

prof. Ing. Dipl. Ing. Martin Dražanský, Ph.D.
Police Academy of the Czech Republic in Prague
Faculty of Security and Law
Department of Criminalistics
dražanský@polac.cz
ORCID ID: 0000-0002-9321-7385

pplk. Ing. Tomáš Vokálek
Military Police
Department of the Criminalist Technology and Expertise
tomas.vokalek@mo.gov.cz
ORCID ID: 0009-0004-1023-5396

plk. v. v. Mgr. Jaromír Štěpánek, Ph.D.
Police Academy of the Czech Republic in Prague
Faculty of Security and Law
Department of Criminalistics
stepanek@polac.cz
ORCID ID: 0009-0005-8918-2078

Práce s nekvalitními otisky prstů v daktyloskopii

Working with Poor-Quality Fingerprints in Dactyloscopy

Abstrakt

Tento článek se zaměřuje na problematiku nekvalitních otisků prstů v oblasti daktyloskopie a biometrických identifikačních systémů. Otisky prstů, přestože jsou považovány za spolehlivý identifikační nástroj, často vykazují znaky degradace v důsledku rozmazání, neúplnosti, poškození nebo vlivu dermatologických onemocnění. V textu jsou analyzovány jednotlivé typy defektů otisků prstů, jejich příčiny a dopad na forenzní a IT aplikace. Zvláštní pozornost je věnována hodnocení kvality otisků, jak v kontextu kriminalistické upotřebitelnosti, tak v rámci automatizovaných systémů. Článek dále představuje přehled aktuálních algoritmických přístupů ke zpracování nekvalitních otisků.

Klíčová slova: otisk prstu, daktyloskopie, kvalita, upotřebitelnost, poškození, dermatologie.

Abstract

This article focuses on the issue of poor-quality fingerprints in the field of dactyloscopy and biometric identification systems. Fingerprints, although considered a reliable identification tool, often show signs of degradation due to smudging, incompleteness, damage, or the influence of dermatological diseases. The text analyses individual types of fingerprint defects, their causes, and their impact on forensic and IT applications. Special attention is paid to the evaluation of fingerprint quality, both in the context of criminal investigation and within automated systems.

The article also provides an overview of current algorithmic approaches to processing poor-quality fingerprints.

Keywords: Fingerprint, dactyloscopy, quality, usability, damage, dermatology.

Úvod

Daktyloskopie¹ jako jedna z nejstarších forenzních identifikačních metod sehrává klíčovou roli v kriminalistice i moderních biometrických systémech. Přes vysokou spolehlivost otisků prstů je jedním z hlavních problémů práce s jejich kvalitou. Nekvalitní otisky prstů, vznikající z různých příčin, mohou zásadně ovlivnit přesnost a úspěšnost identifikace. Tento článek se věnuje problematice nekvalitních otisků prstů, příčinám jejich vzniku, dopadům na vyhodnocení a možnostem zlepšení jak ve forenzní, tak v IT oblasti.

Všechny obrázky pocházejí z vlastních zdrojů (databází), vzniklých v rámci informovaných souhlasů k vědeckým a publikačním účelům.

Typy nekvalitních otisků prstů

Nekvalitní zajištění otisků prstů je obecným problémem snížení jejich identifikační hodnoty, a to nejen při počítačovém vyhodnocení, ale i při práci znalce. Přestože se zásady a postupy zajišťování daktyloskopických otisků cvičí v základních kvalifikačních kurzech, je tato problematika stále aktuální.

Rozmazané otisky prstů

Rozmazané otisky prstů představují častý problém při snímání daktyloskopických vzorků, a to jak v *kriminalistice*, tak v *biometrických systémech*² (obr. 1). K rozmazání dochází nejčastěji v důsledku pohybu prstu při kontaktu se snímací plochou, nadměrného tlaku, nesprávného úhlu přiložení nebo při neklidném zacházení s nosičem (např. daktyloskopickou kartou). Výsledkem je ztráta ostrosti papilárních linií, jejich rozptížení či deformace, což značně snižuje kvalitu obrazu a znemožňuje přesné vyhodnocení charakteristických bodů – tzv. *markantů*.³

¹ STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Nakladatelství POLAC, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

² MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009. ISBN 978-1-4471-6106-6.

³ STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Nakladatelství POLAC, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

Obr. 1: Příklady rozmazaných otisků prstů



Ve forenzní praxi bývají rozmazané otisky částečně nebo zcela nepoužitelné. Zkušení experti jsou sice schopni na základě specifických struktur rekonstruovat některé klíčové rysy, nicméně v porovnání s čistými a kontrastními otisky prstů může při rozsáhlejším poškození detailu kresby papilárního terénu dojít ke snížení míry důvěry v rozhodnutí týkajícího se shody. Algoritmy totiž vyhodnocují nejen kvalitu vstupních otisků prstů, ale rovněž míru důvěry v extrahované markanty. Při porovnání otisků prstů může být na základě předem definovaného prahu shledána shoda i při využití markantů nízké kvality, avšak rozhodnutí o shodě je s nízkou mírou důvěry. Takovýto stav může nastat, je-li minimálně jeden z otisků prstů nekvalitní, příp. markanty byly extrahovány s nízkou mírou důvěry.

V rámci AFIS (*Automated Fingerprint Identification System*) systémů a jiných automatizovaných metod jsou rozmazané otisky často vyřazovány již při fázi předzpracování na základě hodnotící metriky – například pomocí algoritmu NFIQ⁴ (*NIST Fingerprint Image Quality*), který jim přiřazuje nízké skóre kvality.⁵

Z technického hlediska lze rozmazání částečně kompenzovat aplikací algoritmů pro vylepšení obrazu, např. pomocí směrové filtrace, normalizace nebo rekonstrukčních metod založených na modelování hřebenových vzorů.^{6,7} I přes tyto možnosti však platí, že prevence rozmazání – tedy správná metodika sejmutí otisku prstu a čisté prostředí – je zásadní pro dosažení použitelného výsledku.

