

Primjena reflektirajuće infracrvene fotografije u forenzici

Jerković, Ivan

Source / Izvornik: **Policija i sigurnost, 2020, 29, 246 - 267**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:227:356991>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**

SVEUČILIŠTE
U
SPLITU



SVEUČILIŠNI
ODJEL ZA
FORENZIČNE
ZNANOSTI

Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department for Forensic Sciences](#)



UNIVERSITY OF SPLIT

The logo for 'dabar', featuring a stylized black and red graphic above the word 'dabar' in a lowercase, sans-serif font.
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

IVAN JERKOVIĆ*

Primjena reflektirajuće infracrvene fotografije u forenzici

Sažetak

Uloga fotografije u forenzici nije samo dokumentiranje mjesta događaja, već otkrivanje i dokumentiranje nevidljivih i slabo vidljivih tragova, a može biti i dokazno sredstvo kad tragove nije moguće fizički izuzeti s mjesta događaja. U tome kontekstu posebno je važna infracrvena (IC) fotografija koja omogućuje vizualizaciju tragova na temelju njihovih različitih svojstava apsorpcije, reflektiranja i transmisije IC zračenja. Stoga je cilj ovoga rada stremio analizirati dostupna tehnička rješenja za snimanje IC fotografija te mogućnosti njihove primjene u forenzici.

Pretragom podatkovne baze Web of Science u razdoblju od 2000. do 2019. pronađena su 23 rada koja se bave primjenom IC fotografije u forenzici. Pokazano je da je IC fotografija prikladna za otkrivanje i/ili poboljšanje vidljivosti raznih vrsta tragova. Uspješno je primijenjena na tragovima krvi na tamnim i raznobojnim površinama, kao i na površinama koje su prebojene ili zahvaćene vatrom. Također ju je bilo moguće primijeniti za otkrivanje tragova barutnih čestica na tamnim materijalima te za poboljšavanje vidljivosti tragova papilarnih linija na raznobojnim pozadinama. Istraživanja pokazuju i primjenjivost u otkrivanju i dokumentiranju loše vidljivih, preinačenih i laserski uklonjenih tetovaža, modrica i tragova ugriza, a katkad i u dokumentiranju nalaza obdukcije.

Za snimanje IC fotografija nisu potrebna velika ulaganja, nego je dostatno s DSLR fotoaparata ukloniti filter koji blokira IC zračenje te uporabiti jedan od filtera koji blokiraju svjetlost iz vidljivoga spektra. Iako se način snimanja ne razlikuje puno od standardne fotografije, brojna svojstva materijala utječu na rezultate, pa je ishod često neizvjestan i ne postoje univerzalno primjenjive postavke.

Ključne riječi: forenzika, forenzična fotografija, infracrvena fotografija, nevidljivi tragovi, slabo vidljivi tragovi, dokumentiranje tragova.

* dr. sc. Ivan Jerković, Sveučilišni odjel za forenzične znanosti, Sveučilište u Splitu, Hrvatska.

1. UVOD

Uz fiksiranje zapisnikom i situacijskim planom, fotografija je jedan od standardnih i obvezatnih postupaka za fiksiranje činjeničnoga stanja na mjestu kaznenoga događaja i osiguranje traseološkoga dokaznog lanca (Narodne novine broj: 152/08., 76/09., 80/11., 121/11., 91/12., 143/12., 56/13., 145/13., 152/14., 70/17., 126/19., 126/19.). Međutim, uloga je fotografije znatno šira od pukoga „dokumentiranja mjesta događaja“. To uključuje bilježenje i očuvanje početnoga stanja na mjestu događaja, prikaz relativnih prostornih odnosa tragova i mjesta događaja, prikaz dimenzija tragova, kao i nadopunjavanje ostalih tehnika fiksiranja (Shaler, 2011). Povrh toga, često se zanemaruje to da sve tragove nije uvijek moguće fizički izuzeti s mjesta događaja, pa je pokatkad fotografija jedini način kojim se mogu „izuzeti“ takvi tragovi. Ako su fotografije snimljene prema propisanim pravilima, u odgovarajućem formatu i razini razlučivosti, mogu se rabiti kao i svi drugi tragovi u vještačenjima i analizi u forenzičnim laboratorijima te se mogu uspoređivati s nespornim uzorcima. U međunarodnoj se literaturi takve fotografije nazivaju poredbenim detaljnim fotografijama te se redovito rabe u forenzičnim ispitivanjima (engl. *examination quality photograph* ili *critical comparison photograph*) (Robinson, 2012; Robinson, 2016).

Jedna je od važnih dodatnih odlika forenzične fotografije činjenica da se njome katkad može služiti kao sredstvom za pretraživanje mjesta događaja, odnosno otkrivanje i dokumentiranje tragova nevidljivih ili slabo vidljivih golim okom (Robinson, 2016). Brojni autori koji se bave forenzičnom fotografijom opisuju vrlo široke mogućnosti primjene fotografije u infracrvenome području, počevši od otkrivanja i dokumentiranja otisaka, bioloških tragova, tragova pucanja, tetovaža, ispitivanja spornih dokumenata; pa sve do dokumentiranja nalaza obdukcije i drugih identifikacijskih obilježja (Duncan, 2015; Mancini i Sidoriak, 2017; Marsh, 2014; Robinson, 2016; Russ, 2001). Međutim, s obzirom na brze promjene u forenzičnim znanostima i veliki broj istraživanja, do danas ta istraživanja nisu sustavno obuhvaćena i analizirana, a sami postupci snimanja takvih fotografija nisu standardizirani.

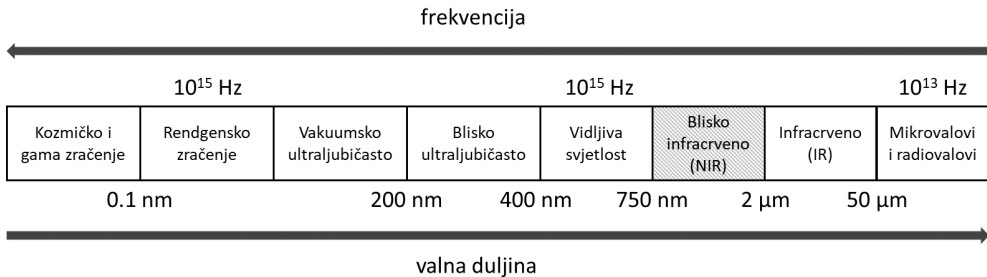
Upravo stoga, cilj je ovoga rada analizirati preduvjete i tehničke odrednice za snimanje infracrvenih fotografija te kritički analizirati mogućnosti primjene infracrvene fotografije u forenzici prema dosadašnjim istraživanjima.

2. INFRACRVENA FOTOGRAFIJA

2.1. Temeljna načela infracrvene fotografije

Infracrvena je fotografija tehnika koja se rabi u umjetničkoj fotografiji, no jednako tako i u forenzičnim znanostima gdje omogućuje otkrivanje i dokumentiranje objekata koji su u uobičajenim uvjetima nevidljivi ljudskom oku. Svjetlo koje je čovjeku vidljivo nalazi se u spektru elektromagnetskoga zračenja valne duljine od oko 380 nm do 750 nm (slika 1). Ispod donje granice (10 nm – 380 nm) nalazi se područje ultraljubičastoga (UV) zračenja, dok se područje iznad gornje granice vidljivoga spektra (750 nm – 1 mm) naziva područjem infracrvenoga (IC) zračenja. U kontekstu infracrvene fotografije, posebno je važan dio infracrvenoga zračenja, tzv. blisko infracrveno područje (engl. *near-infrared* - *NIR*) u rasponu valne duljine od oko 750 nm do 1400 nm, jer se nalazi u području koje mogu zabilježiti osjetnici

(senzori) digitalnih fotoaparata (do oko 1200 nm) (Baker i sur., 2012; Gardner i Krouskup, 2016; Marsh, 2014).



Slika 1: Pojednostavljeni prikaz spektra elektromagnetskih valova (prema <http://duiattorney-info.blogspot.com/2012/02/diy-infrared-camera-filter.html> - 10. 12. 2019.)

Osnovno svojstvo koje čini infracrvenu fotografiju primjenjivom u forenzičnim znanostima jest to što ona katkad omogućuje razlikovanje objekata koji izgledaju gotovo jednako u vidljivome rasponu svjetlosti na temelju njihova različitoga ponašanja kada su izloženi infracrvenomu svjetlu (Farrar i sur., 2012). Naime, kada je objekt fotografiran u takvim uvjetima – onda postoje tri moguća ishoda (Marsh, 2014):

- 1) objekt će apsorbirati IC zračenje i postati tamnijim
- 2) objekt će reflektirati IC zračenje i postati svjetlijim ili posve bijelim
- 3) objekt će transmitirati IC zračenje, postati nevidljivim i tako otkriti što se nalazi ispod njega.

Fotografija nastala takvim postupkom, odnosno odbijanjem IC svjetlosti od objekta koji se fotografira, naziva se reflektirajućom infracrvenom fotografijom (engl. *reflected infrared photograph*) (Robinson, 2016).

Uz rečeno, postoji i mogućnost da objekt pretvori IC zračenje u zračenje veće valne duljine, odnosno da se izazove luminiscencija u infracrvenome spektru. Luminiscencija se obično izaziva pobudnim izvorom svjetlosti valne duljine oko 450 nm ili oko 514 nm te se takva fotografija naziva luminiscirajućom infracrvenom fotografijom (engl. *infrared luminescent photograph*). Luminiscentna svojstva tvari razmjerno su rijetka i uglavnom se rabe za ispitivanje različitih tinta pri forenzičnoj analizi spornih dokumenata (Mancini i Sidoriak, 2017; Marsh, 2014; Robinson, 2016). Stoga, u ovom će se radu ispitivati tehnike snimanja i primjene isključivo reflektirajuće infracrvene fotografije u forenzičnim znanostima.

