

Uporabnost reagentov indandion in DFO pri izzivanju sledi papilarnih linij

Matej Trapečar¹, Patricija Jankovič², Sašo Murtič³

Sledi papilarnih linij so pomemben dokaz prisotnosti storilca na kraju kaznivega dejanja ali na predmetih, povezanih s krajem ter žrtvijo, in nudijo osnovo za iskanje ustreznih podatkov za potrditev postavljene domneve. V študiji smo ugotavljali primernost metod uporabe reagentov indandion in DFO za izzivanje sledi papilarnih linij. Reagenta se uporabljata za preiskovanje poroznih in polporoznih kontaktnih površin. Za eksperimentalni del izzivanja sledi papilarnih linij smo uporabili bel papir, bel potiskan papir, papirnato brisačo, rjavi karton, barvno revijo, časopisni papir, embalaže za čaj, embalažne škatlice za cigarete in povoščen karton. Pred postopkom izzivanja so bile na predmetih povzročene sledi papilarnih linij. Vzorci so bili shranjeni v temnem laboratorijskem prostoru pri sobni temperaturi med 22 in 24 °C ter pripravljeni za izzivanje v več časovnih intervalih. Za izzivanje sledi papilarnih linij sta bila uporabljena indandion v kontroliranih in nekontroliranih pogojih ter DFO v kontroliranih pogojih. Po končanih postopkih izzivanja in ovrednotenju sledi smo ugotovili, da je bilo na vzorcih okoli 50 % več sledi, izzvanih z indandionom, kot tistih, izzvanih z DFO. Tudi kakovost in uporabnost izzvanih sledi je bila z indandionom boljša, kar daje boljšo osnovo za nadaljnjo preiskavo v posameznih primerih. Ugotovljeno je bilo, da je za izzivanje sledi papilarnih linij reagent indandion uporaben na (pol)poroznih površinah. Končni rezultati so pokazali, da je učinkovitost delovanja indandiona pri izzivanju sledi papilarnih linij na študijskih preiskovanih površinah boljša od DFO. Metoda se bo v prihodnje izvajala v forenzične daktiloskopske preiskave forenzičnega laboratorija.

Ključne besede: forenzika, prstni odtisi, porozne površine, izzivanje sledi, indandion

UDK: 343.983.2

1 Uvod

Prstni odtis je zanesljiv element identifikacije, saj je trajen in edinstven podatek o posamezni osebi. Znanost je s spoznanjem, da preiskovalci še nikoli niso našli dveh posameznikov, ki bi imela identični prstni odtis, kar velja tudi za enojajčne dvojčke, omogočila, da se prstni odtisi uporabljajo v dokazovanju istovetnosti osebe v konkretnih primerih (Palash in Mohammad, 2017).

Današnji razvoj tehnologije omogoča biometrično identifikacijo posameznika, kar se razume kot individualno obravnavanje človekovih fizičnih lastnosti, njegovih značilnosti v obnašanju in obenem izvede zajem ter shranjevanje pridoblje-

nih vzorcev, ki jih je v kriminalističnem preiskovanju mogoče uporabiti za primerjanje, identifikacijo v konkretnih primerih in podobno. Dejansko je prstni odtis značilnost posameznika, ki jo je mogoče primerjati v postopku identifikacije pri kaznivih ali drugih ravnanjih, pri čemer primerjava vsaj dveh vzorcev potrdi ali zavrže identiteto posameznika. Veda, ki preiskuje prstne odtise in sledi, se imenuje daktiloskopija in je eno od področij forenzične znanosti. Ukvarja se s preučevanjem papilarnih linij, oblikovanih v različnih oblikah na prstih, dlaneh in stopalih, z namenom identifikacije, oziroma ugotavljanja istovetnosti živih in mrtvih oseb, posebej storilcev kaznivih ali drugih dejanj (Vidic, 1973). Maver (2004) navaja, da je daktiloskopija ena od najstarejših in pomembnejših vej kriminalistične tehnike. Danes lahko rečemo, da je tudi od pomembnejših forenzičnih ved, s katerimi se iščejo in potrjujejo storilci kaznivih dejanj.

Prstni odtisi nastanejo med razvojem zarodka ploda, so edinstveni in ostanejo nespremenjeni vse človekovo življenje oziroma do razpada trupla. Prstni odtisi se lahko vzorčijo. Na splošno jih lahko razdelimo na tri oblike vzorcev (Vidic, 1973):

— zanke, ki jih razvrščamo kot radialne (ukrivljene proti palcu) ali ulnarne (ukrivljene proti mezinu),

¹ Dr. Matej Trapečar, izredni profesor za logistiko, vodja oddelka za daktiloskopijo, Nacionalni forenzični laboratorij, Generalna policijska uprava, Slovenija. ORCID: 0000-0002-6788-677X. E-pošta: matej.trapecar@policija.si

² Dr. Patricija Jankovič, izredna profesorica za menedžment in pravo, AREMA Visoka šola za logistiko in management, Slovenija. ORCID: 0000-0003-4595-0379. E-pošta: patricija.jankovic@guest.arnes.si

³ Dr. Sašo Murtič, izredni profesor za logistiko in pravo, Fakulteta za industrijski inženiring, Slovenija. ORCID: 0000-0002-2959-6309. E-pošta: saso.murtic@fini-unm.si

- krožni vzorci, ki tvorijo krožne ali spiralne oblike, in
- ločni vzorci, ki se dvigajo le v sredini in nimajo zanke ali vijuge.