⁴ National Institute of Standards and Technology. On-line: <https://www.nist.gov/services-resources/software/nfiq-2> [29.07.2025]

⁵ TISTARELLI, Massimo; CHAMPOD, Christophe. *Handbook of Biometrics for Forensic Science*. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-50671-5.

⁶ HENDRE, Manik; PATIL, Suraj a Aditya ABHYANKAR. Directional filter bank-based fingerprint image quality. *Pattern Analysis and Applications*. 2022, 25(2), s. 379-393.

⁷ GUPTA, Rashmi; KHARI, Manju; GUPTA, Dipti a Ruben Gonzalez CRESPO. Fingerprint image enhancement and reconstruction using the orientation and phase reconstruction. *Information Sciences*. 2020, 530, s. 201-218.

Neúplné otisky prstů

Neúplné otisky prstů představují významnou kategorii problematických daktyloskopických vzorků, které vznikají zejména při nedostatečném kontaktu prstu se snímací plochou (obr. 2). Příčinou bývá příliš krátký kontakt, nedostatečný tlak, špatné nasměrování prstu nebo omezená plocha snímacího zařízení (zejména u levnějších senzorů v mobilních zařízeních). Výsledkem je sejmutí pouze části papilárního terénu – často chybí okrajové části (někdy i včetně delt), v horším případě jádro otisku prstu nebo celá spodní či horní polovina.

Obr. 2: Příklady neúplných otisků prstů



Z hlediska kriminalistické daktyloskopie mohou být neúplné otisky prstů komplikované pro identifikaci. Pokud otisk postrádá dostatečný počet rozpoznatelných markantů, nelze jej zařadit do standardního porovnávacího procesu a jedná se buď o částečně upotřebitelnou stopu či o neupotřebitelnou stopu.⁸ V některých případech však mohou být i fragmenty použitelné – především tehdy, pokud obsahují unikátní konfiguraci papilárních linií nebo části markantů. Problém může nastat u klasifikace – nepřítomnost jádra v drtivé většině případů znemožňuje určení třídy otisku prstu. Zkušený daktyloskop dokáže na základě tvaru, směru a hustoty papilárních linií provést analýzu, která může vést k úspěšné identifikaci.

V oblasti biometrických systémů jsou neúplné otisky prstů častým důvodem selhání *verifikace* či *identifikace*.⁹ Vstupní algoritmy často nedokáží korektně zarovnat otisk prstu, lokalizovat jádro/deltu či orientaci papilárních linií, což vede k odmítnutí nebo výrazně snížené míře shody. Moderní systémy se snaží tento problém řešit například kombinací více otisků jednoho prstu, sloučením dat z více prstů nebo využitím pokročilých metod prediktivní analýzy vzorů.

Z hlediska prevence je klíčové edukovat uživatele na správnou techniku přikládání prstu a zároveň využívat kvalitní snímací zařízení s dostatečnou plochou a citlivostí. V profesionální forenzní praxi se rovněž doporučuje sejmutí více otisků

⁸ STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Nakladatelství POLAC, Praha, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

⁹ JAIN, Anil K.; FLYNN, Patrick a Arun A. ROSS. *Handbook of biometrics*. Springer Science & Business Media, 2007. ISBN 978-0-387-71040-2.

téhož prstu (např. válený a píchaný) pro zvýšení šance na kompletní zachycení papilárního vzoru.

Otisky prstů bez zachyceného jádra či delty

Jádro otisku prstu a delta představují klíčové orientační body v papilárním vzoru, které hrají zásadní roli při jeho klasifikaci, zarovnání a následném porovnávání.^{10, 11} Pokud tyto oblasti nejsou v otisku prstu zachyceny, dochází k výraznému ztížení nebo až znemožnění automatizovaného i ručního zpracování. Nejčastěji k tomu dochází při nesprávném umístění prstu na snímač nebo při sejmutí pouze části otisku – viz předchozí text.

V kriminalistické daktyloskopii slouží jádro a delta nejen k orientaci papilárního vzoru, ale často i k zařazení otisku do *klasifikačního systému* (např. podle Henryho nebo Vuceticha¹²). Jejich absence komplikuje vyhledávání v databázích a omezuje možnosti předběžného filtrování vzorků (obr. 3). V některých případech lze při dostatečném množství zachycených markantů provést úspěšnou identifikaci i bez jádra, avšak proces je časově náročnější a náchylnější k chybám.

Obr. 3: Příklad otisků prstů bez jádra (vlevo) a delty (vpravo).



V oblasti biometrických systémů má nezachycení jádra či delty ještě zásadnější dopad. Většina algoritmů používá jádro jako výchozí bod pro normalizaci a extrakci rysů (např. směru papilárních linií nebo geometrické konfigurace markantů). Pokud je jádro mimo snímanou oblast, může dojít k chybnému zarovnání otisku prstu, nebo k úplnému selhání zpracování, vedoucí ke snížení *výkonnosti biometrického systému*.¹³ Systém pak může otisk označit jako nekvalitní nebo jej zcela odmítnout.

¹⁰ STRAUS Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Nakladatelství POLAC, Praha, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

¹¹ MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009. ISBN 978-1-4471-6106-6.

¹² AHMAD, Fadzilah a D. MOHAMAD. *A review on fingerprint classification techniques*. In: 2009 International Conference on Computer Technology and Development (Vol. 2, pp. 411-415). IEEE.

¹³ ISO/IEC 19795 Biometric Performance Testing and Reporting.