2.2. Oprema za snimanje infracrvenih fotografija

U pravilu, svi fotoaparati mogu svojim osjetnicima zabilježiti dio infracrvenoga spektra, no proizvođači kvalitetnijih fotoaparata na osjetnike ugrađuju filtre za blokiranje IC svjetla, tzv. *hot mirror* filtre, zbog čega do osjetnika uglavnom dopire svjetlo vidljivoga spektra. Time se poboljšavaju optička svojstva fotoaparata, smanjuje kromatska aberacija te se opći izgled slike približava onomu koji se može vidjeti golim okom, posebice u pogledu realnosti prikaza boja (Farrar i sur., 2012; Gardner i Krouskup, 2016). Upravo stoga, klasičnim je digitalnim

zrcalno-refleksnim (engl. *digital single-lens reflex – DSLR*) fotoaparata otežano snimanje infracrvenih fotografija bez preinačivanja fotoaparata i/ili uporabe dodatne opreme (Duncan, 2015). Danas postoji nekoliko dostupnih rješenja od kojih svi imaju određenih prednosti i nedostataka, počevši od cijene, kakvoće slike, pa sve do praktičnosti i brzine uporabe, zbog čega ne postoje jedinstveni i standardizirani načini odabira opreme namijenjene uporabi u forenzičnome kontekstu.

Najdostupnije i najjeftinije rješenje svakako je primjena jednostavnih kompaktnih fotoaparata ili kamera mobitela, koji nemaju filtre za blokiranje infracrvenoga spektra svjetlosti ili kojima su ti filtri manje učinkoviti. Je li neki od takvih fotoaparata prikladan za snimanje infracrvenih fotografija ne može se unaprijed znati, no jednostavan je način kojim se to može provjeriti. Dostatno je, naime, usmjeriti daljinski upravljač televizora prema fotoaparatu i pritisnuti bilo koju od tipki. Ako se na slici ili na zaslonu fotoaparata može vidjeti svjetlo s prednjega dijela upravljača, to znači da fotoaparat može zabilježiti IC svjetlo te se u kombinaciji s nekim od filtara što blokiraju svjetlo iz vidljivoga područja može rabiti za snimanje infracrvenih fotografija (Mancini i Sidoriak, 2017). Koliko je to rješenje uputno rabiti u forenzici zaista je dvojbeno, uzevši u obzir da se zbog kakvoće fotografija i slabijih mogućnosti upravljanja fotoaparatom u forenzici nipošto ne preporučuje uporaba kompaktnih fotoaparata (Robinson, 2016).

Druga je mogućnost uporaba posebnih fotoaparata čija je osnovna namjena snimanje infracrvenih fotografija i primjena u znanstvene svrhe (u policiji, vojsci, medicini i istraživačkim djelatnostima). Nažalost, tržište ovakvim specijaliziranim fotoaparata je oskudno (Gardner i Krouskup, 2016; Mancini i Sidoriak, 2017). Koliko je poznato, trenutno postoji svega jedan komercijalno dostupan takav model fotoaparata (Fujifilm X-T1 UV/IR), dok se znatno jednostavnije može pribaviti preinačene modele standardnih DSLR fotoaparata ili prilagoditi postojeći DSLR fotoaparat za potrebe snimanja infracrvenih fotografija.

U pogledu načina preinake fotoaparata, odnosno pitanja je li preinaka uopće potrebna, ne postoji opće usuglašeno mišljenje. Naime, neki autori (Duncan, 2015) smatraju da, uzevši u obzir loš učinak uklanjanja filtara na standardnu fotografiju, preinačivanje fotoaparata otklanjanjem ugrađenih filtara nije potrebno, jer ti filtri u potpunosti ne sprječavaju IC zračenje da dođe do osjetnika, već „samo usporavaju snimanje infracrvene energije“ (Duncan, 2015: 335). Dakle, dostatno je na objektiv dodati jedan od infracrvenih filtara koji blokiraju određeni dio svjetlosti iz vidljivoga spektra te produžiti vrijeme ekspozicije onoliko koliko je potrebno da dovoljna količina IC svjetlosti dospije do osjetnika fotoaparata. Međutim, snimanje jedne fotografije u takvim uvjetima može potrajati i do nekoliko minuta, što nije samo pitanje dugotrajnosti postupka, već i narušavanja kakvoće slike koje može prouzročiti digitalni šum koji nastaje pri dugim ekspozicijama (Duncan, 2015).

Za snimanje infracrvenih fotografija najčešće se ipak primjenjuju preinačeni DSLR fotoaparati. Na tržištu se mogu nabaviti gotovi prilagođeni fotoaparati ili se može koristiti uslugama tvrtki koje se bave prilagodbom fotografske opreme, a moguće je i samostalno preinačiti fotoaparat prema uputama dostupnim na brojnim mrežnim stranicama (Duncan, 2015). Sve se preinake temelje na uklanjanju tvornički ugrađenoga filtra između osjetnika i zatvarača koji apsorbira IC svjetlo, čime se omogućuje fotografiranje i izvan vidljivoga spektra (do oko 1100 nm). Ako se tada želi fotografirati u infracrvenome spektru potrebno je još dodati filter koji blokira vidljivu svjetlost. To se također može napraviti na više načina, potpunom ili nepotpunom preinakom (Sterzik i Bohnert, 2016). Prva je mogućnost tzv. potpuna preinaka

(engl. *defined conversion*). Ona se postiže tako što se na mjesto uklonjenoga filtra postavlja drugi filtar koji blokira svjetlost iz vidljivoga spektra, zbog čega se takvim fotoaparatom može koristiti isključivo za snimanje fotografija u infracrvenome spektru. Druga je mogućnost nepotpuna preinaka (engl. *undefined conversion*), odnosno uporaba izmjenjivih filtara koji se s pomoću navoja mogu jednostavno pričvrstiti za objektiv, ali i vrlo brzo ukloniti (Sterzik i Bohnert, 2016). Takvim se fotoaparatom može koristiti i za snimanje uobičajenih fotografija u vidljivome spektru svjetlosti, no tada je poželjno uporabiti neke od objektivskih filtara koji blokiraju svjetlost valnih duljina izvan vidljivoga područja (Mancini i Sidoriak, 2017). S obzirom na to da su preinačeni fotoaparati i fotoaparati namijenjeni infracrvenoj fotografiji osjetljivi na IC zračenje, u usporedbi s onima kojima filtar za blokiranje nije odstranjen, puno su brži i omogućuju snimanje pri znatno kraćim ekspozicijama (Duncan, 2015).

Filtiri, fiksni ili promjenjivi, koji se rabe za blokiranje vidljivoga svjetla, odnosno za prijenos infracrvene energije, dostupni su pod različitim komercijalnim nazivima, no njihova je glavna tehnička značajka granična valna duljina. Tako primjerice filtar ograničen na 720 nm propušta samo svjetlost iznad te valne duljine. Granične vrijednosti filtara koje se rabe u forenzičnim znanostima obično su između 700 nm i 950 nm (Mancini i Sidoriak, 2017). Kako se u radu ne bi ponavljala činjenica da blokiraju svjetlost ispod određene valne duljine, u nastavku rada navodit će se skraćeno, npr. filtar od 720 nm.

Premda se ne smatra standardnom fotografskom opremom, moguće je koristiti se i videokamerama koje imaju mogućnost „noćnoga načina rada“ (engl. *night mode*). Odabirom toga načina na kamerama, sa senzora pomiče se IC filtar i time omogućuje snimanje u IC području. Neke kamere imaju vlastiti izvor svjetlosti, pa dodatno osvjetljenje nije potrebno, no ako se snima u osvijetljenim uvjetima, tada bi ipak trebalo dodati filtar (Gardner i Krouskup, 2016; Marsh, 2014; Robinson, 2016).

2.3. Tehničke postavke snimanja infracrvenih fotografija

Pri uporabi fotoaparata i objektivna koji su izvorno namijenjeni infracrvenoj fotografiji ili su kvalitetno potpuno preinačeni - nema velikih razlika u samome postupku snimanja u odnosu na standardno fotografiranje (Mancini i Sidoriak, 2017; Marsh, 2014). Ako je provedena mehaničko-optička kalibracija fotoaparata moguće je na jednak način koristiti se tražilom te funkcijom automatskoga izoštravanja (engl. *autofocus*) (Rost i sur., 2017). Također može pomoći ako objektivni imaju oznaku za infracrveno prema kojoj se može prilagoditi način izoštravanja (Mancini i Sidoriak, 2017). U suprotnome, s obzirom na to da se prilikom snimanja infracrvenih fotografija radi o spektru različitih valnih duljina od vidljivoga svjetla kojemu je fotoaparat izvorno namijenjen, fotografije je zahtjevnije pravilno izoštriti zbog pomaka fokusa kada se rabi filtar, pa je određivanje pravilne točke izoštravanja često ishod pokušaja i pogreške (Mancini i Sidoriak, 2017). To ponajviše dolazi do izražaja na nepotpuno preinačenim fotoaparatima kojima se filtar postavlja izravno na objektiv. U tom slučaju, filtar, koji je obično taman, blokira vidljivo svjetlo tako da fotograf u tražilu ili na zaslonu ne može vidjeti prizor prije snimanja same fotografije (Rost i sur., 2017). Taj se nedostatak može riješiti tako da se provede pokus kojim se bilježe razlike u pomaku fokusa kada se iste fotografije snime s filtrom i bez njega te se navedeni pomak uzme u obzir pri izoštravanju na idućim fotografijama (Duncan, 2015; Mancini i Sidoriak, 2017; Wright i Golden, 2010). Ipak, znatno

je jednostavnije i brže umjesto toga izoštriti prizor bez primjene filtra te namjestiti što manji otvor blende (npr. f/16) kako bi se učinak promjene točke izoštravanja sveo na zanemarivu razinu. To će vjerojatno zahtijevati i manju brzinu zatvarača, odnosno duže vrijeme snimanja pa se tada svakako preporučuje uporaba stativa (Duncan, 2015).

Na fotoaparatom namijenjenim IC snimanju i potpuno preinačenim fotoaparatom ugađanje je ekspozicije u pravilu slično kao i na standardnim fotoaparatom te su odstupanja od pravilne ekspozicije obično unutar pola jednoga koraka ekspozicije (Mancini i Sidoriak, 2017; Marsh, 2014). S druge strane, na nepreinačenim fotoaparatom kojima je filter samo dodan na objektiv ne može se točno izmjeriti svjetlost i odrediti pravilna ekspozicija. U takvim je slučajevima preporuka snimiti više pokusnih fotografija te tako doći do pravilno eksponirane fotografije. U prvom se koraku na fotoaparatu odabere ručno upravljanje ekspozicijom (tzv. *manual mode*) te se namjesti ISO vrijednost, otvor blende i brzina zatvarača pod normalnim svjetlosnim uvjetima tako da slika bude dobro eksponirana. Nakon toga se fotografira s filtrom, pregledava se slika te se prema potrebi poveća ili smanjuje brzina zatvarača ovisno o tome je li procijenjeno da fotografija treba biti tamnija ili svjetlija. Svakako je dobro izbjeći povećavanje otvora blende kako ne bi pomak fokusa došao do izražaja. Kao i pri fotografiranju u vidljivome spektru, i pri snimanju infracrvenih fotografija poželjno je koristiti se stupnjevanjem ekspozicije (engl. *bracketing*), odnosno postupkom automatskoga snimanja uzastopnih fotografija istoga prizora s različitim ekspozicijskim vrijednostima (više u Robinson, 2016) kako bi se dobila optimalno eksponirana fotografija (Duncan, 2015).

