

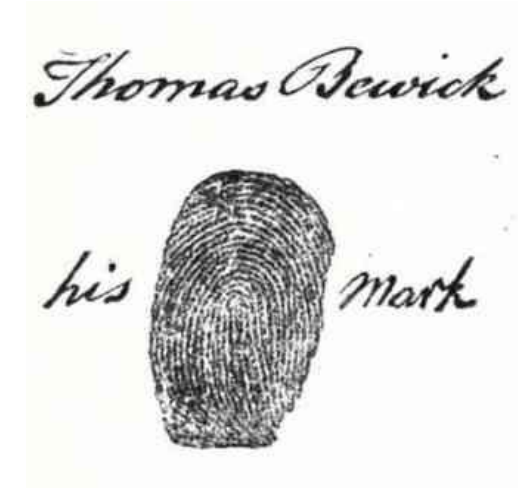
BIO – Biometrické systémy

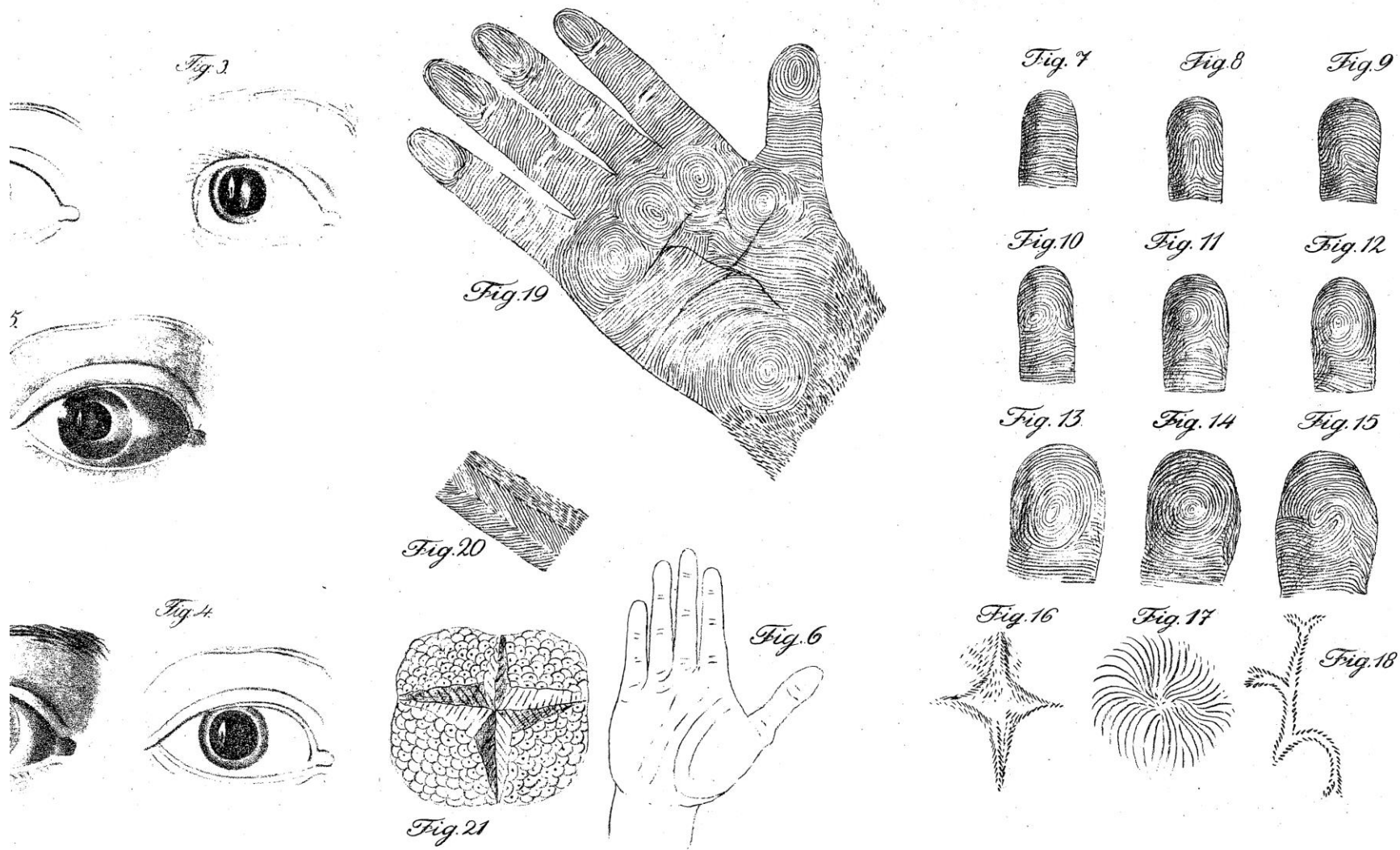
Rozpoznávání podle otisků prstů

5. přednáška

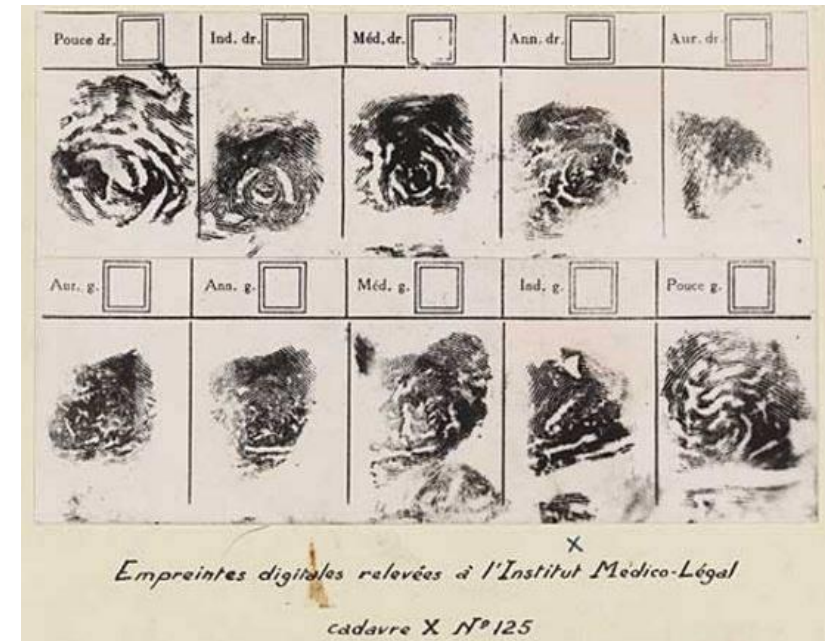
- ❑ Archeologické artefakty / malby v jeskyních
- ❑ Jména spojená s historií otisků prstů

- ❑ Nehemiah Grew (1684) – papilární terén
- ❑ J.C.A. Mayer (1788) – zmínka o unikátnosti
- ❑ Thomas Bewick (1809) – otisk v podpisu
- ❑ J.E. Purkyně (1823) – typy otisků prstů





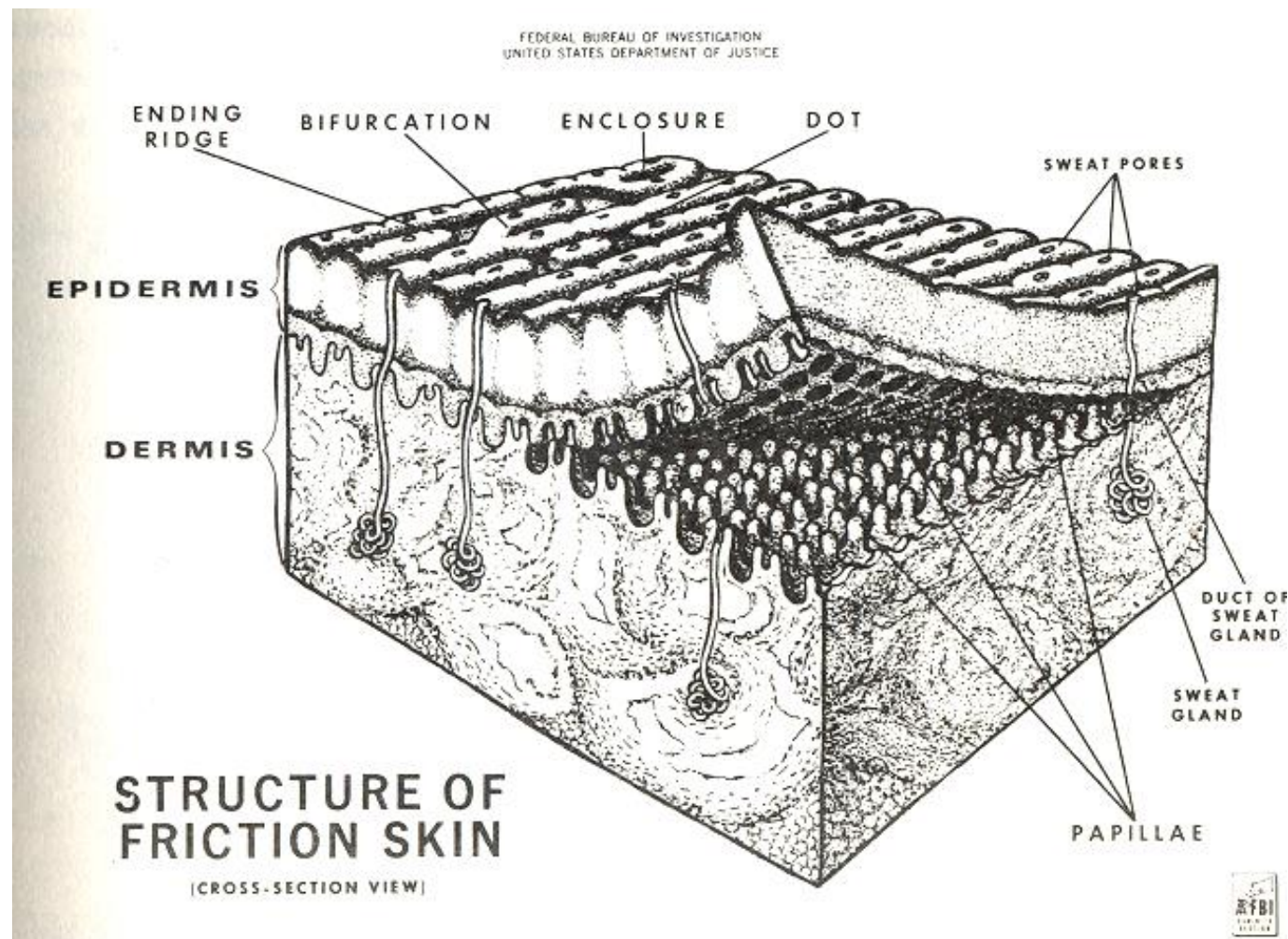
- ❑ Henry Fauld (1880) - publikoval práci o významu papilárních linií pro individualizaci osob
- ❑ W.J. Herschel (1900) – unikátnost, stálost otisků prstů - Scotland Yard
- ❑ Francis Galton (1900) – Scotland Yard



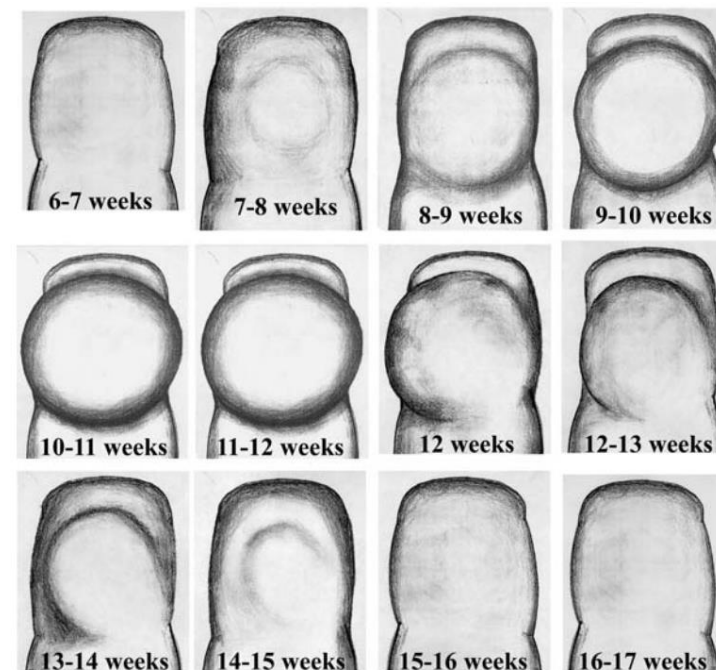
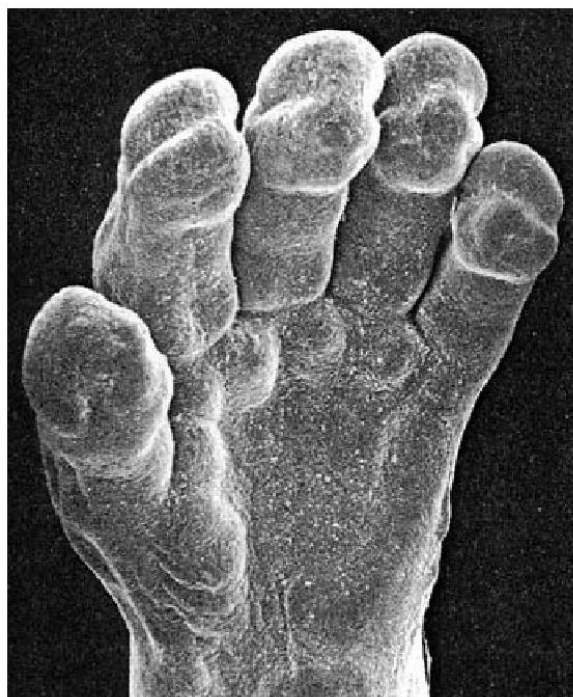
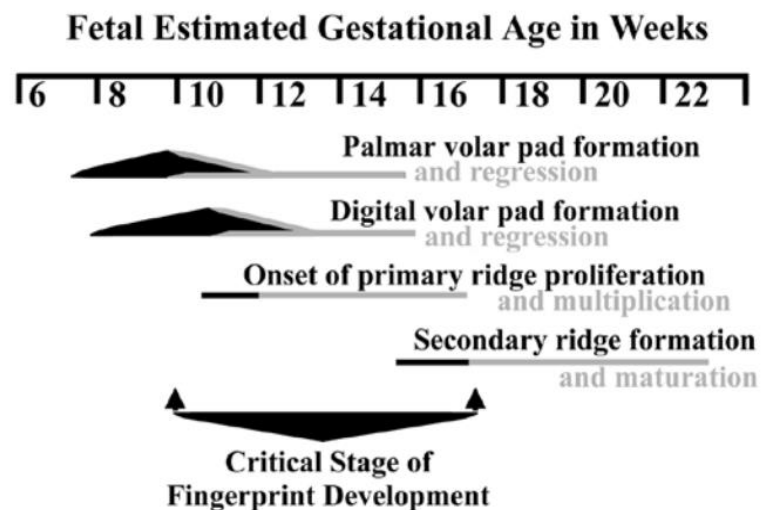
☐ Vrstvy kůže:

- Dermis
- Epidermis

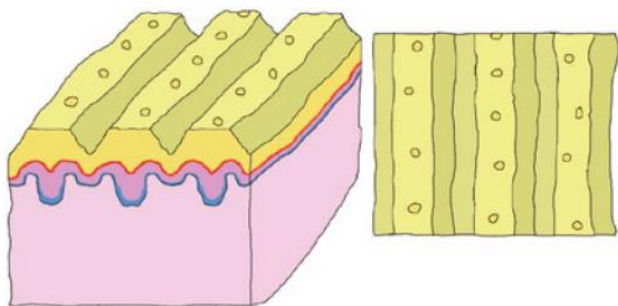
☐ Keratinocyt - specializované buňky produkující kreatin



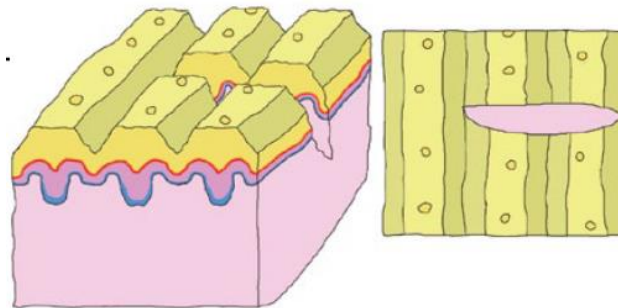
- Začátek vývoje přibližně v 10. týdnu těhotenství



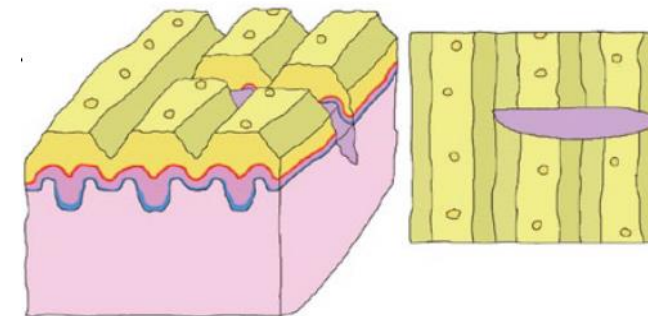
Critical Stage of Friction Ridge and pattern Formation



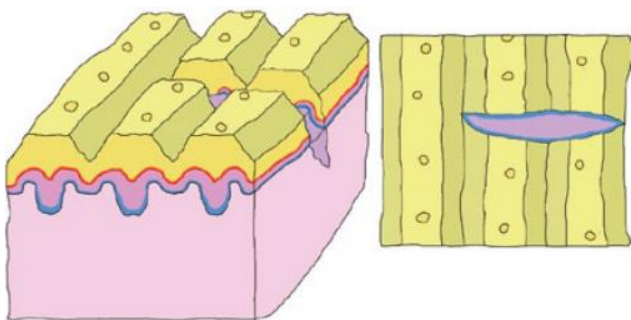
Nepoškozená pokožka



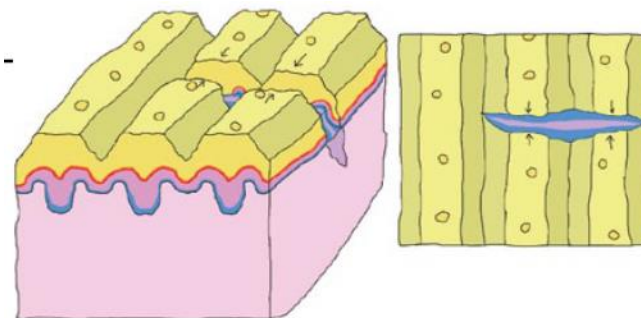
Poranění



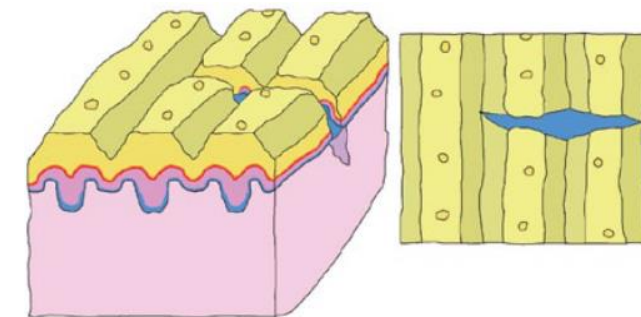
Oprava - dermis



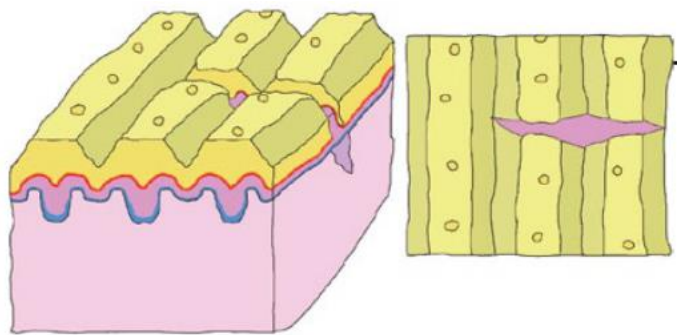
Migrace bazálních keratinocytu



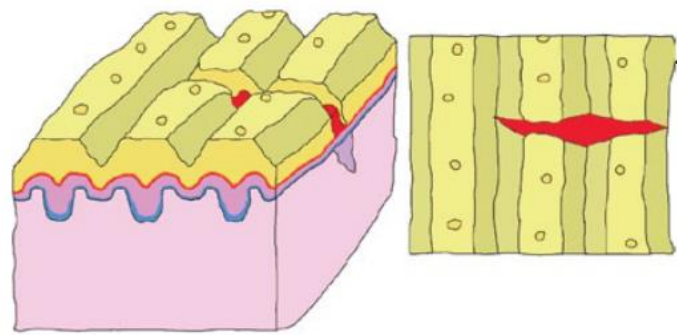
Migrace bazálních keratinocytu



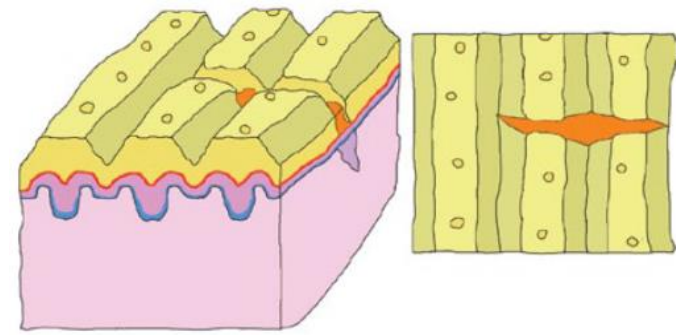
Vytvoření membrány z bazálních keratinocytu



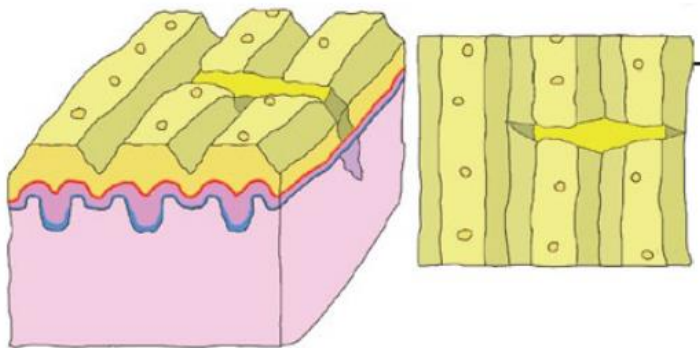
Dělení bazálních keratinocytu



Dělení bazálních keratinocytu -
formování stratum granulosum



Formace – stratum lucidum



Zacelení rány

- ❑ Na světě **neexistují** žádní dva lidé, jejichž papilární linie by měly stejnou strukturu.
- ❑ Vzor tvořený papilárními liniemi zůstává po celý život jedince **relativně** neměnný. (Konfigurační typy se individuálně mění, ale změny jsou natolik malé, že leží v tolerančních limitech a tím umožňují systematickou klasifikaci.)
- ❑ Papilární linie jsou obnovovány dorůstáním kůže na povrchu prstů. Tyto linie nemohou být pozměněny či odstraněny, není-li poškozena **dermální** (zárodečná) vrstva kůže. Potom již nedojde na tomto místě k obnově papilárních linií.