Pro zmírnění dopadů tohoto problému je doporučeno při snímání dbát na správnou polohu prstu – ideálně zarovnanou středem snímané plochy. Moderní senzory bývají vybaveny softwarovým naváděním uživatele nebo pokročilými algoritmy pro odhad polohy jádra i v jeho částečné nepřítomnosti, nicméně tyto metody mají své limity. V profesionální daktyloskopii je běžnou praxí sejmutí více typů otisků (např. válených a píchaných), čímž se zvyšuje šance na zachycení všech důležitých oblastí.

Poškození otisku prstu vnějšími vlivy

Poškození otisku prstu vnějšími vlivy představuje významný faktor snižující kvalitu otisků prstů, a to jak v oblasti kriminalistické daktyloskopie, tak i biometrické verifikace či identifikace. K nejčastějším vlivům patří mechanické opotřebení kůže (např. tření o pracovní nástroje, povrchy, nebo sportovní náčiní), působení chemických látek, vystavení vysokým teplotám či vlhkosti a dlouhodobá fyzická zátěž. Výsledkem je částečné nebo úplné narušení papilárních linií – linie mohou být roztřepené, přerušené, deformované nebo zcela vyhlazené.

Tento jev se často objevuje u pracovníků v průmyslových oborech, jako jsou strojírenství, stavebnictví, kovovýroba, či u osob vykonávajících manuální zemědělské práce (obr. 4). Významné opotřebení kůže se vyskytuje také u sportovců (např. judo, tenis) nebo hudebníků (např. hráči na strunné nástroje), kde dochází k opakovanému namáhání specifických částí prstu. Otisky prstů sejmuté z takto poškozených prstů jsou často neúplné, slabě kontrastní a obsahují deformace, které komplikují vyhodnocení i identifikaci.

Obr. 4: Příklad otisku prstu s významným opotřebením prací/sportem (vlevo technik, vpravo betonář).



V kriminalistice může být poškození považováno za překážku, ale zároveň i za individuálně rozlišující prvek – jizvy, otlaky či jiné nepravidelnosti mohou být u jedince natolik jedinečné, že jejich opakovaný výskyt pomáhá v potvrzení totožnosti. Je ovšem nutné pracovat s více otisky prstů a důkladnou vizuální analýzou.

V některých případech, kde není možné pracovat s více otisky lze, na základě specifického neměnného poškození papilárního terénu, provést individuální identifikaci v odvětví forenzní trasologie.

V biometrických systémech je situace složitější. Vzhledem k tomu, že tyto systémy spoléhají na dobře definované a souvislé papilární linie pro extrakci markantů, příp. obecných vzorů, jsou poškozené prsty často odmítány jako nekvalitní vstup. Uživatelé s chronicky poškozenou pokožkou tak bývají zcela vyřazeni z použití otisků prstů jako ověřovací metody. Alternativním řešením může být přechod na jiné biometrické modality, jako je rozpoznání obličeje, oční duhovky či cévního vzoru ruky/prstu.

Prevence zahrnuje jak důkladné očištění prstu a snímače před sejmutím otisku, tak používání kvalitních, ergonomicky navržených snímačů s větší plochou, které umožní zachytit více detailů i v částečně poškozené oblasti. Do úvah přicházejí i snímače otisků prstů, které využívají RF nebo ultrazvukovou technologii, jež s těmito nedostatky poměrně úspěšně bojují, nicméně jejich plocha, příp. použití ve vnějších podmínkách jsou limitované.

Nečistoty na podkladové ploše

Špína, prach nebo mastnota na snímací ploše (ať už daktyloskopická karta nebo elektronický snímač) způsobují artefakty v otisku prstu, které se obtížně odstraňují. Dochází k interpolaci cizích struktur do vzoru papilárních linií. Důsledkem je záměna nebo odmítnutí otisku prstu systémem, neboť těmito artefakty mohou vzniknout falešné markanty.^{14, 15}

Jednou z často podceňovaných příčin znehodnocení otisků prstů jsou nečistoty přítomné na snímací ploše – ať už jde o daktyloskopické karty používané při klasickém inkoustovém či čistém snímání, nebo o elektronické senzory ve forenzních či biometrických zařízeních. Na snímací ploše se může nacházet prach, mastnota, zbytky inkoustu, potu, vody, kosmetiky, nebo mikroskopické částice ze vzduchu a materiálů, které se přenášejí z rukou uživatelů (obr. 5). Tyto nečistoty vytvářejí artefakty – falešné papilární linie, rozmazání, přerušování papilárních vzorů nebo změny kontrastu (působí např. mylně jako suché prsty).

¹⁴ MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009. ISBN 978-1-4471-6106-6.

¹⁵ TISTARELLI, Massimo; CHAMPOD, Christophe *Handbook of Biometrics for Forensic Science*. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-50671-5.

Obr. 5: Příklady otisků prstů s poškozením struktury nečistotou na podkladové ploše (zleva: tekuté mýdlo, detergent)



Při klasickém daktyloskopickém snímání může nečistota na kartě způsobit nerovnoměrné přenesení otisku, zejména pokud je plocha znečištěna dřívějšími otisky prstů (zde se mohou dokonce vytvořit falešné markanty) nebo zbytky inkoustu. Výsledný obraz pak obsahuje falešné papilární linie nebo skvrny, které mohou být zaměněny za skutečné znaky otisku prstu. Daktyloskopové tak musejí rozlišit mezi relevantními a rušivými prvky, což snižuje přesnost a prodlužuje analýzu.

U elektronických snímačů představují nečistoty velký problém zejména u optických nebo kapacitních technologií.¹⁶ I tenká vrstva mastnoty nebo vlhkosti na skle senzoru může způsobit neostré zachycení papilární linie, snížení kontrastu nebo vznik zrcadlových artefaktů. Systém pak může otisk prstu vyhodnotit jako nečitelný, zaměnit jej s jiným nebo jej zcela odmítnout. Tento jev je častý například u veřejně přístupných terminálů (bankomaty, vstupní turnikety, mobilní zařízení), kde dochází k hromadění nečistot během běžného provozu.