Pri fotografiranju infracrvenih fotografija dužim ekspozicijama katkad se događa da svjetlost vidljive valne duljine uđe u fotoaparat kroz tražilo i naruši kakvoću snimke. Taj se nedostatak može spriječiti prekrivanjem tražila tijekom fotografiranja. Uz to, može se dogoditi i da dođe do nastanka tzv. svijetlih točaka (engl. *hot spot*), odnosno područja na fotografiji koja su znatno svjetlija od okolnih dijelova. Ona nastaju kad dođe do odbijanja svjetla između filtra za blokiranje IC spektra i dijelova objektiva, no ta se pojava daje jednostavno spriječiti uporabom sjenila ili povećanjem žarišne daljine (Duncan, 2015).

Ponajveći izazov infracrvene fotografije jest to što ne postoje postavke snimanja koje su univerzalno primjenjive. Naime, iako postoje brojna istraživanja koja se bave vizualizacijom raznih forenzičnih tragova, nemoguće je unaprijed znati kako će se koji trag ili podloga ponašati kada su fotografirani u infracrvenome spektru, odnosno hoće li apsorbirati, reflektirati ili transmitirati IC zračenje. Razlog tomu je veliki broj varijabli koje na to utječu i brojnost njihovih svojstava poput boje, materijala, ali i samih svjetlosnih uvjeta. Stoga se i u tome kontekstu ponajčešće koristi pristupom pokušaja i pogreške te se fotografira uporabom različitih postavaka i filtera koji ograničavaju spektar svjetlosti ispod različitih valnih duljina, sve dok se ne dobije zadovoljavajući rezultat (Gardner i Krouskup, 2016). U pogledu samih tehničkih postavki fotografiranja, za okvirne početne postavke moguće je primijeniti prijedlog Wrighta i Golden (2010) koji preporučuju odabir ISO vrijednosti između 100 i 1600, otvora blende od f/8 do f/16 i brzinu zatvarača od 1/125 s do 1 s. Ipak, ako se takvom fotografijom namjerava koristiti kao dokazom, odnosno kao predmetom vještačenja, tada bi trebalo zadovoljiti posebna mjerila za snimanje, pohranu i obradbu detaljne poredbene fotografije (Robinson, 2016).

2.4. Svjetlosni uvjeti

Za infracrvenu fotografiju prikladni su brojni izvori svjetlosti, a među njima najbolji su oni koji odašilju najveću količinu infracrvenoga zračenja. Najjednostavnije je primijeniti pravilo da su to upravo oni izvori svjetlosti koji stvaraju najveću toplinu poput: dnevne svjetlosti, svjetala sa žarnim nitima, halogenih svjetala, električnih (inkandescentnih) žarulja, elektroničkih bljeskalica (bliceva) i forenzičnih dopunskih izvora svjetlosti. Iako je među rečenima ponajbolji izvor infracrvenoga zračenja sunce, sunčevom se svjetlosti kao izvorom nije uputno koristiti zbog velikih varijabilnosti, kao i nepotrebna izlaganja dokaznoga materijala (Duncan, 2015; McKechnie i sur., 2008; Wright i Golden, 2010). Također, nipošto ne bi trebalo rabiti suvremene štedne žarulje zbog izrazito niske količine IC zračenja (Marsh, 2014). Premda je moguće rabiti jake forenzične dopunske izvore svjetlosti s čistim infracrvenim svjetlom, često njihov učinak nije povoljan jer često uzrokuju preeksponiranost fotografija, odnosno one budu presvijetle (Gardner i Krouskup, 2016). Stoga je preporuka da se rabi meko i odbijeno svjetlo umjesto izravnoga kako bi se izbjeglo da važni elementi na slici budu preeksponirani, odnosno da nastanu svijetle točke (Gardner i Krouskup, 2016; Marsh, 2014). Pri uporabi elektroničke bljeskalice, također je važno ne usmjeravati je izravno prema objektu koji se fotografira, već se koristiti odbijenim svjetlom koje je ravnomjernije raspršeno (Marsh, 2014; Rost i sur., 2017). Ako se radi o manjim izvorima (npr. baterijske lampe), tijekom fotografiranja, često dužim ekspozicijama, potrebno je izvor svjetla pomicati kako bi se ravnomjerno osvijetlio cijeli objekt te kako ne bi došlo do nastanka svijetlih točaka na određenim mjestima (Duncan, 2015).

Važno je naglasiti da se postupak fotografiranja uz uporabu dopunskih izvora svjetlosti s „čistim“ infracrvenim spektrom razlikuje od ostalih navedenih. U tom se slučaju može fotografirati bez dodatka posebnih filtara koji blokiraju svjetlost vidljivoga spektra, ali je potrebno potpuno onemogućiti dopiranje dnevnoga (ambijentalnoga) ili bilo kojega drugoga izvora svjetlosti u prostoriji u kojoj se fotografira (Duncan, 2015).

Glavni nedostatak dopunskih izvora svjetlosti njihova je cijena, pa nisu dostupne svim službama. Međutim, postoje brojni načini kojima se može samostalno izraditi izvor svjetlosti sličnih svojstava. Jedan je od prijedloga prilagoditi staru elektroničku bljeskalicu u izvor infracrvenoga svjetla. Kako bi se to napravilo moguće je uporabiti fotografski film i njime snimiti fotografiju usmjereno izravno u svjetlo i razviti takav film. Zatim valja izrezati film u dva sloja dostatne duljine da se prekrije glava bljeskalice. Na koncu valja crnom ljepljivom trakom oblijepiti glavu bljeskalice kako bi se posve onemogućio prodor vidljivoga svjetla iz bljeskalice (Duncan, 2015).

Postoje i drugi načini samostalne prilagodbe svjetala da bi se dobila svjetla infracrvenoga spektra koristeći se raznim materijalima. Tako je primjerice moguće na običnu ručnu baterijsku svjetiljku postaviti filtar od fotografskoga filma ili stare flopi diskete i na isti način proizvesti infracrveno svjetlo. Postoje također i brojna druga rješenja koja su dostupna na mrežnim stranicama (<http://lucidscience.com/pro-infrared%20light%20converter-1.aspx> - 11.12.2019.).

3. PRIMJENA INFRACRVENE FOTOGRAFIJE U FORENZICI

3.1. Vrela i rezultati pretraživanja podatkovnih baza

Kako bi se ispitale mogućnosti primjene IC fotografije u forenzici, pretražena je podatkovna baza *Web of Science*. U pretraživanju se rabio sljedeći algoritam, odnosno odabir ključnih riječi:

„forensic OR crime“ (Topic) AND

„photography“ (Topic) AND

„infrared“ (Topic).

Odabrani su radovi objavljeni u posljednjih 20 godina, odnosno od 2000. do 2019. godine. Isključeni su radovi koji se nisu bavili standardnim fotografskim tehnikama, oni koji nisu uključivali primjenu u forenzici ili se nisu bavili forenzičnim tragovima.

Od ostalih vrela obuhvaćeni su udžbenici i literatura prethodno dostupna autoru koja se bavi forenzičnim fotografiranjem i obradom slikovnog materijala te tehnikama istraživanja mjesta događaja.

Pretragom podatkovne baze *Web of Science* pronađeno je 36 rezultata. Od toga je isključeno osam radova u kojima se nije rabila standardna fotografska tehnika. Od preostalih 28 radova, isključena su tri rada jer se nisu bavila primjenom IC fotografije u forenzici ili je ona bila samo uzgred spomenuta. U sljedećem je koraku isključen rad koji se bavi luminiscirajućom infracrvenom fotografijom te jedan rad koji nije bio dostupan osim u obliku sažetka.

Na koncu su odabrana 23 rada koji su prema godini objave i temi istraživanja prikazani u tablici 1. U nastavku rada izneseni su i kritički analizirani glavni rezultati istraživanja prema vrsti tragova.

Tablica 1: Pregled dosadašnjih istraživanja primjene infracrvene fotografije u forenzici

Istraživanje	Tema
Bastide i sur. (2019)	Otkrivanje latentnih tragova krvi na opožarenim mjestima događaja
Barrera i sur. (2019)	Vizualizacija tragova pucanja na tamnim objektima
Barrera i sur. (2018)	Otkrivanje prebojanih tragova krvi i sjemene tekućine
Sterzik i sur. (2018)	Otkrivanje starih tragova krvi, sjemene tekućine, mokraćne, sline i znoja na različitim materijalima
Rost i sur. (2017)	Tehničke postavke IC snimanja u forenzičnoj fotografiji, otisci, dokumentiranje nalaza obdukcije, tetovaže na mumificiranim tijelima, dokumentiranje i vizualizacija modrica
Sterzik i Bohnert (2016)	Uporaba infracrvene fotografije u prikazima dvaju forenzičnih slučajeva
Sterzik i sur. (2016)	Tražnje tragova razrijeđene i nerazrijeđene krvi, sjemene tekućine, mokraćne, sline i znoja
Stein i Yu (2013)	Fotografiranje ispaljenih zrna i čahura
Finnis i sur. (2013)	Vizualizacija krvi na tamnim površinama

