

# Određivanje pripadnosti otiska prsta lijevoj ili desnoj ruci

---

**Kolombatović, Rino Rivi**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, University Department for Forensic Sciences / Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za forenzične znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:227:164420>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported/Imenovanje-Bez prerada 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**

SVEUČILIŠTE  
U  
SPLITU



SVEUČILIŠNI  
ODJEL ZA  
FORENZIČNE  
ZNANOSTI

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA  
FORENZIČNE ZNANOSTI**

**ISTRAŽIVANJE MJESTA DOGAĐAJA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ODREĐIVANJE PRIPADNOSTI OTISKA  
PRSTA LIJEVOJ ILI DESNOJ RUCI**

**RINO RIVI KOLOMBATOVIĆ**

**Split, rujan 2021.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA  
FORENZIČNE ZNANOSTI**

**ISTRAŽIVANJE MJESTA DOGAĐAJA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ODREĐIVANJE PRIPADNOSTI OTISKA  
PRSTA LIJEVOJ ILI DESNOJ RUCI**

**MENTOR: dr. sc. IVAN JERKOVIĆ**

**KOMENTOR: Toni Ljubić, mag. forens.**

**RINO RIVI KOLOMBATOVIĆ**  
**458/2018**

**Split, rujan 2021.**

Rad je izrađen na Sveučilišnom odjelu za forenzične znanosti u Laboratoriju za istraživanje mjesta događaja pod nadzorom mentora dr. sc. Ivana Jerkovića i komentora Tonija Ljubića u vremenskom razdoblju od veljače 2021. do rujna 2021. godine.

**Datum predaje diplomskog rada: 15. rujan 2021.**

**Datum prihvaćanja rada: 17. rujan 2021.**

**Datum usmenog polaganja: 21. rujan 2021.**

**Povjerenstvo: 1. Izv.prof. dr. sc. Željana Bašić**

**2. Izv.prof dr. sc. Ivana Kružić**

**3. Dr. sc. Ivan Jerković**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Pojam forenzične znanosti.....	1
1.2. Daktiloskopija i identifikacija .....	2
1.3. Papilarne linije i njihova klasifikacija.....	3
1.4. Procjena pripadnosti otiska lijevoj ili desnoj ruci .....	7
2. CILJEVI I HIPOTEZE.....	10
3. MATERIJALI I METODE.....	11
3.1. Materijali .....	11
3.2. Analiza otisaka prstiju.....	12
3.3. Statistička analiza .....	15
4. REZULTATI .....	17
4.1. Struktura uzorka.....	17
4.2. Razlika između lijeve i desne strane u mjerama.....	17
4.3. Razlika između lijeve i desne strane u omjerima .....	19
4.4. Razlika između lijeve i desne strane u nemetričkim obilježjima .....	20
4.5. Modeli za klasifikaciju .....	25
4.5.1. Klasifikacija strane otiska s pomoću mjera na temelju logističko-regresijskog modela .....	25
4.5.2. Klasifikacija strane otiska s pomoću omjera na temelju logističko-regresijskog modela .....	26
4.5.3. Klasifikacija strane otiska s pomoću nemetrički varijabli na temelju algoritma slučajne šume.....	27
5. RASPRAVA .....	28
5.1. Metričke varijable .....	28
5.2. Omjeri i nemetrička obilježja .....	28
5.3. Modeli klasifikacije.....	30
5.4. Nedostatci istraživanja i prijedlozi za buduća istraživanja .....	31
6. ZAKLJUČCI .....	32
7. LITERATURA .....	33
8. SAŽETCI.....	36
9. ŽIVOTOPIS.....	38
10. IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI .....	39

# 1. UVOD

## 1.1. Pojam forenzične znanosti

Koncept pojma forenzika (lat. *forensis* - pred sudom), odnosno forenzične znanosti, opisuje granu znanosti koja proučava ljude, mjesta i stvari povezane s kriminalnim radnjama (1). Ova je znanstvena disciplina primjena znanosti u rješavanju pravnih sporova. Znanost je u kontekstu forenzike vrlo vrijedna jer pruža pouzdane, relevantne i često ključne informacije koje će odrediti ishod danog slučaja. Nadalje, informacije koje forenzika pruža, često se ne mogu dobiti na druge načine (2). Takve informacije mogu biti ključne za ispitivanje sumnji o počinjenju kaznenog djela, a ako ima dokaza o počinjenju ovakvog djela, i tko ga je počinio. Također, omogućuju i provjeru očevidaca o događajima koji su se dogodili tijekom određenog incidenta, kao i pribavljanje novih informacija ili tragova mjerodavnim tijelima (2).

Prvi pronalazak forenzičnih tragova (bliskih današnjim poimanjima) procijenjen je na starost od 6000 g. pr. Kr. kada su na arheološkom nalazištu u sjeverozapadnoj Kini pronađeni dijelovi otisaka papilarnih linija. Ovi se ovi uzorci smatraju najstarijim otiscima papilarnih linija, iako nije poznato jesu li pohranjeni slučajno ili s posebnom namjerom stvaranja ukrasnih uzoraka ili simbola (2). Suvremene forenzične znanosti započele su s razvojem od 16. stoljeća. Alphonse Bertillon bio je francuski znanstvenik koji je u 19. stoljeću prvi uveo antropometrijsko mjerenje kao sustav identifikacije i klasifikacije osuđenika. Antropometrijsko je mjerenje metoda kojom se provode anatomska mjerenja dijelova tijela. Ovakav sustav mjerenja naziva se Bertillonova koja se ponajviše oslanja na fiziološke različitosti ljudskih dijelova tijela (3). Bertillonova metoda nije zaživjela jer se suvremena forenzika sve više okretala na metodi analize otisaka papilarnih linija kao identifikacije ljudi, a ne na antropometrijskim mjerenjima. Tomu su najviše pridonijele dvije osobe koje su zaslužna za osmišljavanje dvaju najtrajnijih sustava klasifikacije otisaka prstiju: Ivan Vučetić i Sir Edward Henry. Ivan Vučetić u kolovozu 1891., primijenio je u praksi sustav daktiloskopske klasifikacije otisaka prstiju, i to uz pomoć kartona koji se sastojao od popisa svih deset prstiju i tako je omogućio da se svakoj osobi dodijeli osobni identifikacijski karton s kojim će uz pomoć izuzetih papilarnih linija moći utvrditi identitet osobe (4).

## 1.2. Daktiloskopija i identifikacija

Identifikacija je postupak kojim se utvrđuju pravna, faktična i biološka obilježja tj. razlike jedne osobe od druge. Pravna su obilježja dobivena na temelju zakonskih propisa države (ime, prezime, prebivalište i dr.) i ona se mogu mijenjati zakonski. Faktična obilježja jesu obilježja nastala našim rođenjem (datum, mjesto rođenja, nacionalnost i dr.). Biološka su obilježja najvažnija u kriminalističko-forenzičnom smislu za utvrđivanje tzv. biološkog identiteta (5).

Postoje tri načina kojima se osobe mogu kriminalistički identificirati:

- evidencijski – utvrđivanje identiteta putem evidencijskih isprava
- istražni – utvrđivanje identiteta putem fotografije ili „u živo“
- ekspertizni – utvrđivanje identiteta s pomoću analize DNK-a i daktiloskopije

(5).

Metoda koja utvrđuje identitet osoba, na temelju papilarnih linija na prstima, dlanovima i tabanima ljudi naziva se daktiloskopija. Daktiloskopija je grana papilaroskopije, a to je znanost koja identificira i registrira sve osobe unutar različitih sustava koji posjeduju papilarne linije kao sredstvo identifikacije (5).

Papilarne linije (lat. *papillae*) jedinstven su spoj kvržica, ispupčenja, linija i brazdi koje se nalaze na unutarnjoj strani prstiju, dlanova i tabana (6). Svaka osoba na svijetu ima različite papilarne linije, što ih čini jedinstvenim u smislu identifikacije.

Minucije su individualna obilježja papilarnih linija. Da bi se dokazao identitet osobe uz pomoć broja pronađenih minucija on treba biti u skladu sa zakonom, tj. broj pronađenih minucija na otisku papilarnih linija mora biti određen broj (u RH, 12 minucija) (7). Minucije se javljaju u obliku točke, isprekidane linije, crte, otočića, račvanja, kukica, početka i kraja crte, jezerca, fragmenta, mostića i sl. (preko 100 minucija) (5).