Efektivní prevencí je pravidelné čištění snímacích ploch pomocí neabrazivních čisticích prostředků a měkkých utěrek. Uživatelé by měli být instruováni, aby si před sejmutím otisku očistili prsty – zejména pokud přicházejí do kontaktu s mastnotou, lepidly nebo sypkými materiály. Některé moderní biometrické systémy jsou navíc vybaveny mechanismy pro detekci znečištění plochy a aktivně upozorňují na potřebu údržby.

Nečistoty na povrchu prstu

Nečistoty přímo na povrchu prstu patří mezi nejčastější příčiny degradace kvality sejmutého otisku prstu. Na kůži se mohou nacházet různé látky – od běžných nečistot, jako je prach, pot nebo mastnota, přes oleje, chemikálie, barvy, až po specifické materiály jako je jemný kovový prach, piliny nebo zbytky detergentů (obr. 6). Tyto látky vytvářejí na povrchu prstu bariéru mezi papilárním vzorem a snímací plochou, čímž dochází k částečnému zakrytí nebo rozostření papilárních linií. Část vlasu, chlupu, nebo drobná tříška může vytvořit v otisku prstu „falešnou“ papilární linii či markant.

¹⁶ MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009, ISBN 978-1-4471-6106-6.

V praxi se tento problém často objevuje u osob, které vykonávají manuální práci – např. v kovovýrobě, stavebnictví, kuchyni, ale i u běžných uživatelů, kteří se dotkli mastného povrchu, pracovali s kosmetikou, nebo použili dezinfekční prostředky. Mastnota či pot mohou způsobit, že papilární linie se obtisknou s různou intenzitou, vznikají tmavé a světlé zóny, případně dojde k jejich rozpítí. Kovový nebo abrazivní prach může zase naopak zvýšit odrazivost kůže při optickém snímání, což má za následek ztrátu kontrastu.

Obr. 6: Příklady otisků prstů s nečistotou na samotném prstu (zleva: solvina, krém).



V kriminalistické daktyloskopii může být takový otisk prstu považován za problematický, zvláště pokud nečistoty způsobí deformaci struktury papilárních linií. Zkušený daktyloskop je schopen část těchto vlivů korigovat při hodnocení, avšak riziko záměny nebo nesprávného vyhodnocení je vyšší. V biometrických systémech jsou tyto otisky často odmítnuty systémem automaticky, a to buď při kontrole kvality (např. pomocí skóre NFIQ), nebo selháním při extrakci markantů (chybové míry¹⁷).

Řešením tohoto problému je důsledné očištění prstu před sejmutím otisku – například otřením do suché utěrky, použitím hygienických ubrousků (vč. uschnutí povrchu prstu), případně opláchnutím a osušením rukou. Některé biometrické systémy obsahují naváděcí instrukce, které upozorní uživatele na nekvalitní vstup, jiné využívají vícečetné sejmutí a výběr nejlepšího obrazu či jejich zkombinování. V profesionálních podmínkách (např. policie, imigrační kontrola) je běžné, že pracovník provede vizuální kontrolu prstu a v případě potřeby zajistí jeho očištění před sejmutím.

Poranění a záměrná poškození prstu

Poranění prstů a jejich záměrná poškození představují závažný faktor, který ovlivňuje kvalitu i použitelnost otisků prstů jak v daktyloskopické, tak v biometrické praxi. Do této kategorie spadají různé typy zranění – řezné rány, jizvy, odřeniny, puchýře, popáleniny, ale také dlouhodobé změny kůže v důsledku mechanického opotřebení (viz poškození otisku prstu vnějšími vlivy). Specifickou skupinu tvoří

¹⁷ ISO/IEC 19795 Biometric Performance Testing and Reporting.

úmyslně způsobené změny struktury pokožky – např. chemické leptání, řezání nebo opakované pálení, které mají za cíl znemožnit identifikaci osoby.¹⁸

V kriminalistické daktyloskopii mohou být některé typy jizev paradoxně užitečné – pokud jsou stabilní a dobře viditelné, mohou sloužit jako možné orientační znaky k rychlejšímu vyhledání markantů (obr. 7). Pokud se poškozením ztratí možnost počítatelnosti markantů, tak otisk ztrácí identifikační hodnotu a může být zcela neupotřebitelný. Zkušený daktyloskop provádí v těchto případech detailní vizuální analýzu a využívá srovnání více otisků prstů, případně i starších otisků prstů, jsou-li k dispozici.

Obr. 7: Příklad otisku prstu s poraněním.



V biometrických systémech, které spoléhají na algoritmickou extrakci pravidelných papilárních vzorů, bývají takovéto otisky prstů výrazně problematické. Jizvy a nepravidelnosti mohou být interpretovány jako falešné markanty, které zabraňují správnému zarovnání otisku prstu. V krajních případech systém otisk prstu odmítne jako nekvalitní, nebo vrátí chybnou shodu.¹⁹ Tento problém je zvláště citelný v systémech s vysokou úrovní zabezpečení (např. při vstupu do chráněných prostor či autentizaci v bankovníctví).

Úmyslná poškození papilárních linií jsou známá zejména v prostředí organizovaného zločinu, kde jedinci vědomě poškozují svoje prsty, aby znemožnili svou identifikaci. Policie a imigrační složky se na tento jev připravují zavedením alternativních biometrických metod (např. rozpoznání obličeje, duhovky nebo cévního vzoru ruky/prstu) a důsledným manuálním hodnocením všech dostupných otisků prstů.