Existují 3 druhy (snímání) otisků prstů:

- ❑ Válený (barvený, rolovaný)
- ❑ Píchaný (živý)
- ❑ Latentní

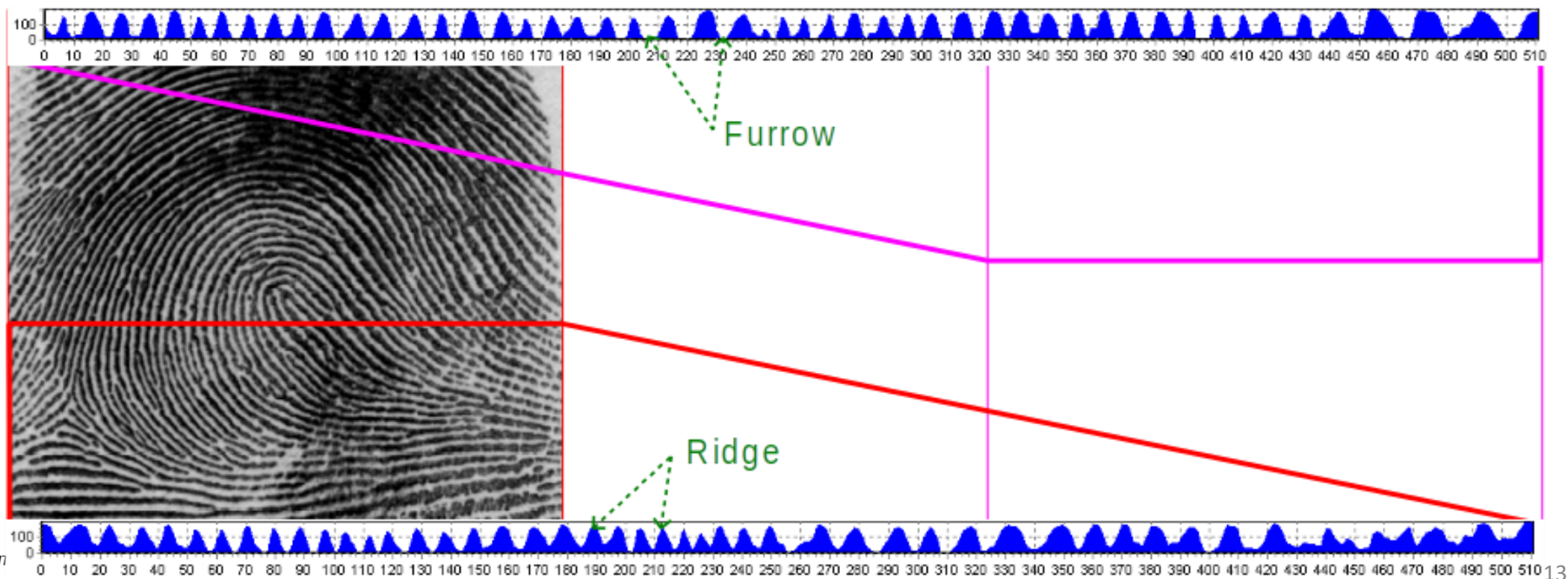


https://www.researchgate.net/publication/304189718_Some_challenges_in_forensic_fingerprint_classification_and_interpretation/figures?lo=1





- ❑ Otisk prstu = vzor tvořený obrazem papilárních linií
- ❑ Výška papilárních linií: 0,1 – 0,4 mm
- ❑ Šířka papilárních linií: 0,2 – 0,5 mm
- ❑ Průběh papilární linie v digitální formě



- ❑ Existují otisky prstů (prsty), které jsou naprosto nevhodné pro automatické rozpoznání či pro porovnání založené na markantech.

- ❑ Příklady

Bergdata FCAT-100



Veridicom 5th Sense



Earthdust

Metallicdust

Finesand

Gledfinger

- ❑ Nemoci způsobující histopatologické změny kůže a pokožky
 - Ovlivňuje buď **barvu** nebo **vnitřní strukturu kůže**.

- ❑ Nemoci způsobující změnu barvy kůže
 - Působí problémy hlavně optickým sensorům a detekci živosti založené na spektrální analýze.

- ❑ Nemoci způsobující histopatologické změny v místě spojení pokožky a kůže
 - Ovlivňuje strukturu v místě, kde ultrazvukové senzory snímají otisky prstů.



a) MSO



b) MSO



c) E500



d) EII



e) CRD

Fingertip eczema – a light form.



f) DIN



a) CRD



b) CRD



c) E500



d) EII

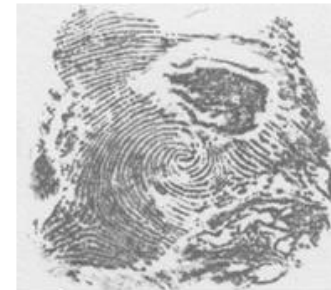


e) MSO

Verruca vulgaris.



f) DIN



a) CRD



b) CRD



c) E500



d) EII



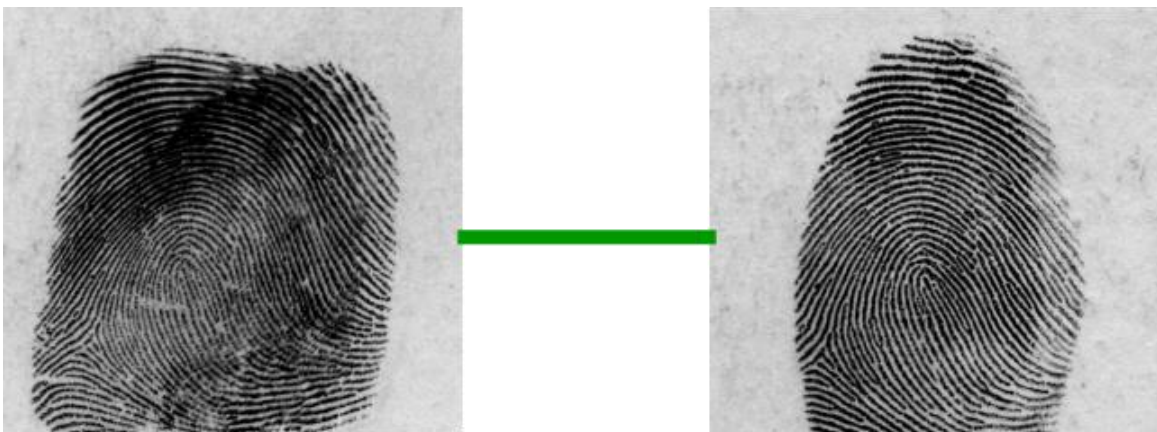
e) MSO

Psoriasis – a partial seizure.

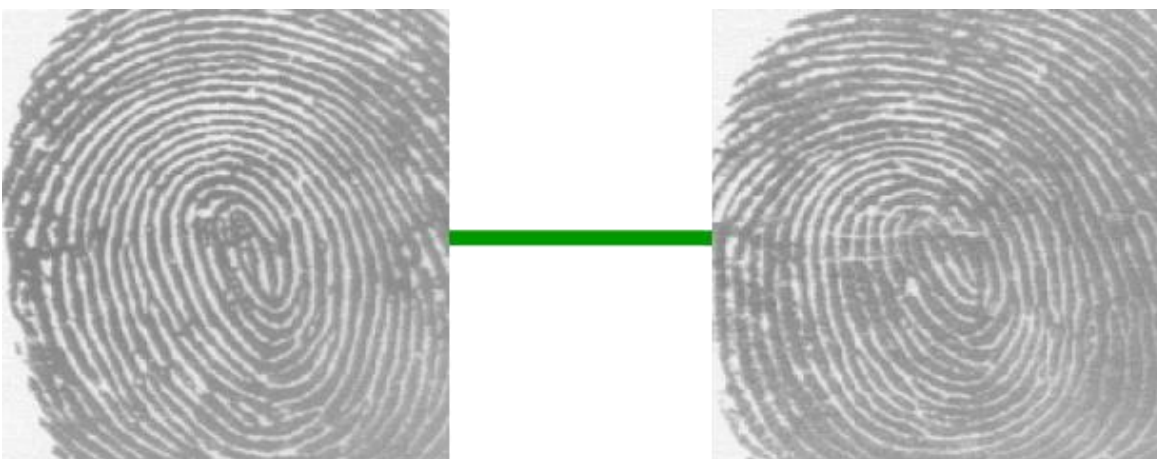


f) DIN

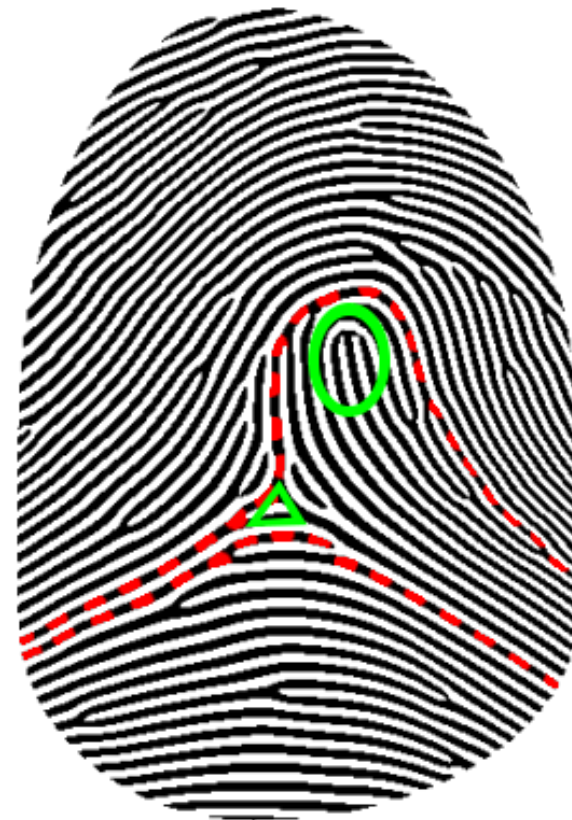
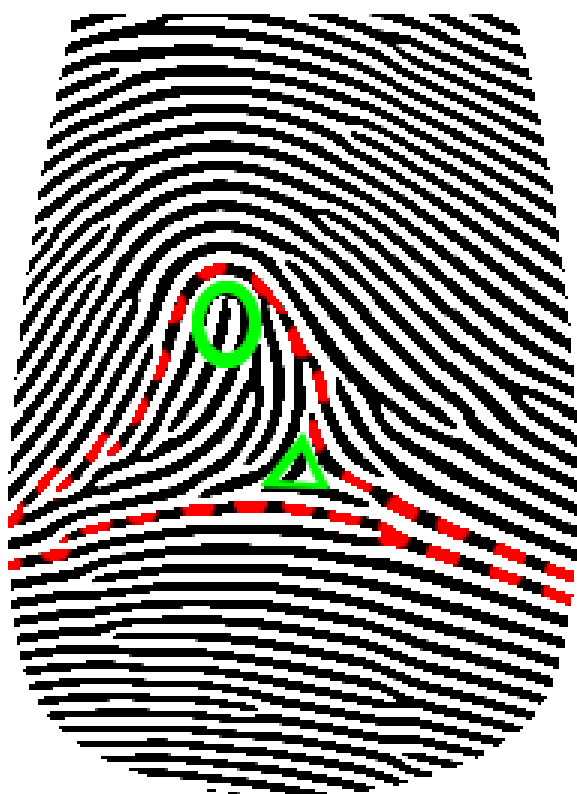
- ❑ Otisky prstů pocházející ze stejného prstu

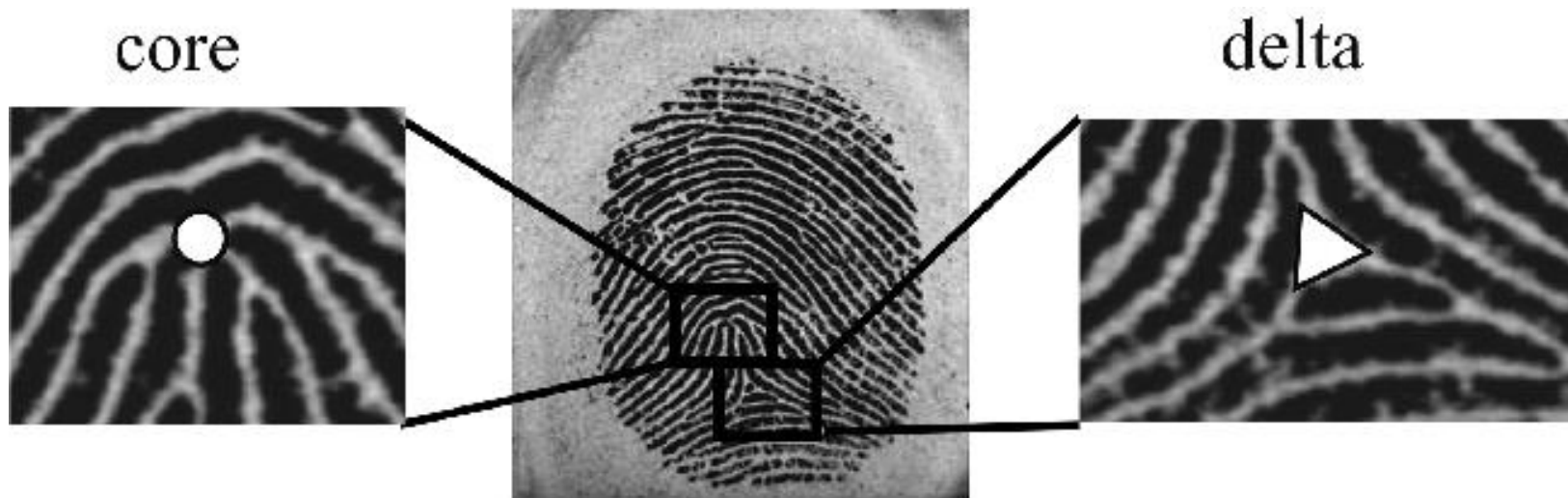


- ❑ Otisky prstů pocházející z různých prstů [Jai04]



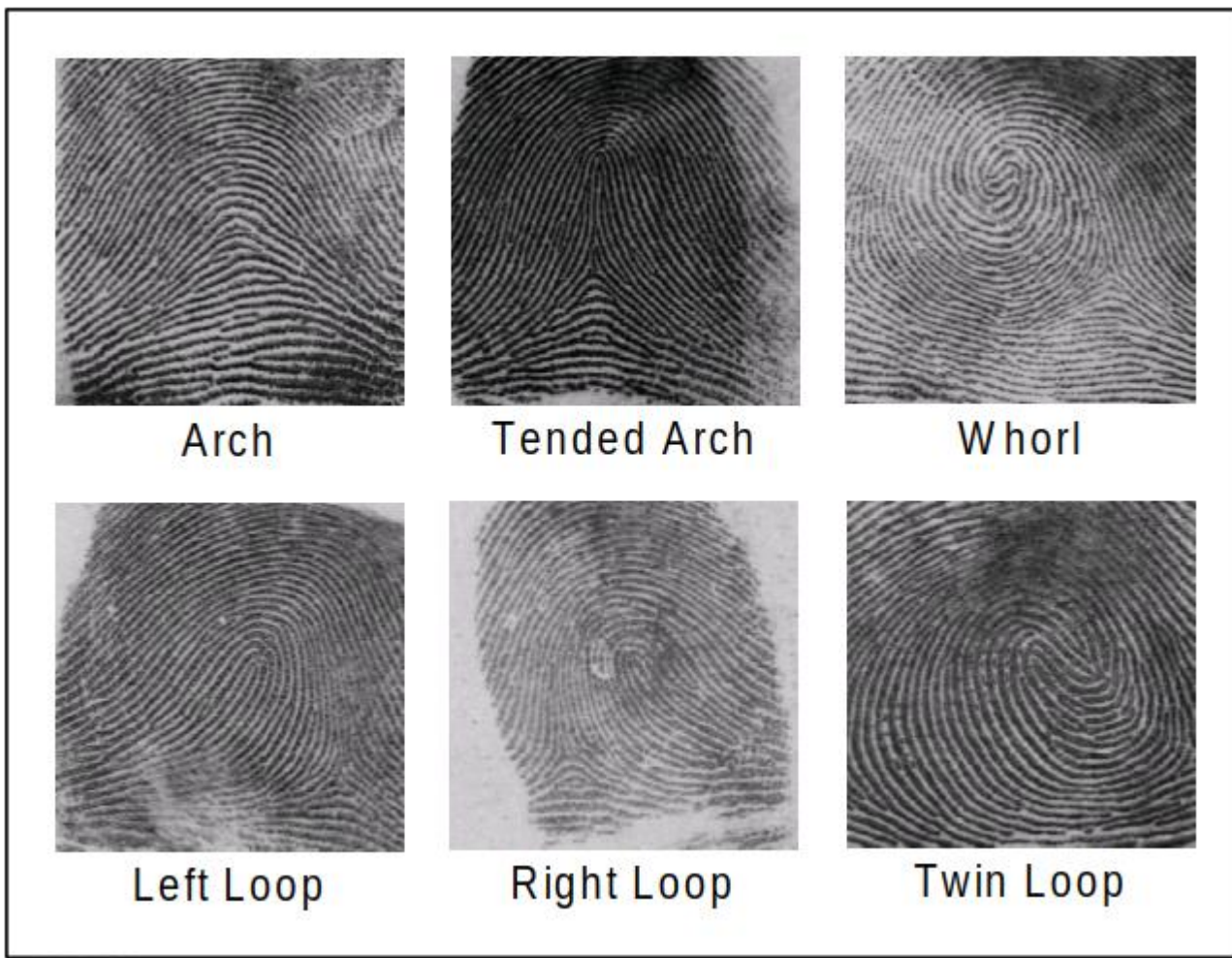
□ Delta Δ ||| Jádro (Core) ○ ||| Type Lines - - -



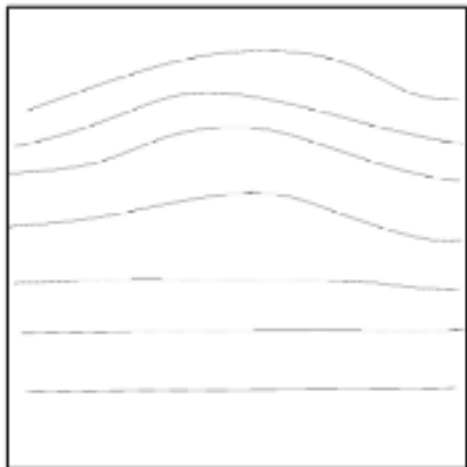


Podrobné informace o singularitách a typových liniích na:
<https://www.crime-scene-investigator.net/fbiscienceoffingerprints.html>

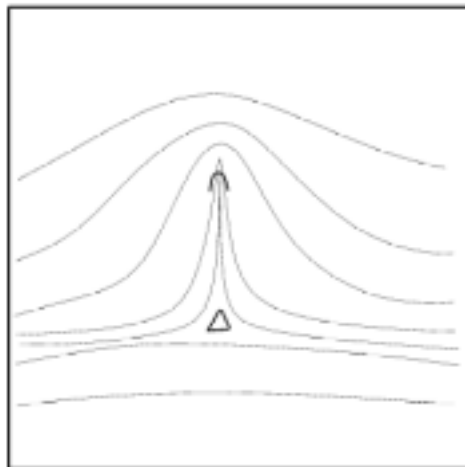
- Přiřazení otisku prstu do předem definovaných tříd



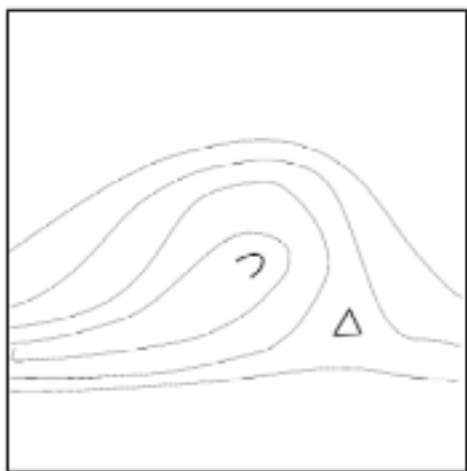
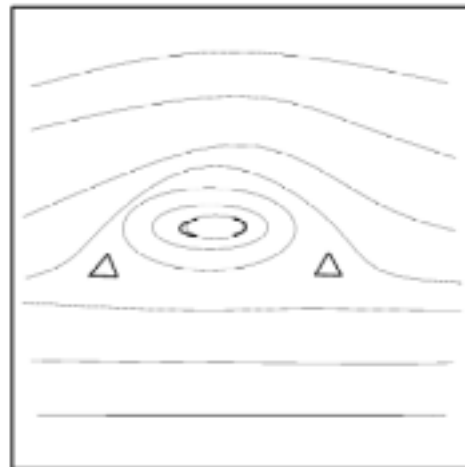
Arch