### 1.3. Papilarne linije i njihova klasifikacija

Tragovi papilarnih linija se nalaze često na poprištima različitih kriminalnih radnji, događaja i sl. Ti tragovi, kada se vještače, mogu povezati osumnjičenika s mjestom događaja.

Tragovi papilarnih linija ne služe samo radi uhićenja ili procesuiranja osoba, oni služe i za identifikaciju mrtvih tijela, osoba koje pate od amnezije te kad dođe do masovnih žrtava pogođenih prirodnim katastrofama, ratom, terorističkim napadom i sl. (8).

Tragovi papilarnih linija prije su bile čuvane u kartonima, praktički nisu bile digitalizirane, ali tehnološkim razvojem po tom pitanju stvari su se promijenile.

Automatizirani sustav za prepoznavanje otisaka prstiju (eng. *Automated Fingerprint Identification* - AFIS) je digitalna baza podataka sastavljena od zbirki klasificiranih otisaka papilarnih linija koja omogućava brzo pretraživanje i pronalaženje / usporedba otisaka putem softvera (9).

Podjela tj. klasifikacija otiska crteža papilarnih linija (općih obilježja) dijeli se na tri temeljna oblika i pet podoblika (8):

- Oblik zamke – linije idu u smjeru središta, gdje su uvijaju i odlaze ponovno odakle su počele. Mjesto gdje linije čine zavoj, mjesto je račvanja, nazvano delta.
  - Radijalna zamka (Slika 1) – nakon savijanja, linije teku prema radijalnoj (palčanoj) strani dlana; oko 5 % papilarnih linija su radijalne zamke.
  - Ulnarna zamka (Slika 2) – nakon savijanja, linije teku prema ulnarnoj strani dlana (malom prstu); oko 60 % papilarnih linija ulnarne su zamke.



Slika 1. Radijalna zamka na prstu desne ruke





Slika 2. Ulnarna zamka na prstu desne ruke

- Oblik luka – linije polaze s jedne strane otiska, idu put središta uzdižući se (čine luk) te čim prođu središte ponovo se spuštaju i završavaju na drugoj strani.
  - Jednostavan luk (Slika 3) – linije čine luk u središtu te se spuštaju
  - Jelovit luk (Slika 4)– u središtu dolazi do naglog uzdizanja te linije više nalikuju na jelu/šator.



Slika 3. Jednostavan luk



Slika 4. Jelovit luk

- Oblik kruga – u središtu kruga nalazi se kružni vrtlog, a na mjestima račvanja moraju biti najmanje dvije delte, lijeva i desna.
  - Jednostavan krug (Slika 5) – samo jedna linija ili više njih opisuje puni krug oko središta.
  - Zamka sa središnjim džepom (Slika 6) – zamka okružuje središnji krug.
  - Dvostruka zamka (Slika 7) – dvije zamke koje okružuju jedna drugu.
  - Mješovit uzorak (Slika 8) – svaki uzorak koji ne spada ni u jednu skupinu oblika koji su navedeni.



Slika 5. Jednostavan krug



Slika 6. Zamka sa središnjim džepom



Slika 7. Dvostruka zamka



Slika 8. Mješoviti

Vrste otisaka papilarnih linija mogu se podijeliti na daktiloskopske otiske, vidljive otiske, reljefne otiske i latentne otiske. Otisci nastali prenošenjem pomoću tiskarske boje nazivaju se daktiloskopski otisci. Ako dođe do prenošenja otiska papilarnih linija uzrokovanih tvarima kao što su boja, krv, tinta ili sl. onda su to vidljivi otisci. Otisci vidljivi na mekanim površinama, vosku, glini i sl. zovu se reljefni otisci. Otisci nastali prijenosom ljudskih izlučevina znoja kroz kožu na podlogu, ostavljajući otisak papilarnih linija, najučestalija su vrsta tragova pronađenih na mjestima događaja (8).

#### 1.4. Procjena pripadnosti otiska lijevoj ili desnoj ruci

Daktiloskopsko vještačenje čini skup radnji kao što su detekcija i identifikacija spornih tragova. Stručna osoba, zadužena za vještačenje, donosi svoj nalaz i mišljenje nakon što analizira otiske papilarnih linija (10). Za otiske papilarnih linija prilikom vještačenja, kad se može, prvo se gledaju opće, pa onda tek posebne značajke. To uključuje pregled opisanih općih oblika te potom podudarnost posebnih anatomskih obilježja (minucija). Strana ruke je opća značajka koja bi se također mogla rabiti radi eliminacije na temelju otiska papilarnih linija.

Asimetrija otisaka prsta lijeve i desne ruke kod čovjeka nastaje već u utrobi tijekom prva tri mjeseca trudnoće te se najviše očituje u broju grebena. Asimetričnost se najčešće očituje većim brojem grebena s lijeve ili desne strane što utječe i na druge morfološke varijacije na samome otisku (11). Osim toga, Lijeva asimetrija je češća kod žena, dok ukupno gledajući, muškarci imaju veći broj grebena ukupno (11). Najčešći oblici otisaka koji su asimetrični su petlje/zamke i krugovi, iako odaju dojam simetričnosti (12).

Do sada je provedeno samo nekoliko istraživanja (13–16) na temu povezanosti otisaka papilarnih linija i strane ruke. Gotovo su sva istraživanja provedena na analizi otiska prsta pravog kruga u svrhu identificiranja strane ruke na temelju provedenih opažanja.

Istraživanje provedeno u Nagpuruu rabilo je primarno nagib središta kruga (eng. *core slope*), kao mjeru opažanja da ispita postoji li povezanost otiska prsta sa stranom ruke (14). Provedeno istraživanje se koristilo Henryevom klasifikacijom (17) otisaka prstiju 290 osoba, 173 žene i 117 muškaraca. Od 2900 otisaka, 743 otiska su bili pravi krug te su uključeni u istraživanje. Na otiscima desne ruke, 81,82 % ( $n = 315$ ) imalo je nagib središta kruga desno, 10,65 % ( $n = 41$ ) lijevo, a 7,53 % ( $n = 29$ ) bilo je uspravno. Na otiscima lijeve ruke, 80,73 % ( $n = 289$ ) imalo je nagib središta kruga lijevo, 9,22 % ( $n = 33$ ) desno, a 10,05 % ( $n = 36$ ) bilo je uspravno. Navedene razlike bile su statistički značajne ( $P < 0,001$ ), čime je pokazano da postoji

povezanost između promatranih varijabli i strane ruke (14).

Istraživanje na fakultetu Masaryk (16) provedeno je na uzorcima pravog kruga, dvostruke zamke i zamke sa središnjim džepom. Uzorak se sastojao od 1241 otiska kruga. Uzorak je izuzet od 204 žena i 198 muškaraca (Čeha, Slovaka i Lužičkih Srba) iz Njemačke i bivše Čehoslovačke republike iz prijašnjih baza. Za svaku osobu u svrhu analize dokumentirani su sljedeći podaci: godina, spol, ruka i prst. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da određena kombinacija više varijabli može dokazati pripadnost otiska prsta ruci (16). Provedena su sljedeća opažanja kako bi se ispitala povezanost otiska prsta sa stranom ruke: rotacija kruga (eng. *rotation of central ridge*), praćenje grebena (eng. *ridge tracing*) i nagib središta kruga (eng. *core slope*). U pravim krugovima u 91,24 % radilo se o rotaciji suprotnoj od kazaljke na satu na desnoj ruci. Praćenje grebena prati kretanju grebena od donje strane lijeve delte sve do najbliže točke desne delte. Smjer ili forma grebena može biti unutrašnja, vanjska i sastajuća (15). U dvostrukih zamki 84 % uzoraka imao vanjsku formu na desnoj ruci, 84 % unutrašnju formu na lijevoj ruci, dok je na pravim krugovima 75 % imao vanjsku formu na desnoj ruci i 58% unutrašnjoj formu na lijevoj ruci. Središte kruga na desnoj ruci u 90 % slučajeva imalo je desni nagib, a na lijevoj ruci u 80 % slučajeva lijevi nagib.