V některých případech (není-li poraněna dermální struktura kůže) dochází po čase k částečné regeneraci papilárních linií, a je tedy možné opakovaně nasnímat otisk prstu po několika dnech či týdnech s lepším výsledkem. V praxi se pro ověření identity osoby rovněž využívá kombinace více prstů nebo sekundárních identifikátorů (např. podpis, PIN, čipová karta), které kompenzují výpadek biometrických údajů.

¹⁸ STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Nakladatelství POLAC, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

¹⁹ ISO/IEC 19795 Biometric Performance Testing and Reporting.

Dermatologická a genetická poškození

Kvalitu otisků prstů mohou výrazně ovlivnit i různé dermatologické změny a vzácné genetické poruchy, které narušují strukturu papilárních linií nebo jejich viditelnost (obr. 8). Tyto faktory mohou být jak dočasné, například při akutním zánětu nebo podráždění pokožky, tak trvalé, kdy dochází k nevratné deformaci papilárního vzoru. V některých případech je papilární vzor zcela nevyvinutý nebo chybí, což činí daktyloskopii i biometrické ověřování značně obtížným až nemožným.

Mezi nejčastější kožní onemocnění, která ovlivňují otisky prstů, patří:^{20, 21}

- *Ekzémy* (atopický, kontaktní) – způsobují olupování, otoky a praskliny v kůži, čímž mění čitelnost linií.
- *Psoriáza* (lupénka) – vede k tvorbě šupin a zesílené rohové vrstvy, která může zcela překrýt papilární vzor.
- *Chronická dermatitida* – zejména u osob v opakovaném kontaktu s chemickými látkami (např. čističi, zdravotnický personál).
- *Plísňová onemocnění* – mohou způsobit lokální ztluštění kůže, její nerovnosti a výpadky linií.

Obr. 8: Příklady otisků prstů s onemocněními (zleva: atopický ekzém, bradavice, lupénka).



Dalším významným faktorem je suchá kůže (např. při poruše mazové rovnováhy, u seniorů nebo u osob pracujících ve vlhkém prostředí). Suchá a praskající pokožka často vede ke vzniku artefaktů v otisku prstu, které mohou být nesprávně interpretovány jako markanty nebo narušují konzistentní extrakci vzoru.

Z hlediska genetiky existuje několik vzácných syndromů, které vedou ke kompletní absenci nebo defektům papilárních linií. Nejznámější je *adermatoglyfie* –

²⁰ DRAHANSKÝ, Martin; BŘEZINOVÁ, Eva; ORSÁG, Filip; HEJTMÁNKOVÁ, Dana. Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů. On-line: <https://mv.gov.cz/clanek/dermatologicke-faktory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>. [20.04.2025]

²¹ SMOLLER, Bruce R. a Nooshin BAGHERANI. *Atlas of dermatology, dermatopathology and venereology*. Springer, 2022.

dědičná porucha, při níž se papilární linie na prstech vůbec nevytvářejí.²² Tito jedinci nejsou schopni produkovat identifikovatelný otisk prstu a představují výzvu pro systémy závislé výhradně na otisku prstu. V literatuře bývá adermatoglyfie označována jako „nemoc bez otisků“ a je extrémně vzácná, ale její dopad je kritický – např. při registraci do biometrických systémů na hranicích nebo v bankovníctví.

V oblasti forenzní daktyloskopie se u osob s těmito potížemi využívají alternativní metody – např. analýza dlaně, geometrie ruky, nebo starší otisky prstů z předchozích evidencí. Zkušený daktyloskop dokáže i v částečně poškozených otiscích prstů nalézt použitelné úseky, ale analýza je výrazně náročnější.

V biometrických systémech bývá standardním řešením přeřazení uživatele do výjimek nebo umožnění použití alternativních metod identifikace – nejčastěji obličejové biometrie nebo PIN kódu. Některé pokročilé systémy umožňují *multimodální verifikaci*²³ – pokud je otisk prstu odmítnut, je aktivována druhá metoda (např. duhovka nebo obličej).

Důležitou roli zde hraje informovanost uživatelů a adaptivita systémů. Moderní technologie by měly být navrhovány tak, aby počítaly s určitou mírou výjimek – především ve zdravotnictví, imigrační kontrole a právním systému, kde nelze spoléhat pouze na otisk prstu jako jediný autentizační faktor.

Algoritmický pohled

Algoritmickým pohledem rozumíme hodnocení kvality otisků prstů nejen z pohledu práce výpočetní techniky, ale samozřejmě i z pohledu vhodnosti pro forenzní zkoumání znalcem.

Hodnocení kvality otisků prstů

Hodnocení kvality v daktyloskopii (forenzní přístup)

Ve forenzní daktyloskopii je kvalita otisku prstu klíčovým faktorem, který rozhoduje o tom, zda bude daný otisk prstu považován za *upotřebitelný*, *částečně upotřebitelný* nebo *neupotřebitelný*.²⁴ Hlavním kritériem je tedy tzv. *upotřebitelnost daktyloskopické stopy*, která závisí na míře čitelnosti papilárních linií, přítomnosti charakteristických bodů (markantů), zachycení jádra a delty, kontrastu a celkovém pokrytí otisku prstu.

Hodnotící proces je do značné míry subjektivní, prováděný kvalifikovaným daktyloskopem, který posuzuje, zda otisk prstu obsahuje dostatek jednoznačných rysů pro identifikaci nebo vyloučení osoby.

²² MASNICOVÁ, Soňa a Magdaléna KRAJNÍKOVÁ. Adermatoglyfia: forenzní aspekty asociované so stavom chýbajúceho papilárneho terénu. *Dermatology*. 64(5), s. 974-980.

²³ PAHUJA, Swimpy a Navdeep GOEL. Multimodal biometric authentication: A review. *AI Communications*. 2024, 37(4), s. 525-547.