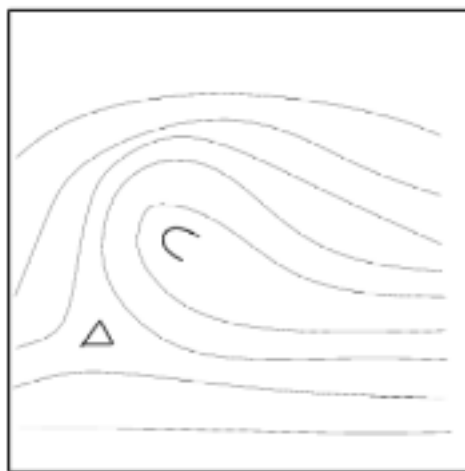
Tended Arch



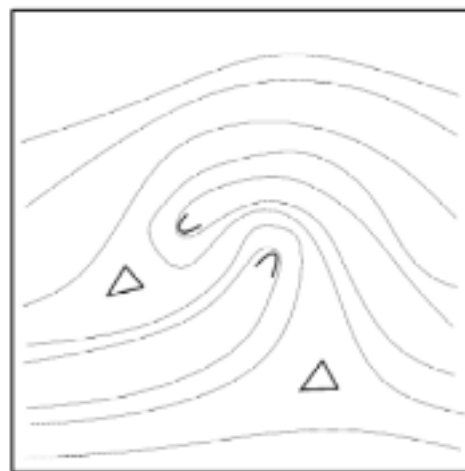
Whorl



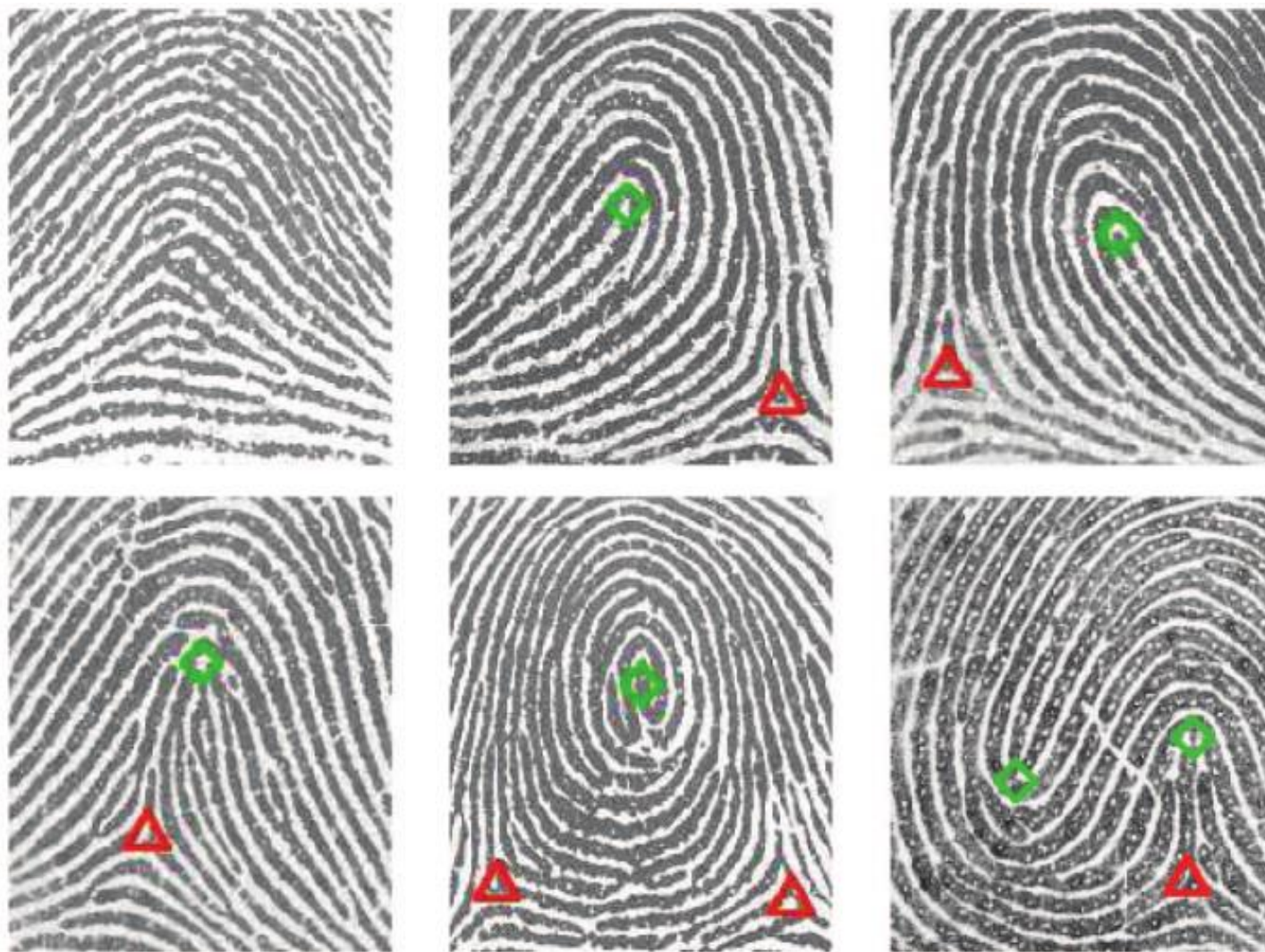
Left Loop



Right Loop



Twin Loop



Finger	Number	Pokud je otisk typu vír
Right thumb	1	16
Right index	2	16
Right middle	3	8
Right ring	4	8
Right little	5	4
Left thumb	6	4
Left index	7	2
Left middle	8	2
Left ring	9	1
Left little	10	1

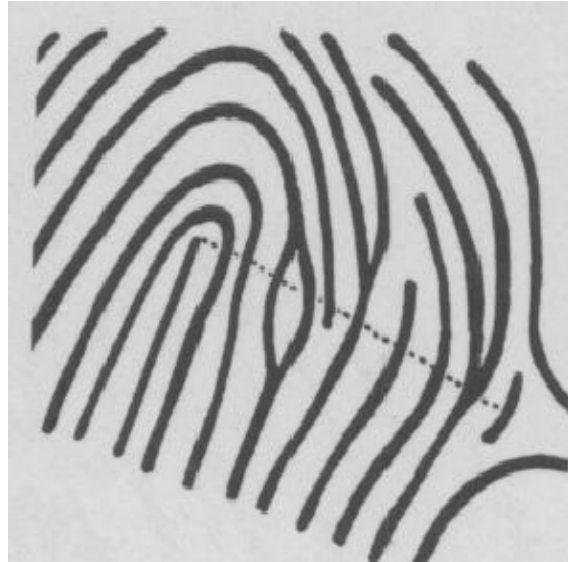
$$\begin{array}{r}
 1 + (\text{Sum of Even Finger Values}) \\
 \hline
 1 + (15) \\
 = 16
 \end{array}
 \qquad
 =
 \qquad
 \begin{array}{r}
 1 + (\text{Sum of Odd Finger Values}) \\
 \hline
 1 + (29) \\
 = 30
 \end{array}$$

R. thumb	R. index	R. middle	R. ring	R. little	L. thumb	L. index	L. middle	L. ring	L. little
16	0	8	8	4	4	0	2	1	1

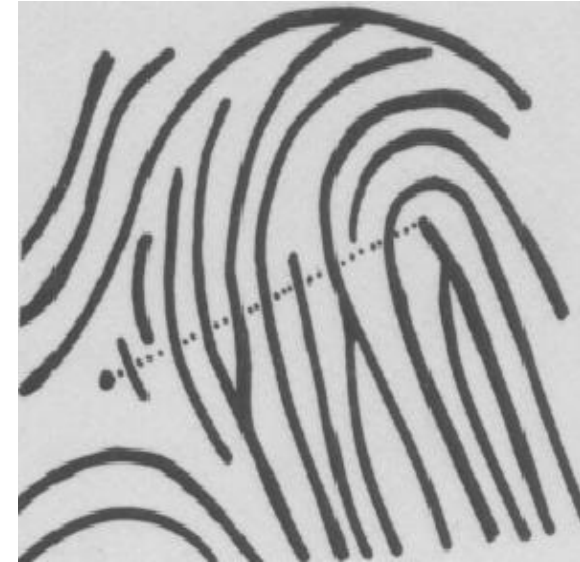
- Počet papilárních linií mezi dvěma definovanými body v otisku prstu (nejčastěji mezi jádrem a deltou)



Ridge Count = 7



Ridge Count = 9



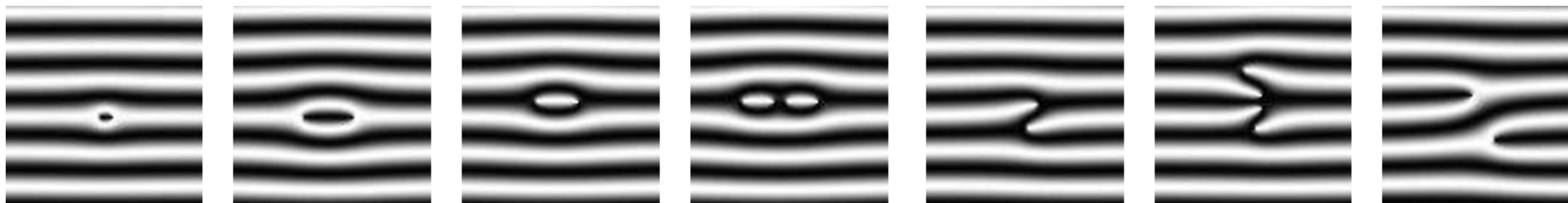
Ridge Count = 7

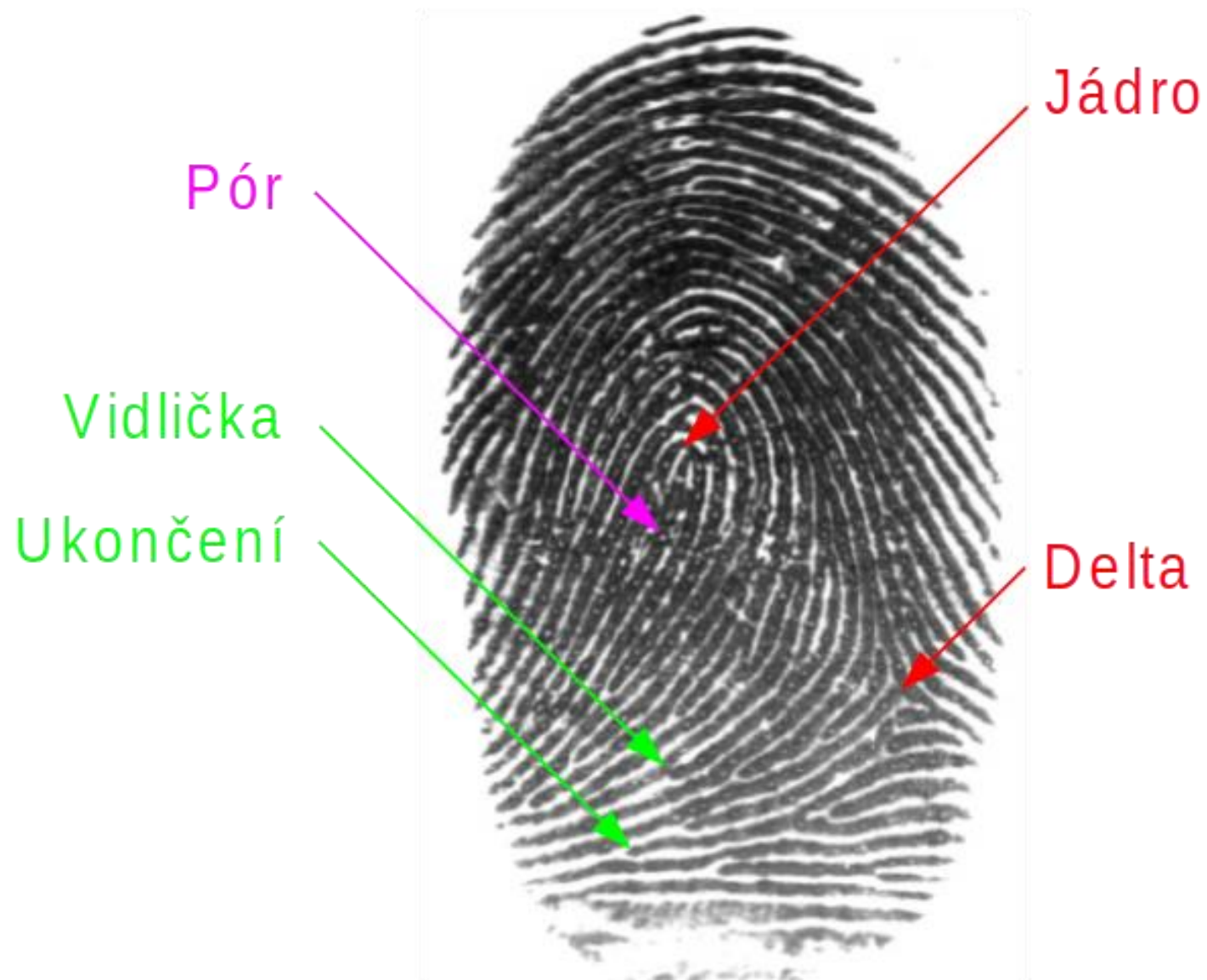


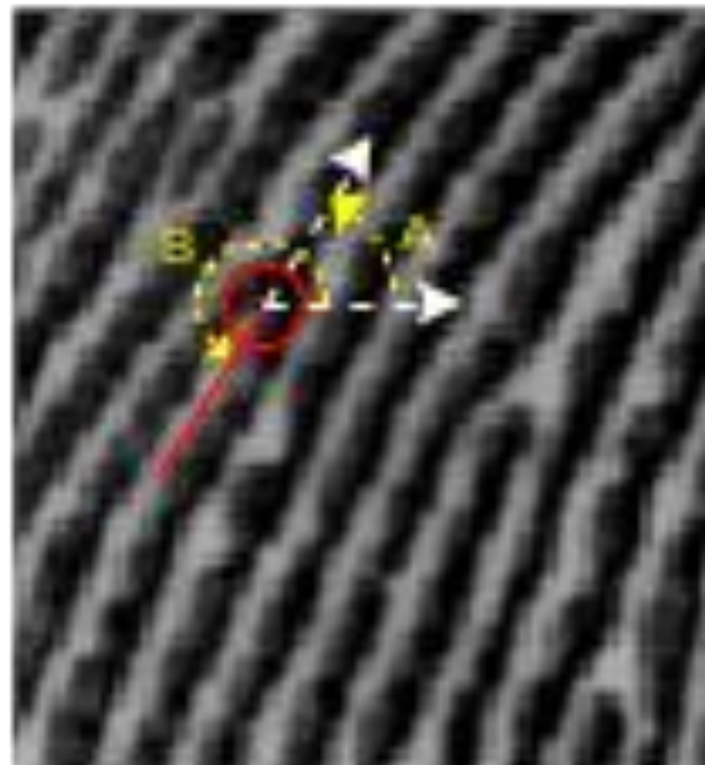
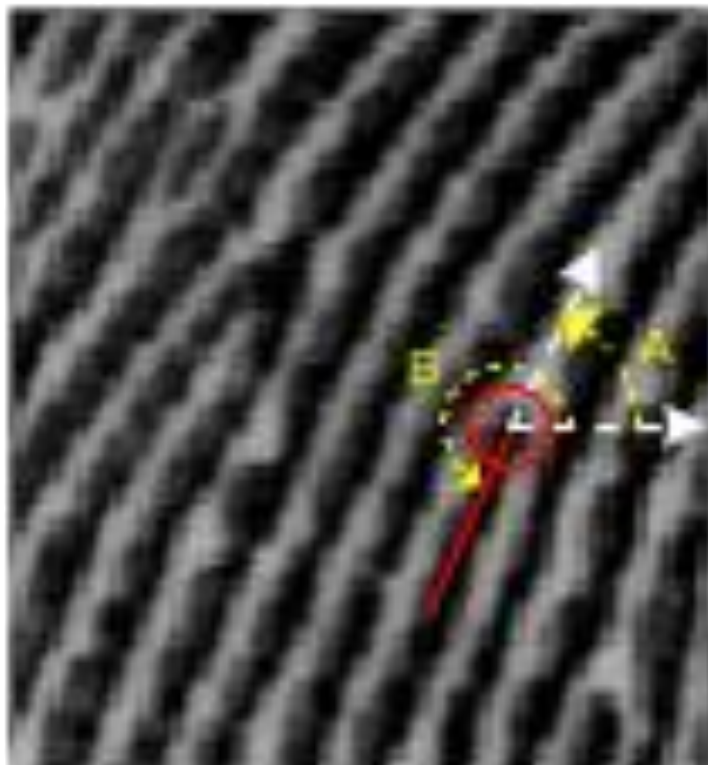
- Ukončení (ridge ending), jednoduchá vidlička (bifurcation), dvojitá vidlička (double bifurcation), trojitá vidlička (triple bifurcation), hák (spur), křížení (ridge crossing), boční kontakt (opposed bifurcation)



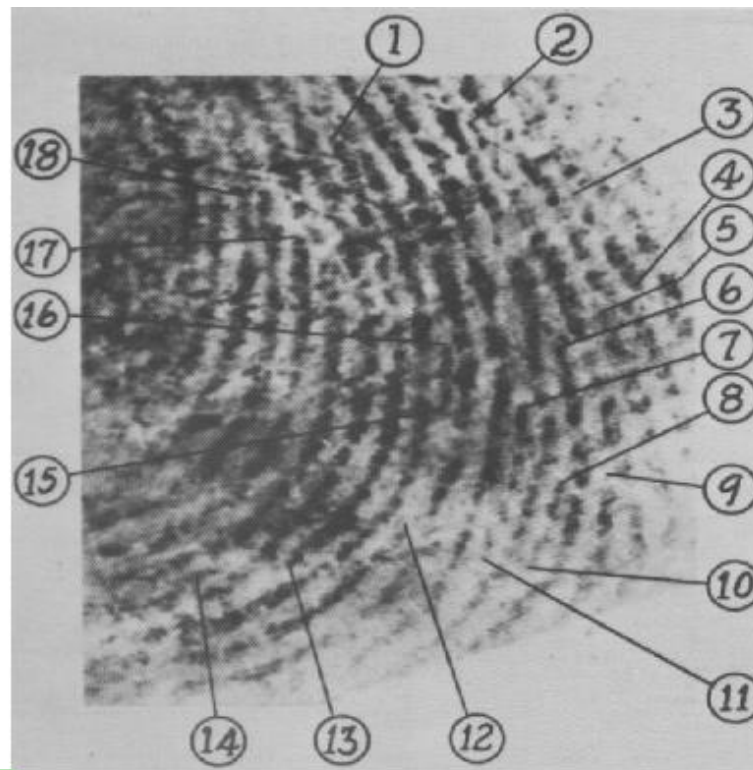
- Bod (dot), Interval (island), jednoduchá smyčka (enclosure), dvojitá smyčka (double whorl), jednoduchý most (bridge), dvojitý most (twin bridge), průsečná linie (through line)





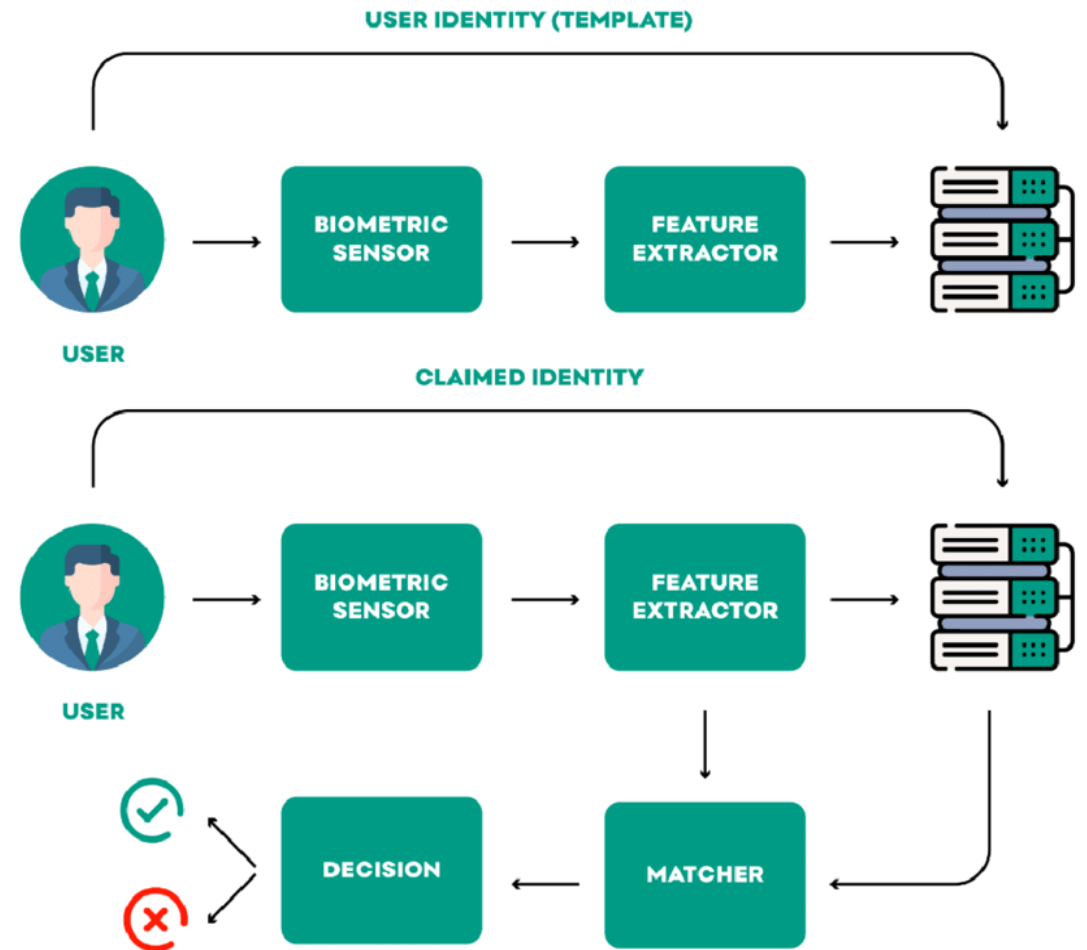


- Levý obrázek = Ukončení; Pravý obrázek = Vidlička
- Označení A (oba obrázky): Standardní notace
- Označení B (oba obrázky): FBI / AFIS notace