Istraživanje provedeno na Marathi populaciji u centralnoj Indiji napravljeno je od 250 otisaka prstiju (125 muškaraca i 125 žena). Utvrđena je statistički značajna povezanost strane ruke i odabranih obilježja. Parametri koji su mjereni i opažani su se sastojali od (13): rotacija kruga, praćenje grebena, nagib središta kruga, kut lijeve i desne delte donji, udaljenost između delte i središta, broj grebena od obiju delti do središta kruga (18) i okomita simetrala (eng. *perpendicular bisector*). Rezultati istraživanja su pokazali da je u otisaka desne ruke, nagib središta kruga u 96 % slučajeva desno, dok je na lijevoj ruci lijevo u 73,2 % slučajeva. Rotacija kruga bila je u 84,4 % slučajeva na desnoj ruci u suprotnom smjeru od kazaljke na satu, a na lijevoj u 80 % u smjeru kazaljke na satu. Na desnoj ruci, okomita simetrala češće je bila položena lijevo, a na lijevoj ruci desno. Praćenje grebena bilo je unutrašnje forme na lijevoj ruci u 85,2 % slučajeva, dok kombinacija sastajuće i vanjske forme bila češća na desnoj ruci, točnije u 87,6 % slučajeva. Na desnoj ruci u 91,2 % slučajeva broj grebena između delte i središta bio je veći na lijevoj strani, dok je na desnoj ruci broj grebena bio veći od desne delte do središta u 86,4 % slučajeva. Na desnoj ruci, udaljenost između lijeve delte i središta bila je veća u 89,2 % slučajeva, dok je na drugoj strani udaljenost između desne delte i središta bila veća u 86,8 % slučajeva.

Zajedničko svim istraživanjima je to da su u većini slučajeva varijable bile samo opažane, bez mjerenja varijabli i iako su pokazane određene statistički značajne razlike u

stranama ruke i odabranim varijablama, rezultati nisu primijenjeni kako bi se razvili klasifikacijski modeli. Ispitivanjem navedenih statističkih modela moglo bi se primjenjivati da se na otisku prsta (kojem se ne zna strana) određene mjere/opažanja koriste kao nezavisne varijable za ispitivanje pouzdanosti dobivenog rezultata.

## **2. CILJEVI I HIPOTEZE**

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati postoje li razlike između lijeve i desne ruke u otiscima prsta oblika kruga u odabranim metričkim i morfološkim značajkama te razviti statističke klasifikacijske modele kojima se određuje potječe li otisak s lijeve ili desne ruke.

Hipoteze ovog istraživanja jesu:

1. Odabrane mjere i njihovi omjeri pokazat će statistički značajne razlike između otisaka lijevih i desnih prstiju.
2. Odabrane morfološke značajke pokazat će statistički značajne razlike između otisaka lijevih i desnih prstiju.
3. Metričke značajke pokazat će veću točnost u klasifikaciji strane otiska prstiju u odnosu na morfološka opažanja.

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Materijali

U svrhu analize i statističke obrade otisaka prstiju preko mrežne stranice <https://nigos.nist.gov> zatražen je pristup NIST (NIST Special Database 300) bazi podataka, tj. otisaka papilarnih linija (19). Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (eng. National Institute of Standards and Technology - NIST) je odobrio uporabu njihove baze otisaka prstiju u svrhu istraživanja. Svi otisci prstiju nastali su u ranim 1900-ima kod uhićenih osoba diljem SAD-a, a izuzeti su tintom na standardnom obrascu za izuzimanje otisaka prstiju. Svi dokumentirani otisci prstiju skenirani su preko Epson Perfection 4990 i Epson V700 foto skenera (Seiko Epson Corporation, Suwa, 2008). NIST softver za skeniranje, nazvan NISTscan (20), automatizirano je skenirao cijelu bazu otisaka u tri različite rezolucije, a to su 500 piksela po inču (ppi), 1000 ppi i 2000 ppi. Sve tri rezolucije su skenirane u 8 bitnim tonovima sive. Rezolucija svih pregledanih otisaka prsta je 500 ppi.

Svi podatci korišteni za izradu ovog diplomskog rada izuzeti su iz NIST baze podataka koja sadrži ukupno 8871 otisak. Otisci iz baze pregledani su u računalnome programu Gimp (GIMP Development Team, ver. 2.10.24) te su iz baze izdvojeni otisci izuzeti valjanjem (eng. *rolled prints*), i to samo otisci oblika pravog kruga te samo oni odgovarajuće kvalitete, odnosno bez vidljivih nedostataka u vidu zamućenja, zasićenja ili nepotpunosti otiska. Ukupno je uključeno 100 otisaka prstiju lijeve ruke i 100 otisaka prstiju desne ruke koji su po klasifikaciji bili pravi krugovi.



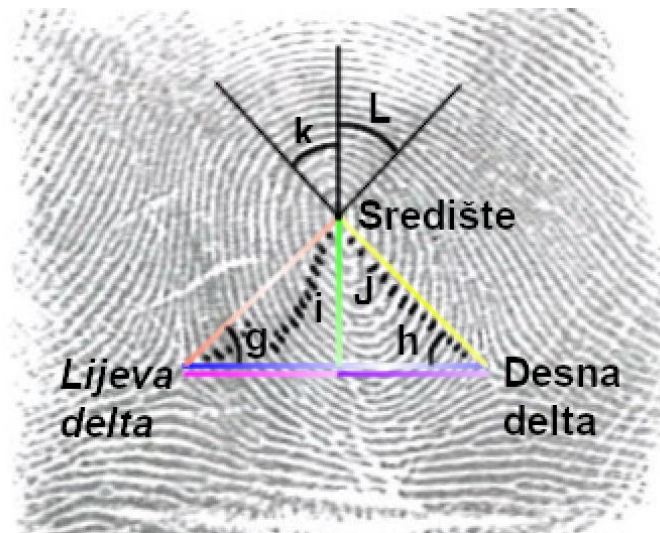
### 3.2. Analiza otisaka prstiju

Svaki otisak papilarnih linija pravog kruga pojedinačno je otvoren u programu Gimp (ver. 2.10.24) i provedena su sljedeća mjerenja (Slike 1 i 2):

- a) udaljenost između delta – linearna udaljenosti između lijeve delte i desne delte
- b) udaljenost lijeve delte od okomice središta kruga – linearna udaljenosti lijeve delte do okomice spuštene od središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte
- c) udaljenost desne delte od okomice središta kruga – linearna udaljenosti desne delte do okomice spuštene od središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte
- d) udaljenost središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte – duljina okomice od središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte
- e) udaljenost lijeve delte do središta kruga – izravna udaljenost lijeve delte do središta kruga
- f) udaljenost desne delte do središta kruga – izravna udaljenost desne delte do središta kruga
- g) donji kut lijeve delte – kut između linije koja povezuje dvije delte i linije koja povezuje lijevu deltu i središte
- h) donji kut desne delte – kut između linije koja povezuje dvije delte i linije koja povezuje desnu deltu i središte
- i) broj grebena od lijeve delte do središta kruga (*eng. ridge count left*) – broj grebena počevši od lijeve delte do središta kruga (21)
- j) broj grebena od desne delte do središta kruga (*eng. ridge count right*) – broj greben počevši od desne delte do središta kruga (21)
- k) gornji kut lijevo – kut između okomice od središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte i produžetak linije koja spaja deltu sa središtem
- l) gornji kut desno – kut između okomice od središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte i produžetak linije koja spaja deltu sa središtem



Slika 1. Mjerenja na otisku (a – f)



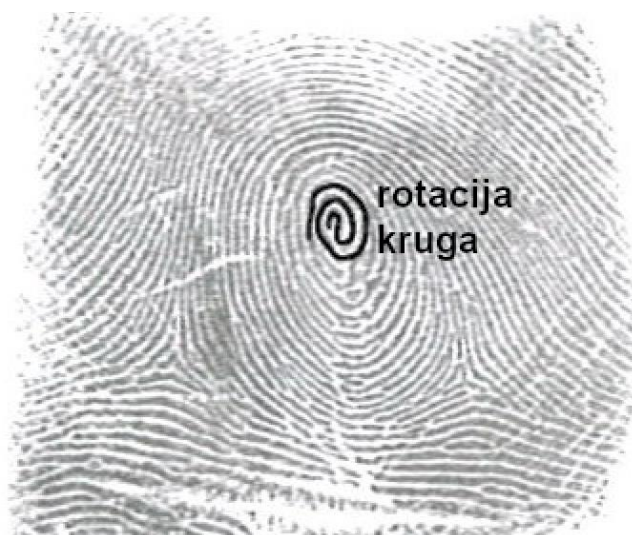
Slika 2. Mjerenja na otisku (g – l)

Osim mjerenja provedena su i opažanja kojima su uključene sljedeće značajke:

- rotacija kruga (*eng. rotation of central ridge*) – rotacija središnjeg grebena u jezgri u smjeru kazaljke na satu ili u suprotnom smjeru (22).
- okomita simetrala (*eng. perpendicular bisector*) – okomica na liniju dviju delti, dijeli liniju dviju delti na sredinu. Ovisno o okomici povučenoj iz središta na okomicu linije koja spaja dvije delte, simetrala može biti lijevo ili desno orijentirana (15).
- nagib središta kruga (*eng. core slope*) – nagib najdublje točke središta kruga, može biti lijevo, desno ili uspravno (16).