²⁴ STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Nakladatelství POLAC, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

Z pohledu daktyloskopie dělíme tedy stopy na:

- Upotřebitelné daktyloskopické stopy vykazují nejméně 10 markantů (stanovení individuální identifikace osoby).
- Částečně upotřebitelné daktyloskopické stopy vykazují 7 až 9 markantů (vyloučení shody).
- Neupotřebitelné daktyloskopické stopy vykazují méně jak 7 markantů.

V praxi se často využívají pomocné metody jako mikroskopická analýza, posílení kontrastu pomocí algoritmů vylepšení kvality obrazu, příp. porovnání s jinými otisky prstů téhož jedince. Hodnocení kvality otisku prstu je rovněž důležitým prvkem při určování věrohodnosti důkazu v trestním řízení.

Hodnocení kvality v biometrických systémech

V oblasti biometrie (IT), kde se otisky prstů používají pro automatizovanou identifikaci nebo verifikaci identity jedince (např. v mobilních telefonech, přístupových systémech nebo imigračních kontrolách), se kvalita otisku prstu vyhodnocuje automaticky pomocí algoritmů. Klíčovým cílem je zjistit, zda obsahuje nasnímaný obraz dostatečně kvalitní data pro spolehlivé porovnání s referenčním otiskem prstu.

Nejrozšířenější metodou hodnocení je NFIQ (aktuální verze 2.3.0 z 1. října 2024), vyvinutou americkým Národním institutem standardů a technologií (NIST). NFIQ pracuje s několika metrikami, zejména:

- ostrost a kontrast papilárních linií,
- pokrytí plochy otisku prstu,
- počet a rozmístění markantů,
- přítomnost rušivých prvků (šum, deformace).

Na základě těchto ukazatelů systém přiřadí otisku *skóre kvality*.²⁵ Pokud skóre kvality nepřekročí stanovený práh, může být otisk prstu automaticky odmítnut nebo označen jako nevhodný pro porovnání.

Některé systémy AFIS, příp. průmyslové algoritmy (např. Innovatrics²⁶) využívají vlastní interní hodnotící algoritmy, často rozšířené o adaptivní zpracování: selekci nejlepšího snímku z více sejmutých, softwarové vylepšení obrazu, nebo předzpracování pomocí neuronových sítí. Hodnocení kvality zde není pouze pasivním filtrem, ale aktivně vstupuje do rozhodovací logiky systému.

Na rozdíl od kriminalistické daktyloskopie, kde i poškozený otisk prstu může mít zásadní důkazní hodnotu, je v biometrických aplikacích klíčové odmítnout otisky prstů, které by mohly vést k chybné shodě nebo zamítnutí oprávněného uživatele. Z tohoto důvodu se klade velký důraz na kvalitu již v okamžiku sejmutí otisku prstu a na správné chování uživatele.

²⁵ ISO/IEC 29794-1:2024 – Biometric sample quality.

²⁶ Společnost Innovatrics. On-line: <https://www.innovatrics.com/innovatrics-abis/abis-for-criminal-investigation/> [25.07.2025]

Možnosti zpracování nekvalitních otisků

Nekvalitní otisky prstů představují závažný problém v jakémkoliv systému založeném na daktyloskopických nebo biometrických datech. Ať už jde o forenzní analýzu stop z místa činu, nebo o biometrickou verifikaci identity v přístupových či mobilních systémech, nízká kvalita obrazu otisku prstu zásadně snižuje úspěšnost identifikace. Proto byla v průběhu let vyvinuta celá řada algoritmických přístupů k vylepšení obrazu otisku prstu – od jednoduchých lineárních filtrů až po pokročilé metody strojového učení a generativní modely.^{27, 28}

Klasické přístupy ke zlepšení obrazu otisku^{29, 30, 31}

a) Normalizace

Prvním krokem je často normalizace obrazu otisku prstu, jejímž cílem je sjednotit jasovou a kontrastní úroveň v celém snímku. Tím se odstraňují rozdíly mezi příliš světlými nebo tmavými částmi otisku prstu, způsobené například nerovnoměrným přitlakem prstu nebo osvětlením. Normalizace zvyšuje konzistenci mezi jednotlivými oblastmi a připravuje obraz na další zpracování. Součástí může být i geometrická normalizace, jejímž cílem je sjednotit velikost otisků prstů.

b) Segmentace

Při zpracování je nezbytné určit, které části obrazu obsahují platné papilární vzory (tzv. „*Region of Interest*“, RoI) a které nikoli (pozadí, šum). Segmentace využívá detekci směrového pole, variance intenzit, nebo metody na bázi entropie, aby oddělila relevantní a irelevantní oblasti.

c) Směrová analýza a filtrace

Klíčovým krokem je odhad směru papilárních linií v jednotlivých blocích obrazu (např. 16×16 pixelů), což umožňuje aplikaci směrových filtrů – obvykle Gaborových. Tyto filtry zvýrazňují hřebenové struktury a potlačují šum v orientaci papilárních linií. Výsledkem je obraz s ostřejšími liniemi a vyšší srozumitelností markantů.

d) Detekce a doplnění markantů

Po vylepšení obrazu následuje extrakce charakteristických bodů – zakončení a rozdvojení papilárních linií (v daktyloskopii existuje celá řada dalších atypických markantů [1]). U nekvalitních otisků prstů může být jejich detekce nepřesná, proto se

²⁷ MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009, ISBN 978-1-4471-6106-6.

²⁸ ALSMIRAT, Mohammad A.; AI-ALEM, Fatimah; AI-AYYOUB, Mahmoud; JARARWEH, Yaser a Brij GUPTA. Impact of digital fingerprint image quality on the fingerprint recognition accuracy. *Multimedia Tools and Applications*. 2019, 78(3), 3649-3688.