□ Dvě obecné fáze

- Registrace (Enroll)
- Porovnání (Authenticate)





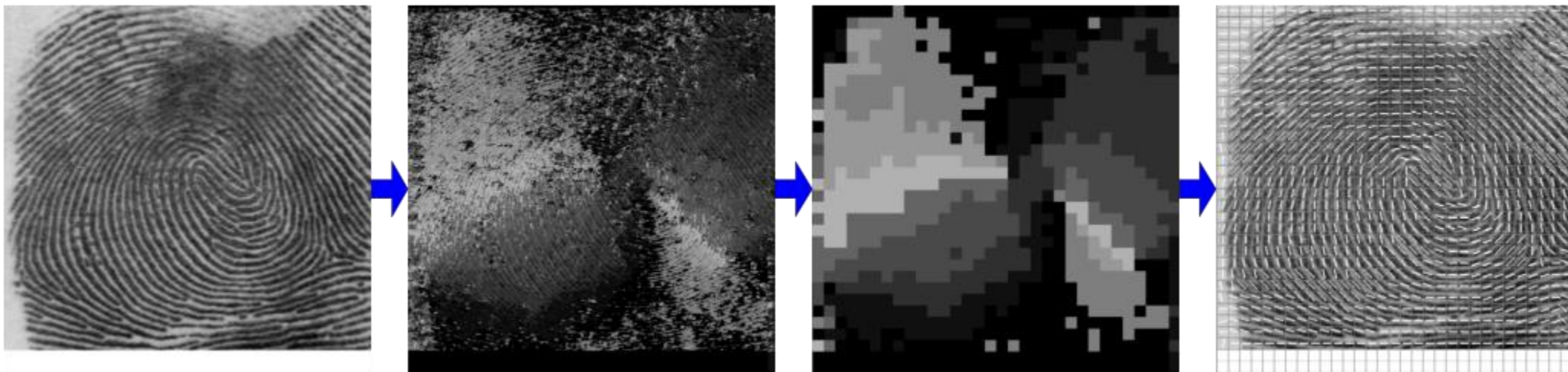
1. Vstupní obraz - načtení otisku prstu
2. Pole orientací - předkrok pro klasifikaci
3. Extrahované linie - úprava obrazu + Č/B linie
4. Ztenčené linie - ztenčení na 1 px
5. Markanty – detekce a extrakce markantů

- ❑ Vstupní obraz – získání obrazu otisku prstu ze senzoru (optické, kapacitní...) či z jiné předlohy digitální otisk prstu
- ❑ Ve vstupním obrazu je obsaženo velké množství šumu, což vyžaduje následnou úpravu ve třetím kroku zpracování
- ❑ Při snímání rozlišovat válené / píchané a příp. Latentní otisky prstů. Dále dbát na vlivy jako např. Znečištění povrchu otisku prstu, poranění apod. Nezbytné je kontrolovat živost prstu, resp. zda není na prstu nalepen falešný otisk prstu.
- ❑ Otsu method – automatic image thresholding

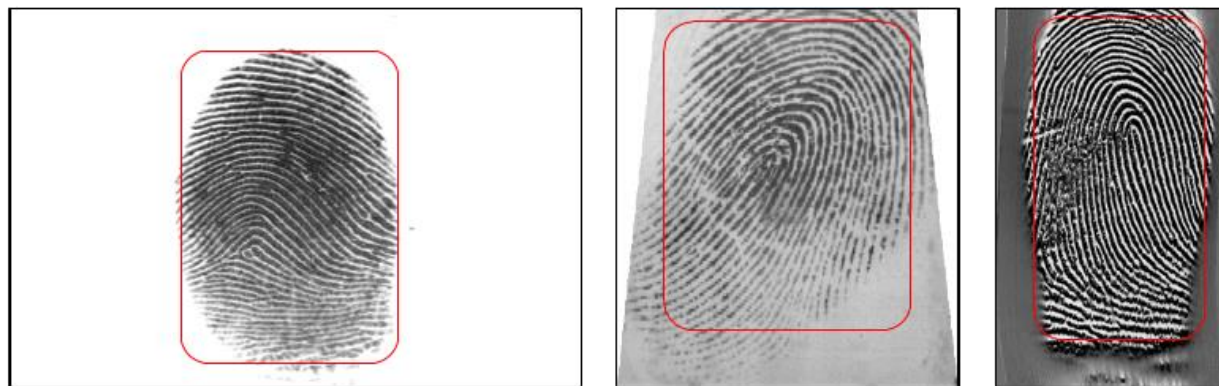
- ❑ Za základní vstupní obraz se bere šedotónový snímek získaný dotekovou technologií

- ❑ Ostatní typy se na tento obvykle převádějí (aktuálně probíhající výzkum)
- ❑ Latentní otisky (AFIS/specializované metody, ruční porovnání)
- ❑ Rolované otisky (obvykle bez úprav ale mají vliv na výkon porovnání)

- ❑ Fotky prstů/otisků
 - Aktuální téma, vliv na porovnání je dost velký
 - Převod na dotekový může ztrácet informace (problém je i s převodem okrajů otisků 3D vs 2D)



- ❑ Pole orientací – v každém bodu obrazu se spočte směr papilární linie z okolí (dle tónů šedé barvy). Nachází-li se bod přímo na papilární linii, určuje s maximální pravděpodobností její směr
- ❑ Nejprve se vypočte pole orientací pro každý bod obrazu. Ve druhém kroku dojde k transformaci na blokové pole orientací (viz. snímek 3). Blokové pole orientací je následně namapováno na původní obrázek otisku prstu (viz. snímek 4).



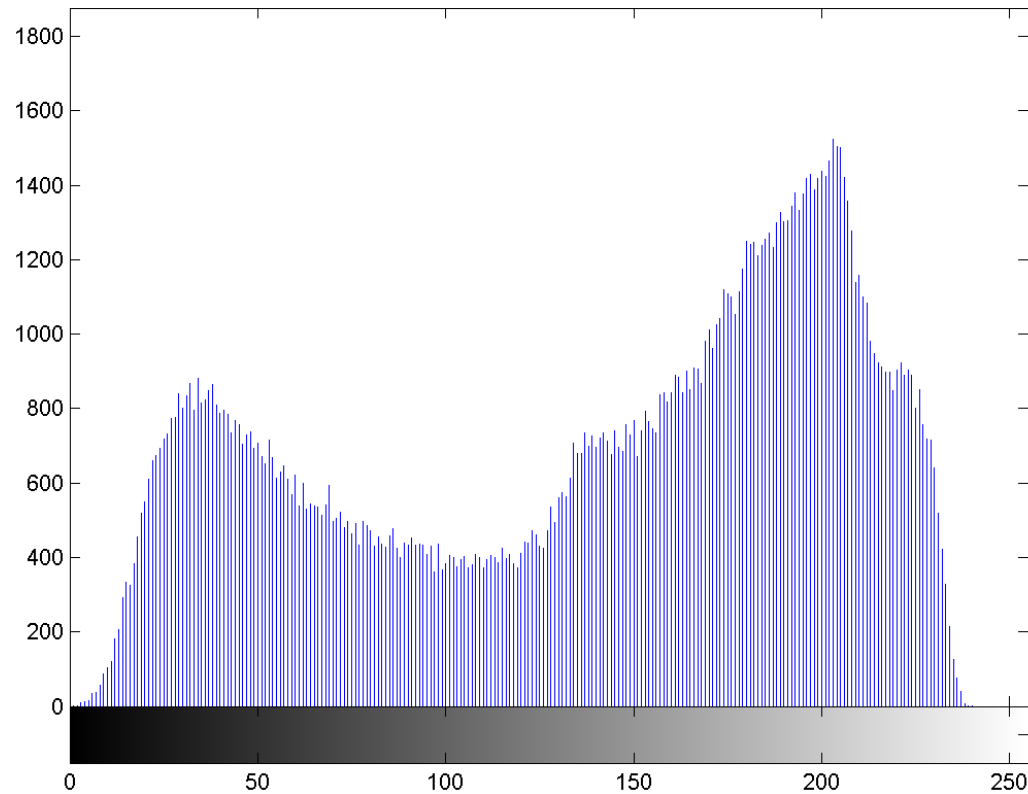
- ❑ Obrázek obsahuje často otisk prstu pouze částečně.
- ❑ Pro extrakci čistého otisku prstu z pozadí existuje více metod. Jednou z nich je detekce hranic otisku prstu.
- ❑ Druhou je např. výpočet úrovně jistoty:

$$\varepsilon(i, j) = \sqrt{\left(\frac{1}{W^2}\right) \left(\frac{G_X^2(i, j) + G_Y^2(i, j)}{G_E^2(i, j)}\right)}$$

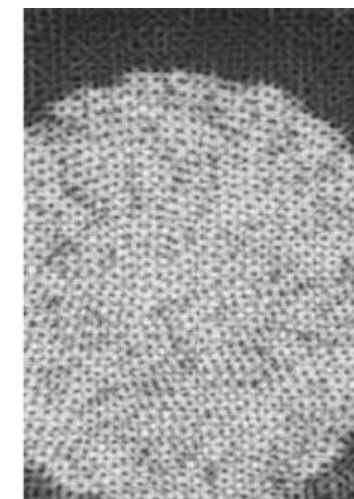
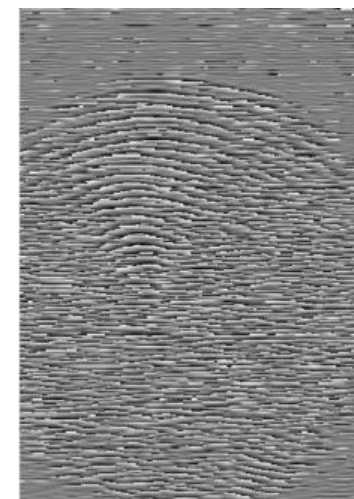
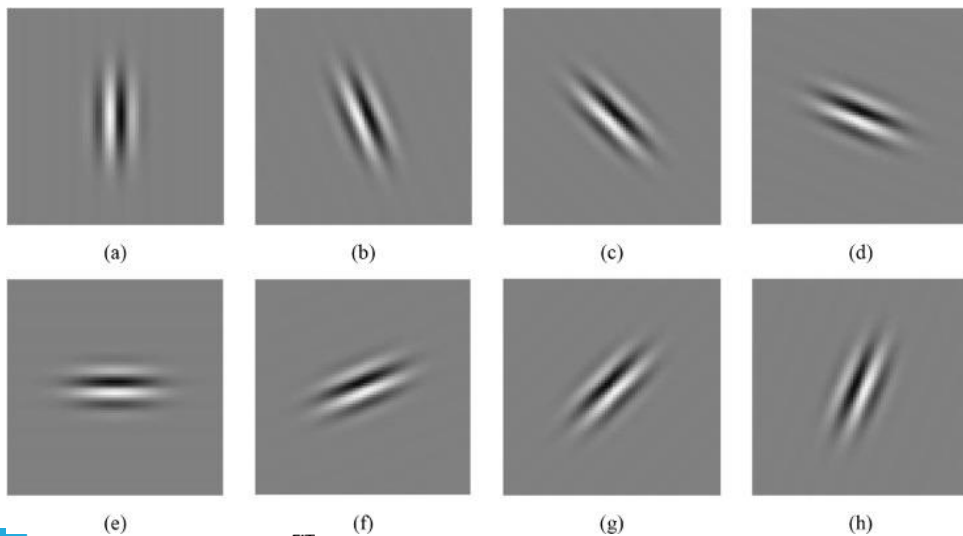
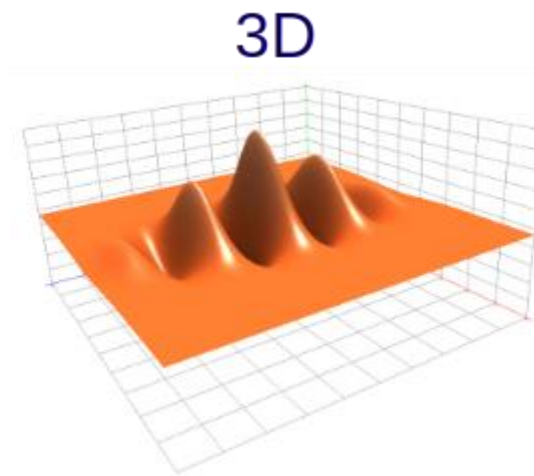
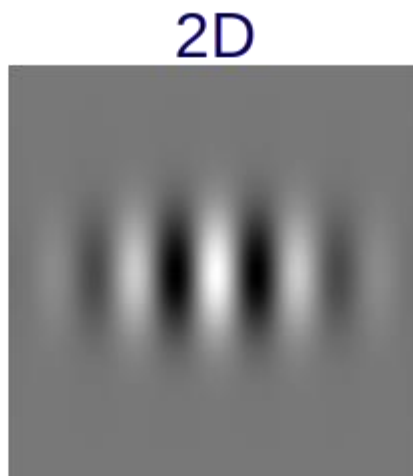
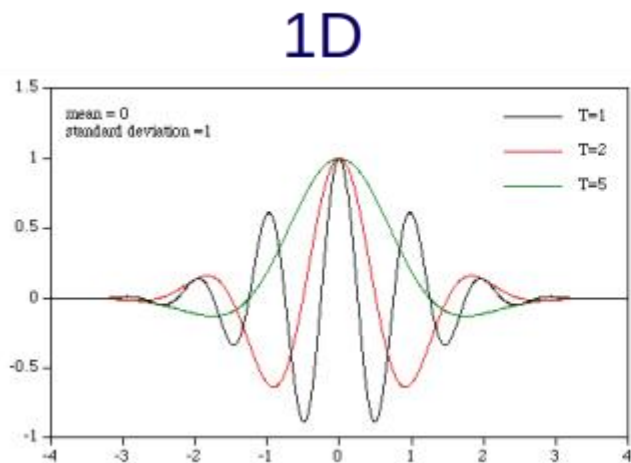
$$G_E(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{u=i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{v=j+\frac{W}{2}} G_X^2(u, v) + G_Y^2(u, v)$$

- ❑ Je-li $\varepsilon(i, j) < TK$, potom je blok nastaven jako pozadí

- ❑ Úpravy histogramu – např. škálování histogramu
- ❑ S tím je spjatá kontrola kvality vstupního obrazu

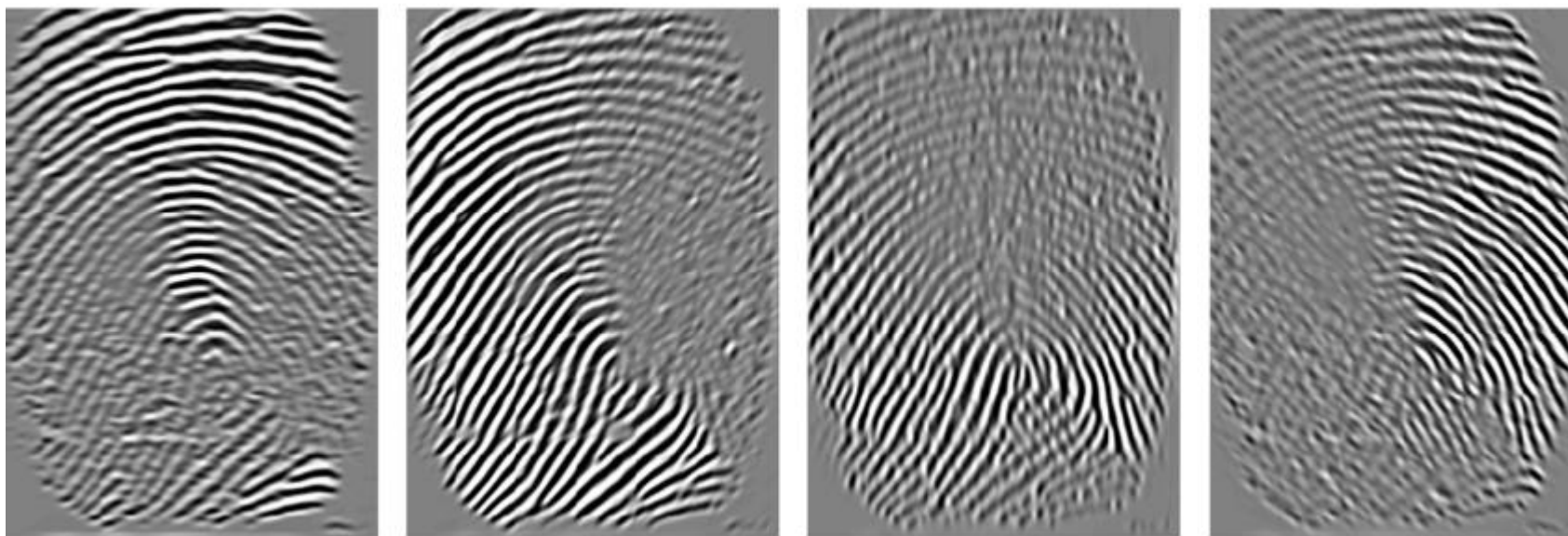


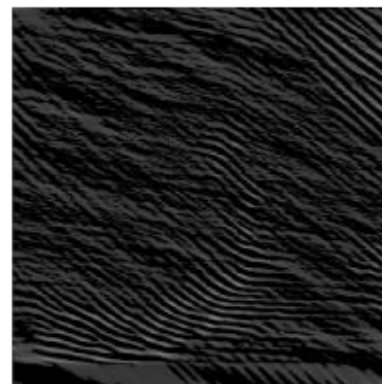
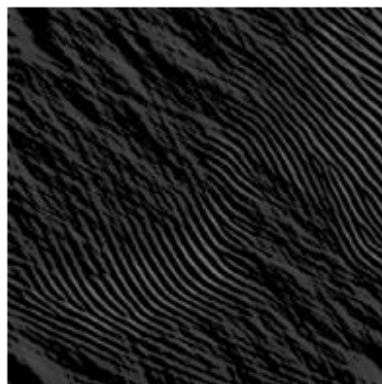
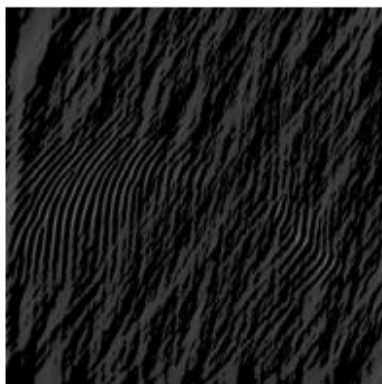
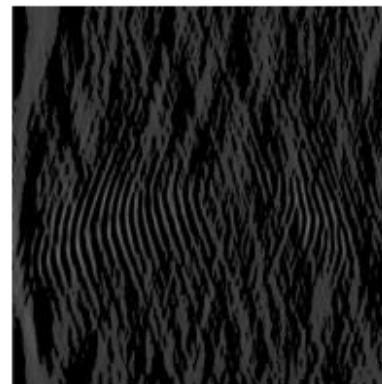
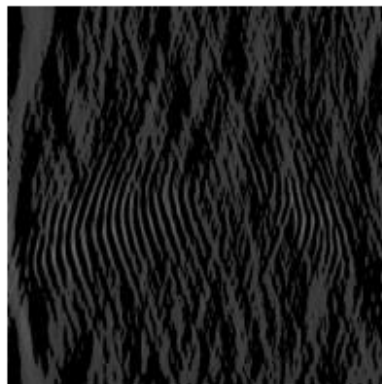
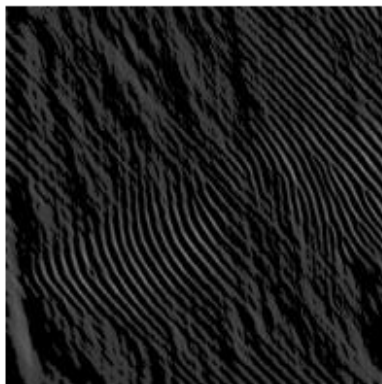
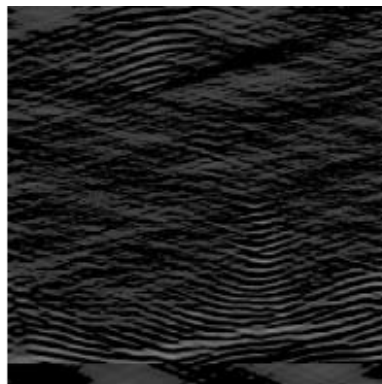
□ Gaboruv filter



(a) Gabor phase

(b) Gabor output





□ Filtrování ve frekvenční oblasti:

- FFT
- Filtr (různé možnosti – viz. dále)
- IFFT

□ Používané filtry ve zpracování otisků prstů:

▪ **Dolní propust**

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

$$D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$$

- D_0 je hraniční frekvence

□ Filtr Butterworth

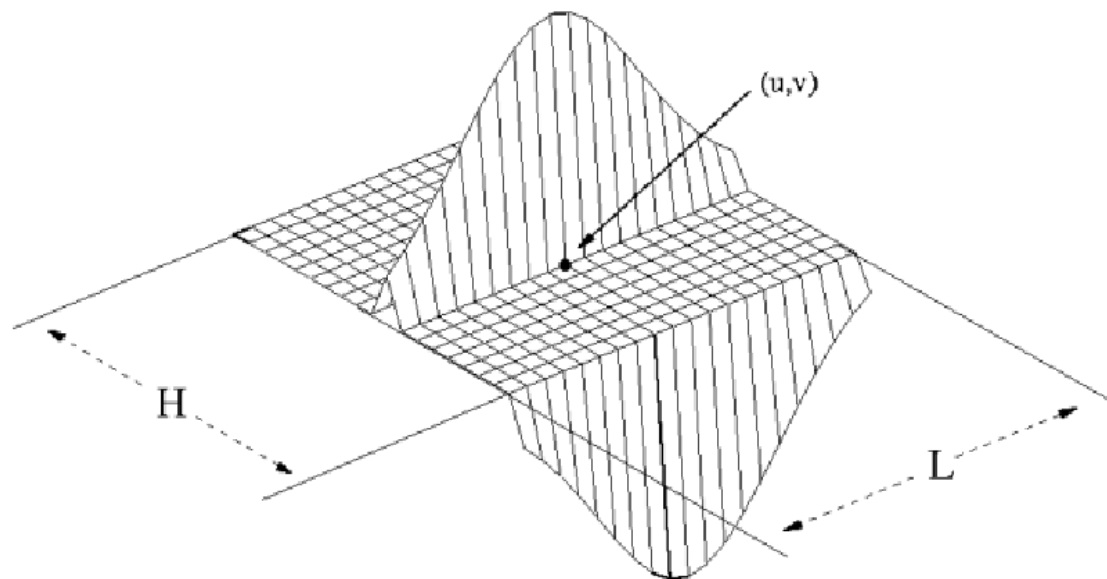
$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{D(u, v)}{D_0}\right]^{2n}}$$

$$D(u, v) = \sqrt{(u^2 + v^2)}$$

- kde u a v jsou frekvenční souřadnice, n je počet směrů, D_0 pozitivní konstanta (všechny frekvence vyšší než tato jsou utlumené)

□ Detekce papilárních linií dle Honga

- Papilární linie probíhají paralelně vůči sobě
- Papilární linie dosahují maxim úrovní šedé uprostřed samotné linie (černé (tmavé) body)
- Otisk prstu je násoben se dvěma maskami h_t a h_b , které mají navzájem posunutou fázi o 180°





(a)



(b)

https://www.researchgate.net/figure/Illustrates-the-fingerprint-enhancement-by-Hongs-method-where-a-shows-the-input-image_fig1_335230211

□ Detekce papilárních linií dle Honga

- V průměru lze říci, že $L \times H$ je 11×7 [Jai04]. Ideálně by měla být šířka masky rovna šířce lokální linie.
- Pixel (i,j) je označen jako pixel papilární linie, pokud jsou obě hodnoty po konvolucích (filtry h_t a h_b) větší jak nastavený práh T_R .
- S ohledem na parametr δ provádí obě masky i vyhlazování.
- Ve výsledném obrazu je nutné provést kontrolu a úpravu porušení papilárních linií, příp. zrušení zlomů v průběžích papilárních linií.

❑ Detekce papilárních linií – schéma RAT

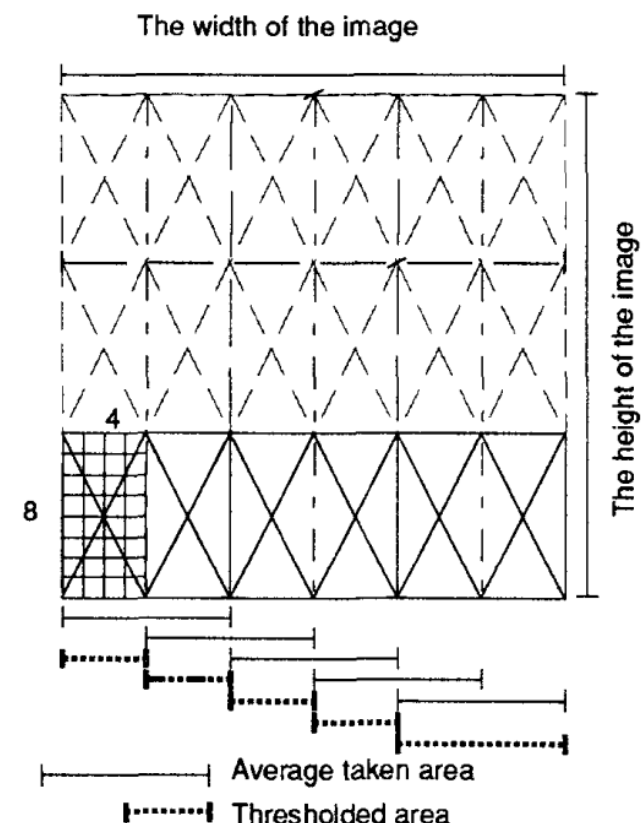
❑ RAT = Regional Average Thresholding

❑ Krok 1: Rozděl obrázek na bloky 8x8.

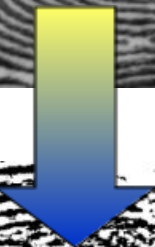
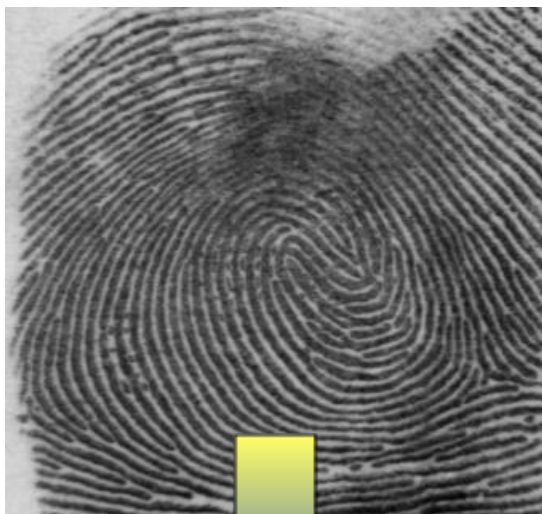
❑ Krok 2: Spočti průměrnou úroveň šedé v této oblasti.

❑ Krok 3: Na základě průměrné hodnoty proved' prahování levé části 8x4.

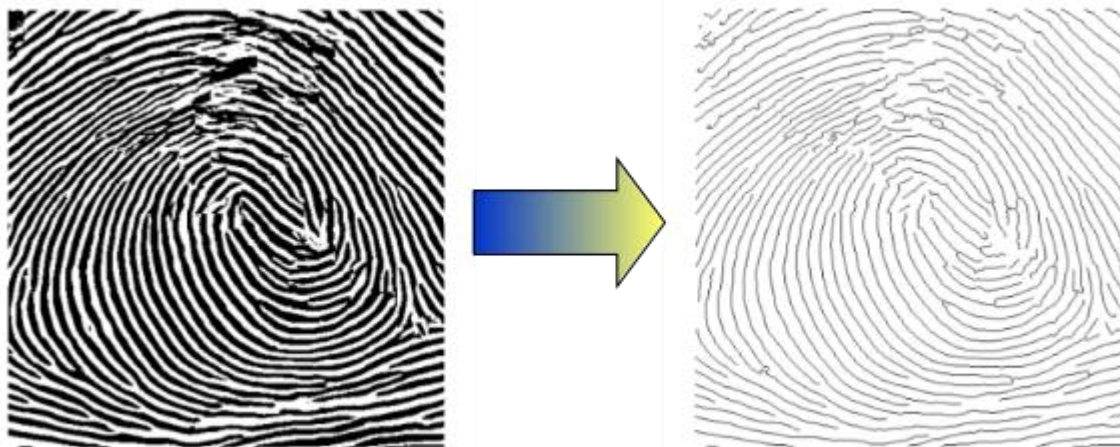
❑ Krok 4: Posuň operační okno o 4 body doprava. Je-li dosažen pravý okraj, posuň okno o 8 bodů dolů a začni opět zleva.

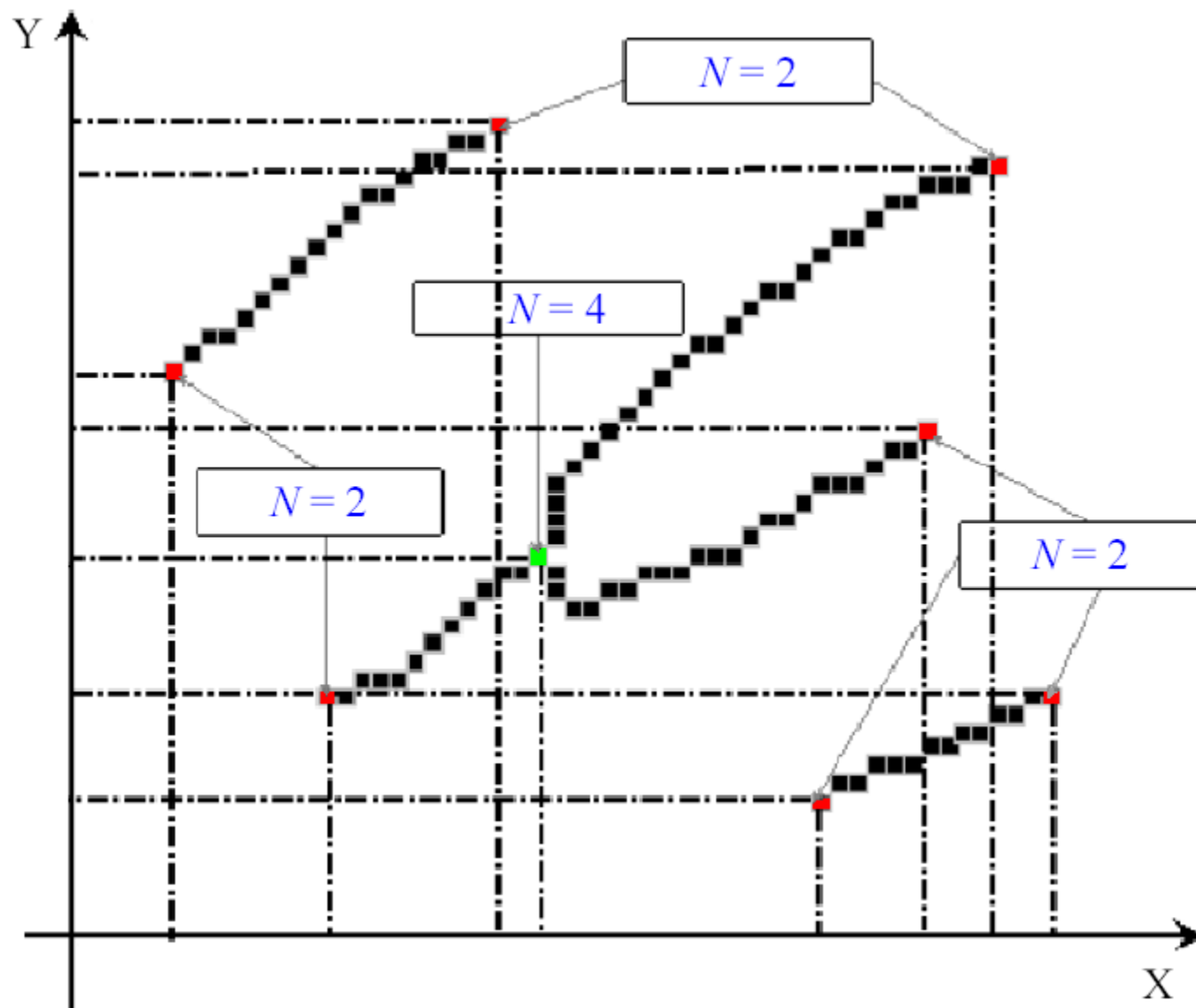


Pre-processing Of Fingerprint Images



- ❑ Účelem je upravit černobílé papilární linie tak, aby jejich tloušťka odpovídala 1 pixelu – metoda se nazývá ztenčování (thinning).
- ❑ Metod ztenčování existuje opět hodně, ale v našem případě musí být všesměrové (v žádném směru nesmí ubývat papilární linie).
- ❑ Často používanou metodou je tzv. Metoda Emyroglu, která používá dva typy bodů – RMP (Ridge Meeting Point) a RCP (Ridge Continuity Point).





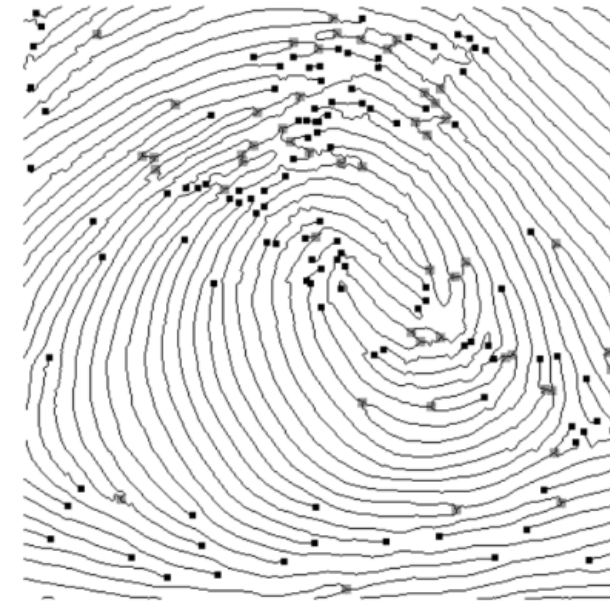
- Obecně se detekují dva základní typy markantů (ukončení papilární linie a vidlička), přičemž ostatní typy markantů jsou kombinací těchto dvou základních typů ~ tj. existuje možnost detekce více typů.

- Ukončení

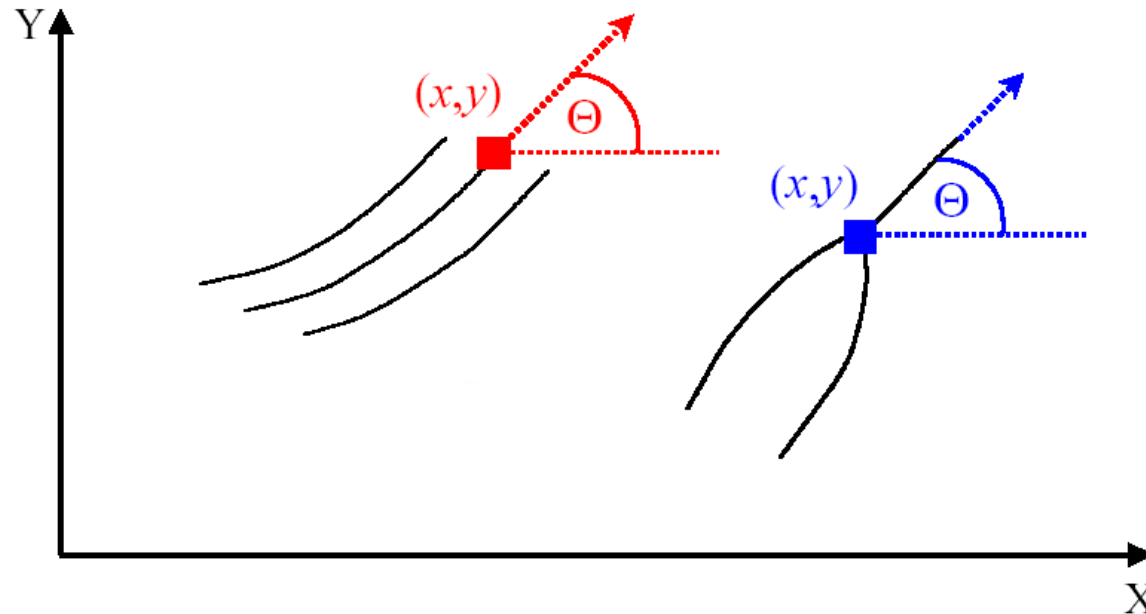
$$\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 TR(i + u, j + v) = 2$$

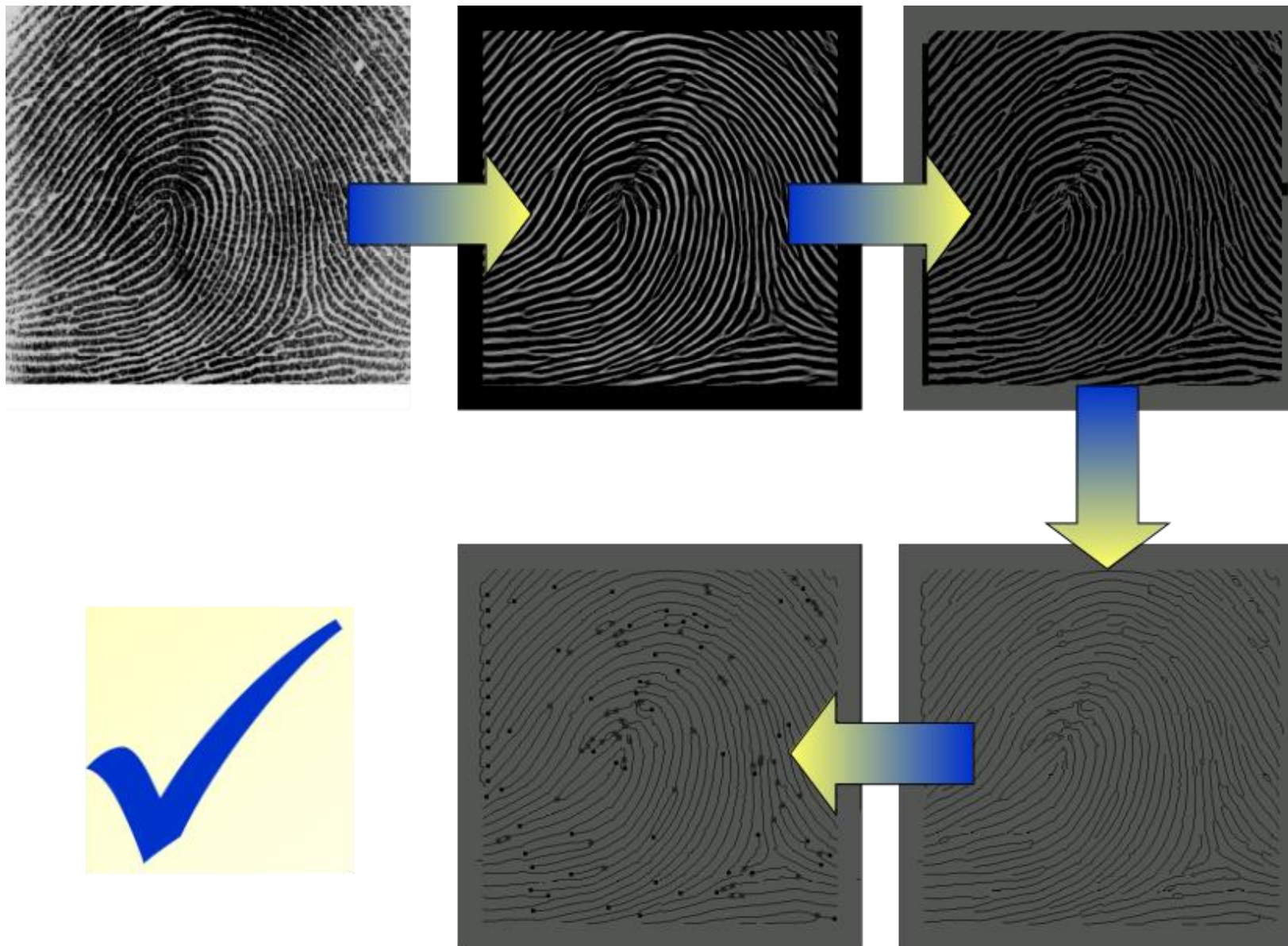
- Vidlička

$$\sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 TR(i + u, j + v) > 3$$



- ❑ Ke každému markantu se ukládají následující údaje:
 - Pozice X
 - Pozice Y
 - Typ (ukončení / vidlička)
 - Gradient (směr pokračování papilární linie)





- ❑ Metody porovnání založené na markantech
 - Používají pozici, typ a gradient (směr)

- ❑ Metody porovnání založené na korelaci
 - 2D korelace mezi vstupem a šablonou
 - Výpočetně náročné

- ❑ Metody porovnání založené na rozpoznání vzorů
 - Porovnání pouze obrázků (využití neuronových sítí)
 - Použitelné při malé ploše otisků (mobily)

- ❑ Metody založené na vlastnostech papilárních linií
 - Orientace a frekvence papilárních linií, tvar linie, texturní informace atd.
 - Nízká rozlišovací schopnost

- ❑ Výsledek extrakce markantů je porovnán s uloženou šablonou (z databáze / smart karty apod.)