Slika 3. Mjera opažanja okomite simetrale



Slika 4. Mjera opažanja rotacije kruga



Slika 5. Mjera opažanja nagiba središta kruga

Nakon mjerenja i opažanja izračunati su sljedeći omjeri:

- Omjer između udaljenosti lijeve delte i desne delte od udaljenosti središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte.
- Omjer između donjeg kuta lijeve delte i donjeg kuta desne delte.
- Omjer između udaljenosti lijeve delte do središta kruga i desne delte do središta kruga.
- Omjer broja grebena od lijeve delte do središta i desne delte do središta.
- Omjer gornjeg kuta lijevo i gornjeg kuta desno.

Na temelju omjera u obliku kategorijske varijable zabilježeno je jesu li određene značajke bile veće na lijevoj ili desnoj strani na otiscima lijeve i desne ruke.

### 3.3. Statistička analiza

Deskriptivni statistički pokazatelji za kontinuirane varijable prikazani su kao srednje vrijednosti i standardne devijacije (SD), dok su kategorijske prikazane kao učestalosti i postotci. Statistička značajnost razlika za kontinuirane varijable ispitana je t-testom za nezavisne (neparne) uzorke, a za kategorijske se varijable koristilo testom hi-kvadrat.

Varijable sa statističkim značajnim razlikama uporabljene su za izradu klasifikacijskih modela kojim se na temelju razmatranih značajki procjenjuje pripada li otisak lijevoj ili desnoj ruci. Ukupni uzorak je nasumično podijeljen na uzorak za razvoj (80 %) i nezavisni uzorak za testiranje modela (20 %). Za validaciju i odabir varijabli primijenjena je peterostruka unakrsna validacija (*eng. 5-fold cross-validation*). U toj metodi ukupni se uzorak za razvoj modela nasumce dijeli na pet dijelova. Četiri od pet dijelova zatim se rabe za razvoj modela, a jedan za validaciju, odnosno ispitivanje točnosti te se on ponavlja dok se tako ne izmjene sve kombinacije (23).

Za kontinuirane varijable modeli su razvijeni s pomoću logističke regresije, a za kategorijske algoritmom slučajne šume (*eng. Random Forest*) prema algoritmu (24,25).

Model logističke regresije može se prikazati sljedećim izrazom:

$$L = C + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_nx_n$$

, gdje

L – označuje log-vrijednost (0 do 1) (26).

C – konstantu

B – nestandardizirani koeficijent

X – nezavisne varijable korištena u radu, tj. mjera ili omjer (27).

Za pretvorbu log-vrijednosti u vjerojatnost, sljedeća je formula korištena:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-L}} \dots \dots P = 1 - P$$

Ako je dobivena vrijednost veća od 0,5, radi se o lijevom otisku prsta, a ako je manja, o desnom otisku prsta.

Slučajna šuma, metoda je za predviđanje (regresiju) i klasifikaciju koja može rabiti numeričke i kategorijske varijable. Algoritam se temelji na kombiniranju više stabala odlučivanja, čime se stvara optimalan i stabilan model (28).

Kako bi se odabralo koje će varijable biti uključene u modele za klasifikaciju strane otisaka/tragova, odabran je algoritam za rekurzivno uklanjanje značajki (eng. *Recursive Feature Elimination – RFE*). Tim je algoritmom za svaku vrstu modela odabran broj i kombinacija varijabli koja na validacijskome uzorku daje najveću točnost (29).

Za deskriptivnu analizu podataka primijenjen je računalni program MedCalc (MedCalc Software Ltd, Ostend, ver.19.2.6), dok su za razvoj klasifikacijskih modela primijenjeni statistički program R (3.6.2) i RStudio (Public Benefit Corporation (PBC), Boston, ver.1.2.1335). Razina statističke značajnosti postavljena je na  $P \leq 0,05$  za sve provedene testove.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Struktura uzorka

Ukupno je pregledano 1140 otisaka, od kojih je prema kriterijima uključivanja, 200 odabrano kao relevantno za analizu. Prilikom određivanja mjera otisaka papilarnih linija u spomenutom uzorku, 12 otisaka (sedam lijevih i pet desnih), zbog nemogućnosti izuzimanja mjera za analizu, nisu uvršteni u rezultate istraživanja. Zbog nastalog manjka uzoraka, dodatno su se analizirali otisci u NIST bazi da bi se došlo do brojke od 100 otisaka papilarnih linija lijeve i desne ruke. Pregledano je dodatno 39 otisaka, gdje se dolazi do konačne brojke od 1179 pregledanih otisaka. Postotak pravih krugova od 1179 pregledanih otisaka iznosi 16,96 %. Od 200 odabranih otisaka za analizu postotak otisaka po određenom prstu je sljedeći: 24,5 % palac (32 desne ruke i 17 lijeve), 22 % kažiprst (17 desne ruke i 27 lijeve ruke), 11 % srednji prst (četiri desne ruke i 18 lijeve ruke), 37,5% prstenjak (40 desne ruke i 35 lijeve ruke) i 5 % mali prst (sedam desne ruke i tri lijeve ruke).

### 4.2. Razlika između lijeve i desne strane u mjerama

Tablica 1. prikazuje deskriptivne statističke podatke mjera otisaka lijeve i desne ruke te rezultate t-testa za nezavisne uzorke. Od 12 promatranih varijabli, šest ih je pokazalo statistički značajnu razliku u srednjim vrijednostima između lijeve i desne strane ( $P \leq 0,05$ ). Prema t-vrijednostima, najveću razliku pokazale su varijable kuta lijeve delte, dok je najmanja razlika zapažena za kutove desne delte i broja grebena.

**Tablica 1.** Deskriptivni statistički podatci i rezultati t-testa za metričke varijable (n = 160)

Varijable	Lijeva strana			Desna strana			t-test	
	n	Srednja vrijednost	SD	n	Srednja vrijednost	SD	t	P <sup>a</sup>
Udaljenost središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte	80	6,45	1,22	80	5,82	1,31	3,160	<b>0,002*</b>
Udaljenost između delta	80	13,96	3,12	80	15,03	3,87	-1,910	0,058
Udaljenost lijeve delte od okomice središta kruga	80	6,41	2,18	80	7,85	2,37	-4,015	<b>&lt;0,001*</b>
Udaljenost desne delte od okomice središta kruga	80	7,55	1,66	80	7,17	2,15	1,262	0,209
Donji kut lijeve delte	80	45,84	9,12	80	37,51	9,57	5,637	<b>&lt;0,001*</b>
Udaljenost lijeve delte do središta kruga	80	9,27	2,04	80	9,93	2,23	-1,956	0,052
Donji kut desne delte	80	40,76	6,45	80	40,35	10,63	0,296	0,768
Udaljenost desne delte do središta kruga	80	10,01	1,72	80	9,33	1,99	2,301	<b>0,023*</b>
Broj grebena od lijeve delte do središta kruga	80	12,68	3,46	80	15,25	3,92	-4,404	<b>&lt;0,001*</b>
Broj grebena od desne delte do središta kruga	80	13,78	3,21	80	13,34	3,07	0,881	0,380
Gornji kut lijevo	80	44,16	9,12	80	52,49	9,57	-5,637	<b>&lt;0,001*</b>
Gornji kut desno	80	49,24	6,45	80	49,65	10,63	-0,296	0,768

\*Statistički značajne P-vrijednosti

### 4.3. Razlika između lijeve i desne strane u omjerima

U Tablici 2. prikazani su omjeri izračunani na temelju prethodno navedenih varijabli. Sve varijable pokazale su statistički značajne razlike ( $P < 0,001$ ), koje su po prilici bile podjednako izražene.