Prispevek obravnava študijo o učinkovitosti kemijskih reagentov DFO in indandiona za izzivanje sledi papilarnih linij na predmetih ali sledih s kraja kaznivih dejanj. Cilj raziskave je bil ugotoviti uporabnost reagentov DFO in indandion pri izzivanju sledi papilarnih linij na različnih poroznih in polporoznih površinah v več časovnih intervalih.

2 Preiskovanje sledi papilarnih linij

Raziskava sledi papilarnih linij vključuje več korakov, ki napredujejo od enostavnih do vse bolj izpopolnjenih. Večina sledi je latentnih oziroma nevidnih očem, dokler jih ne zaznamo z različnimi svetlobnimi viri in fizikalnimi ter kemičnimi metodami (daktiloskopski praški, reagenti). Ko je sled najdena ali izzvana, se zavaruje in pošlje v laboratorij. V preteklosti je bilo razvitih več kot 40 metod za iskanje sledi papilarnih linij na ogledih krajev kaznivih dejanj.⁴ Katero metodo bomo za izzivanje uporabili, je odvisno od vrste kontaktne površine, na kateri jo iščemo, denimo papir, steklo, plastika, les, sadje, zelenjava, človeška koža, kovina (Yount, 2007).

Forenzična znanost za izzivanje sledi papilarnih linij na poroznih površinah uporablja različne reagente. Največkrat so to ninhidrin, 1,8-diazafluoren-9-on (DFO) in indandion. Ninhidrin je bil odkrit leta 1910 in je postal praktično analitično orodje. V uporabi je že več kot sedemdeset let. Leta 1954 je bilo ugotovljeno, da je pomemben reagent za izzivanje sledi papilarnih linij (Hansen idr., 2005). Reagira z aminokislinami v ostankih znoja prstne sledi. Izzivanje sledi poteka v kontroliranih pogojih pri temperaturi 80 °C in 65-odstotni relativni vlažnosti. Pogoji pospešijo reakcijo med ninhidrinom in aminokislinami, sledi pa so po navadi vizualizirane v dveh do 20 minutah. Ninhidrin se je izkazal za zelo zanesljiv in učinkovit reagent za porozne površine. Tudi DFO reagira z aminokislinami. Uporaba reagenta DFO sega v devetdeseta leta prejšnjega stoletja (Leighton idr., 2000). Rezultat je fluorescenten, zato je viden s pomočjo modre ali zelene svetlobe, z uporabo laserja ali alternativnega svetlobnega vira. Porozne površine se segrevajo v suhi pečici oziroma komori, saj vlaga škoduje reakciji. V praksi je zato priporočljivo, da se DFO uporablja pred ninhidrinom. Kot tretji podobni reagent za izzivanje sledi papilarnih linij se od leta 1997 uporablja tudi indandion (Wilkinson idr., 2005).

Indandion je analog ninhidrina, ki reagira z aminokislinami. Primeren je za izzivanje sledi papilarnih linij na poroznih površinah, kot so papir, karton, bankovci, neobdelan les, omet in podobno. Pri reakciji z aminokislinami v izločkih prstov in dlani nastane produkt roza barve, ki je prav tako kot pri reakciji DFO slabo viden. Pri osvetlitvi z modro ali modro-zeleno svetlobo ta močno fluorescira. Najboljša fluorescenca je takoj po toplotni obdelavi in začne s časom upadati zaradi vlage v prostoru (DSTL, 2019). Delovna raztopina za izzivanje je sestavljena iz indandiona, ocetne kisline, etil acetata in topila HFE7100 oziroma peteroletra (PE). Tako pripravljena raztopina mora biti shranjena v temnem prostoru in je stabilna le nekaj tednov. Za reakcijo med indandionom in aminokislinami sta potrebni visoka temperatura in čim nižja vlaga.

Pri pregledu strokovne in znanstvene literature smo ugotovili, da so Loh idr. (2020) opravili raziskavo uporabnosti reagentov za izzivanje sledi papilarnih linij ninhidrin 1,2-indandiona (IND/Zn) in DFO. Preiskovali so več različnih poroznih površin, med drugim tudi papir, karton in revije v različnih časovnih intervalih. Ugotovili so, da je kakovost izzvane sledi papilarnih linij boljša z reagentom IND/Zn kot z reagentom DFO. Poleg kakovosti so rezultati pokazali njegovo boljšo učinkovitost in občutljivost, kar pomeni boljšo vizualizacijo sledi papilarnih linij za poznejše daktiloskopske primerjave.

Ovrednotenje kakovosti izzvanih sledi papilarnih linij je potrebno za podajo ocene učinkovitosti reagentov oziroma metod. Vrednotenje po navadi izvajajo strokovnjaki s področja daktiloskopskih raziskav. Bonnaz idr. (2024) so za vrednotenje uporabili nov način obravnave, ki je vključeval uporabo algoritmov. Kakovost izzvanih sledi je bila ocenjena samodejno z algoritmom LQM (metrika latentne kakovosti sledi) in ILFQM (izboljšana metrika kakovosti sledi). Raziskava je dala boljše rezultate sledi papilarnih linij, izzvanih z IND/Zn, kot tistih, ki so bile izzvane z DFO, in ugotovitev, da je lahko avtomatizirano ocenjevanje kakovosti sledi učinkovito.

