikom, kod koje nije potrebna priprema uzorka, je najpopularnija i pouzdana metoda za ispitivanje kemijskog sastava polimera u svrhu identifikacije polimera koji se koriste za izradu polimernih isprava, a zbog efikasnosti i brzine mjerenja, kao i visoke informacijske vrijednosti IR spektra.

#### LITERATURA

- Bruker Corporation (2022). <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy/atr-attenuated-total-reflectance.html>; 02.06.2023.
- EUROPOL (2017). <https://www.europol.europa.eu/publications-events/main-reports/european-union-serious-and-organised-crime-threat-assessment-2017>; 28.05.2023.
- Günzel, H., Gremlich, H. (2006). *Uvod u infracrvenu spektroskopiju*. Zagreb: Školska knjiga.
- Janović, Z. (1997). *Polimerizacije i polimeri*. Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa. Zagreb.
- Kovačić, T., Andričić, B. (2010). *Struktura i svojstva polimera*. Kemijsko-tehnološki fakultet. Split: Sveučilište u Splitu.
- McGann, J., Willans, M., Sauzier, G., Hackett, M.J., Lewis, S.W., McGinn, J., Trubshoe, T., Bronswijk, W. (2020). *Investigation diversity in polymer-based identity cards using ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics*. Forensic Science International: Reports 2,100149.

Meštrović, M. (2018). *Zaštita osobnih podataka na identifikacijskim dokumentima*. Završni rad, Grafički fakultet. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.

Mršić, G., Galeković, J., Ledić, A., Risović, A., Škavić, N. (2014). *Forenzika dokumenata, novca i rukopisa*. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada.

JASNA GALEKOVIĆ\*, VERONIKA MARINOVIĆ\*\*, ANDREA LEDIĆ\*\*\*

## NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR THE EXAMINATION OF IDENTITY DOCUMENTS MADE OF POLYMERS

### *Abstract*

*Modern identification and travel documents are made entirely or partially of polymers. According to the European Union regulations, identity documents in card format (ID-1) issued by EU member states are made of polycarbonate (PC). Identity documents made of polycarbonate are well protected because it is possible to incorporate various modern fraud-resistant security features. Due to the wide range of temperature resistance, polycarbonate documents can be individualised by laser engraving.*

*Forensic examination of polymer identity documents is carried out to determine whether they are forged and the methods used for their production.*

*Forensic examinations of polymer documents are carried out using non-destructive methods without damaging the document (sample), but in exceptional cases, destructive methods can also be carried out.*

*This paper describes the non-destructive methods of forensic examination of polymer documents of the EU member states: video-spectral analysis and stereomicroscopic analysis are used to determine the authenticity of disputed polymer documents, the method used to produce counterfeit documents and the techniques used for their individualisation. In contrast, the IR spectroscopy method is used to test the chemical composition of the polymer of counterfeit documents to identify the polymer used.*

*Until recently, various printing techniques, such as thermal printing, laser or inkjet printing, have been used for the individualisation of counterfeit travel and identity documents made of polymers. However, recently, there have also been counterfeit documents made of polymers with similar general characteristics to polycarbonate, on which the holder's photo and data have been laser engraved, as is the case with legally issued documents made of polycarbonate.*

*This work will show that in the case of certain counterfeit polymer documents, it is necessary to conduct an additional examination of the chemical composition of the polymer in order to identify the polymer that enables the use of laser engraving.*

**Keywords:** counterfeit documents, polymers, laser engraving, IR-spectroscopy.

---

\* Forensic Science Centre „Ivan Vučetić“, Ministry of the Interior

\*\* Forensic Science Centre „Ivan Vučetić“, Ministry of the Interior

\*\*\* Forensic Science Centre „Ivan Vučetić“, Ministry of the Interior