**Tablica 2.** Deskriptivni statistički podatci i rezultati t-testa za omjere (n = 160)

Varijable	Lijeva strana			Desna strana			t-test	
	n	Srednja vrijednost	SD	n	Srednja vrijednost	SD	t	P <sup>a</sup>
Udaljenost lijeve delte od okomice središta kruga / Udaljenost desne delte od okomice središta kruga	80	0,88	0,33	80	1,15	0,39	-4,859	<0,001*
Donji kut lijeve delte/ Donji kut desne delte	80	1,15	0,26	80	0,96	0,23	4,869	<0,001*
Udaljenost lijeve delte do središta kruga / Udaljenost desne delte do središta kruga	80	0,93	0,17	80	1,08	0,21	-4,860	<0,001*
Broj grebena od lijeve delte do središta kruga / Broj grebena od desne delte do središta kruga	80	0,95	0,27	80	1,16	0,27	-5,025	<0,001*
Gornji kut lijevo / Gornji kut desno	80	0,91	0,21	80	1,10	0,30	-4,637	<0,001*

\*Statistički značajne P-vrijednosti



#### 4.4. Razlika između lijeve i desne strane u nemetričkim obilježjima

U sljedećim tablicama prikazana je učestalost nemetričkih obilježja na otiscima lijeve i desne ruke: nagib središta kruga (Tablica 3), udaljenost lijeve i desne delte od okomice središta kruga (Tablica 4), kut lijeve i desne delte donji (Tablica 5), udaljenost lijeve i desne delte do središta kruga (Tablica 6), okomita simetrala (Tablica 7), broj grebena od lijeve i desne delte do središta kruga (Tablica 8), rotacija kruga (Tablica 9) i gornji kut lijevo i desno (Tablica 10). Sve razmatrane varijable pokazale su relativno velike i statistički značajne razlike ( $P < 0,001$ ). Najveće razlike zapažene su za nagib središta kruga i rotaciju kruga (Tablica 3 i 9).

**Tablica 3.** Nagib središta kruga na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Nagib središta kruga		
	Lijevo (%)	Desno (%)	Uspravno
Lijeva ruka (n = 80)	63 (78,8)	12 (15)	5 (6,3)
Desna ruka (n = 80)	6 (7,5)	68 (85)	6 (7,5)
Ukupno	69 (43)	80 (50)	11 (6,9)
$\chi^2$	86,378		
P	< 0,001*		

\*Statistički značajne P-vrijednosti

Na desnoj ruci, nagib središta kruga je u lijevo u više od 70 % slučajeva (Tablica 3). Na desnoj ruci, nagib središta kruga je u desno u više od 80 % slučajeva. Ukupno gledano, nagib središta kruga u uspravnom obliku je prisutan u samo 6,9 % slučajeva, a najviše je prisutan nagib u desno, i to u 50 % slučajeva.

**Tablica 4.** Udaljenost lijeve i desne delte od okomice središta kruga na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Udaljenost lijeve i desne delte od okomice središta kruga	
	Veća na lijevoj strani (%)	Veća na desnoj strani (%)
Lijeva ruka (n = 80)	23 (28,8)	57 (71,3)
Desna ruka (n = 80)	49 (61,3)	31 (38,8)
Ukupno	72 (45)	88 (55)
$\chi^2$	16,964	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

Na lijevoj ruci udaljenost desne delte od okomice središta kruga veća je u više od 70 % slučajeva (Tablica 4). Na desnoj ruci udaljenost lijeve delte od okomice središta je veća u više od 60 % slučajeva. Ukupno gledano, udaljenost desne delte od okomice središta kruga je veći u 55 % slučajeva.

**Tablica 5.** Donji kut lijeve i desne delte na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Kut lijeve i desne delte donji	
	Veći na lijevoj strani (%)	Veći na desnoj strani (%)
Lijeva ruka (n = 80)	55 (68,8)	25 (31,3)
Desna ruka (n = 80)	29 (36,3)	51 (63,8)
Ukupno	84 (52,5)	76 (47,5)
$\chi^2$	16,836	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

Na lijevoj ruci kut lijeve delte donji je veći u više od 60 % slučajeva (Tablica 5). Na desnoj ruci donji kut desne delte veći je u više od 60 % slučajeva. Ukupno gledano, donji kut lijeve delte veći je u 52,5% slučajeva.

**Tablica 6.** Udaljenost lijeve i desne delte do središta kruga na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Udaljenost lijeve i desne delte do središta kruga	
	Veća na lijevoj strani (%)	Veća na desnoj strani (%)
Lijeva ruka (n = 80)	23 (28,8)	57 (71,3)
Desna ruka (n = 80)	51 (63,8)	29 (36,3)
Ukupno	74 (46,2)	86 (53,7)
$\chi^2$	19,588	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

Na lijevoj ruci veća je udaljenost desne delte do središta u više od 70 % slučajeva (Tablica 6). Na desnoj ruci udaljenost lijeve delte do središta kruga veća je u više od 60 % slučajeva. Ukupno gledano, u 53,7 % slučajeva udaljenost desne delte do središta je veća od udaljenosti lijeve delte do središta.

**Tablica 7.** Položaj okomite simetrale na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Okomita simetrala	
	Lijevo (%)	Desno (%)
Lijeva ruka (n = 80)	23 (28,8)	57 (71,3)
Desna ruka (n = 80)	49 (61,3)	31 (38,8)
Ukupno	72 (45,0)	88 (55,0)
$\chi^2$	16,964	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

U tablici 7. prikazuje položaj okomite simetrale na otiscima lijeve i desne ruke. Na lijevoj ruci u više od 70 % slučajeva okomita simetrala je položena desno od okomice središta. Na desnoj ruci u više od 60 % slučajeva okomita simetrala bila je lijevo od okomice središta. Ukupno gledano, u 55 % slučajeva okomita simetrala je bila desno od okomice središta.

**Tablica 8.** Broj grebena od lijeve i desne delte do središta kruga na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Broj grebena od lijeve i desne delte do središta kruga	
	Veći na lijevoj strani (%)	Veći na desnoj strani (%)
Lijeva ruka (n = 80)	21 (26,3)	59 (73,8)
Desna ruka (n = 80)	55 (68,8)	25 (31,3)
Ukupno	76 (47,5)	84 (52,5)
$\chi^2$	28,791	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

Na lijevoj je ruci broj grebena bio veći između desne delte i središta kruga u više od 70 % slučajeva (Tablica 8). Na desnoj ruci broj je grebena bio je veći između lijeve delte i središta kruga u više od 60 % slučajeva. Ukupno gledano, broj grebena bio je veći između desne delte i središta kruga u 52,5 % slučajeva.

**Tablica 9.** Rotacija kruga na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Rotacija kruga	
	U suprotnom smjeru od kazaljke na satu (%)	U smjeru kazaljke na satu (%)
Lijeva ruka (n = 80)	66 (82,5)	14 (17,5)
Desna ruka (n = 80)	14 (17,5)	66 (82,5)
Ukupno	80 (50,0)	80 (50,0)
$\chi^2$	67,177	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

U tablici 9. prikazana je raspodjela rotacije kruga na lijevoj i desnoj ruci. Na lijevoj ruci u više od 80 % slučajeva prevladava rotaciju kruga u suprotnom smjeru od kazaljke na satu, dok na desnoj ruci u više od 80 % slučajeva prevladava rotaciju kruga u smjeru kazaljke na satu. Ukupno gledano, rotacija je kruga u promatranom uzorku bila jednaka na objema stranama.

**Tablica 10.** Gornji kut lijevo i desno na otiscima lijeve i desne ruke (n = 160)

Promatrana varijabla	Gornji kut lijevo i desno	
	Veći na lijevoj strani (%)	Veći na desnoj strani (%)
Lijeva ruka (n = 80)	23 (28,8)	57 (71,3)
Desna ruka (n = 80)	51 (63,8)	29 (36,3)
Ukupno	74 (46,2)	86 (53,7)
$\chi^2$	19,588	
P	< 0,001*	

\*Statistički značajne P-vrijednosti

U tablici 10. prikazana je razdioba gornjih kutova na lijevoj i desnoj ruci. Na lijevoj ruci u više od 70 % slučajeva gornji kut desno bio je veći. Na desnoj ruci u više od 60 % slučajeva lijevi gornji kut je bio veći. Ukupno gledano, gornji desni kut bio je veći u 53,7 % slučajeva.

## 4.5. Modeli za klasifikaciju

Na temelju analiziranih varijabli izrađeni su modeli za klasifikaciju otisaka kruga, odnosno procjenu pripadaju li otisci lijevoj ili desnoj ruci. Modeli su zasebno izrađeni za mjere, omjere te kategorijske varijable.