Eden od dejavnikov kakovosti izzivanja sledi papilarnih linij je starost sledi. Z reagentom IND/Zn so bile izzivane sledi na papirju različnih starosti. Rezultati izzivanja so bili pozitivni na papirju, starem do 80 let (Bouzin idr., 2020).

Izzivanje sledi papilarnih linij je še vedno primarna preiskovalna metoda pri kazenskih preiskavah. V uporabi je več daktiloskopskih kemičnih reagentov. Hunnisett idr. (2021) so preučevali reagente z namenom njihove učinkovitosti in manjše količine, potrebne za kemične obdelave. V študiji so primerjali sestavo in učinkovitost aktivnih formulacij 1,2-indandion-cink (IND-Zn) za odkrivanje sledi papilarnih linij na poroznih površinah, ki jih uporabljajo različni forenzični laboratoriji. Kljub razlikam v sestavi reagenta na področju

⁴ Lee in Gaensslen (2001) sta zapisala več metod iskanja sledi papilarnih linij. Med naštetimi metodami so tudi skupine daktiloskopskih praškov, reagentov z majhnimi delci in kemičnih uparjanj.

nosilnih topil so bili rezultati dobri. Ugotovili so tudi, da uporaba etanola kot nadomestnega sotopila metanolu ni znatno zmanjšala občutljivosti in učinkovitosti rezultatov (Bouzin idr., 2022, 2023).

Zhao idr. (2021) so testirali učinkovitost ondandiona za izzivanje sledi papilarnih linij na fotokopirnem, rjavem in časopisnem papirju. Izvedli so sistematično oceno štirih različnih formul indandiona. S primerjanjem učinkovitosti izzivanja sledi so ugotovili, da je optimalna formula reagenta na osnovi HFE7100 kot nosilnega topila.

3 Materiali in metode

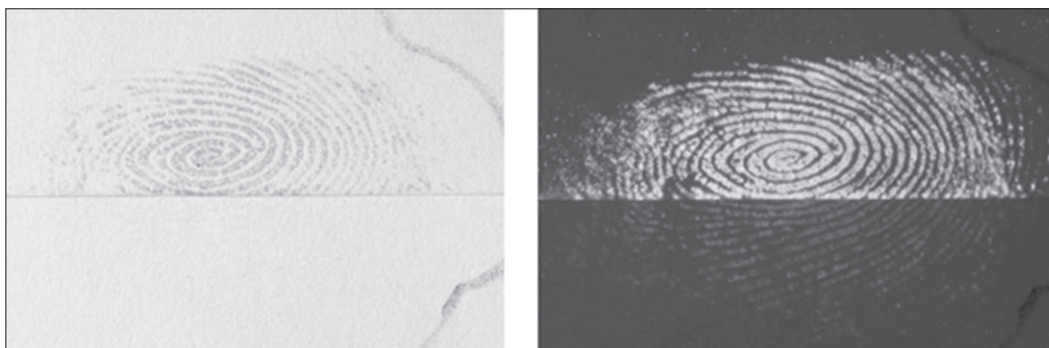
V naši študiji smo uporabili 1,2-IND (1,2-indandion) proizvajalca BVDA. Gre za reagent izzivanja sledi papilarnih linij na papirju, ki združuje barvo ninhidrina in fluorescenco DFO. Tako kot DFO ta reagent močno fluorescira po vzbujanju z zeleno svetlobo (slika 1; fluorescentna slika je pretvorjena v črno-bele barve). Osnovna uporaba reagenta 1,2 IND so latentne in krvave sledi papilarnih linij na polporoznih in poroznih površinah (BVDA The art of forensic, n. d.).



Slika 1: Sledi papilarnih linij na belem papirju, izzvane z 1,2 IND-Zn (vir: BVDA The art of forensic, n. d.)

Opravljen je bil primerjava rezultatov izzivanja sledi papilarnih linij na že uporabljenih voznicah za vlak. Sledi so izzivali s tremi največkrat uporabljenimi reagenti za aminokislino: ninhidrin, DFO in 1,2-indandion. Vozovnice so imele dvoslojno sestavo običajnega papirja na osnovi celuloze in toplotno občutljive plasti. Da bi se izognili potemnitvi občutljive toplotne plasti, kjer so papilarni linije neuporabne, so avtorji vzorce sušili na zraku v dimni napi 24 ur. Ugotovljeno je bilo, da so najboljši rezultati pri izzivanju sledi z indandionom, ki dobro reagira tudi na takšnih kontaktnih površinah (Elad idr., 2017). Prav tako so Luscombe idr. (2018) opravili študijo izzivanja sledi papilarnih linij z indandion/Zn in DFO na devetih različnih papirnatih površinah z ugotovitvijo učinkovitejšega reagenta indandiona/Zn in Nicolasora idr. (2018) s sklepom, da temperatura v komori pri izzivanju z indandionom/Zn ne sme preseči 120 °C, saj so pri višji temperaturi učinki lahko škodljivi.