Yamauchi i sur. (2013)	Dokumentiranje i dijagnosticiranje smrti prouzročene vatrom
Clarkson i Birch (2013)	Vizualizacija laserski uklonjenih i prekrivenih tetovaža
Farrar i sur. (2012)	Otkrivanje i dokumentiranje latentnih tragova krvi ispod obojenih površina
Oliver i Leone (2012)	Fotografiranje i otkrivanje tetovaža na mumificiranim ostacima
Baker i sur. (2012)	Otkrivanje uzorka zmijske kože na tvornički obrađenom materijalu
Kim i sur. (2012)	Fotografiranje tragova papilarnih linija na raznobojnim površinama
Starkie i sur. (2011)	Dokumentiranje tetovaža i utjecaj posmrtnih promjena
Albanese i Montes (2011)	Otkrivanje latentnih tragova krvi IC fotografijom i fotografijom visokoga dinamičkoga raspona
Lawson i sur. (2011)	Fotografiranje modrica u djece
Golden (2011)	Standardi za dokumentiranje tragova ugriza
Wright i Golden (2010)	Fotografiranje tragova na tijelu u forenzičnoj odontologiji (tragovi ugriza)
Rowan i sur. (2010)	Otkrivanje starijih modrica nevidljivih golim okom
McKechnie i sur. (2008)	Otkrivanje laserski uklonjenih tetovaža
Lin i sur. (2007)	Otkrivanje i dokumentiranje latentnih tragova krvi, tinta, otisaka guma, tragova pucanja i nagorenih dokumenata

3.2. Praktična primjena IC fotografije u forenzici

3.2.1. Otkrivanje i dokumentiranje tragova papilarnih linija i drugih otisaka

Prethodna istraživanja koja su proveli Kim i sur. (2012) pokazala su da je infracrvena fotografija primjenjiva pri fotografiranju latentnih tragova papilarnih linija izazvanih daktiloskopskim praškom na neporoznim višebojnim površinama. Naime, standardno podizanje tragova izazvanih daktiloskopskim praškom može uništiti izvorni trag, a da se on kvalitetno ne prenese na samoljepivu foliju. Zbog toga se fotografiranje takvih tragova ne smatra samo načinom dokumentacije da je trag postojao na određenom objektu, već - ako je pravilno fotografiran, može imati jednaku dokaznu vrijednost i poslužiti u vještačenjima kao i trag koji je fizički izuzet (Kim i sur., 2012). Međutim, katkad se događa da se ti tragovi nalaze na višebojnim površinama ili površinama s pozadinskim uzorkom, zbog čega ih je teško razdvojiti od pozadine i analizirati bez složene računalne obrade slike (Dalrymple i Smith, 2018). Istraživanje Kim i suradnika (2012) pokazalo je da je uporabom preinačenoga fotoaparata, filtra od 720 nm i svjetlom sa žarnom niti od volframa moguće u određenoj mjeri smanjiti utjecaj pozadine na vidljivost traga. Znatno je bolji rezultat ostvaren kada se rabio isti fotoaparat bez filtra pod forenzičnim dopunskim infracrvenim izvorom svjetlosti valne duljine 940 nm u tamnoj komori, pri čemu je pozadina bila gotovo posve uklonjena na većini uzoraka, a ostala je vidljiva jedino na pozadinskim uzorcima tamnozelene i crne boje. Međutim, koliko je nalaze moguće uopćiti nije poznato jer se rabio samo jedan prašak i nekoliko (šest) različitih podloga koje nisu potanko opisane (limenke, boce i plastika). Ipak, najvažniji je korak istraživanja bilo ispitivanje učinkovitosti primjene filtara različitih

valnih duljina od 750 do 1050 nm na kalibracijskim karticama za boje (Kim i sur., 2012). U tom je dijelu pokazano da je na fotografijama gdje su se rabili filtri valne duljine 900 – 950 nm razdioba boja bila najmanja (Kim i sur., 2012), što znači da bi takav pristup mogao dati dobre rezultate i u budućim istraživanjima i primjenama na različitoj vrsti tragova i pozadina.

Druga sustavna istraživanja na tragovima otisaka nisu provedena, no postoji nekoliko prikaza slučajeva. U radu Lina i sur. (2007) prikazana je mogućnost uporabe infracrvene fotografije s filtrom od 930 nm za vizualizaciju latentnih otisaka tragova guma na tamnoj odjeći. Duncan (2015) prikazuje slučaj otiska cipele na gaćama koji nije bio vidljiv u vidljivome spektru na pravilno eksponiranoj fotografiji, već je trag bio tek djelomično vidljiv na preekspoziranim gaćama uz mali broj detalja. Koristeći se fotoaparatom prilagođenim za IC snimanje i filtrom, trag je bio bolje vidljiv i postao je prikladan za vještačenje. Rost i sur. (2017) navode slučaj u kojem je pješak udaren automobilom te je počinitelj pobjegao s mjesta događaja. Na hlačama oštećenoga ostao je otisak serijskoga broja automobila koji se vidio, ali se nije mogao iščitati pod vidljivim svjetlom. Uporabom IC fotografije, trag je uspješno vizualiziran te se na temelju otkrivenoga broja moglo utvrditi o kojem se automobilu radi.

3.2.2. Otkrivanje i dokumentiranje tragova krvi

Od svih forenzičnih tragova najveća istraživačka pozornost u primjeni infracrvene fotografije usmjerena je na tragove krvi, što i nije čudno s obzirom na brojnost informacija koje tragovi krvi mogu pružiti u istrazi. Budući da se radi o vrijednome biološkom tragu, analizom DNK-a moguće je utvrditi identitet osobe, dok je s druge strane analizom izgleda tragova krvi (engl. *bloodstain pattern analysis*) moguće rekonstruirati sam događaj i odgovoriti na brojna druga zlatna pitanja kriminalistike (Farrar i sur., 2012; Sterzik i Bohnert, 2016). Upravo je stoga iznimno važno na mjestu kaznenoga događaja i na tragovima i predmetima prepoznati i vizualizirati tragove krvi koji su nevidljivi ili slabo vidljivi golim okom. Prednost optičkih postupaka poput infracrvene fotografije jest to što uopće ne utječu na integritet samoga traga za razliku od kemijskih metoda koje imaju takvih nedostataka. Primjerice, kemijske metode mogu nepovoljno utjecati na tragove namijenjene analizi DNK-a, poglavito kada je DNK prisutan u malim količinama. Uz to, mogu promijeniti oblik tragova krvi, zbog čega se može onemogućiti analiza izgleda tragova krvi i rekonstrukcija događaja. Za metode koje uzrokuju kemiluminiscenciju (npr. luminol) potreban je potpuni mrak u prostoriji, a samo fotografiranje mora se provesti u okviru nekoliko minuta jer nakon toga učinak kemiluminiscencije slabi (Sterzik i Bohnert, 2016).

Za primjenu infracrvene fotografije najvažnije je svojstvo krvi da apsorbira IC zračenje i postaje tamnijom. Time se omogućuje vizualizacija tragova krvi kada postoji dovoljan kontrast između traga i podloge na kojoj se nalazi krv, odnosno kada ta podloga reflektira IC zračenje i postaje svjetlijom (Lin i sur., 2007; Sterzik i Bohnert, 2016; Sterzik i sur., 2016). Slika 2 prikazuje mogućnosti primjene infracrvene fotografije za otkrivanje i dokumentiranje tragova krvi.



Slika 2: Vizualiziranje tragova krvi na tamnim podlogama – standardna i IC fotografija (https://www.fujifilmusa.com/products/digital_cameras/x/fujifilm_x_t1_ir/index.html - 15.12.2019.)

3.2.2.1. Vizualizacija tragova krvi na različitim podlogama

Krv obično nije teško vidjeti na svijetlim podlogama, no na tamnima to može biti zahtjevno zbog nedostatka kontrasta, a posebice kada su krvne mrlje starije i poprimaju tamniju boju (Finnis i sur., 2013). U dosadašnjim je istraživanjima pokazano da infracrvena fotografija u tom slučaju može biti iznimno korisna. U istraživanju Lina i sur. (2007), gdje su se razmatrali tragovi krvi na različitim materijalima crne tkanine, vizualizacija krvi bila je izvrsna na osam od deset razmatranih materijala. Finnis i sur. (2013) ispitali su učinkovitost IC fotografije na poroznim i neporoznim površinama (pamuku, gumi, koži, vinilu i sagu) te utjecaj veličine traga na mogućnosti vizualizacije (tragovi promjera manjeg od 1 mm i promjera većeg od 5 mm). Rezultati istraživanja pokazali su kako je IC fotografija prikladna za vizualizaciju većih tragova na poroznim objektima koji upijaju krv (npr. pamuk, tepih). Nasuprot tomu, pri manjim količinama i na neporoznim površinama vizualizacija je bila otežana do nemoguća (guma, koža i vinil). U istraživanju Sterzik i sur. (2016) razmatrane su mogućnosti vizualizacije tragova krvi na 29 različitih materijala od prirodnih i umjetnih vlakana s različitim objekata (namještaj, odjeća i sl.). Od 29 materijala, na 18 njih krv se mogla vidjeti golim okom, a na osam od preostalih jedanaest bilo je moguće vizualizirati tragove krvi IC fotografijom, jer je većina materijala reflektirala IC svjetlo. Nije bilo moguće vizualizirati krv na smeđoj jutenoj vreći, sivome materijalu od polipropilena i poliamida te na tamnosmeđoj umjetnoj koži. Zanimljivo je da nisu zapažene velike razlike u mogućnosti vizualizacije istih tragova krvi kada su se razmatrali nakon dvije godine (Sterzik i Bohnert, 2016; Sterzik i sur., 2018), međutim u određenim slučajevima kontrast je bio nešto manji (Sterzik i sur., 2018). Stoga, postoji mogućnost da će mogućnost vizualizacije ipak oslabiti tijekom vremena, no još uvijek nije istraženo koliko je moguće vizualizirati takve tragove nakon većeg proteka vremena (npr. deset godina).

Valja naglasiti da svi opisani postupci vrijede samo ako se radi o koncentriranoj krvi, a ako je riječ o razrijeđenoj krvi, mogućnosti vizualizacije znatno opadaju pa je prema većini istraživanja ona gotovo nemoguća ako je krv razrijeđena u omjeru većem 1:10 (Finnis i sur., 2013; Lin i sur., 2007; Sterzik i Bohnert, 2016; Sterzik i sur., 2018; Sterzik i sur., 2016). Štoviše, u nekim je slučajevima moguće čak bolje vidjeti trag golim okom negoli infracrvenom fotografijom (Sterzik i sur., 2016). Ipak, Albanese i Montes (2011) pokazali su da je tu granicu moguće pomaknuti i na omjer 1:32 na fotografijama visokoga dinamičkog raspona (engl. *high dynamic range*). Postupak se temelji na tome da se fotografije snimljene stupnjevanjem ekspozicije, odnosno fotografije istoga objekta s ekspozicijskim vrijednostima -2, 0 i 2, povežu u jednu fotografiju visokoga dinamičkoga raspona. S obzirom na to da je postupak brz i jednostavan te da poboljšava vizualizaciju i nerazrijeđenih tragova krvi, moguće je da će doprinijeti uspješnijoj vizualizaciji ako se ispita u budućim istraživanjima. Ipak, ako se radi o razrijeđenim ili starijim tragovima krvi, preporuka je koristiti se standardnim kemijskim metodama za vizualizaciju (npr. luminolom) (Albanese i Montes, 2011).