### 4.5.1. Klasifikacija strane otiska s pomoću mjera na temelju logističko-regresijskog modela

Model za procjenu strane otiska izrađen je logističkom regresijom i to na temelju triju varijabli dobivenih stupnjevitom odabirom:

- broj grebena od lijeve delte do središta kruga
- udaljenost središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte
- udaljenost desne delte do središta kruga

Stana otiska može se procijeniti na temelju sljedećega izraza:

$$M1 = 0.3736 \times \text{broj grebena od lijeve delte do središta kruga} - 0.6967 \times \text{udaljenost središta kruga na liniju koja povezuje dvije delte} + -0.2551 \times \text{udaljenost desne delte do središta kruga} + 1.5949$$

**Tablica 10.** Točnost procjene s pomoću mjera na temelju logističko-regresijskog modela

Uzorak	Lijevi otisci	Desni otisci	Ukupno
Validacijski uzorak	60/80 (75 %)	58/80 (72,5 %)	118/160 (73,75%)
Testni uzorak	13/20 (65 %)	17/20 (85 %)	30/40 (75 %)

U tablici 10. navedeni su parametri točnosti algoritma za stupnjeviti odabir. Točnost algoritma u validacijskom uzorku bila je viša u lijevih otisaka, a u testnom uzorku ona je viša u desnih otisaka. Ukupna točnost algoritma za validacijski uzorak iznosila je 73,8 %, dok je za testni bila nešto viša (75 %).

#### 4.5.2. Klasifikacija strane otiska s pomoću omjera na temelju logističko-regresijskog modela

Model za procjenu strane otiska izrađen je logističkom regresijom i to na temelju triju varijabli omjera dobivenih stupnjevitom odabirom:

- omjer broja grebena od lijeve i desne delte do središta kruga
- omjer gornjega kut lijevo i desno
- omjer udaljenosti lijeve i desne delte od okomice središta kruga

Stana otiska može se procijeniti na temelju sljedećega izraza:

$$M2 = 1.661 \times \text{broj grebena od lijeve i desne delte do središta kruga} + 5.349 \times \text{gornji kut lijevo i desno} + 1.717 \times \text{udaljenost lijeve i desne delte od okomice središta kruga} - 5.319$$

**Tablica 11.** Točnost procjene s pomoću varijabli omjera na temelju logističko-regresijskog modela

Uzorak	Lijevi otisci	Desni otisci	Ukupno
Validacijski uzorak	54/80 (67,50 %)	58/80 (72,5 %)	112/160 (70%)
Testni uzorak	12/20 (60 %)	16/20 (80 %)	30/40 (75 %)

U tablici 11. navedeni su parametri točnosti logističko-regresijskoga modela za varijable omjera. Točnost validacijskog uzorka i testnog uzorka je veća u desnih otisaka. Ukupna točnost je bila veća na testnom uzorku te je iznosila 75 %.

#### 4.5.3 Klasifikacija strane otiska s pomoću nemetrički varijabli na temelju algoritma slučajne šume

Model za klasifikaciju strane otiska s pomoću nemetričkih (kategorijskih) varijabli izrađen je algoritmom slučajne šume te je obuhvatio sljedeće varijable: nagib središta kruga, rotacija kruga, broj grebena od lijeve i desne delte do središta kruga i gornji kut lijevo i desno. Zbog složenosti navedenog algoritma, model nije moguće prikazati u obliku izraza ili grafički, već je njegova primjena moguća isključivo uvrštavanjem podataka u računalni model.

**Tablica 12.** Točnost procjene s pomoću nemetričkih varijabli na temelju algoritma slučajne šume

Uzorak	Lijevi otisci	Desni otisci	Ukupno
Validacijski uzorak	63/80 (78,75 %)	72/80 (90 %)	135/160 (84,38%)
Testni uzorak	15/20 (75 %)	17/20 (85 %)	32/40 (80 %)

U tablici 12. prikazan je točnost procjene strane otiska modelom slučajne šume. Ukupna je točnost na oba uzorka bila veća od 80 %, pri čemu je pojedinačna točnost klasifikacije lijevih i desnih uzoraka bila veća za desnu stranu i to s rezultatom većim od 85 %.



## 5. RASPRAVA

Rezultati istraživanja potvrdili su da postoje razlike u nemetričkim obilježjima crteža papilarnih linija oblika pravog kruga između lijeve i desne ruke, ali i da se te razlike očituju u mjerama i omjerima osmišljenih na temelju navedenih obilježja. Osim toga, ovo je prvi rad koji je na temelju dobivenih mjera, omjera i nemetričkih varijabli ne samo usporedio odnose mjera lijeve i desne ruke, nego i razvio statističke modele kojim se na temelju razmatranih obilježja može klasificirati strana nepoznatoga otiska s točnošću između 70 i 84 %. Navedeni rezultati mogli bi poslužiti kao temelj za buduća istraživanja te automatizaciju procesa, čime bi se mogao ubrzati proces eliminacije, odnosno identifikacije na temelju papilarnih linija.

### 5.1. Metričke varijable

Na temelju mjera iz prethodnih istraživanja (14–16) u ovom istraživanju osmišljeno je 12 linearnih mjera koje bi trebale održavati te razlike između strana ruke. Od 12 mjera, šest mjera je pokazalo statistički značajne razlike. Istraživanje je pokazalo da 50 % odabranih varijabli ne pokazuju statistički značajne razlike. Razlog manjem statističkom značaju može biti posljedica više čimbenika. Prvo, nisu se razmatrale razlike između različitih prstiju s iste strane. Naime, nisu svi prsti dimenzijom isti, tj. nemaju jednaku površinu na kojoj su raspoređene papilarne linije. Primjerice, dimenzijama najveću površinu papilarnih linija svakako ima palac, a najmanju mali prst, što je vjerojatno utjecalo na neke dimenzije poput udaljenosti između delta. Drugi važan čimbenik koji je mogao utjecati na dimenzije jest spol osobe koji nije zasebno razmatran u ovome istraživanju. Naime, muškarci imaju veće ruke, tj. otisci papilarnih linija su površinom veći nego kod žena (11), što je također moglo utjecati na mjere.

### 5.2. Omjeri i nemetrička obilježja

Omjeri su odabrani pod pretpostavkom da će smanjiti razlike koje su se pokazale u linearnim mjerama, odnosno otkloniti mogući utjecaj same veličine prsta na ukupne rezultate. Svi omjeri pokazali su statistički značajne razlike u crtežima papilarnih linija oblika pravoga kruga koje se mogu povezati sa stranom tijela (ruke) na kojoj se nalaze.

Kako bi se nalazi bili usporedivi, u istraživanje su uvrštene i nemetrička obilježja koja su pokazala značajne razlike u dosadašnjim istraživanjima (14–16) kao što su rotacija kruga,

okomita simetrala i nagib središta kruga, udaljenost delta od okomice središta, donji kutovi delta, broj grebena, gornji kutovi delta i udaljenost delta do središta. U ovom je radu također pokazano je da sve analizirane nemetričke varijable pokazuju relativno velike i statistički značajne razlike ( $P < 0,001$ ).

Od razmatranih nemetričkih varijabli, najveće su razlike pokazali nagib središta kruga i rotacija kruga.

U ovom istraživanju zapažen je nagib središta kruga kod lijeve ruke u 78,8 % slučajeva u lijevo, što je nešto niže nego u radu Masaryk fakulteta (16), gdje je taj postotak 90 %, a nešto viši u odnosu na istraživanje Marathi populacije (15) gdje je on bio 73,6 %. Kod desne ruke postotak je nešto viši i on iznosio 85 % u korist nagiba prema desno, dok je u prethodnim radovima on iznosio 94,2 % (16), odnosno 79,2 % (15).

Rotacija kruga upućuje na to da kod lijeve ruke u 82,5 % slučajeva ona je u smjeru kazaljke na satu. Kod desne ruke taj postotak je isti, točnije on iznosi 82,5 % u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Ovakve rezultate potvrđuju i prethodna istraživanja (14–16).

Nije poznato zašto su u ovom radu i u prethodnim radovima (14–16) baš ove varijable pokazale najveće razlike, no može se opaziti da se ove dvije varijable temelje uglavnom na morfološkoj varijaciji, a ne samo na podatku je li neka udaljenost manja na lijevom ili desnom otisku. Važnost ovih dviju varijabli pokazana je i u istraživanju Kralika i sur. (16), u kojem su među više razmatranih kombinacija varijabli, upravo ove dvije varijable zajedno pokazale najizraženije razlike između otisaka lijeve i desne ruke.