Prednost reagenta 1,2-IND je boljša topnost in s tem stabilnejša delovna raztopina. Delovna raztopina je stabilna in uporabna nekaj tednov. Pri izvedbi raztopine z etanolom in cinkovim kloridom se sledi obarvajo rožnato, fluorescenca pa je po navadi boljša od reagenta DFO (slika 2). Sledi papilarnih linij, izzvane z DFO, so prikazane na spodnji polovici slike, sledi z 1,2-IND (Zn) pa na njeni zgornji polovici. Desna stran slike je fotografirana z uporabo zelene svetlobe pri valovni dolžini 505 nm in oranžnega filtra ter pretvorjena v črno-bele barve.



Slika 2: Sledi papilarnih linij, izzvane z DFO in 1,2-IND (Zn) (vir: BVDA The art of forensic, n. d.)

Za raziskavo smo izbrali takšen nabor poroznega in polporoznega materiala (slika 3): 1) bel papir, 2) bel potiskani papir, 3) papirnata brisača, 4) rjav karton, 5) revija, 6) časopis, 7) delno povoščen karton (embalaža za čaj), 8) delno povoščen (embalaža za kapučino), 9) cigaretna škatlica in 10) povoščen karton (tetrapak za mleko).

enaka. Temperatura pri opravljanju eksperimenta je bila med 16 in 25 °C, relativna vlažnost pa okoli 50-odstotna. Sodelovala sta izvedenca s področja daktiloskopskih raziskav, ki si pred odtiskovanjem nista umila rok. Za namen raziskave je bilo narejenih 150 vzorcev. Na vsakem vzorcu sta bili povzročeni dve sledi. Skupno je bilo tako povzročenih



Slika 3: Prikaz nekaterih vzorcev preiskovanega materiala

3.1 Priprava vzorcev

Čas odtiskovanja oziroma povzročitev prstnih sledi na preiskovalnih površinah vzorcev je bil v časovnem intervalu med eno in dvema sekundama, moč pritiska pa približno

300 sledi (tabela 1). Vzorci, na katerih so se naknadno izzivala prstne sledi, so bili shranjeni v temnem prostoru laboratorija pri sobni temperaturi.

Tabela 1: Število vzorcev in sledi na različnih materialih v različnih časovnih terminih

Vzorec – material	Število vzorcev				Število povzročenih sledi			
	1 dan	1 teden	1 mesec	Skupaj	1 dan	1 teden	1 mesec	Skupaj
Bel papir	5	5	5	15	10	10	10	30
Bel potiskan papir	5	5	5	15	10	10	10	30
Papirnata brisača	5	5	5	15	10	10	10	30
Rjav karton	5	5	5	15	10	10	10	30
Revija	5	5	5	15	10	10	10	30
Časopis	5	5	5	15	10	10	10	30
Delno povoščen karton (čaj)	5	5	5	15	10	10	10	30
Delno povoščen karton (kapučino)	5	5	5	15	10	10	10	30
Cigaretna škatlica	5	5	5	15	10	10	10	30
Povoščen karton (tetrapak za mleko)	5	5	5	15	10	10	10	30

Za vsako niz izzivanja je bilo pripravljenih 30 vzorcev (po deset vzorcev za različen časovni termin) s 60 povzročenimi sledmi (20 sledi za določen časovni termin) (tabela 2).

Postopek: v erlenmajerici se je zmešalo 0,25 g indandiona (B-78101) ter 100 ml cinkove raztopine (B-78173). Ko se je prah raztopil, se je postopno prililo še 1000 ml HFE-7100

Tabela 2: Število sledi, povzročenih pri določenem časovnem terminu, za različne metode in pogoje izzivanja sledi papilarnih linij

Metoda/pogoji	1 dan	1 teden	1 mesec
Indandion/HFE7100 (komora)	20	20	20
Indandion/HFE7100 (likalnik)	20	20	20
Indandion/PE (komora)	20	20	20
Indandion/PE (likalnik)	20	20	20
DFO (komora)	20	20	20
Skupno število povzročenih sledi	300		

3.2 Priprava delovnih raztopin reagentov

Za izzivanje sledi papilarnih linij so bile uporabljene sestavine za izdelavo delovne raztopine DFO in dveh delovnih raztopin indandiona proizvajalca BVDA. Postopek je potekal po navodilih proizvajalca (BVDA The art of forensic, n. d.). V nadaljevanju so opisane sestavine in postopek izdelave treh delovnih raztopin.

Delovna raztopina indandiona HFE set, B-78160:

- 1,2-indandione, B78101 (0,25 g),
- solutin mix for Ind-Zinc (HFE-based), B-78173 (100 ml),
- HFE 7100, B-78174 (1000 ml).

(B-78174) ter ves čas mešalo. Tako pripravljena raztopina se je prelila v litrsko aluminijasto embalažo.

Delovna raztopina indandiona petroletrom set, B-78160:

- 1,2-indandione, B-78100 (1 g),
- ind-zinc co-solvent, B78161 (100 ml),
- petroleumether, B-78164 (900 ml).