- ❑ Biometrická šablona

- ❑ Nedoporučuje se sdílet biometrické šablony mezi různými algoritmy

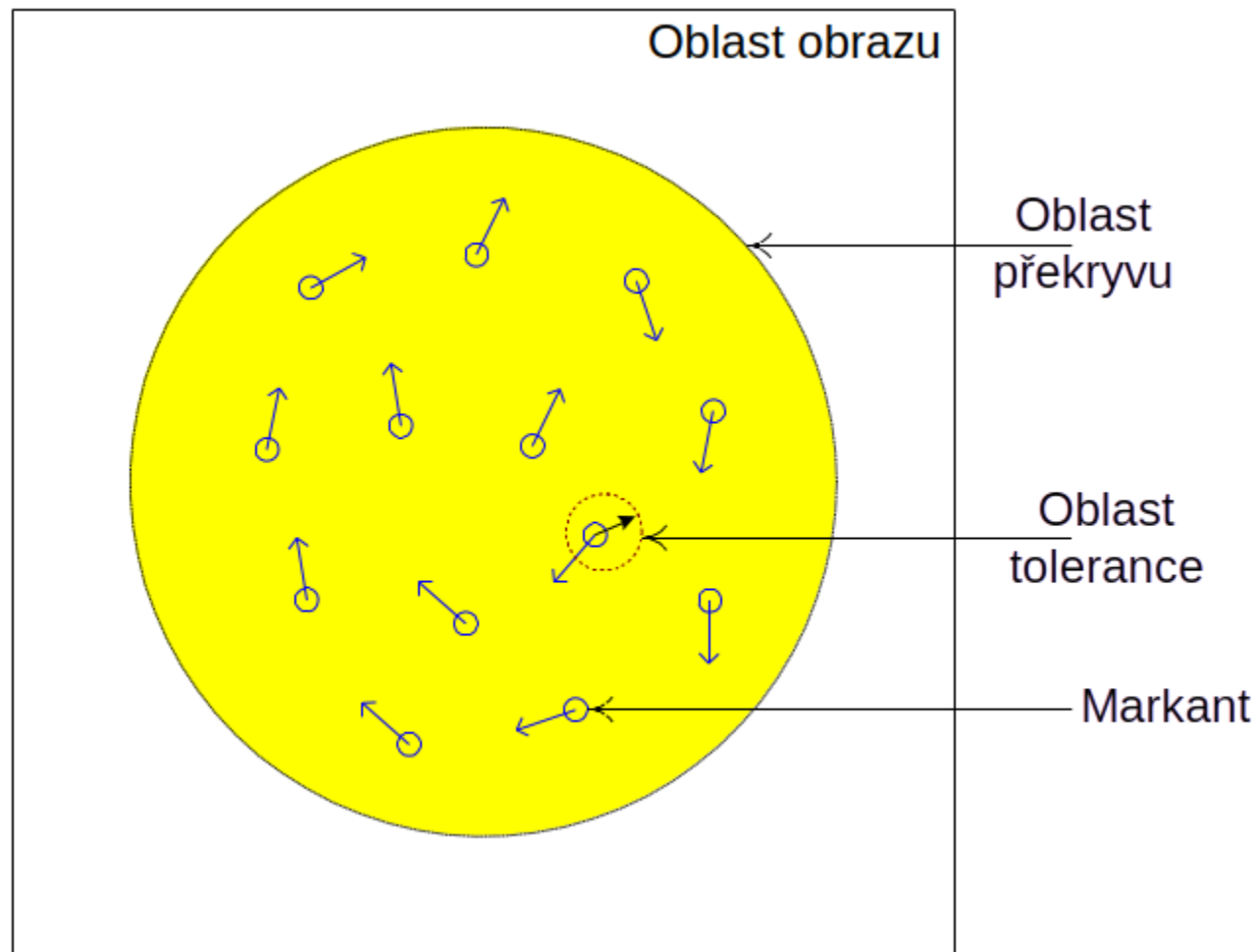
- ❑ Normy
 - ANSI 378
 - ISO 19794-2
 - ISO 19794-2 Smartcard

- ❑ Sumarizované informace o biometrických šablonách nalznete zde:
 - <https://templates.machinezoo.com>
 - <https://templates.machinezoo.com/iso-19794-2-2011>

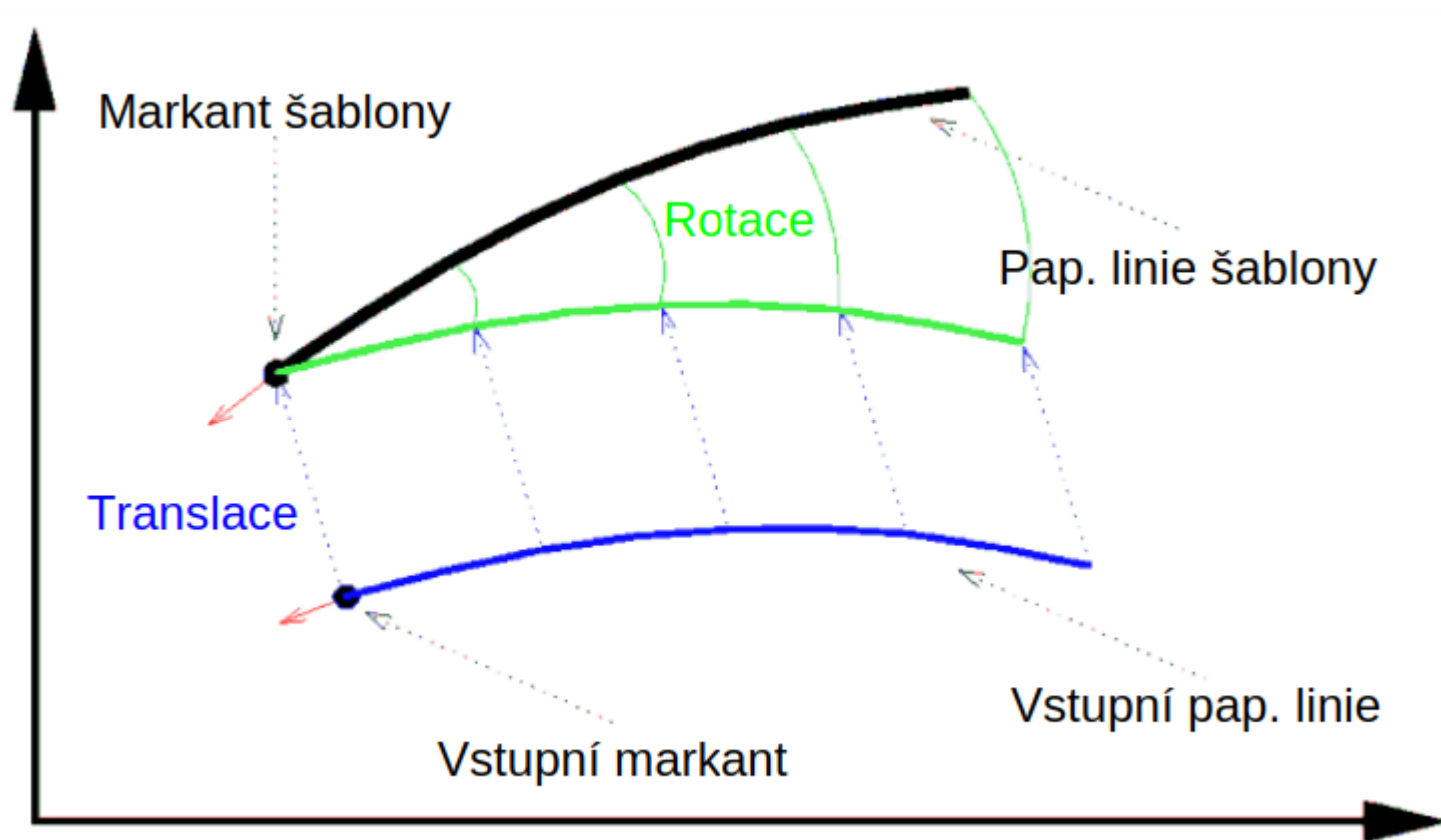
- ❑ Metoda založená na markantech je nejčastěji se vyskytující metodou.
- ❑ Problém porovnání vzorů (dvou množin markantů).

- ❑ Dvě metody pro porovnávání (používající markanty)
 - **Hongova metoda**
 - **Rathova metoda**

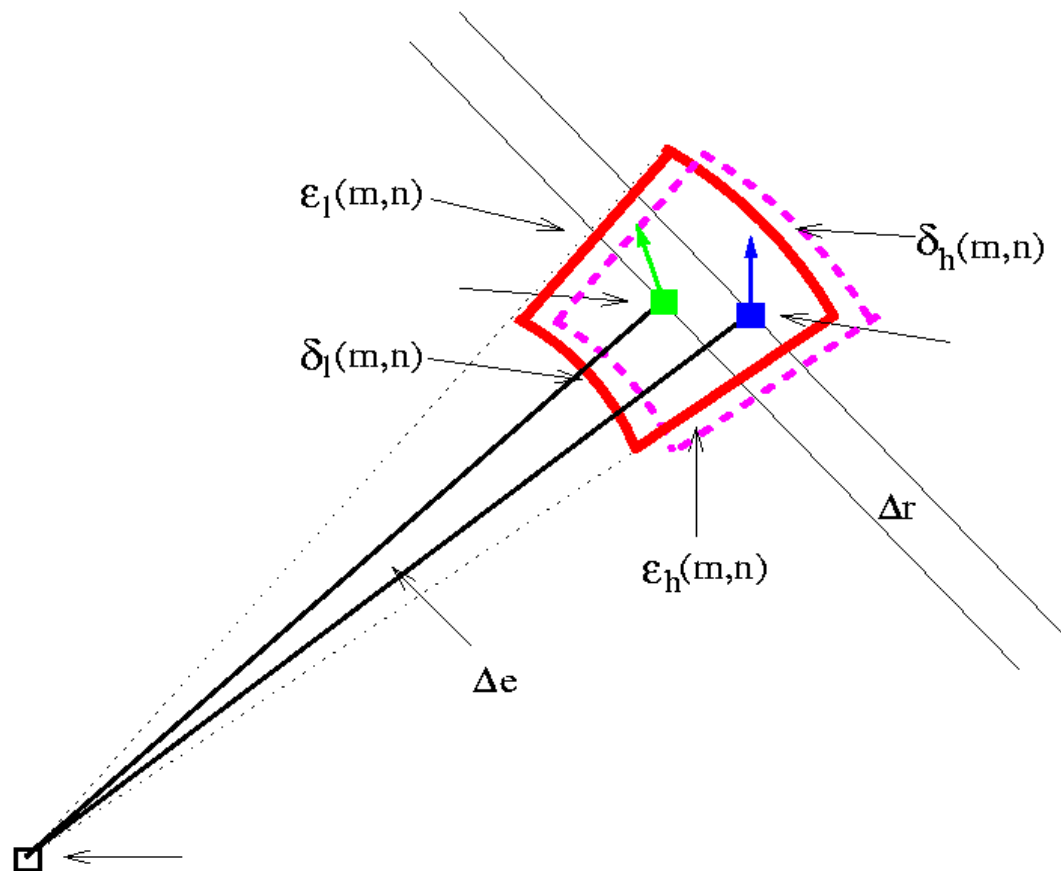
- ❑ Obě metody založeny na dvou hlavních krocích
 - Generování globálního překryvu (**Zarovnání**)
 - Hledání lokálního překryvu (**Porovnání**)

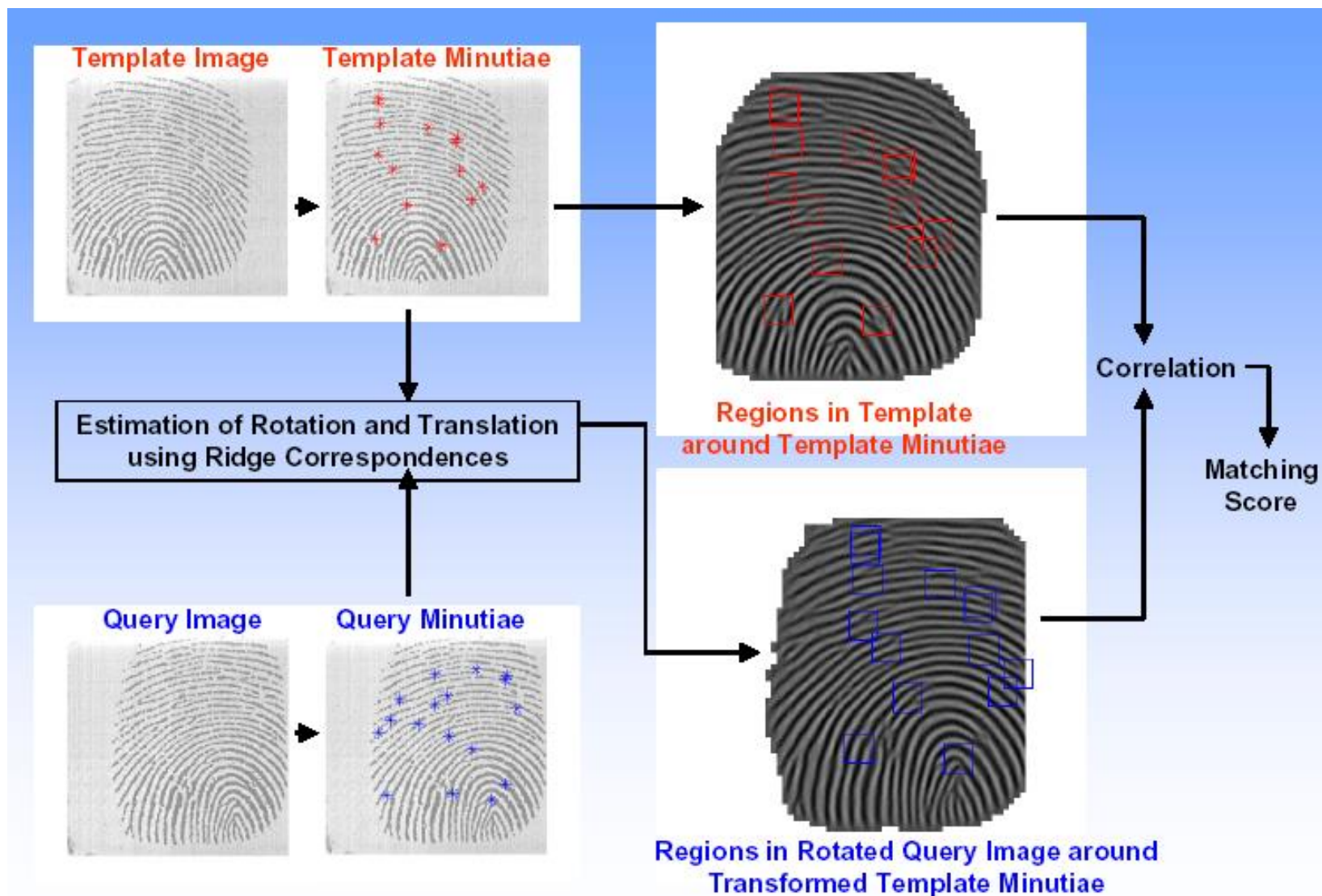


- Prvním krokem je generování globálního překryvu



- Druhým krokem je hledání lokálního překryvu



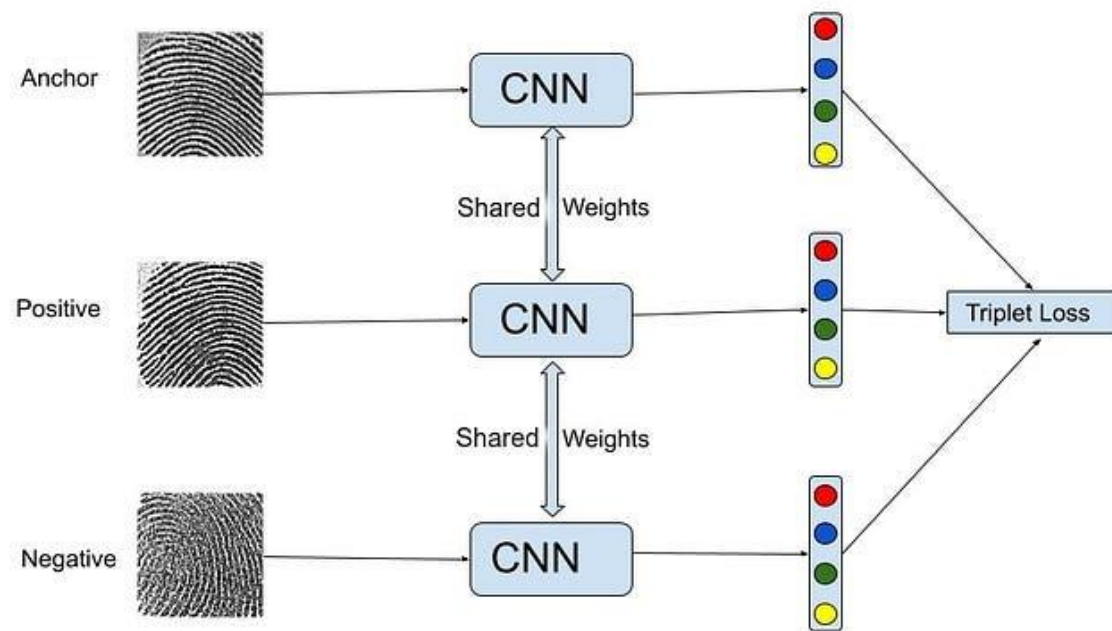


- ❑ Dlouhou dobu pro otisky „nemožné“ – otisky jsou na takové zpracování nevhodné

- ❑ I přesto se více či méně „oficiálně“ používá pro:
 - Specifické snímače
 - Náročné a komplikované procesy předzpracování
 - Nevhodné pro jiné metody (= markanty)

- ❑ Metody založené na neuronových sítích mohou nahrazovat/přeskakovat některé kroky zpracování
 - Předzpracování (rekonstrukce až na generování)
 - Samotné porovnání (i rovnou ze vstupu)
 - Aktuálně trochu skryty v komerčních řešeních

☐ Siamská neuronová síť



☐ Problematika zarovnání

- ❑ S myšlenkou automatické identifikacev 60. letech přišla FBI (US), Home office in UK, Paris Police (France) and Japanese National Police

- ❑ IAFIS (1999)

- ❑ Vylepšení snímku otisků

- ❑ Vyhledávání s latentními snímky

- ❑ Vyhledávání vůči latentním otiskům

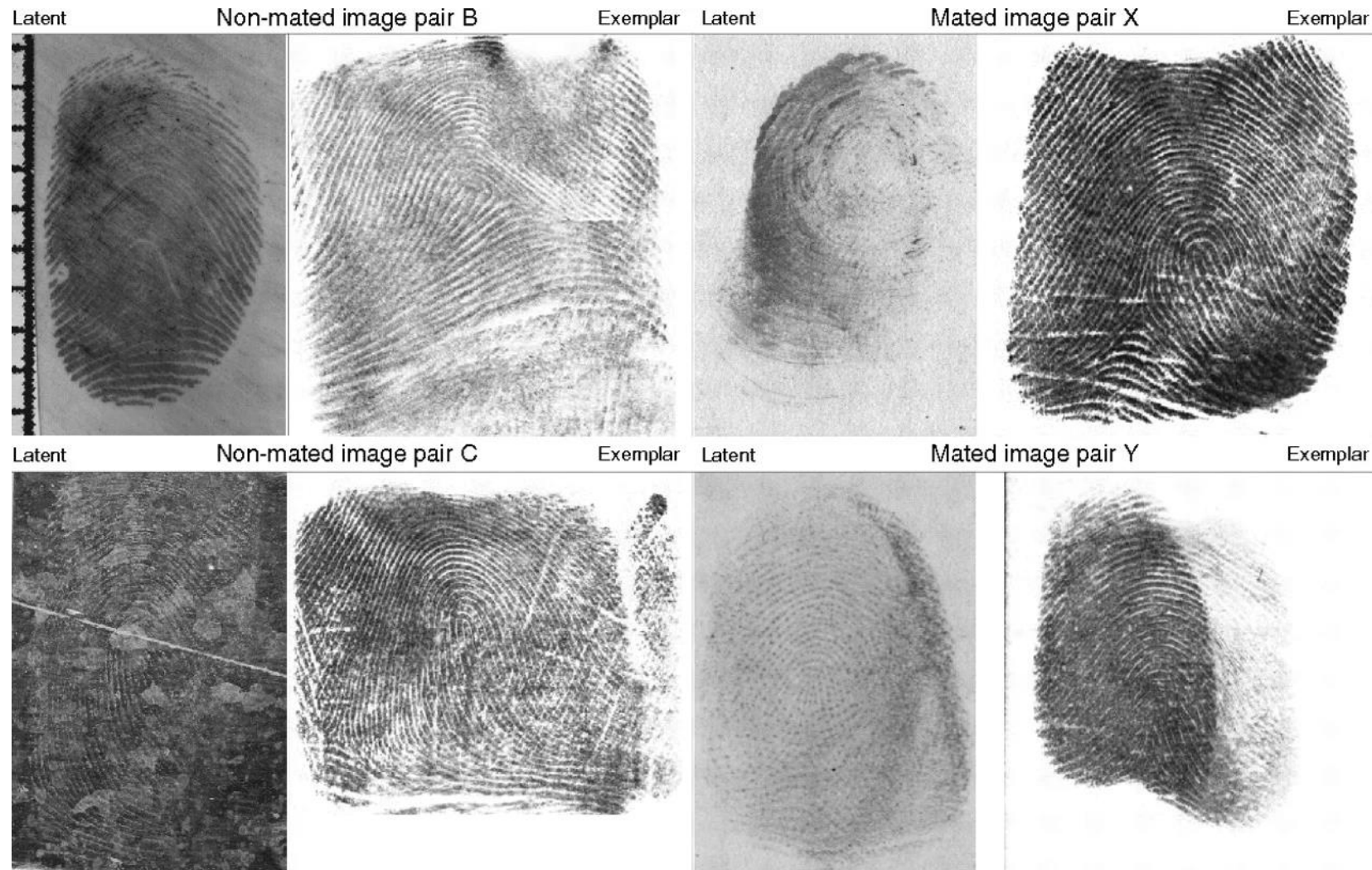
- ❑ Největší biometrická databáze na světě

- ❑ Splňuje požadavky ANSI a NIST

- ❑ Next Generation Identification (2015) - (dlan, duhovka, obličej)