3.2.2.2. Otkrivanje i dokumentiranje tragova krvi na prebojanim površinama

Dokazne su vrijednosti tragova krvi svjesni i počinitelji, pa često nastoje prekriti tragove kaznenih djela bojenjem površina na kojima se oni nalaze. Time je otkrivanje tragova krvi na mjestu događaja znatno otežano te je izbor sredstava za njihovu vizualizaciju ograničen. Ti tragovi rijetko luminisciraju pod dopunskim izvorima svjetlosti, a katkad ni kemijske metode nisu primjenjive jer boja stvara fizičku prepreku između reagensa i traga krvi (Farrar i sur., 2012). U tome se kontekstu infracrvena fotografija pokazala kao jednim od ponajboljih rješenja za otkrivanje nevidljivih tragova (Barrera i sur., 2018; Farrar i sur., 2012).

Uz to što IC zračenje omogućuje vizualizaciju različitih materijala koji golim okom izgledaju jednako, ono može prodrijeti kroz materijale koji su golim okom neprozirni i tako učiniti vidljivima tragove koji se nalaze ispod njih. Farrar i sur. (2012) ispitali su mogućnosti vizualizacije tragova krvi prebojanih različitim vrstama bijele boje (akrilne, uljane i boje u spreju) i različitim bojama akrilnih boja te različitim nanosima boje (do šest slojeva). Tragove krvi prebojane bijelom akrilnom bojom nije bilo moguće vizualizirati bolje u odnosu na vidljivost golim okom, dok se infracrvenom fotografijom pri nanosima boje u spreju i uljane boje mogla vidjeti krv nakon triju nanosa boje, pri čemu nije bila vidljiva golim okom. Na površini prebojanom zelenom akrilnom bojom krv je bilo moguće vizualizirati nakon četiri sloja boje, dok je kod ostalih boja (crvene, žute, plave, ljubičaste i narančaste) krv bilo moguće vidjeti i nakon šest slojeva (Farrar i sur., 2012). U istraživanju Barrera i sur. (2018) primijenjen je nešto sustavniji pristup s točno određenom debljinom sloja dobivenom od proizvođača i osam različitih boja na bazi vode s europskim sustavom obilježavanja nijansi. S pomoću infracrvene fotografije krv je bilo moguće vizualizirati nakon prvoga sloja neovisno o boji. Za crnu boju, tragovi su bili vidljivi do dva nanosa, za bijelu do tri, za plavu i zelenu do četiri, a za narančastu, crvenu, žutu i ljubičastu do pet slojeva boje (Barrera i sur., 2018).

Dakle, na temelju dosadašnjih istraživanja, razvidno je da je infracrvena fotografija jedno od najboljih sredstava za vizualizaciju krvi na prebojanim površinama, no isto tako, rezultati su ograničeni i nije ih moguće uopćiti zbog velikih varijabilnosti u samome materijalu i uvjetima (Farrar i sur., 2012). Stoga, nije moguće unaprijed znati da će u konkretnome stvarnom slučaju vizualizacija krvi IC fotografijom biti moguća.

3.2.2.3. Otkrivanje i dokumentiranje tragova krvi na opožarenim površinama

Poteškoće nastaju i pri istragama mjesta događaja gdje je mjesto zahvaćeno vatrom ili je vatra podmetnuta kako bi se prekrili važni tragovi. U tim slučajevima, pod utjecajem vatre, ali i pri gašenju požara može doći i do potpunoga uništavanja tragova, a među ostalim i tragova krvi. Iako jaka vatra može uništiti tragove krvi, u određenom slučaju dim i čađa mogu stvoriti zaštitni sloj preko traga i tako ga očuvati. Međutim, pri otkrivanju takvih tragova, ovisno o debljini tog sloja, uporaba kemijskih reagensa i nedestruktivnih optičkih metoda može biti neučinkovita (Bastide, 2019). U istraživanju Bastide i sur. (2019) pokazano je da je, uporabom preinačenoga fotoaparata s filtrom od 820 nm, takva vizualizacija moguća, no naravno do ograničene debljine sloja. Hoće li u određenome slučaju otkrivanje tragova biti moguće ovisi o tome u kojoj će mjeri krv apsorbirati IC svjetlo pošto je izložena toplini, koliko će IC svjetlost moći prodrjeti kroz sloj čađe koji prekriva trag te kakva su reflektivna svojstva podloge na kojoj se trag nalazi (Bastide i sur., 2019).

3.2.3. Otkrivanje i dokumentiranje tragova vatrenoga oružja

Pri istragama kaznenih događaja koji uključuju uporabu vatrenoga oružja temeljna su pitanja na koja je potrebno odgovoriti - koja je bila udaljenost i smjer pucanja. Kako bi se to utvrdilo važno je analizirati količinu i prostornu razdiobu tragova barutnih čestica na meti. Postoje brojni činitelji koji utječu na uspješnost takvih analiza. Među njime se ističe niska razina kontrasta između tragova barutnih čestica i podloge na kojoj se nalaze, koja može biti tamna, zakrvavljena ili prljava, zbog čega je te tragove katkad nemoguće vidjeti golim okom, a ni pravilno dokumentirati. Iako kemijske metode tu mogu biti iznimno korisne, one mogu uništiti ili izobličiti uzorak tragova, pa je preporuka prvo pokušati neinvazivnim optičkim postupcima (Barrera i sur., 2019).

U dosadašnjim istraživanjima pokazano je da je s pomoću infracrvene fotografije moguća vizualizacija i dokumentiranje tragova barutnih čestica na tamnim podlogama na temelju apsorpcijskih svojstava tragova barutnih čestica, odnosno dobivenoga kontrasta u odnosu na podlogu (Barrera i sur., 2019; Lin i sur., 2007). Ta je mogućnost prvi put pokazana u istraživanju Lina i sur. (2007), gdje se ispitivala mogućnost vizualizacije pri različitoj udaljenosti pucanja, no materijali i rezultati nisu detaljno prikazani. U istraživanju Barrerae i sur. (2019) s pomoću preinačenoga aparata i filtra od 830 nm s tragom načinjenim u kontroliranim uvjetima, pucanjem s iste udaljenosti, također je potvrđena ta mogućnost. Analizom tragova na 26 tamnih tekstila od različitih materijala, dobra je vizualizacija bila moguća na njih deset, nešto je bila slabija na njih osam, dok na preostalih osam nije bilo moguće vizualizirati tragove. Manja mogućnost vizualizacije bila je prouzročena niskom razinom kontrasta između tragova i tkanine koja se nije mogla povezati sa sastavom i vrstom materijala te izraženijim stupnjem oštećenja tkanine. Usporedbom postupaka vizualizacije IC fotografijom i postupka u kojem se rabio dopunski izvor svjetlosti i filter od 440 nm pod kojima je fluorescencija tragova bila najizraženija, utvrđeno je da postoje razlike u njihovu obuhvatu. Naime, na istim tragovima IC fotografija obuhvaćala je unutarnju zonu čestica, dok je drugim načinom bolje obuhvaćena izvanjska zona, pa se može preporučiti kombinirana uporaba obaju postupaka (Barrera i sur., 2019). Ipak, u idućim bi istraživanjima valjalo ispitati kako se te razlike mogu uporabiti za procjenu udaljenosti pucanja u konkretnim slučajevima.

Osim za analizu tragova barutnih čestica, ispitana je i mogućnost fotografiranja mehaničkih tragova pucanja na uporabljenim čahurama i zrnima. Međutim, u tom slučaju infracrvena fotografija nije pružila više detalja u odnosu na standardnu fotografiju te nije umanjila učinak odbleska (Stein i Yu, 2013).

3.2.4. Otkrivanje i dokumentiranje tetovaža

Tetovaže, kao posebno i trajno obilježje, mogu biti jedno od vrijednih pomoćnih sredstava za individualizaciju/eliminaciju osoba u forenzici i sudskoj medicini. Međutim, katkad ih je zahtjevno otkriti, posebice kad se radi o laserski uklonjenim i prepravljenim tetovažama ili tetovažama na tijelu na kojem su započele posmrtno promjene. Dosadašnja istraživanja pokazala su da je primjena IC fotografije prikladna i u tome kontekstu jer IC valne duljine mogu prodrijeti i ispod epiderma (Clarkson i Birch, 2013; McKechnie i sur., 2008; Oliver i Leone, 2012; Starkie i sur., 2011).

Istraživanje koje su proveli McKechnie i sur. (2008) ispitalo je mogućnost primjene infracrvene fotografije za otkrivanje laserski uklonjenih tetovaža na dvjema osobama s pomoću fotoaparata namijenjenoga IC snimanju i filtra od 780 nm. Prva je osoba prije trideset godina laserski uklonila profesionalno izrađenu tetovažu na podlaktici staru šest godina te se ona nije mogla vidjeti golim okom na površini kože. Kad je primijenjena IC fotografija bilo je moguće uočiti oblik i izgled tetovaže. Druga je osoba imala amaterski izrađenu tetovažu na podlaktici koju je uklonila dvije godine prije istraživanja. Tu je tetovažu također bilo moguće vidjeti na IC fotografiji, no bio je vidljiv njezin obris s nešto manje detalja, vjerojatno zato što amaterske tetovaže sadrže manje boje i slabije prodiru u dublje slojeve kože. Dakle, pokazano je da, iako su tetovaže laserski uklonjene, ostaci tinte ipak ostaju u dermi (McKechnie i sur., 2008).