Postopek: v erlenmajerici se je zmešalo 1 g indandiona (B-78100) ter 100 ml cinkove raztopine (B-78161). Ko se je prah raztopil, se je postopno prililo še 900 ml petroletra (B-78164) ter ves čas mešalo. Tako pripravljena raztopina se je prelila v aluminijasto embalažo.

Delovna raztopina DFO set, B-799000:

- DFO (3 g), XB-799000 (60 ml),
- topilo (aceton, ksilen in izopropanol), XB 799100, 110 ml,
- 830 ml mešanice petroletra 20_600 in tetrabutylmetiletra, XB-799200.

Postopek: zgoraj naštetih kemikalij se je zmešalo po naslednjem vrstnem redu:

- 110 ml topila (oznaka XB-799100) se je zliło v litrsko steklenico, v kateri je bila mešanica petroletra in MTBE (oznaka XB-799200),
- dodalo se je še 60 ml koncentrirane raztopine DFO (oznaka XB-799000).

4 Eksperiment

Izvedenih je bilo pet nizov izzivanj sledi, in sicer štirje z indandionom ter eden z DFO, v treh časovnih intervalih (en dan, en teden in en mesec). Za izzivanje z indandionom sta bili uporabljeni dve različni raztopini na osnovi topila HFE-7100 in petroletra. Postopki izzivanja sledi z indandionom so potekali s pomočjo likalnika v nekontroliranih pogojih in v komori NIN/DFO v kontroliranih pogojih, izzivanje sledi z DFO pa le v komori NIN/DFO.

Izzivanje sledi papilarnih linij v komori. Komora je bila nastavljena na program Temp. Navedeni program ima nastavev pogojev, in sicer temperature na 100 °C in relativne

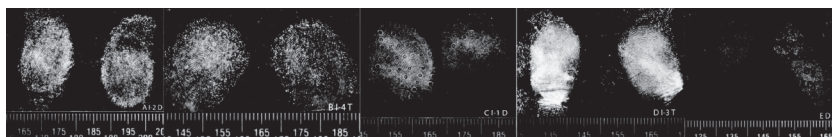
indandionom/PE. Vzorci so bili nato položeni med bele papirje in segrevani z likalnikom brez pare, nato pa pregledani s forenzičnim svetlobnim virom pri frekvenci 445–510 nm in fotografirani.

Nizi izzivanja sledi papilarnih linij:

- izzivanje z 1,2-indandione na osnovi HFE 7100 (v nadaljnjem besedilu: IND HFE) v komori NIN-DFO pri temperaturi 100 °C in v času desetih minut,
- izzivanje z 1,2-indandione na osnovi HFE 7100 z likalnikom v času ene do dveh minut,
- izzivanje z 1,2-indandione na osnovi PE (v nadaljnjem besedilu: IND PE) v komori NIN-DFO pri temperaturi 100 °C in v času desetih minut,
- izzivanje z 1,2-indandione na osnovi PE z likalnikom v času ene do dveh minut in
- izzivanje z DFO v komori NIN-DFO pri temperaturi 100 °C in v času desetih minut.

5 Rezultati

Sledi papilarnih linij so bile izzvane en dan, en teden in en mesec po njihovem nastanku. Rezultati izzivanja sledi so bili fotografsko dokumentirani. Na sliki 4 je prikazano nekaj fotografij sledi papilarnih linij, izzvanih z indandionom z različnim topilom v kontroliranih in nekontroliranih pogojih in z DFO (slika 4 od leve proti desni: A – komora IND HFE, B – likalnik IND HFE, C – komora IND PE, D – likalnik IND PE in E – DFO).



Slika 4: Primeri rezultatov izzivanj sledi papilarnih linij

vlačnosti na 0 %. S pripravljenimi raztopinami reagentov so bili napršeni pripravljeni vzorci: 30 vzorcev z indandionom/HFE7100, 30 vzorcev z indandionom/PE ter 30 vzorcev z DFO. Postopek je potekal v digestoriju laboratorija. Vsi napršeni vzorci so bili za deset minut izpostavljeni kontroliranim pogojem v komori. Po končanem postopku pa so bili pregledani s forenzičnim svetlobnim virom pri frekvenci 445–510 nm in z uporabo oranžnih očal. Vzorci, na katerih so bili opazene sledi ali deli izzvanih sledi, so bili fotografirani.

Izzivanje sledi papilarnih linij z likalnikom. Napršenih je bilo 30 vzorcev z indandionom/HFE7100 in 30 vzorcev z

Sledi papilarnih linij so bile fotografirane v merilu 1 : 1 z uporabo svetlobe valovnih dolžin 445–510 nm ter oranžnega filtra. Sledi je zatem pregledalo pet forenzičnih izvedencev. Vsaka preiskovana sled papilarnih linij je bila ovrednotena na podlagi merila za ocenjevanje kakovosti sledi. Na podlagi ocen vseh izvedencev so bile izračunane povprečne vrednosti vsote zbranih točk za vsak niz postopkov v posameznem časovnem terminu (tabela 3).