U ovom radu broj grebena od lijeve ili desne delte do središta je kod desne ruke u 68,8 % slučajeva viši na lijevoj strani otiska. Kod lijeve ruke u 73,8 % slučajeva on je viši na desnoj strani otiska. Ovakvi rezultati su znatno niži u postotku od rezultata iz u prethodnom istraživanju (15) gdje postotak obje strane nije niži od 86 %. Ova varijabla iako se uzima s kategorijskima je metrička, a na broj grebena može utjecati spol ispitanika (11), koji u ovom slučaju našeg istraživanja, nije dostupan kao podatak.

Rezultat udaljenosti između delta i središta kruga pokazuju da kod desne ruke u 63,8 % slučajeva ona je dulja od lijeve delte do središta. Kod lijeve ruke ona je u 71,3 % slučajeva dulja od desne delte do središta. Ovakvi rezultati su u postotku niži nego u prethodnom istraživanju (15) gdje taj postotak ne pada ispod 86 %.

Okomita simetrala u ovom radu je kod desne ruke u 61,3 % slučajeva lijevo od okomice

središta, a kod lijeve ruke je u 71,3 % desno od okomice središta. Rezultati prethodnog istraživanja (15) pokazuju znatno viši postotak, tj. ne niži od 94 %.

Ukupni rezultati prethodnih istraživanja (13–16) pokazali su da je razdioba analiziranih značajki slična na otiscima lijeve i desne ruke kao u provedenom istraživanju, što je omogućilo i daljnji razvoj metode i statističkih modela za klasifikaciju otisaka.

### 5.3. Modeli klasifikacije

Za razliku od prethodnih istraživanja koja su ispitivala razlike (14–16) u ovom su radu izrađeni statistički modeli kojima se razlike rabe kako bi se moglo klasificirati otisak prsta koji se ne zna kojoj strani pripada. Točnost statističkih modela varirala je od 70 do 84 % ovisno o ispitanom modelu i uzorku, odnosno tome jesu li se rabile mjere, omjeri ili kategorijske varijable.

Niža točnost ostvarena je u metričkih varijabli i omjera, korištenjem logističko-regresijskog modela, gdje je varirala od 70 % do 75 %, ovisno o tome je li ispitana na validacijskom ili testnom uzorku.

Najviša točnost ostvarena je s pomoću nemetričkih varijabli, korištenjem algoritma slučajne šume, 84,4 % i 80 %. Najbolje varijable, koje su donijele najveću točnost, pomoću algoritma slučajne šume su: nagib središta, rotacija kruga, broj grebena i gornji kutovi, što također može upućivati na ipak veću važnost morfoloških varijanti nego li samoga omjera i rasporeda delta na lijevoj i desnoj strani. Kao drugi čimbenik može se uzeti u obzir i odabir klasifikacijskog modela, odnosno algoritma slučajnih šuma koji je manje osjetljiv na multikolinearnost (30). Samim tim moguće je da je tako bilo moguće uvrstiti više nezavisnih varijabli i povećati ukupnu točnost klasifikacijskog modela.

#### 5.4. Nedostatci istraživanja i prijedlozi za buduća istraživanja

Na reprezentativnost nalaza i učinkovitost klasifikacije mogao je utjecati način uzorkovanja, odnosno činjenica da su se, kao i u prethodnim istraživanjima (13–16), izdvajali samo crteži otiska pravoga kruga, neovisno o tome koliko od tih otisaka pripada jednoj osobi (za 200 otisaka pravih krugova trebalo je točno pregledati 179 osoba, tj. njihovih otisaka). Navedeno je moglo utjecati i na podatak o zastupljenosti (prevenciji) crteže pravog kruga na lijevoj i desnoj ruci u razmatranoj populaciji, a samim tim i na učinkovitost klasifikacijskih modela (31), što bi svakako trebalo uzeti u obzir pri planiranju budućih istraživanja.

Nadalje, u ovom se istraživanju nije uzelo u obzir s kojeg prsta potječe otisak, što je moglo utjecati na vrijednosti mjera i omjera te u konačnici na klasifikacijske modele. Također, istraživanje Singha i suradnika (13) pokazalo je da se i morfološke varijacije mogu razlikovati ovisno o prstu. Iako je točnost klasifikacijskih modela bila relativno visoka (preko 80 %), moguće je da bi se isključivanjem varijabli kod kojih su varijacije među različitim prstima izraženije, mogli razviti i učinkovitiji modeli.

Budući da u korištenoj bazi otisaka nisu bili navedeni podatci o spolu osoba, nije moguće isključiti i njihov utjecaj na ukupne rezultate i učinkovitost modela, što je također podatak koji još nije ispitan u ovakvoj vrsti istraživanja.

Ovo je istraživanje provedeno na američkoj populaciji s početka 20. stoljeća, pa zbog toga nije moguće potpuno generalizirati nalaze i primjenjivost modela. Naime, s obzirom na to da daktiloskopska istraživanja često pokazuju populacijske specifičnosti, npr. u distribuciji općih oblika, minucija, gustoći papilarnih linija (32,33), za primjenu u forenzičnom kontekstu trebalo bi provesti dodatna validacijska istraživanja na modernim populacijama ili razviti populacijski specifične metode koristeći se modernim uzorcima. Za buduća istraživanja trebalo bi izmjeriti veći broj otisaka prstiju, ne samo pravih krugova, već i drugih oblika i napraviti kompleksniju analizu koja će biti više bazirana na individualni prst, njegove mjere i opažanja.

U budućnosti bi se mogli primijeniti suvremeni algoritmi koji će sami iz slike/baze prepoznati uzorak (*eng. pattern*) otiska prsta, klasificirati ga po obliku te poslije integrirati u sustave za automatsku identifikaciju/eliminaciju i sl.

## 6. ZAKLJUČCI

- 1) Većina odabranih mjera, svi omjeri i sve morfološke značajke na otiscima papilarnih linija pokazuju razlike između otisaka lijevih i desnih prstiju, zbog čega su pogodne za primjenu u analizi otisaka papilarnih linija oblika pravog kruga.
- 2) Metričke su varijable pokazale najmanje razlike između lijeve i desne ruke, pa bi trebalo razmotriti i ostale čimbenike koje na to mogu utjecati poput varijacije u odnosu na spol ili odabrani prst.
- 3) Klasifikacijski modeli ostvarili su ukupnu točnost od 70 % do 85 %, čime je pokazano da bi se na temelju odabranih varijabli/značajki, mogli validirati i razviti modeli za forenzičnu primjenu.
- 4) Model klasifikacije otisaka prsta pomoću nemetričkih (kategorijskih) varijabli na temelju algoritma slučajne šume pokazao se model s najvišom stopom točnosti. Ovakav model bi se trebao testirati na drugim populacijama i u budućim sličnim istraživanjima.
- 5) Suprotnom očekivanom, metričke značajke nisu pokazale veću točnost u klasifikaciji strane otiska prstiju u odnosu na morfološka opažanja.

## 7. LITERATURA

1. Houck MM, Siegel JA. Fundamentals of forensic science. Academic Press; 2009.
2. Jackson ARW, Jackson JM. Forensic science. Pearson Education; 2008.
3. Daluz HM. Fundamentals of fingerprint analysis. CRC Press; 2018.
4. Pasinović K. Ivan Vučetić-izumitelj daktiloskopije. Pril Povij otoka Hvar. 1978;(1):146–62.
5. Gordan Mršić DM. Istraživanje mjesta događaja I. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada; 2019. 859 p.
6. Gordan Mršić DM. Istraživanje mjesta događaja I. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada; 2014.
7. Bača M, Schatten M, Kišasondi T. Prstom otključaj vrata. Časopis o zaštiti i sigurnosti osoba i imovine. 2006;2.
8. Lee HC, Gaensslen RE. Methods of latent fingerprint development. Adv Fingerpr Technol. 2001;2(105–176):10.
9. Datta AK, Lee HC, Ramotowski R, Gaensslen RE. Advances in fingerprint technology. CRC press; 2001.
10. Brekalo J. Iskaz vještaka u kaznenom postupku s posebnim osvrtom na vještačenje ubrojivosti okrivljenika. Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. Faculty of Law Osijek; 2018.
11. Green R, Young R. Fingerprint asymmetry in male and female transsexuals. Pers Individ Dif. 2000;29(5):933–42.
12. Cummins H, Midlo C. Finger prints, palms and soles: an introduction to dermatoglyphics. Vol. 319. Dover Publications New York; 1961.
13. Singh I, Chattopadhyay PK, Garg RK. Determination of the hand from single digit fingerprint: a study of whorls. Forensic Sci Int. 2005;152(2–3):205–8.
14. Kapoor N, Badiye A, Mishra SD. Fingerprint analysis for the determination of hand origin (right/left) using the axis slant in whorl patterns. Forensic Sci Res [Internet].