²⁹ JAIN, Anil K.; FLYNN, Patrick a Arun A. ROSS. *Handbook of biometrics*. Springer Science & Business Media, 2007, ISBN 978-0-387-71040-2.

³⁰ SCHUCH, Patrick; SCHULZ, Simon a Christoph BUSCH. Survey on the impact of fingerprint image enhancement. *IET Biometrics*. 2018, 7(2), 102-115

³¹ SHAMS, Haroon; JAN, Tarigullah; KHALIL, Amjad Ali; AHMAD, Naveed; MUNIR, Abid a Ruhul Amin KHALIL. Fingerprint image enhancement using multiple filters. *PeerJ Computer Science*. 2023, 9, e1183.

používají algoritmy pro následné zpracování map markantů, které odstraňují chybně detekované (falešné) markanty nebo interpolují chybějící (důležitým faktorem je, že nesmějí vzniknout nové).

Pokročilé metody vylepšení pomocí strojového učení^{32, 33, 34}

S rostoucí dostupností výpočetního výkonu se v posledních letech objevují metody využívající konvoluční neuronové sítě (CNN) a generativní modely, které dokáží překonat limity klasických přístupů.

a) Učení na bázi příkladů (supervised learning)

Sítě typu U-Net nebo ResNet lze natrénovat na párech s nízkou kvalitou a referenčních (čistých) otisků. Výstupem je rekonstruovaný obraz s doostřenými liniemi, odstraněným šumem a „rekonstruovanými“ strukturami v oblastech, kde data chyběla. Tyto metody mají vysoký potenciál zejména u mobilních zařízení, kde se pracuje s menším množstvím dat.

b) Generativní modely (GAN)

Generative Adversarial Networks (GAN) se používají k vytváření realistických verzí poškozených nebo fragmentárních otisků prstů. Trénováním na rozsáhlých databázích se systém naučí „doplňovat“ chybějící části vzoru v souladu s přirozenou topologií otisků prstů. Aplikace GAN se využívá i k „převodu stylu“ – např. z inkoustového otisku na digitální vzor vhodný pro AFIS. Při snaze rekonstruovat silně poškozený otisk, může ale dojít k vytvoření nových falešných markantů, což je zcela nežádoucí jev.

c) Zlepšování kvality pomocí tzv. fingerprint denoising networks

Speciální architektury neuronových sítí, označované jako *denoising autoencodery*, jsou trénovány na odstranění konkrétního typu degradace – rozmazání, škrábanců, šumu z pozadí. Uplatnění nalézají například v aplikacích, kde jsou otisky prstů snímány v náročném prostředí (např. na hranicích, v průmyslových provozech).

Kombinované a adaptivní přístupy

Moderní systémy často kombinují klasické a pokročilé techniky, například:

- Vícečetné nasnímaní otisku prstu – výběr nejkvalitnějšího snímku z několika,
- Fúze otisků z více prstů – zvýšení robustnosti identifikace,

³² BHILAVADE, Milind B.; SHIVAPRAKASHA, K. S., PATIL, Meenakshi R. a Lalita S. ADMUTHE. Fingerprint Reconstruction: Approaches to Improve Fingerprint Images. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 2024.

³³ PRAMUKHA, R. N., AKHILA, P. a G. K. SHASHIDHAR. End-to-end latent fingerprint enhancement using multi-scale Generative Adversarial Network. *Pattern Recognition Letters*, 2024, 184, 169-175.

³⁴ LIANG, Youzhi a Wen LIANG. ResWCAE: Biometric pattern image denoising using residual wavelet-conditioned autoencoder. In: *International Conference on Neural Information Processing*. (pp. 238-252), 2024, Springer Nature Singapore.

- Zpětná vazba uživateli – indikátory správného přiložení prstu,
- Dynamické prahování kvality – systém adaptuje rozhodovací kritéria podle typu zařízení nebo prostředí.

V systémech typu AFIS bývá implementována tzv. *quality pipeline* – řetězec algoritmů, který analyzuje kvalitu otisku, vyhodnotí její dostatečnost, aplikuje korekce, a teprve poté přistupuje k identifikaci. Některé AFIS systémy dokonce evidují *kvalitativní profily* jedince napříč otisky prstů, a pokud kvalita klesne pod prahovou hodnotu, navrhnou opětovné nasnímání.³⁵

Závěr

Nekvalitní otisky prstů představují významnou výzvu pro úspěšnost identifikace v jakémkoliv kontextu. Ačkoliv lze část problémů řešit preventivně (správné nasnímání, čisté prostředí, edukace uživatelů), zásadní roli hraje schopnost zpracování i těch nejproblematictějších vzorků. Doporučuje se proto kombinovat klasické metody filtrace a segmentace s pokročilými modely hlubokého učení (např. GAN, U-Net), které vykazují vysokou úspěšnost i u silně degradovaných dat. Biometrické systémy by měly být navrhovány jako adaptivní, schopné v reálném čase reagovat na kvalitu vstupu a poskytovat alternativní cestu autentizace (např. multimodální řešení).

Do budoucna lze očekávat zvyšující se integraci strojového učení v oblasti rekonstrukce otisků prstů, větší důraz na transparentnost a rozšíření fúzí dat z různých biometrických modalit. Zvláště ve forenzní oblasti bude důležité zachovat možnost ruční verifikace a forenzní obhajitelnosti algoritmicky upravených vzorků.