Merilo za ocenjevanje kakovosti izzvanih sledi papilarnih linij za določitev točk:

- 0 točk: ni vidne sledi,

- 1 točka: slabo vidna sled, brez papilarnih linij, vidna sled prijemanja,
- 2 točki: delno izzvana sled, na približno tretjini sledi se vidijo detajli in morfološke značilnosti, vendar premalo za nadaljnjo daktiloskopsko primerjavo,
- 3 točke: dobro izzvana sled, na približno dveh tretjinah sledi se vidijo detajli in morfološke značilnosti, sled je primer-na za identifikacijo oziroma individualizacijo in
- 4 točke: zelo dobro izzvana sled z jasno vidnimi detajli in morfološkimi značilnostmi, sled je uporabna za identifi-kacijo oziroma individualizacijo.

le 13,2 točke. Podobni rezultati so bili tudi po enem tednu za indandion (28,1 točke) in DFO (14,2 točke). Vrednosti točk za mesec so pri DFO 11,2 točke in za indandion 18,3 točke. Če primerjamo le vrednosti točk izzivanja sledi z indandio-nom različnih sestavin in pogojev, so za prvi dan in en teden najvišje pri komori IND PE (30,8 in 30,2), za en mesec pa pri IND HFE (19,4) (tabela 3).

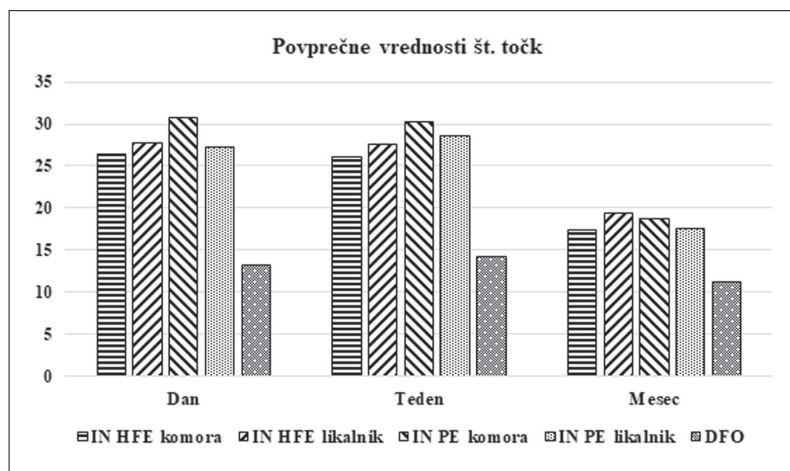
Pri primerjavi rezultatov izzivanja papilarnih linij v raz-ličnih časovnih intervalih smo ugotovili, da vse metode ozi-roma reagenti v prvih dveh terminih ne izstopajo v številu

Tabela 3: Povprečne vrednosti vsote točk pri različnih metodah/pogojih izzivanja sledi papilarnih linij za določeni časovni termin

Metoda/pogoji	Povprečna vrednost vsote zbranih točk		
	1 dan	1 teden	1 mesec
komora IND HFE	26,4	26,0	17,4
likalnik IND HFE	27,8	27,6	19,4
komora IND PE	30,8	30,2	18,8
likalnik IND PE	27,2	28,6	17,6
DFO	13,2	14,2	11,2

Povprečne vrednosti vsote točk pri izzivanju sledi papi-larnih linij z indandionom v vseh treh časovnih intervalih so veliko višje kakor pri izzivanju z DFO. Za prvi dan je indandi-on različnih sestavin in pogojev dosegel 28,05 točke, DFO pa

in kakovosti izzvanih sledi, po enem mesecu pa je razvidno očitno zmanjšanje števila izzvanih sledi. Iz tega izhaja, da so uporabljene metode oziroma reagenti uporabnejši pri izziva-nju ne preveč starih sledi (graf 1).



Graf 1: Primerjava rezultatov izzivanja sledi papilarnih linij v različnih časovnih intervalih

6 Razprava in zaključek

V raziskavi smo želeli primerjati učinkovitosti različnih reagentov za izzivanje sledi papilarnih linij. Uporabili smo reagenta indandion in DFO, ki sta najpogosteje uporabljene metode v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju za polporozne in porozne površine. Izzivanje sledi papilarnih linij z indandionom je potekalo v treh časovnih intervalih tako v komori pod kontroliranimi pogoji kot z uporabo likalnika pod nekontroliranimi pogoji. Za DFO je bil postopek izveden le v komori pod kontroliranimi pogoji.

Po opravljenih postopkih in preiskavah je bilo ugotovljeno, da je z reagentom indandion izzvanih približno 50 % več sledi papilarnih linij kot z reagentom DFO. Kakovost in uporabnost sledi, izzvanih z indandionom, sta prav tako boljši kot pri DFO. Z indandionom so bile izzvane sledi tudi na barvnih kontaktnih površinah in kartonu, medtem ko so bile z DFO izzvane sledi večinoma le na belih papirjih. Po pregledu literature se ugotovitve naše raziskave ujemajo s tistimi, ki v povprečju dobljenih rezultatov kažejo, da je indandion učinkovitejši reagent (Elad idr., 2017; Loh idr., 2020; Luscmrbe idr., 2018).