- 2020;0(0):1–5. Available from: <https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1794362>
15. Kapoor N, Badiye A. An analysis of whorl patterns for determination of hand. *J Forensic Leg Med* [Internet]. 2015;32:42–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jflm.2015.02.015>
  16. Kralik, Miroslav; Čiháková, Lucie; Urbanová, Petra; Hupková A. Radio-ulnar Asymmetry of Fingerprint Whorl Patterns. 20th World Meet Int Assoc Forensic Sci (IAFS 2014). 2014;(October).
  17. Kapoor N, Badiye A. Digital dermatoglyphics: A study on Muslim population from India. *Egypt J Forensic Sci*. 2015;5(3):90–5.
  18. Field AT, Field AT. *Fingerprint handbook*. Charles C. Thomas Publisher; 1959.
  19. Fiumara GP, Flanagan PA, Grantham JD, Bandini B, Ko K, Libert JM. NIST Special Database 300: Uncompressed Plain and Rolled Images from Fingerprint Cards. 2018;
  20. Grantham J. NISTscan [Internet]. 2017. Available from: <https://github.com/usnistgov/NISTscan>
  21. Hoover JE. *Classification of fingerprints*. US Government Printing Office; 1937.
  22. Nagesh KR, Sahoo P, Ashoka B. Determination of hand from a fingerprint. 2012;
  23. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The elements of statistical learnin*. Cited on. 2009;33.
  24. Breiman L. Random forests. *Mach Learn*. 2001;45(1):5–32.
  25. Breiman L. *Manual on setting up, using, and understanding Random Forests v3.1*. 2002.
  26. Bistrović I. *Logistička regresija u analizi smrtnosti*. University of Zagreb. Faculty of Science. Department of Mathematics; 2018.
  27. Jerković I, Ljubić T, Bardić L, Kolić A, Anđelinović Š. Application of palmar digital intertriradial distances for sex classification from palmprints: a preliminary study. *Aust J Forensic Sci*. 2021;1–12.
  28. Oshiro TM, Perez PS, Baranauskas JA. How many trees in a random forest? In: *International workshop on machine learning and data mining in pattern recognition*.

- Springer; 2012. p. 154–68.
29. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 20 Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, New York;
  30. Shiwam Ray. *Effects of Multi-collinearity in Logistic Regression, SVM, Random Forest(RF)* [Internet]. 2019. Available from: <https://medium.com/@raj5287/effects-of-multi-collinearity-in-logistic-regression-svm-rf-af6766d91f1b>
  31. Šimundić A-M. Measures of diagnostic accuracy: Basic definitions. *EJIFCC*. 2009;19(4):203.
  32. Acree MA. Is there a gender difference in fingerprint ridge density? *Forensic Sci Int*. 1999;102(1):35–44.
  33. Moore RT. An analysis of ridge-to-ridge distance on fingerprints. *J Forensic Ident*. 1989;39(4):231–8.



## 8. SAŽETCI

### *ODREĐIVANJE PRIPADNOSTI OTISKA PRSTA LIJEVOJ ILI DESNOJ RUCI*

**Cilj:** Ispitati postoje li razlike u morfološkim i odabranim metričkim značajkama između otisaka prsta oblika pravog kruga lijeve i desne ruke te razviti statističke modele za procjenu potječe li otisak s lijeve ili desne strane.

**Metode:** Iz NIST baze otisaka prstiju pregledano je 1179 otisaka prstiju te je izdvojeno 200 otisaka pravih krugova, 100 lijeve i 100 desne ruke. Na svakom je otisku provedeno 12 mjera temeljenih na položajima delti i središta otiska, izračunano 5 omjera i zabilježeno 8 morfoloških značajki. Razlike u kontinuiranim varijablama ispitane su t-testom za nezavisne uzorke, dok je za kategorijske varijable uporabljen test hi-kvadrat. Klasifikacijski modeli izrađeni su s pomoću logističke regresije za metričke varijable i omjere, dok je za kategorijske varijable primijenjen algoritam slučajnih šuma.

**Rezultati:** Statistički značajne u mjerama zabilježene su u 6/12 varijabli, dok su svi omjeri i kategorijske varijable pokazale statistički značajne razlike ( $P < 0,05$ ). Najveće razlike između lijevih i desnih otisaka zapažene su u varijablama rotacije kruga i nagiba središta kruga. Modeli klasifikacije su pokazali relativno visok stupanj točnosti. Najniža točnost (70 %) dobivena je s pomoću omjera i logističko-regresijskog modela, dok je najviša točnost ostvarena s pomoću algoritma slučajne šume i kategorijskih varijabli (85 %).

**Zaključak:** Statički modeli utemeljeni na mjerama i morfološkim obilježjima otiska, mogu se rabiti za procjenu pripada li nepoznati otisak prsta lijevoj ili desnoj ruci, kad se radi o otiscima pravog kruga.

**Ključne riječi:** daktiloskopija, papilarne linije, pravi krug, klasifikacija, strana tijela

## *DETERMINATION OF HAND FROM FINGERPRINTS (RIGHT/LEFT)*

**Objective:** To examine differences in metric and non-metric traits between left and right hand in true whorl fingerprint patterns, and to develop statistical models that will determine hand of origin

**Methods:** We examined 1179 fingerprints from the NIST database and selected 200 true whorls, 100 left and 100 right. On each print, we conducted 12 measurements based on the distribution of triradii and core, calculated five ratios, and marked eight non-metric traits. Differences between left and right-side prints were examined using independent samples t-test for continuous variables, while for categorical variables we used the chi-squared test. Classification models were developed using logistic regression for metric variables and ratios, and for categorical variables, we used a random forest algorithm.

**Results:** A total of 6 from 12 metric variables and all ratios and non-metric traits showed statistically significant differences between left and right prints ( $P < 0.05$ ). The greatest differences were observed for rotation of the whorl and core slope. Classification models reached a relatively high degree of accuracy. The lowest accuracy (70%) was achieved for ratios and logistic regression model, while the categorical variables reached the highest accuracy by random forest algorithm (85%).

**Conclusions:** Statistical classification models based on measurements and a non-metric traits can be used to estimate whether the unknown fingerprint of true whorl pattern originates from the left or right hand.

**Keywords:** friction ridge analysis, fingerprints, true whorl, classification, the hand of origin

## 9. ŽIVOTOPIS

### Osobni podatci

Ime i prezime	Rino Rivi Kolombatović
Nadnevak i mjesto rođenja	24. 5. 1989., Split
Adresa	Dražanac 66, 21 000 Split
E-mail	kolombatovic.rino.rivi@gmail.com

### Obrazovanje

2018. –	Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za forenzične znanosti, modul: Istraživanje mjesta događaja
2014. – 2017.	Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu Smjer: Pomorske tehnologija jahta i marina Zvanje: sveučilišni prvostupnik inženjer pomorskih tehnologija jahta i marina (univ. bacc. ing. nav. tech.)
2004. – 2008.	Privatna jezična gimnazija “Pitagora”, Split
Publikacije	Ljubić, T., Banovac, A., Buljan, I., Jerković, I., Bašić, Ž., Kružić, I., Kolić, A., <b>Kolombatović, R.</b> , Marušić, A. & Anđelinović, Š. (2021). Effect of SARS-CoV-2 antibody screening on participants' attitudes and behaviour: a study of industry workers in Split, Croatia. <i>Public health (London)</i> , 191, 11-16  <b>Kolombatović, R. R.</b> , Barbir, R., Knežić, P., Maretić, M., Stegić, K., Štefanac, D., Bašić, Ž., Kružić, I. Perception of tourist safety in the republic of Croatia in 2019 (2021). <i>Transactions on Maritime Science</i> (prihvaćen za objavu).

## 10. IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Rino Rivi Kolombatović, izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom Određivanje pripadnosti otiska prsta lijevoj ili desnoj ruci rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Nijedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan bez citiranja i ne krši ičija autorska prava.

Izjavljujem da nijedan dio ovoga rada nije iskorišten u ijednom drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Split, \_\_\_\_\_

Potpis studenta/studentice: \_\_\_\_\_