Literatura a zdroje

- AHMAD Fadzilah a D. MOHAMAD. A review on fingerprint classification techniques. In: 2009 *International Conference on Computer Technology and Development*. (Vol. 2, pp. 411-415). IEEE.
- ALSMIRAT, Mohammad A.; Al-ALEM, Fatimah; Al-AYYOUB, Mahmoud; JARARWEH, Yaser a Brij GUPTA. Impact of digital fingerprint image quality on the fingerprint recognition accuracy. *Multimedia Tools and Applications*. 2019, 78(3), 3649-3688.
- BHILAVADE, Milind B.; SHIVAPRAKASHA, K. S.; PATIL, Meenakshi R. a Lalita S. ADMUTHE. Fingerprint Reconstruction: Approaches to Improve Fingerprint Images. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 2024.
- DRAHANSKÝ, Martin; BŘEZINOVÁ, Eva; ORSÁG, Filip; HEJTMÁNKOVÁ, Dana. Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů. On-line (2025-AUG-01): <https://mv.gov.cz/clanek/dermatologicke-factory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>.
- GUPTA, Rashmi; KHARI, Manju; GUPTA, Dipti a Ruben Gonzalez CRESPO. Fingerprint image enhancement and reconstruction using the orientation and phase reconstruction. *Information Sciences*, 2020, 530, s. 201-218. HENDRE,

³⁵ JIA, Zexi a Chuanwei HUANG. Automated Framework for Extracting and Restoring Minutiae From Low-Quality Fingerprints. *IEEE Signal Processing Letters*. 2025.

- Manik; PATIL, Suraj a Aditya ABHYANKAR. Directional filter bank-based fingerprint image quality. *Pattern Analysis and Applications*. 2022, 25(2), s. 379-393.
- JAIN, Anil K.; FLYNN, Patrick a Arun A. ROSS. *Handbook of biometrics*. Springer Science & Business Media, 2007. ISBN 978-0-387-71040-2.
- JIA, Zexi a Chuanwei HUANG. Automated Framework for Extracting and Restoring Minutiae From Low-Quality Fingerprints. *IEEE Signal Processing Letters*. 2025.
- LIANG, Youzhi a Wen LIANG. ResWCAE: Biometric pattern image denoising using residual wavelet-conditioned autoencoder. In: International Conference on Neural Information Processing (pp. 238-252), 2024, Springer Nature Singapore.
- MALTONI, Davide; MAIO, Dario; JAIN, Anil K. a Salil PRABHAKAR. *Handbook of fingerprint recognition*. Springer London, 2009. ISBN 978-1-4471-6106-6.
- MASNICOVÁ, Soňa a Magdaléna KRAJNÍKOVÁ. Adermatoglyfia: forenzné aspekty asociované so stavom chýbajúceho papilárneho terénu. *Dermatology*. 64(5), s. 974-980.
- National institute of standards and technology. On-line: <https://www.nist.gov/services-resources/software/nfiq-2>
- PAHUJA, Swimpy a Navdeep GOEL. Multimodal biometric authentication: A review. *AI Communications*. 2024, 37(4), s. 525-547.
- PRAMUKHA, R. N.; AKHILA, P. a G. K. SHASHIDHAR. End-to-end latent fingerprint enhancement using multi-scale Generative Adversarial Network. *Pattern Recognition Letters*. 2024, 184, 169-175.
- SHAMS, Haroon; JAN, Tarigullah; KHALIL, Amjad Ali; AHMAD, Naveed; MUNIR, Abid a Ruhul Amin KHALIL. Fingerprint image enhancement using multiple filters. *PeerJ Computer Science*. 2023, 9, e1183.
- SCHUCH, Patrick; SCHULZ, Simon a Christoph BUSCH. Survey on the impact of fingerprint image enhancement. *IET Biometrics*. 2018, 7(2), 102-115.
- SMOLLER, Bruce R. a Nooshim BAGHERANI. *Atlas of dermatology, dermatopathology and venereology*. Springer, 2022.
- Společnost Innovatrics. On-line: <https://www.innovatrics.com/innovatrics-abis/abis-for-criminal-investigation/>
- STRAUS, Jiří; PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Nakladatelství POLAC, 2005. ISBN 80-7251-192-0.
- TISTARELLI, Massimo; CHAMPOD, Christophe. *Handbook of Biometrics for Forensic Science*. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-50671-5.

Technické normy

- 1) ISO/IEC 19795 – Biometric Performance Testing and Reporting.
- 2) ISO/IEC 29794-1:2024 – Biometric sample quality.

prof. Ing. Dipl. Ing. Martin Dražanský, Ph.D. (*1978)

Martin Dražanský works at the Police Academy of the Czech Republic in Prague, at the Department of Criminalistics, as an expert in forensic biometrics, specialising in fingerprint recognition, with twenty six years of experience. He holds a Ph.D. from the Brno University of Technology, where he later became a full professor and led the STRaDe research group. He has worked across academia and industry. He is a senior IEEE member, an ambassador for the European Association for Biometrics, and associate editor of IET Biometrics. He has received multiple awards, including honours from the Czech Police and Siemens. You can find more on www.drazansky.cz.

plk. v.v. Mgr. Jaromír Štěpánek, Ph.D. (*1976)

Jaromír Štěpánek is an academician at the Police Academy of the Czech Republic in Prague, working at the Department of Criminalistics and specialising in biometric characteristics, especially individual identification of persons. He holds a Ph.D. from the Police Academy of the Czech Republic in Prague. He is a retired colonel with more than twenty-six years of experience as a military police officer and a police officer of the Police of the Czech Republic, positioned in the functions of the law enforcement and railway police services, as well as the components of the Ministry of Interior of the Czech Republic and the criminal police and investigation services.

pplk. Ing. Tomáš Vokálek (*1971)

Tomáš Vokálek is a lieutenant colonel of the Military Police of the Czech Republic with more than thirty years of experience in the field of forensic technology. Since 2004, he has been an expert in the field of criminalistics, forensic dactyloscopy. Since 2006, he has been an expert in the field of forensic traceology, and since 2009, in the field of technical examination of documents. In 2010, he became the Chief of the Department of Criminalistics and Expertise of the Military Police of the Czech Republic.