Slično istraživanje proveli su Clarkson i Birch (2013), ali s manjom uspješnošću negoli u prethodnome istraživanju. Prvi je dio istraživanja proveden na jednoj osobi s trima tetovažama na dorzalnome dijelu šake i ispod oka koje su laserski uklanjane tijekom šest tretmana. Kad su te tetovaže fotografirane uz uporabu filtra (< 760 nm) vidljivo je blago potamnjenje na tim dijelovima tijela, ali se izgled ni oblik tetovaže nisu mogli razaznati. Kao mogući razlog odstupanjima u odnosu na prethodno istraživanje (McKechnie i sur., 2008) autori navode mogućnost utjecaja različite debljine kože na različitim dijelovima tijela, zbog čega se u nekim dijelovima tinta može više zadržati (Clarkson i Birch, 2013). U drugome dijelu istraživanja ispitana je mogućnost vizualizacije prepravljenih tetovaža na dvjema osobama. Jedna je osoba već imala četiri prekrivene tetovaže tetoviranih starijim tehnikama te joj je u sklopu istraživanja jedna tetovaža prekrivena novom tetovažom i suvremenom tehnikom. Druga osoba imala je jednu tetovažu izraženu suvremenim tintama te je u istraživanju ta tetovaža prekrivena novom. U slučaju prve osobe, rezultati su pokazali da se na tetovažama prepravljenim starom tehnikom nije mogla vidjeti izvorna tetovaža, dok se svježe prekrivenu tetovažu moglo razlikovati od izvorne (izrađene starom tehnikom). Na prekrivenoj tetovaži druge osobe nije bilo velikih razlika jer je nova tetovaža pratila oblik izvorne, pa se u IC spektru nisu mogle razlikovati. Dakle, vidljivo je da je navedena pitanja potrebno dodatno temeljitije ispitati u budućim istraživanjima jer mogu biti podložna utjecaju mnoštva činitelja (Clarkson i Birch, 2013).

Russ (2001) prikazuje zanimljiv slučaj primjene infracrvene fotografije za otkrivanje tetovaža. U tom slučaju žrtva je potanko opisala izgled tetovaže na ramenu počinitelja. Kad je osumnjičenik priveden, uočeno je da ima na opisanome mjestu tetovažu, no različitoga sadržaja. Pronađena tetovaža snimljena je IC fotografijom te je uočeno da je izvorna tetovaža koja je odgovarala opisu žrtve prekrivena novom tetovažom (Russ, 2001).

Starkie i sur. (2011) na 18 tetoviranih sudionika s ukupno 30 tetovaža pokazali su da spol, dob, starost tetovaže i boja kože ne utječu na mogućnost dokumentiranja tetovaže infracrvenom fotografijom te su sve tetovaže bile vidljive na fotografijama osim onih dijelova koji su bili crvene boje. Koristeći se tijelom svinje kao modelom na kojem su dali izraditi profesionalnu tetovažu u crnoj, zelenoj i crvenoj boji, istraživači su također simulirali utjecaj razgradnje tijela i promjene boje na mogućnosti vizualizacije i dokumentiranja tetovaže te su 17 dana pratili promjene. Istraživanje je pokazalo da promjena boje tijela i djelomična mumifikacija nisu utjecale na mogućnost primjene IC fotografije, dok je njihov utjecaj bio izražen na standardnim fotografijama, pri čemu je vidljivost tetovaža bila uvelike smanjena. Fotografije su snimljene nepreinačenim DSLR fotoaparatom uz dodatak filtra, a pokazana je i vrlo učinkovita mogućnost primjene videokamera s mogućnošću snimanja u infracrvenome spektru (Starkie i sur., 2011).

Duncan (2015) opisuje rezultate istraživanja u kojem su se pratile promjene na tijelu tetovirane osobe tijekom šest mjeseci nakon smrti te se ispitivala mogućnost vizualizacije tetovaža infracrvenom fotografijom. Čak i neposredno nakon smrti, infracrvena je fotografija (uz uporabu filtra 720 nm) prikazivala više detalja negoli standardna. Nakon mjesec dana kada je započelo truljenje i tijelo je potamnilo, tetovaže su bile djelomično ili slabo vidljive pod vidljivim svjetlom, a kada su snimljene IC fotografijom (filtrom od 720 nm) mogle su se u potpunosti jasno vidjeti. Nakon dva mjeseca tijelo je toliko pocrnilo da se tetovaže više nisu mogle uopće vidjeti golim okom, a čak ni primjenom IC fotografije s filtrom od 720 nm. Međutim, kada je uporabljen filtar od 850 nm tetovaže su bile vidljive kao i u prethodnim razdobljima pod filtrom od 720 nm. Nakon pet mjeseci na području tetovaže na prsima nastala je gljivična izraslina koja je posve prekrila taj dio tijela, ali je ponovno bilo moguće vizualizirati tetovažu s pomoću filtra od 850 nm (Duncan, 2015).

U prikazu slučaja Oliver i Leone (2012) pokazali su da se s pomoću infracrvene fotografije mogu otkriti tetovaže na mumificiranim tijelima koje nisu golim okom vidljive, i to na primjeru slučaja gdje su postupci rehidracije koji se standardno provode bili neuspješni. Navedene su fotografije snimljene s pomoću fotoaparata izvorno namijenjenoga IC fotografiji uz uporabu filtra od 800 nm pod sobnim osvjetljenjem. Iako je u istome istraživanju pokazano da je otkrivanje tetovaže moguće i pod UV svjetlom, autori navode kao glavnu prednost IC fotografije to što je bilo moguće gotovo dvostruko brže snimiti negoli UV fotografiju za koju je bilo potrebno potpuno zamračiti prostoriju i koristiti se stativom zbog manjih brzina zatvarača (Oliver i Leone, 2012).

Primjena infracrvene fotografije za otkrivanje tetovaža na mumificiranim tijelima pokazana je i u drugim stvarnim slučajevima. Primjerice, u radu Rosta i sur. (2017) s pomoću potpuno preinačenoga fotoaparata s ugrađenim filtrom od 830 nm bilo je moguće vizualizirati i dokumentirati tetovažu na mumificiranome tijelu koja je bila gotovo nevidljiva golim okom.

Duncan (2015) opisuje smrt osobe uslijed zadobivanja teških opekлина. U tom su se slučaju tetovaže jedva vidjele golim okom, dok je uporabom IC fotografije omogućena de-

taljna vizualizacija tetovaža. Duncan (2015) navodi mogućnost primjene IC fotografije kada je tetovaža prekrivena krvlju, čime je moguće valjano dokumentirati i prije pranja tijela na samoj obdukciji. Uz to, prikazuje slučaj tamnoputije osobe kojoj je tetovaža posve izbljedita i koju je bilo moguće kvalitetno vizualizirati IC fotografijom (Duncan, 2015).

3.2.5. Otkrivanje i dokumentiranje krvnih podljeva i tragova ugriza na koži

Tragovi ugriza i modrice često su važan forenzični trag koji upućuje na nasilje. S obzirom na to da ih je za razliku od nekih drugih tragova, poput bioloških, nemoguće klasičnim putem izuzeti i pohraniti, u tim slučajevima forenzična fotografija ima glavnu ulogu u dokumentiranju i osiguravanju dokazne vrijednosti takvim tragovima (Wright i Golden, 2010). Stoga je fotografiranje u različitim svjetlosnim spektrima ključno kako bi se ti tragovi otkrili i pravilno dokumentirali.

Za razliku od svjetla u području UV zračenja koje je prikladno za otkrivanje i dokumentiranje površinskih ozljeda, svjetlost infracrvenoga spektra i valne duljine od 700 do 900 nm može prodrijeti i do 3 mm ispod kože. Stoga se IC fotografijom može koristiti za otkrivanje i dokumentaciju ozljeda unutar derme i supkutanoga krvarenja u početnim fazama (Rowan i sur., 2010; Wright i Golden, 2010).

Iako je u teoriji primjena IC fotografije moguća i preporučena (Golden, 2011; Wright i Golden, 2010), malo je istraživanja koja se bave tim pitanjem i primjera koji to potvrđuju. Primjerice, Rost i sur. (2017) opisuju slučaj uporabe IC fotografije tijekom pregleda mrtvog tijela. U tom slučaju, modrica se mogla vidjeti golim okom, no s pomoću IC fotografije postignut je znatno veći kontrast između kože i modrice te su njezine dimenzije bile veće.

Rowan i sur. (2010) proveli su istraživanje na deset ispitanika te su ispitivali mogućnost uporabe IC fotografije za fotografiranje modrica tijekom šest mjeseci kako bi utvrdili može li infracrvena fotografija pomoći kada se modrice više ne vide golim okom. Rezultati su pokazali da je standardnom fotografijom bilo moguće u prosjeku vidjeti modrice oko 18 dana, pri čemu nije bilo razlika između dviju tehnika. Ipak, na jednome je ispitaniku bilo moguće vizualizirati modricu 21 dan nakon nastanka kada više nije bila vidljiva u standardnim uvjetima. Međutim, šira primjenjivost istraživanja upitna je zbog maloga broja ispitanika, kao i nedostatka opisa nastanka modrica te filtera koji su se rabili za IC fotografiranje (Rowan i sur., 2010).

U istraživanju Lawson i sur. (2011) ispitane su različite mogućnosti dokumentiranja modrica na djetetu s poremećajem krvarenja te je pokazano da infracrvena fotografija nema prednosti u odnosu na druge načine fotografiranja. Međutim, nije opisana valna duljina IC filtra, a starost je modrica bila nepoznata pa se stoga rezultati ne mogu uopćiti.

U obama slučajevima valja uzeti u obzir to da se radi o starijim modricama te modricama nepoznate starosti, pa mogućnost primjene IC fotografije ne može biti odbačena. Razlog je tomu taj što postupak zacjeljivanja započinje nedugo nakon nastanka ozljede. To smanjuje mogućnost primjene IC fotografije koja je najučinkovitija u okviru prvoga dana od nastanka ozljede (Wright i Golden, 2010). Također, s obzirom na to da takvih promjena neće biti ako osoba nije preživjela (što je bio slučaj u provedenim istraživanjima), buduća bi istraživanja trebala ispitati kakav je učinak IC fotografije u tim slučajevima kako bi se mogla primijeniti i u sudskoj medicini.

U svakom slučaju, kao i kod tetovaža i tamnijih materijala, IC fotografija mogla bi omogućiti bolji kontrast između modrice i kože kada se radi o osobama tamnije puti (Lawson i sur., 2011).