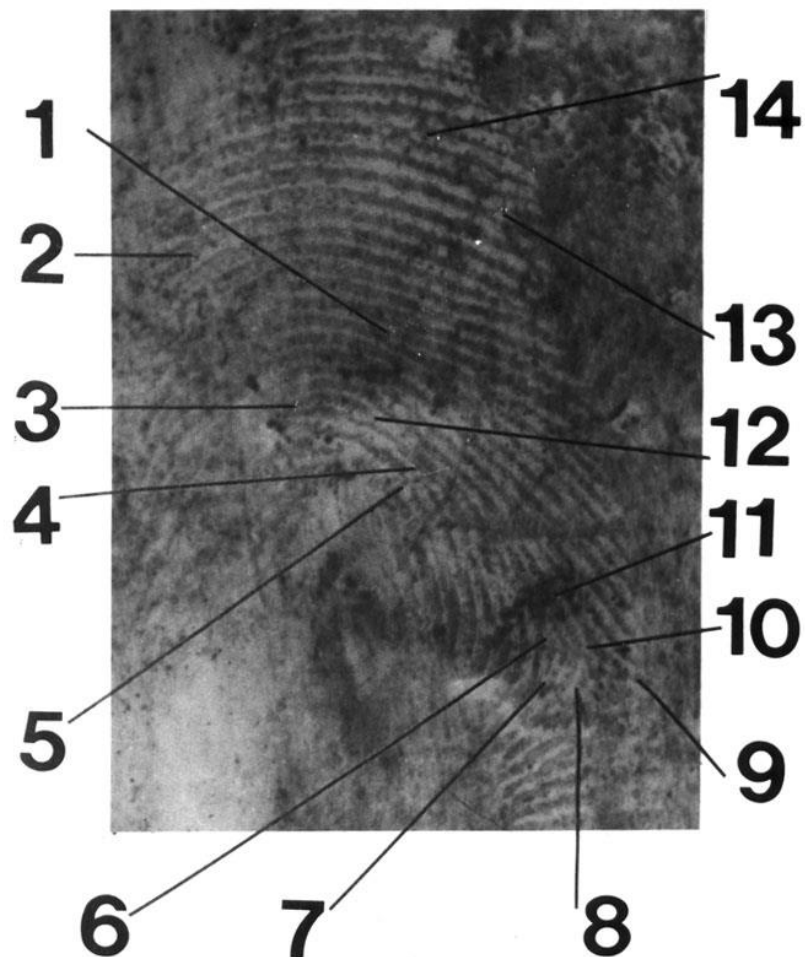


- Ninhidrid
- Diazafluoren
- Indanedione
- Cyanoacrylate
- Napařování kovů

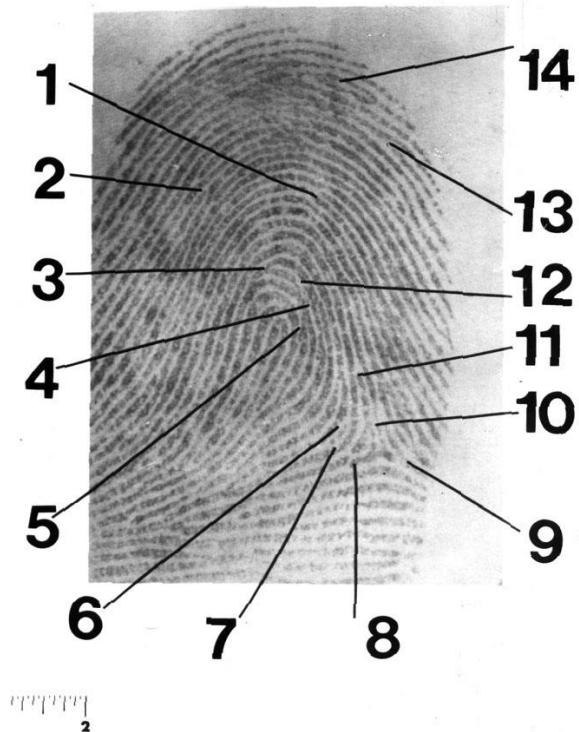


<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1018707108>

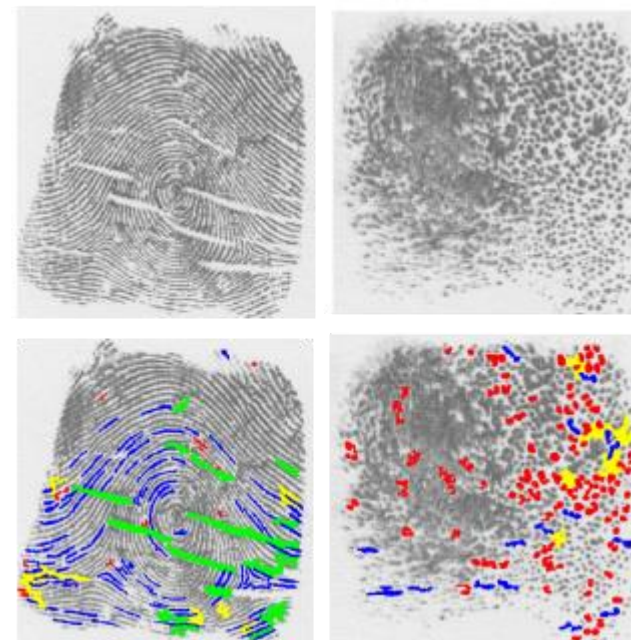
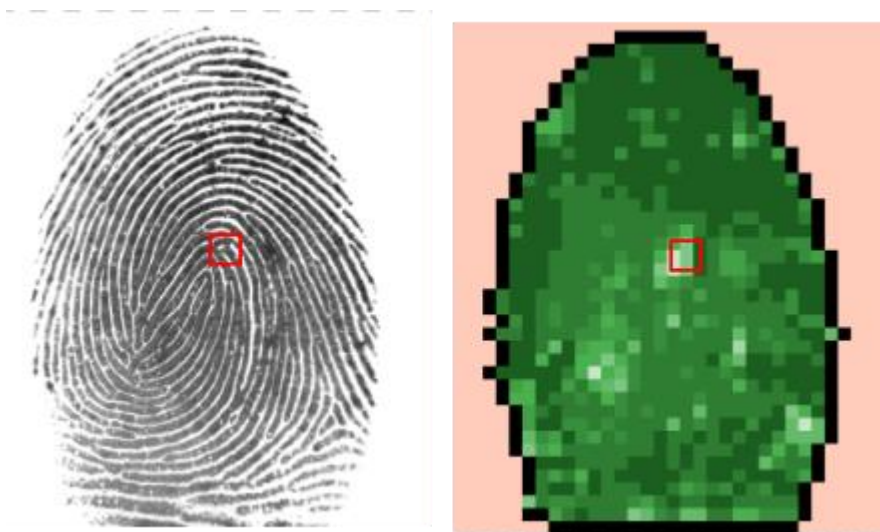
LATENT FINGERPRINT



INKED FINGERPRINT



- ❑ Různé metody pro určení kvality
- ❑ Co to vlastně je kvalita (nasnímání = senzor, daktyloskopie = identifikace ruční, dostatečné množství čitelných informací = identifikace automatická, atd.)
- ❑ Metody rekonstrukce, detekce příp. klasifikace poškození



- ❑ Inverzní biometrická úloha (inverzní proces rozpoznávání)
- ❑ Lze vytvořit jak z náhodných bodů tak ze ISO šablony
- ❑ Vygenerovaný otisk je obvykle dokonalý (tzv. master fingerprint)
- ❑ Použití syntetických otisků
 - Hodnocení výkonu
 - Učení (klasifikátorů, neuronových sítí, ...)
 - Hodnocení bezpečnosti
 - Shoda se standardy
 - Ukázky (nepodléhá ochraně osobních údajů)
- ❑ Moderní řešení - transformery



- Úprava z dokonalého otisku jejíž cílem je:
 - Získat realisticky vypadající otisk



- Získat specificky poškozený otisky dle potřeby (učení)



Verifikace otisků (uvěřitelnost vs. kvalita)

☐ Uživatel

- Špinavý prst
- Suchý nebo mokrá prst
- Poškozený prst
- Onemocnění ovlivňující bříška prstů
- Nasnímaná plocha (oblast kontaktu se snímačem)
- Nekooperativní chování

☐ Snímač

- Špinavý včetně latentních otisků
- Poškozený snímač
- Samotná technologie

☐ Efekty prostředí

- Vibrace
- Teplota
- Okolní osvětlení
- Elektromagnetická radiace

- ❑ Reaktivace latentního otisku
- ❑ Vytištěný otisk/foto prstu
- ❑ Razítko
- ❑ Umělý prst (želatina, plastelína, ...)
- ❑ Velmi tenký otisk nalepený na živém prstu
- ❑ Odejmutý prst
- ❑ 3D tisk



Oklamání senzoru Suprema SFM 3020 (optický senzor) pomocí razítka

- Víte jak je např. váš telefon chráněn proti prezentačnímu (zero-effort) útoku? Má detekci živosti resp. detekci prezentačního útoku?
- Obvyklá odpověď je že nevíme a nejspíše nic nemá
- Bezpečnost vs. bezpečnost – co když je telefon teroristy a obsahuje důležité údaje (2016 FBI vs Apple)
- „Armáda duchů“ – doktorka v Brazílii (2013) pomocí protetických prstů přihlašovala min. 6 kolegů do práce (celkově bylo následně nalezeno 300 lidí co nechodili do práce ale dostávali plat)
- Nemedializovaných témat bude pravděpodobně více, závěrem tedy – falzifikáty problém jsou...

- ❑ Testování živosti a snímání otisku prstu musí probíhat současně.
 - ❑ Musí být testována i snímána stejná část těla.
 - ❑ Obě metody se nesmí navzájem ovlivňovat.
-
- ❑ Testujeme některou charakteristickou vlastnost živého lidského těla.
 - Vnitřní vlastnosti (tj. vlastnosti různých vrstev kůže či tkání)
 - Generované signály (tj. signály, které tělo nevědomě a neovlivnitelně generuje)
 - Reakce na dotykový podnět (ovlivnitelné či neovlivnitelné reakce)

- ❑ Morphing = tvorba snímku nabývající více identit
- ❑ Poměrně závažný problém v biometrii obecně
- ❑ Nutnost detekce řešení tohoto problému při přeshraničních kontrolách (popření identity)



☐ Existuje relativně hodně principů technologií senzorů:

- Optická technologie



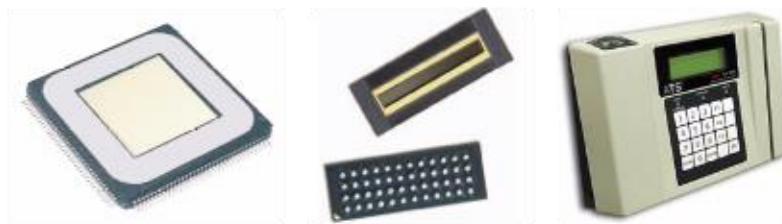
- Kapacitní technologie



- Ultrazvuková technologie



Technologie E-Field



Elektrooptická technologie

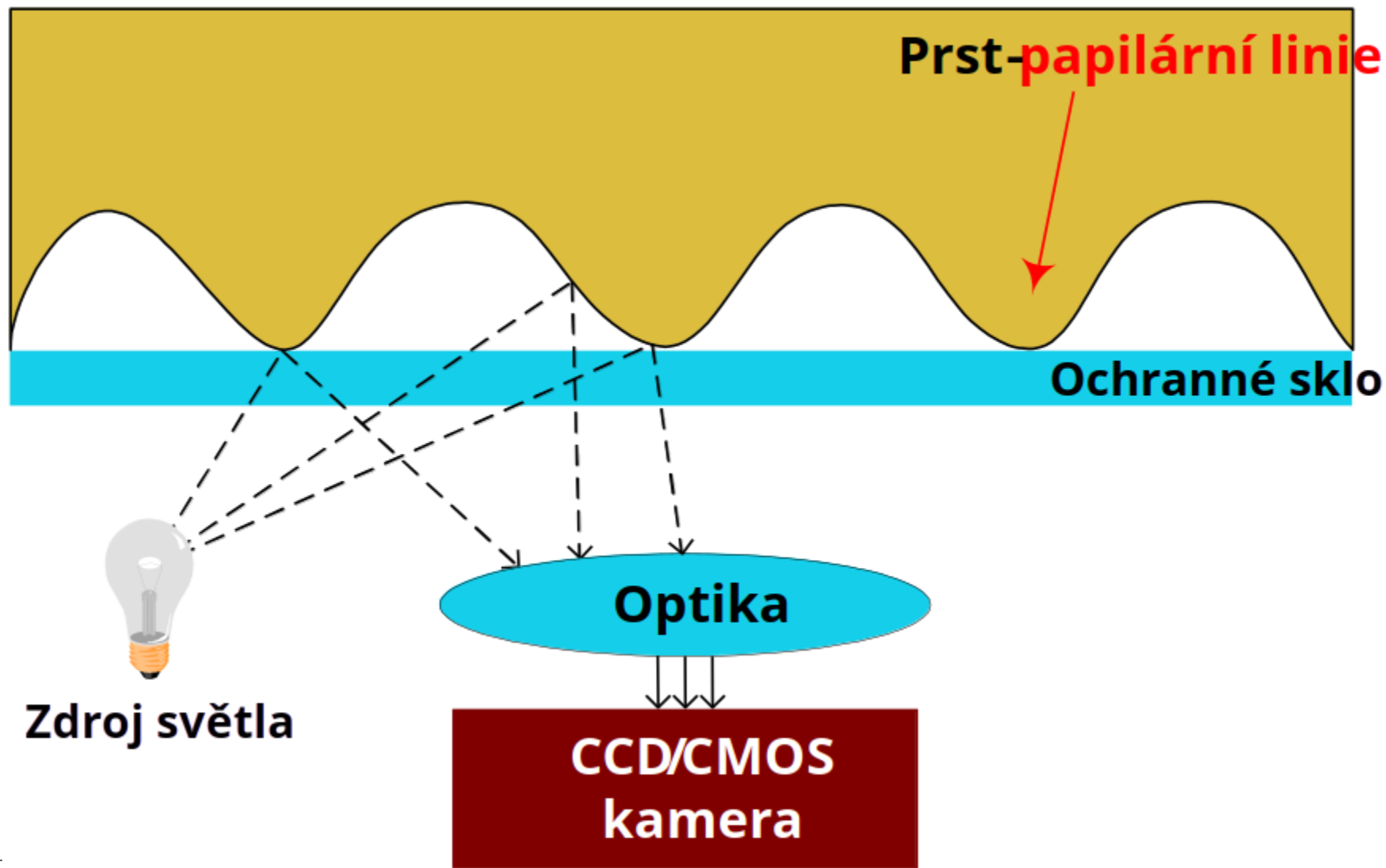


Tlaková technologie



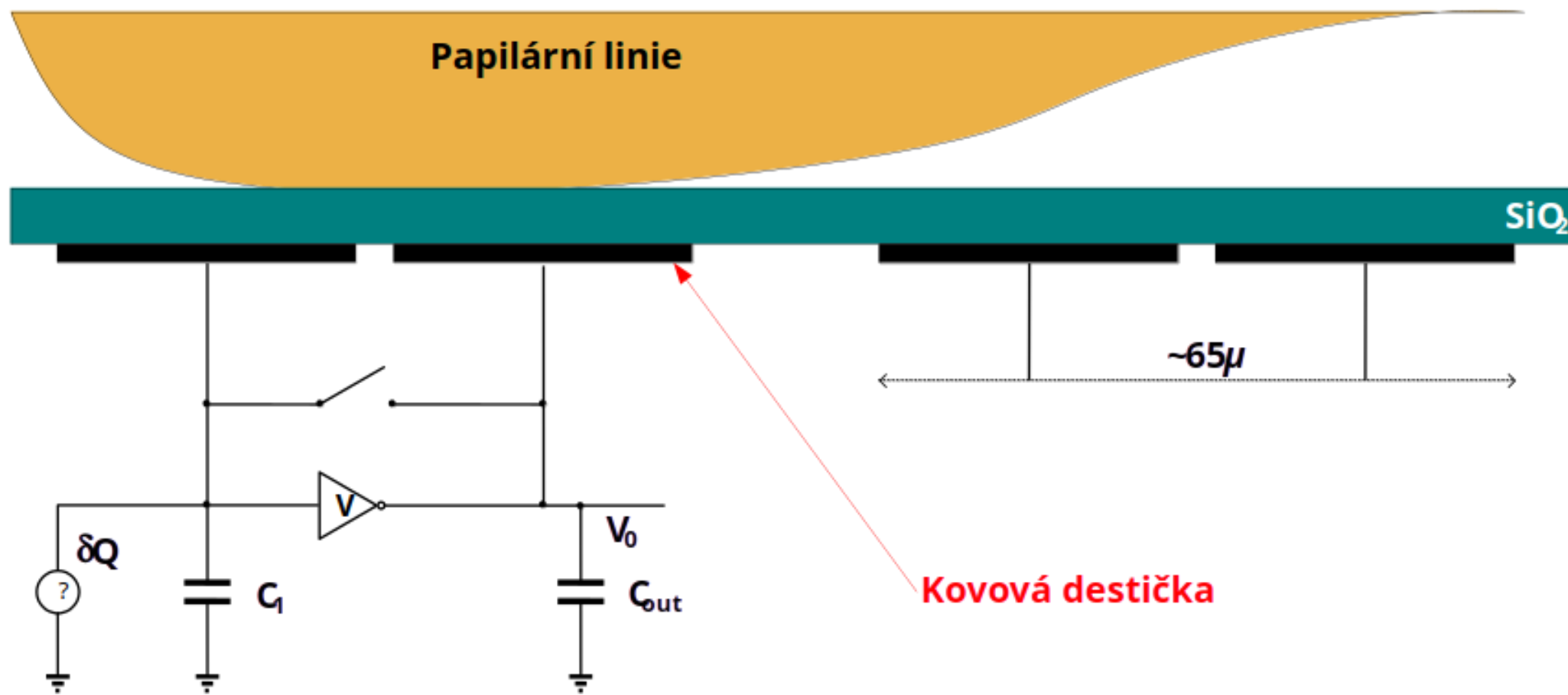
Termická technologie





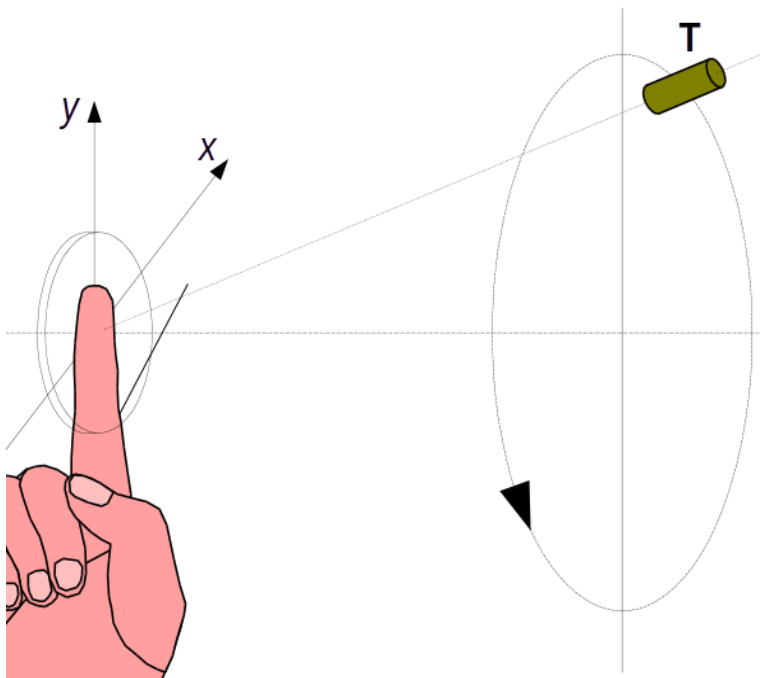
- ❑ TBS 3D Fly (obrázek/video)
- ❑ Morpho Wave (podobný styl)