Zhao idr. (2021) so opravili študijo na kopirnem, rjavem in časopisnem papirju. Časovni interval izzivanja sledi je bil en dan, sedem, petnajst in 30 dni. Izvedli so sistematično vrednotenje izzivanja sledi z uporabo štirih različnih formulacij oziroma raztopin indandiona:

- prva raztopina: 0,25 g 1,2-indandiona, 90 ml etil acetata, 10 ml očetne kisline in 1 ml cinka, 1000 ml HFE7100,
- druga raztopina: 0,25 g 1,2-indandiona, 100 ml etil acetata, 10 ml očetne kisline, 100 ml metanola in 20 ml cinka, 800 ml HFE7100,
- tretja raztopina: 0,25 g 1,2-indandiona, 90 ml etil acetata, 10 ml očetne kisline in 4 ml cinka, 900 ml HFE7100 in
- četrta raztopina: 0,25 g 1,2-indandiona, 45 ml etil acetata, 45 ml metanola, 10 ml očetne kisline, 1 ml cinka, 1000 ml HFE7100.

Najboljšo učinkovitost pri izzivanju sledi papilarnih linij so dobili z uporabo zgoraj opisane prve raztopine indandiona (0,25 g 1,2-indandiona, 90 ml etil acetata, 10 ml očetne kisline in 1 ml cinka, 1000 ml HFE7100). Njihove ugotovitve se skladajo z našimi rezultati, kjer smo uporabili indandion na osnovi topila HFE-7100 in z boljšo učinkovitostjo indandiona v primerjavi z DFO.

Rezultati so pokazali, da ni bilo bistvenih razlik med izzivanjem sledi v kontroliranih ali nekontroliranih pogojih. Prav tako se je izkazalo, da ni večjih razlik v kakovosti sledi glede na starost izzvanih sledi do enega tedna. Kakovost izzvanih sledi, starih en mesec, pa se bistveno zniža, vendar je to bolj značilno pri DFO kot indandionu. Pri izzivanju sledi z indandionom z različnimi topili IND/HFE7100 in IND/PE so bili rezultati zelo

podobni ne glede na to, kateri reagent je bil uporabljen. V okviru robustnosti metode indandion dejansko zagotavlja pričakovane rezultate tudi v pogojih, ki odstopajo od optimalnih, kar je bilo potrjeno z izzivanjem sledi v nekontroliranih pogojih. Loh idr. (2020) so raziskovali vpliv okoljskih dejavnikov na sledi papilarnih linij. Ugotovili so, da je bila kakovost sledi, staranih v naravnem okolju ter izzvanih z indandionom in DFO, torej v nekontroliranih pogojih, bistveno slabša od tistih v kontroliranih pogojih. Avtorji so to razliko pripisali hitrejši razgradnji prstnih sledi v nekontroliranih pogojih. Ugotovili so tudi, da so sledi, izzvane v kontroliranih in nekontroliranih pogojih, izkazale boljšo učinkovitost indandiona kot DFO.

Ugotovitve raziskave kažejo, da je učinkovitost delovanja indandiona pri izzivanju sledi papilarnih linij na študijskih preiskovanih površinah boljša od DFO. Metoda se bo tako v prihodnje uporabljala za forenzične daktiloskopske preiskave v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju v Ljubljani.

Predmet prihodnjih študij je lahko izzivanje sledi z daljšimi časovnimi razponi. Torej koliko časa v danih laboratorijskih pogojih, preiskovanem materialu in z metodami, uporabljenimi v članku, je še mogoče izzvati sledi papilarnih linij. V študije se lahko vključijo različne raztopine indandiona v kombinaciji z različnimi topili in pa tudi staranje sledi papilarnih linij na različnih predmetih v nekontroliranih pogojih, na primer v naravnem okolju, kjer sta temperatura in vlažnost pomembna dejavnika.

Literatura

1. Bonnaz, B., Champod, C. in Bécue, A. (2024). Use of automated quality assessment algorithms in fingerprint detection research – Application to IND/Zn vs DFO. *Forensic Science International*, 360, 112069. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112069>
2. Bouzin, J. T., Horrocks, A. J., Sauzier, G., Bleay, S. M. in Lewis, S. W. (2022). Comparison of three active 1,2-indanediol/zinc formulations for fingerprint detection in the context of limited resources and supply chain risks in Seychelles. *Forensic Chemistry*, 30, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2022.100439>
3. Bouzin, J. T., Lopes, T., Heavey, A. L., Parrish, J., Sauzier, G. in Lewis, S. W. (2023). Mind the gap: The challenges of sustainable forensic science service provision. *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.fsisy.2023.100318>
4. Bouzin, J. T., Merendino, J., Bleay, S. M., Sauzier, G. in Lewis, S. W. (2020). New light on old fingerprints: The detection of historic latent fingerprints on old paper documents using 1,2-indanediol/zinc. *Forensic Science International: Reports* 2, 100145. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2020.100145>
5. BVDA The art of forensic. (n. d.). *IND Product information*. https://www.bvda.com/images/content/downloads/IND_product_information_EN.pdf
6. DSTL. (2019). *Fingerprint visualisation newsletter, porous processes and charts*. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ef5f951e90e075c4fa0abc4/2019_Nov_Dstl_Fingerprint_Visualisation_Newsletter_4_v2.0.pdf