3.2.6. Utvrđivanje uzroka smrti i dokumentiranje nalaza obdukcije

Forenzična je fotografija ključna za dokumentiranje rezultata sudskomedicinskih obdukcija jer nedovoljno kvalitetne slike katkad mogu tijekom istrage dovesti u pitanje ispravnost dijagnostike i same nalaze obdukcije. K tomu, fotografija može omogućiti i osobama koje nisu nužno forenzične struke jednostavno predočivanje važnih nalaza obdukcije (Yamauchi i sur., 2013). U dosadašnjim je istraživanjima pokazano da IC fotografija uvelike može biti izvrsna pomoćna tehnika u slučajevima kada je smrt nastupila uslijed vatre ili hipotermije (Rost i sur., 2017; Yamauchi i sur., 2013).

Kad je smrt prouzročena vatrom, nalazi bi obdukcije morali pokazivati znakove udisanja ili gutanja čađe, posebice u slučajevima kad nije moguće pronaći veću koncentraciju ugljikova monoksida u krvi. Postojanje čađe katkad je teško potvrditi zbog posmrtnih promjena, onečišćenja tjelesnim tekućinama ili zbog niskoga kontrasta čađe s okolnim strukturama i organima (Yamauchi i sur., 2013).

Istraživanje Yamauchi i sur. (2013) pokazalo je na primjeru triju slučajeva da je primjenom fotoaparata namijenjenom IC fotografiranju i filtra od 800 nm moguće poboljšati vizualizaciju nalaza koji upućuju na smrt prouzročenu vatrom. U prvome je slučaju uočena čađa na sluzi dušnika, što je pokazatelj da je osoba disala dok je vatra bila aktivna. Iako je nalaz bio vidljiv golim okom, s pomoću IC fotografije vizualizacija je poboljšana te je povećan kontrast između čestica čađi i pozadine. U drugome je slučaju bilo teško prepoznati čestice čađe na jednaku i bronhalnoj cijevi zbog izrazito niske razine kontrasta, no ti su tragovi bili dobro vidljivi na infracrvenoj fotografiji. U trećem je slučaju bilo moguće vizualizirati latentne čestice čađe u tamnosmeđem želučanom sadržaju (Yamauchi i sur., 2013).

U prikazu slučaja Rost i sur. (2017) opisuju unutarnje nalaze obdukcije osobe umrle uslijed hipotermije. Pregledom želuca pod vidljivim svjetlom mogla se vidjeti sluz s određenim tamnijim područjima koji su bili svojstveni truljenju tijela. Ipak, s pomoću IC fotografije i filtra od 830 nm, bilo je moguće jasno uočiti karakterističnu pjegavost u obliku leopardove kože koja upućuje na smrt prouzročenu hipotermijom (Rost i sur., 2017).

Iako su prikazani slučajevi ograničeni na dva nalaza, mogućnosti su primjene IC fotografije vjerojatno znatno šire, primjerice u slučajevima kada su važne strukture prikrivene većim količinama krvi. Tada, s obzirom na to da neosušena krv transmitira IC zračenje zbog visoka udjela vode, ona je u IC spektru prozirna pa je moguće otkriti što se nalazi u pozadini (Yamauchi i sur., 2013).

3.2.7. Dokumentiranje izgleda krvnih žila kao identifikacijskog obilježja

Na temelju mogućnosti prodiranja IC zračenja kroz površinske slojeve kože i činjenice da venska (deoksidirana) krv apsorbira infracrveno svjetlo i postaje tamnijom, na IC je fotografiji moguće jasno vidjeti vene, pa se ona može rabiti za otkrivanje nekih krvožilnih

poremećaja (npr. proširenih vena), ali i za dokumentiranje izgleda vena radi individualizacije osobe (Marsh, 2014; Russ, 2001).

Iako nisu provedena sustavna istraživanja na tu temu, Marsh (2014) opisuje mogućnost uporabe IC fotografije na primjeru slučaja. U predmetnom slučaju, osumnjičenik je potajno snimao svoju žrtvu dok ju je spolno zlostavljao koristeći se videokamerom u noćnome načinu rada i malim IC osvjetljenjem. Kada je osumnjičenik ušao u kadar mogle su se jasno vidjeti vene na njegovim nogama. Vještak je uspio iz snimke izdvojiti okvire (slike) na kojima su se vidjele vene i obradom fotografije pojačati njihovu vidljivost. Nažalost, osumnjičenik ja bio slikan samo standardnom fotografijom, a obrana nije dopustila ponovno fotografiranje u IC spektru (Marsh, 2014).

Opisani slučaj otvara i druge mogućnosti primjene IC fotografije pri individualizaciji osoba. Primjerice, na snimkama nadzornih kamera koje rade u infracrvenome spektru također bi se moglo koristiti sličnim principom kako bi se otkrilo počinitelja. Međutim, pritom valja imati na umu da se boja kao obilježje drugih značajki koji se rabe za individualizaciju ne može uzeti u obzir jer na snimci odjeća tamne boje zbog apsorpcije svjetla može izgledati znatno svjetlije (Marsh, 2014).

3.2.8. Analiza dokumenata i rukopisa

IC spektar svjetlosti najčešće se rabi za analizu spornih dokumenata i rukopisa jer i različite tinte koje pod vidljivim svjetlom mogu izgledati jednako, katkad je moguće razlikovati u infracrvenome spektru (Duncan, 2015). Međutim, u tu se svrhu rijetko rabi infracrvena fotografija, već se koristi posebnim uređajima, poput videospektralnih komparatora i sl. (Mršić i sur., 2014). Infracrvena fotografija u tome kontekstu može pomoći tijekom istraživanja mjesta događaja i preliminarnih ispitivanja. Sama načela fotografiranja, jednaka su kao i s drugim tragovima obrađenima u radu (Duncan, 2015).

Kao dodatnu mogućnost primjene IC fotografije na dokumentima, navode se slučajevi kada su dokumenti djelomično spaljeni ili oštećeni djelovanjem topline. Slično kao i pri dokumentiranju tragova krvi na opožarenim površinama, moguće je otkriti strukture koje se nalaze ispod čađi i vizualizirati uništeni sadržaj dokumenta (Marsh, 2014; Robinson, 2016). Jednako tako, u određenim je slučajevima moguće vidjeti jesu li pisani dokumenti preinačeni ili otkriti sadržaj koji je prekriven drugim. Naime, ako tinta kojom je izvorni sadržaj prekriven ili preinačen transmitira IC zračenje, a tinta kojim je sadržaj izvorno napisan apsorbira, tada će se na IC fotografiji jasno vidjeti izvorni sadržaj (Robinson, 2016).

3.2.9. Druge mogućnosti primjene infracrvene fotografije u forenzici

Zanimljiv slučaj primjene IC fotografije koji se ne može svrstati u standardne skupine tragova opisan je u radu Bakera i sur. (2012). U tom slučaju uspješno je vizualiziran uzorak zmijske kože koja je obrađena i obojena koji nije bio vidljiv u normalnim uvjetima. Time je omogućena identifikacija vrste te je utvrđeno da se radilo o slučaju nezakonitoga trgovanja divljim životinjama (Baker i sur., 2012).

Uz brojna istraživanja provedena na tragovima krvi, mogućnost primjene IC fotografije ispitana je i na drugim biološkim tragovima poput sjemene tekućine, mokraće, sline i znoja (Sterzik i sur., 2018; Sterzik i sur., 2016). Ni u jednome od navedenih istraživanja nije bilo moguće primijeniti IC fotografiju za otkrivanje i bolju vizualizaciju navedenih bioloških tragova, već je u tu svrhu najučinkovitija bila primjena dopunskih izvora svjetlosti valne duljine između 400 i 500 nm te filtera odgovarajućih boja (žuti, narančasti, tamnocrveni) (Sterzik i sur., 2016).

4. ZAKLJUČAK

Rezultati provedenoga istraživanja pokazali su da je reflektirajuća infracrvena fotografija iznimno primjenjiva u forenzici. Stoga, može se zaključiti da je, u odnosu na mogućnosti koje nudi, relativno zapostavljena u svakodnevnoj forenzičnoj praksi. Ako se razmotri omjer troškova i koristi, potrebna su minimalna ulaganja da bi se dobili zadovoljavajući rezultati. Primjerice, nije potrebno nabavljati skupu opremu, već se može (nepotpuno) preinačiti DSLR fotoaparatus otklanjanjem ugrađenoga filtera koji blokira IC zračenje i pribaviti tri objektivska filtera koji pokrivaju sve spektre obuhvaćene dosadašnjim istraživanjima (npr. filter od oko 700 nm, 800 nm i 900 nm) za svega nekoliko stotina kuna. Tim postupkom čak se i ne one-mogućava snimanje standardnih fotografija, pa je uz dodatak objektivskoga filtera koji blokira IC zračenje moguće i dalje snimati standardne fotografije bez gubitka njihove kakvoće.

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja, infracrvena se fotografija pokazala odgovarajućim sredstvom u raznim granama forenzičnih znanosti za otkrivanje nevidljivih tragova i vizualizacije i dokumentacije tragova čiji je kontrast u odnosu na površinu na kojoj se nalaze nizak. Njome je moguće poboljšati vidljivost otisaka i tragova pucanja na tamnim i raznobojnim površinama, vizualizirati i dokumentirati tragove krvi na tamnim podlogama, na prebojanim površinama, pa čak i na opožarenim mjestima događaja. S obzirom na to da IC prodire ispod epiderme, IC fotografija može pomoći i u otkrivanju i dokumentiranju slabije vidljivih, preinačenih ili laserski uklonjenih tetovaža, a katkad i boljoj vidljivosti modrica i tragova ugriza. Uz to, u određenim slučajevima može i doprinijeti utvrđivanju uzroka smrti i dokumentiranju nalaza obdukcije.

Pri razmatranju određenih vrsta tragova poput tragova krvi ili tragova barutnih čestica IC fotografija kao sredstvo preliminarnoga ispitivanja katkad ima određenih prednosti u odnosu na kemijske postupke koji su u svakodnevnoj uporabi. Naime, unatoč tomu što je postupak manje specifičan u odnosu na kemijske postupke, posve je neinvazivan. Primjerice, kemijske metode mogu utjecati na promjene u obliku i razdiobi tragova te nepovoljno utjecati na rezultate potvrdnih ispitivanja koje je u svakome slučaju potrebno provesti.