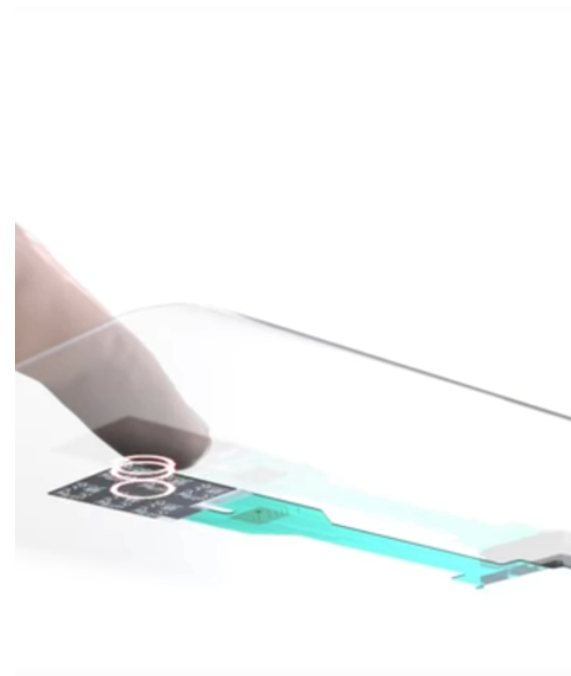


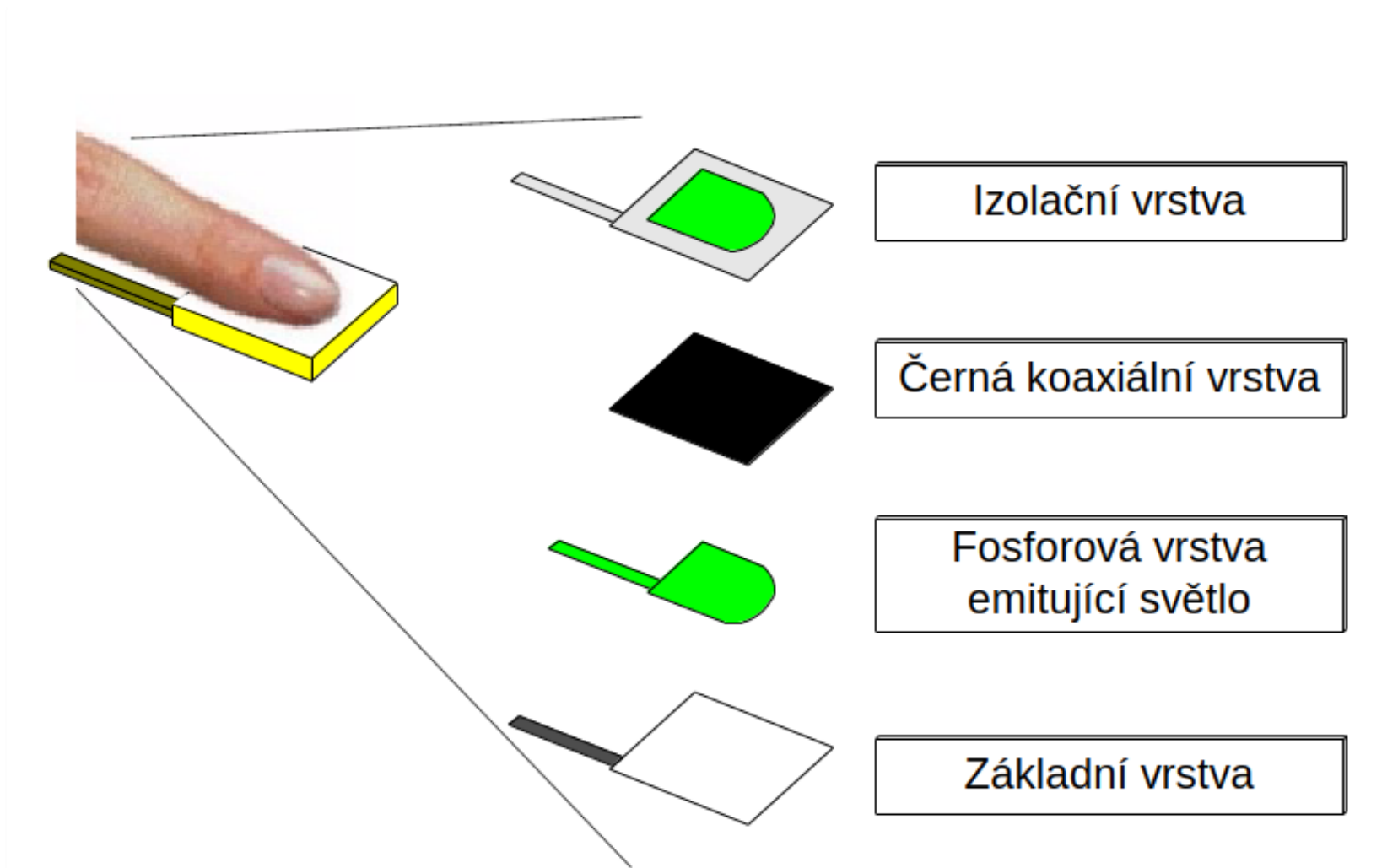
Kovová destička

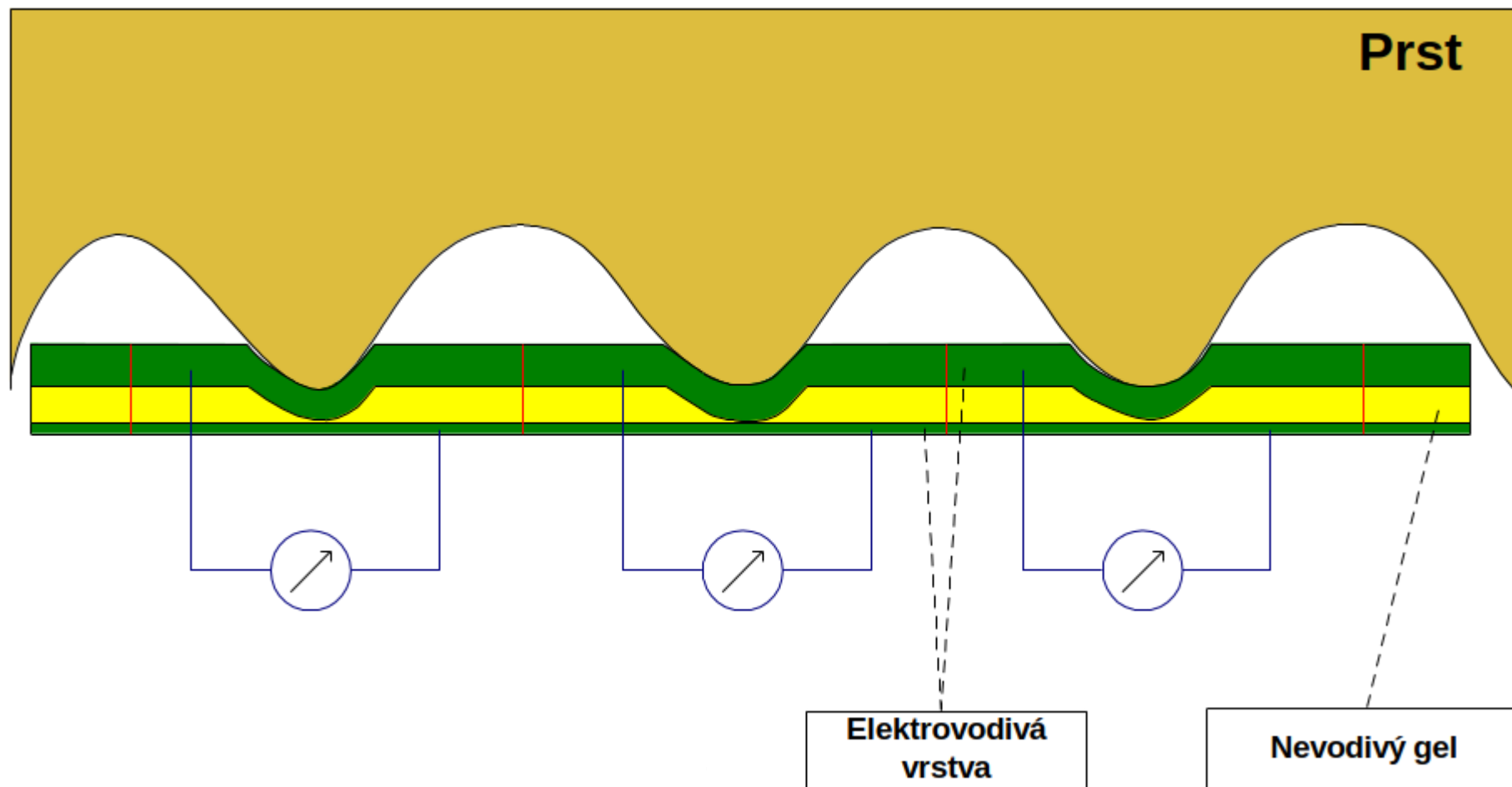
☐ Teoretický přístup

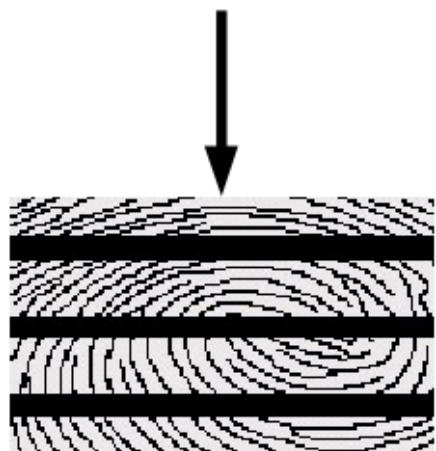


☐ Qualcomm 3D Sonic Sensor (vpravo)

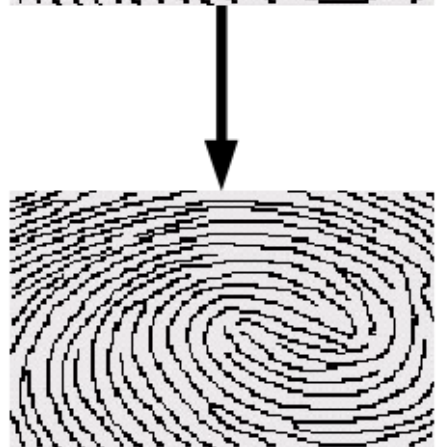




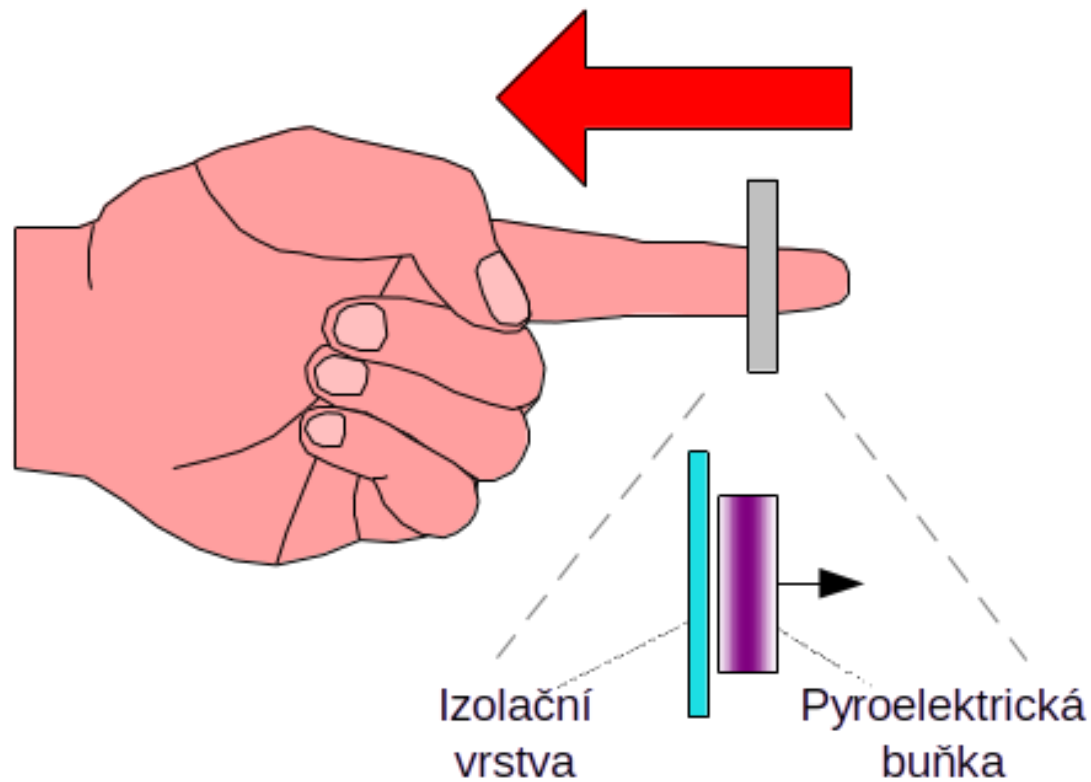


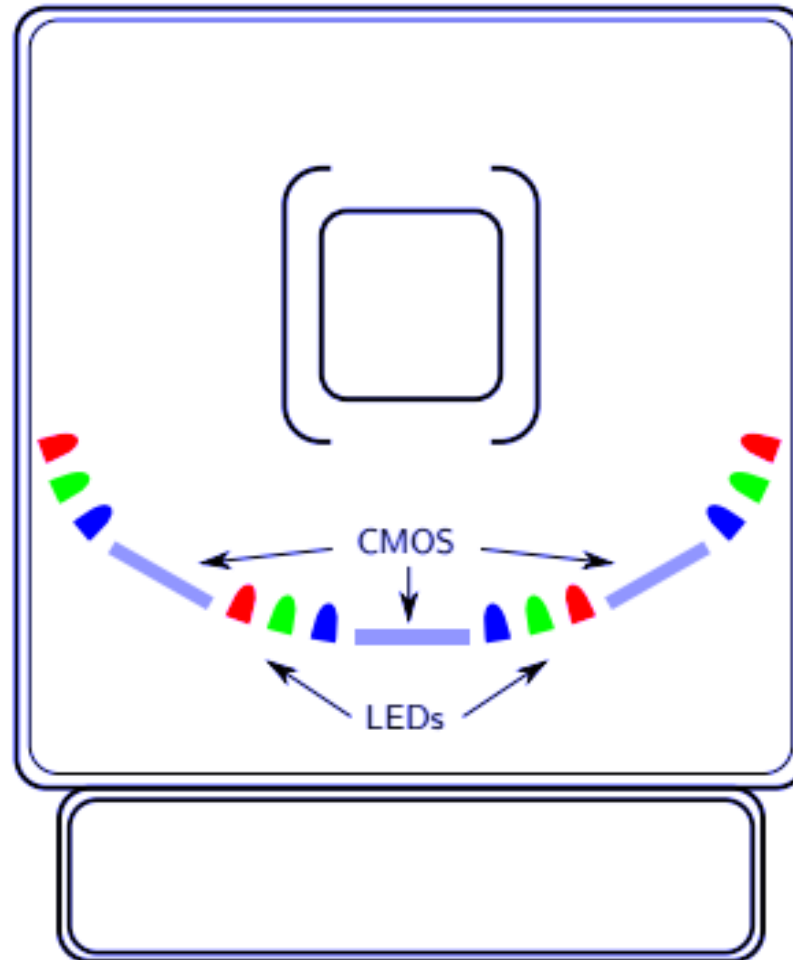


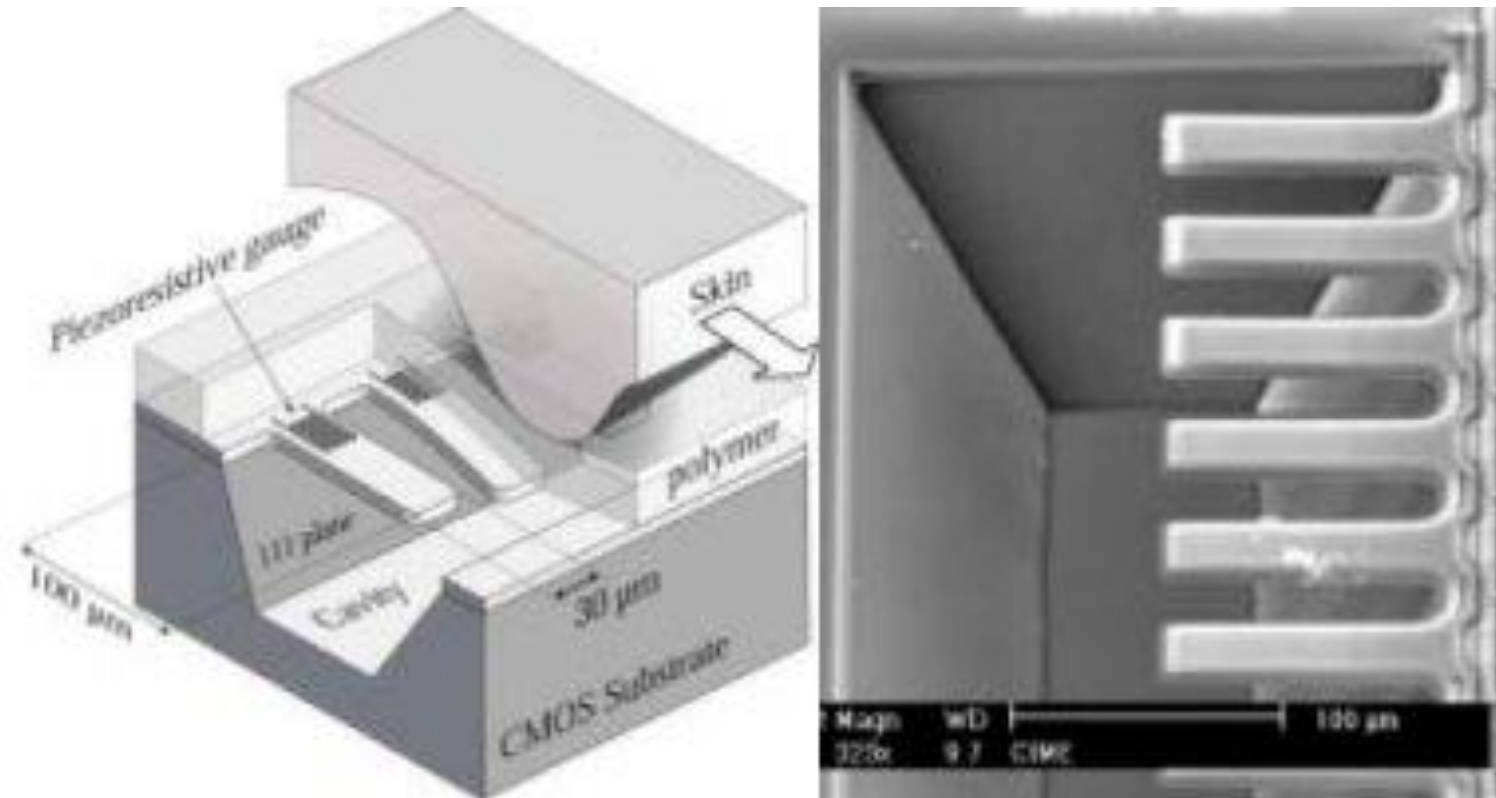
RAW Scan

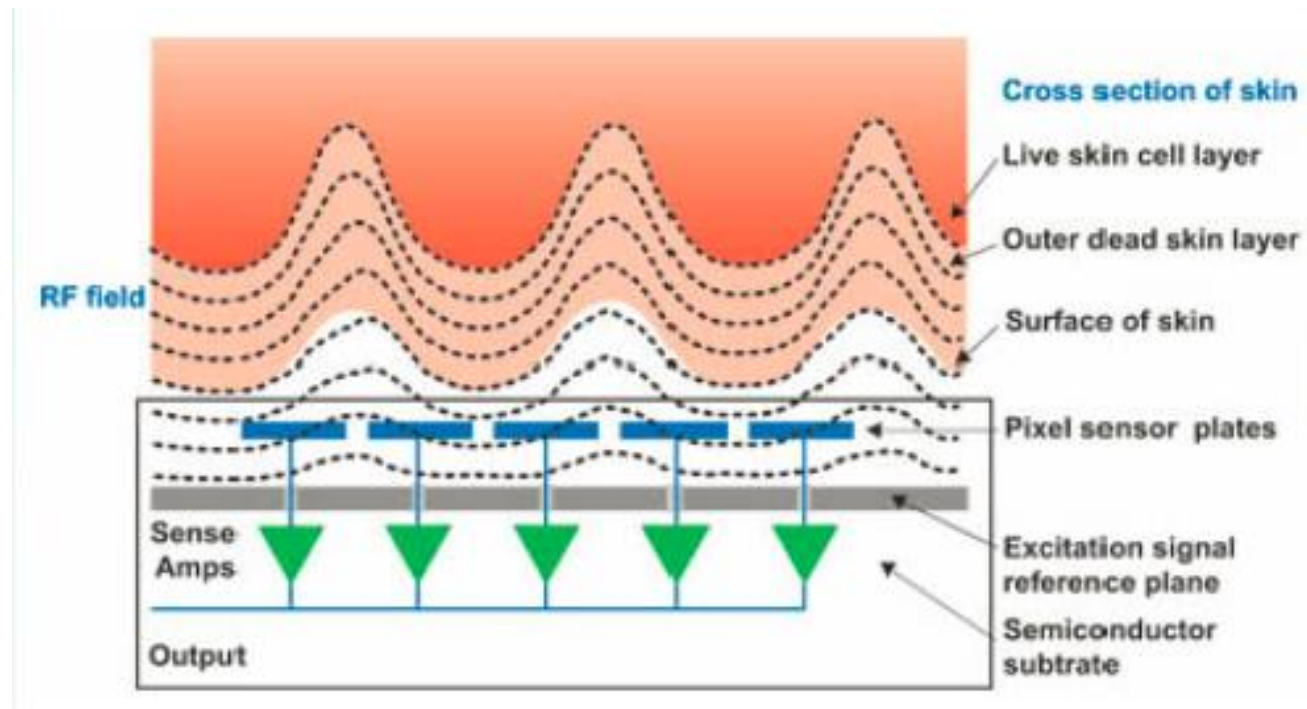


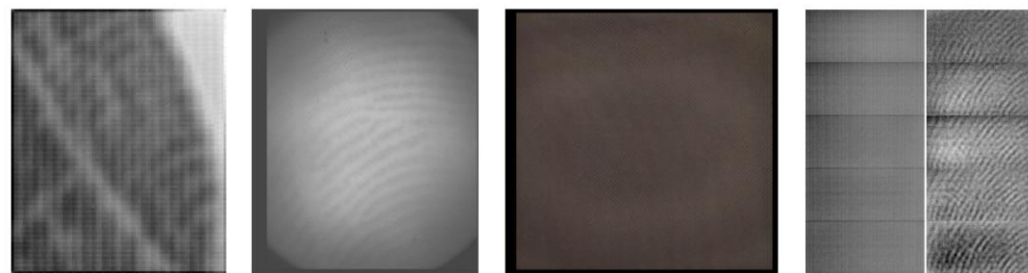
Obrázek po rekonstrukci











(a) Capacitive (b) Optical (c) Ultra-thin (d) Ultrasonic

Fig. 9: Hijacked images for different types of fingerprint sensor. The example smartphone model is OnePlus 5T, OnePlus 7 Pro, Xiaomi Mi 11 Ultra, Samsung Galaxy S10+, respectively.