7. Elad, L. M., Liptz, Y., Or, B. L. K. in Almong, J. (2017). 1,2-indanedione – A winning ticket for developing fingermarks: a validation study. *Forensic Science International*, 271, 8–12.
8. Hansen, D. B. in Joullie, M. M. (2005). The development of novel ninhydrin analogues. *Chemical Society Reviews*, 34, 408–417.
9. Hunnisett, L. M., Kelly, P. F., Plasser, F., King, R., McMurchie, B. in Goddard, P. (2021). Mechanistic insight into the fluorescence activity of forensic fingerprint reagents. *The Journal of Chemical Physics*, 154, 124313. <https://doi.org/10.1063/5.0040555>
10. Lee, H. L. in Gaensslen, R. E. (2001). *Advances in fingerprint technology* (2nd ed.). CRC Press.
11. Leighton, L. D., Schehl, S. A., Trozzi, Y. E. in Wade, C. (2000). *Processing guide for developing latent prints*. U.S. Department of Justice, Federal Bureau of Investigation Laboratory Division. <https://archives.fbi.gov/archives/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/jan2001/lpu.pdf>
12. Loh, C. N., Chia, W. L. K., Foo, S. C. S., Xu, X. in Tan, W. L. S., (2020). Evaluation of the performance of IND/Zn and DFO on various porous substrates in Singapore context. *Forensic Science International*, 315, 110440. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110440>
13. Luscombe, A. in Sears, V. (2018). A validation study of 1,2-indanedione reagent for operational use in the UK: Part 3 – laboratory comparison and pseudo-operational trials on porous items. *Forensic Science International*, 292, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.042>
14. Maver, D. (2004). *Kriminalistika: uvod, taktika in tehnika*. Uradni list RS.
15. Nicolasora, N., Downham, R., Dyer, R., Hussey, L., Luscombe, A. in Sears, V. (2018). A validation study of 1,2-indanedione reagent for operational use in the UK: Part 2 – Optimization of processing conditions. *Forensic science international*, 288, 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.044>
16. Palash, K. B. in Mohammad, J. K. (2017). Fingerprint: A unique and reliable method for identification. *Journal of Enam Medical College*, 7(1), 29–34.
17. Vidic, V. (1973). *Kriminalistična tehnika*. Šolski center za strokovno izobraževanje delavcev v organih za notranje zadeve.
18. Wilkinson, D., Rumsby, D., Babin, B., Meritt, M. in Marsh, J. (2005). *The result from a Canadian National Field trial comparing 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) with ninhydrin and the sequence DFO followed by ninhydrin – Technical report*. Canadian police research centre. <https://www.publicsafety.gc.ca/lbrr/archives/cnmcs-plcng/cn28565-eng.pdf>
19. Yount, L. (2007). *Forensic science: From fibers to fingerprints*. Chelsea House Publishers.
20. Zhao, Y., Wang, L., Li, W., You, W. in Farrugia, K. (2021). Effect of carrier solvent in 1,2-indanedione formulation on the development of fingermarks on porous substrates. *Forensic science international*, 318, 110589. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110589>

Usefulness of Indandion and DFO Reagents in Eliciting Papillary Line Traces

Matej Trapečar, Ph.D., Associate Professor of Logistics, Head of the Department for Dactyloscopy, National Forensic Laboratory, General Police Directorate, Slovenia. ORCID: 0000-0002-6788-677X. E-mail: matej.trapecar@policija.si

Patricija Jankovič, Ph.D., Associate Professor of Logistics and Law, AREMA Academy for Logistics and Management, Slovenia. ORCID: 0000-0003-4595-0379. E-mail: patricija.jankovic@guest.arnes.si

Sašo Murtič, Ph.D., Associate Professor of Management and Law, Faculty of Industrial Engineering, Slovenia. ORCID: 0000-0002-2959-6309. E-mail: saso.murtic@fini-unm.si

Papillary line traces are important evidence of the presence of the offender at a crime scene or on objects related to the crime scene and the victim, and provide a basis for finding relevant information to confirm the presumption made. In this study, we determined the suitability of the methods of using the reagents Indandione and DFO for recovering papillary line traces. The reagents are used to examine porous and semi-porous contact surfaces. For the experimental part of recovering papillary line traces, we used white paper, white printed paper, paper towels, brown cardboard, colour magazines, newspapers, tea packaging, cigarette packaging boxes and waxed cardboard. Before the experimental process, papillary line traces were caused on the objects. The samples were stored in a dark laboratory room at room temperature between 22°C and 24°C and prepared for recovery at different time intervals. Indandione in controlled and uncontrolled conditions, and DFO in controlled conditions were used for the recovery of papillary line traces. After completing the recovery procedures and evaluating the papillary line traces, we found that about 50% more lines were recovered with Indandione than DFO on the samples. The quality and usefulness of the papillary line traces were also better with Indandione, which provides a more sound basis for further examination of individual cases. In our study, we found that Indandione is useful for recovering papillary line traces on (semi)porous surfaces. The final results showed that the effectiveness of Indandione in recovering papillary line traces on the study examination areas is superior to DFO. The Indandione method will be implemented in the future in forensic fingerprint examination of the laboratory.

Keywords: forensics, fingerprints, porous surfaces, marks recovery, Indandione

UDC: 343.983.2