U odnosu na mogućnosti koje pruža uporaba dopunskih izvora svjetlosti u ultraljubičastome, ljubičastome i plavome području koji se ponajčešće rabe za otkrivanje tragova, IC fotografija također ima nekoliko prednosti. U prvome redu, to je sama brzina primjene. Pri fotografiranju s dopunskim izvorima svjetlosti potreban je potpuni mrak u prostoriji, pa samim tim i duže ekspozicije, dok je IC fotografiju moguće snimati u raznim svjetlosnim uvjetima i puno brže. Uz to, oprema koja je potrebna, poput dopunskih izvora svjetlosti, filtera i naočala, znatno je skuplja od opreme za IC snimanje. Ipak, IC fotografija nije prikladna za sve vrste tragova (npr. sjemena tekućina, mokraća i sl.), pa se rečene metode ne isključuju,

već bi se trebale međusobno nadopunjavati ovisno o posebnostima slučaja i vrsti tragova. Stoga, kada je god moguće, uputno je uključiti fotografije iz čitavoga spektra svjetlosti koji se može zabilježiti fotoaparatom.

Iako se IC fotografija može primjenjivati u pronalasku i dokumentiranju različitih vrsta tragova, prema rezultatima iznesenim u ovome radu njezin je najveći nedostatak manjak općih pravilnosti i veliki broj činitelja koji utječu na rezultate, pa je samim tim često neizvjesno hoće li ona u određenome slučaju doprinijeti boljoj vizualizaciji tragova. Naime, teško je unaprijed znati hoće li određeni trag apsorbirati, reflektirati ili transmitirati IC zračenje jer to ovisi o brojnim okolnostima. Premda je moguće ispitati kako određeni tragovi izgledaju na IC fotografiji (npr. krv), krajnji je ishod umnogome ovisan o svojstvima podloge poput materijala, boje i sl., koja su mnogobrojna i čije je kombinacije gotovo nemoguće obuhvatiti istraživanjima. Na to može utjecati i sam način nastanka traga, što se može vidjeti u primjerima vizualizacije tetovaža. Primjerice, u tom slučaju utječe tehnika tetoviranja, vrsta i boja odabrane tinte ili način uklanjanja tetovaže, što dodatno ograničava mogućnosti primjene.

Na temelju iznesenoga, može se zaključiti da je IC fotografija dragocjeno sredstvo za otkrivanje i dokumentiranje tragova u forenzičnim znanostima, ali da dosadašnja razina istraženosti metode ipak nije dostatna da bi se mogli izraditi standardni postupci prema posebnim obilježjima tragova. Zbog toga će trebati provesti još velik broj istraživanja koji uzimaju u obzir veći broj varijabli ne bi li se rezultati mogli uopćiti i pružiti temelj za veći stupanj standardizacije i primjene u forenzičnim znanostima.

LITERATURA

1. Albanese, J., Montes, R. (2011). *Latent evidence detection using a combination of near infrared and high dynamic range photography: an example using bloodstains*. Journal of forensic sciences, 56(6), 1601–1603.
2. Baker, B. W., Reinholz, A. D., Espinoza, E. O. (2012). *Digital near-infrared photography as a tool in forensic snake skin identification*. The Herpetological Journal, 22(2), 79–82.
3. Barrera, V., Fliss, B., Panzer, S., Bolliger, S. (2019). *Gunshot residue on dark materials: a comparison between infrared photography and the use of an alternative light source*. International journal of legal medicine, 133(4), 1115–1120.
4. Barrera, V., Haas, C., Meixner, E., Fliss, B. (2018). *Detection of painted-over traces of blood and seminal fluid*. International journal of legal medicine, 132(4), 1067–1074.
5. Bastide, B., Porter, G., Renshaw, A. (2019). *Detection of latent bloodstains at fire scenes using reflected infrared photography*. Forensic science international, 302, 109874.
6. Clarkson, H., Birch, W. (2013). *Tattoos and Human Identification: Investigation into the Use of X-Ray and Infrared Radiation in the Visualization of Tattoos*. Journal of forensic sciences, 58(5), 1264–1272.
7. Dalrymple, B., Smith, J. (2018). *Forensic Digital Image Processing: Optimization of Impression Evidence*. Boca Raton: CRC Press.
8. Duncan, C. D. (2015). *Advanced Crime Scene Photography*. Boca Raton: CRC Press.
9. Farrar, A., Porter, G., Renshaw, A. (2012). *Detection of latent bloodstains beneath painted surfaces using reflected infrared photography*. Journal of forensic sciences, 57(5), 1190–1198.

10. Finnis, J., Lewis, J., Davidson, A. (2013). *Comparison of methods for visualizing blood on dark surfaces*. *Science & Justice*, 53(2), 178–186.
11. Gardner, R. M., Krouskup, D. (2016). *Practical Crime Scene Processing and Investigation*. Boca Raton: Taylor & Francis.
12. Golden, G. S. (2011). *Standards and practices for bite mark photography*. *The Journal of forensic odonto-stomatology*, 29(2), 29–37.
13. Kim, Y., Youn, S., Har, D. (2012). *The infrared lighting system for the efficient photography of the pretreated fingerprint*. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 44(3), 273–284.
14. Lawson, Z., Nuttall, D., Young, S., Evans, S., Maguire, S., Dunstan, F., Kemp, A. M. (2011). *Which is the preferred image modality for paediatricians when assessing photographs of bruises in children?* *International journal of legal medicine*, 125(6), 825–830.
15. Lin, A. C. Y., Hsieh, H. M., Tsai, L. C., Linacre, A., Lee, J. C. I. (2007). *Forensic applications of infrared imaging for the detection and recording of latent evidence*. *Journal of forensic sciences*, 52(5), 1148–1150.
16. Mancini, K., Sidoriak, J. (2017). *Fundamentals of Forensic Photography: Practical Techniques for Evidence Documentation on Location and in the Laboratory*. New York: Taylor & Francis.
17. Marsh, N. (2014). *Forensic Photography: A Practitioner's Guide*. Chichester: John Wiley & Sons.
18. McKechnie, M. L., Porter, G., Langlois, N. (2008). *The detection of latent residue tattoo ink pigments in skin using invisible radiation photography*. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 40(1), 65–72.
19. Mršić, G., Galeković, J., Ledić, A., Škavić, N. (2014). *Forenzika dokumenata, novca i rukopisa*. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada.
20. Oliver, W. R., Leone, L. (2012). *Digital UV/IR photography for tattoo evaluation in mummified remains*. *Journal of forensic sciences*, 57(4), 1134–1136.
21. Robinson, E. M. (2012). *Introduction to Crime Scene Photography*. Amsterdam: Academic Press.
22. Robinson, E. M. (2016). *Crime Scene Photography*. Cambridge: Academic Press.
23. Rost, T., Kalberer, N., Scheurer, E. (2017). *A user-friendly technical set-up for infrared photography of forensic findings*. *Forensic science international*, 278, 148–155.
24. Rowan, P., Hill, M., Gresham, G., Goodall, E., Moore, T. (2010). *The use of infrared aided photography in identification of sites of bruises after evidence of the bruise is absent to the naked eye*. *Journal of forensic and legal medicine*, 17(6), 293–297.
25. Russ, J. C. (2001). *Forensic uses of digital imaging*. Boca Raton: CRC Press.
26. Shaler, R. C. (2011). *Crime scene forensics: A scientific method approach*: CRC Press.
27. Starkie, A., Birch, W., Ferllini, R., Thompson, T. J. (2011). *Investigation into the merits of infrared imaging in the investigation of tattoos postmortem*. *Journal of forensic sciences*, 56(6), 1569–1573.
28. Stein, D., Yu, J. C. C. (2013). *The Use of Near-Infrared Photography to Image Fired Bullets and Cartridge Cases*. *Journal of forensic sciences*, 58(5), 1330–1335.
29. Sterzik, V., Bohnert, M. (2016). *Reconstruction of crimes by infrared photography*. *International journal of legal medicine*, 130(5), 1379–1385.
30. Sterzik, V., Hinderberger, P., Panzer, S., Bohnert, M. (2018). *Visualizing old biological traces on different materials without using chemicals*. *International journal of legal medicine*, 132(1), 35–41.

31. Sterzik, V., Panzer, S., Apfelbacher, M., Bohnert, M. (2016). *Searching for biological traces on different materials using a forensic light source and infrared photography*. International journal of legal medicine, 130(3), 599–605.
32. Wright, F. D., Golden, G. S. (2010). *The use of full spectrum digital photography for evidence collection and preservation in cases involving forensic odontology*. Forensic science international, 201(1-3), 59–67.
33. Yamauchi, S., Hitosugi, M., Kimura, H., Tokudome, S. (2013). *A novel application of infrared imaging for the diagnosis of death by fire*. Journal of forensic sciences, 58(4), 1022–1025.
34. Zakon o kaznenom postupku (Narodne novine broj: 152/08., 76/09., 80/11., 121/11., 91/12., 143/12., 56/13., 145/13., 152/14., 70/17., 126/19., 126/19.).

Summary

Ivan Jerković

The Application of Reflected Infrared Photography in Forensic Science

The role of forensic photography is not only to document the crime scene but also to detect and document poorly visible and latent evidence. Moreover, it might have evidential value when it is not possible to collect the evidence physically. In that context, infrared (IR) photography plays an essential role in the visualization of the evidence, using the differences in the absorptive, reflective, and transmissive properties of the material. Therefore, this research aimed to analyze available technical set-ups for IR photography, as well as the application of IR photography in forensic science.

By searching the Web of Science database for the period from 2000 to 2019, 23 papers dealing with the application of IR photography in forensic sciences were found. The studies showed that IR photography was suitable for the detection and enhancement of various evidence. It could be used for bloodstains on dark and multicolored surfaces, beneath painted surfaces, and on surfaces affected with the fire. It could be employed to detect gunshot residue on dark materials and to enhance the visibility of fingermarks on multicolored surfaces. Research also shows the applicability of IR photography for identifying and documenting poorly visible, modified and laser-removed tattoos, bruises and bite marks, as well as for documenting autopsy findings in some instances.

IR photography does not take a lot of investments as it is sufficient to remove the IR blocking filter from the DSLR camera and to add a filter that blocks visible light. Although the shooting method is not much different from standard photography, many material properties affect the results. So, the outcome is often uncertain, and there are no universally applicable settings.

Keywords: forensic science, forensic photography, infrared photography, latent evidence detection, evidence documentation.