



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

ZÁKLADNÍ ROZPOZNÁNÍ ŽIVOSTI OTISKU PRSTU

BASIC FINGERPRINT LIVENESS DETECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ HORÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAKUB KAŠPAR

BRNO 2018



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Tomáš Horák

ID: 186660

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Základní rozpoznání živosti otisku prstu

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Nastudujte a popište základní obecné principy a metody rozpoznávání živosti otisku prstu. 2) Vypracujte literární rešerši v této oblasti 3) Zvolte libovolnou metodu detekce živosti, popište ji a realizujte vhodný algoritmus pro předzpracování otisku prstů v závislosti na zvolené metodě. 4) Otestujte funkčnost předzpracování na databázi LivDet. 5) Realizujte zvolenou metodu detekce v prostředí Matlab. 6) Realizovanou metodu detekce otestujte a statisticky vyhodnoťte. Dosažené výsledky diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GALBALLY, J., F. ALONSO-FERNANDEZ, J. FIERREZ a J. ORTEGA-GARCIA. A high performance fingerprint liveness detection method based on quality related features. Future Generation Computer Systems. 2012, roč. 28, č. 1, s. 311-321.
- [2] DRAHANSKÝ, M. a F. ORSÁG. Biometrie. 1. vyd. [Brno: M. Drahanský], 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8-79-6.

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 8. 8. 2018

Vedoucí práce: Ing. Jakub Kašpar

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na rozpoznávání živosti otisků prstů založené čistě na softwarových metodách posuzujících příznaky pouze z jednoho snímku otisku prstu. Proto je jako první v této práci popsána problematika biometrie jako takové zahrnující srovnání výhod a nevýhod takovýchto systémů.

Další část je věnována podrobnějšímu procesu biometrie otisků prstů včetně papilárních linií, různorodosti otisků a celkově získávání otisků jako takových.

V další fázi je uvedena problematika a využití jak softwarových, tak hardwarových metod včetně rozebrání jednotlivých přístupů.

Na tuto část navazuje výběr použitých příznaků pro detekci živosti prstu. Na to navazuje praktická část a databáze LivDet 2011, která byla pro rozpoznávání živosti prstů použita. V praktické části je uvedena i použitá neuronová síť zachycující drobné nance v otiscích vypočtených dle 13ti příznaků.

Klíčová slova

Živost, biometrie, detekce, otisk prstu, papilární linie, předzpracování, Matlab, binární, segmentace, NN, neuronové síť, LivDet 2011

Abstract

This work focuses on recognizing fingerprints liveness based purely on software-methods evaluating symptoms from just one fingerprint image.

At first in this work was described the issue of biometry as such, comparing the advantages and disadvantages of such systems.

Next part deal with more detailed process of fingerprint biometry including papillary lines and overall fingerprints as such.

In the next phase, the problems and utilization of both software and hardware methods are discussed, including principles of individual approaches.

This part is followed by a selection of used fingertip symptoms. This is followed by the practical part and the LivDet 2011 database, which was used for finger recognition. In the practical part is also described the used neural network capturing minor differences in fingerprints according to 13 symptoms.

Keywords

Liveliness, biometrics, detection, fingerprint, papillary line, preprocessing, Matlab, binary, segmentation, NN, neural networks, LivDet 2011

Bibliografická citace:

HORÁK, T. Základní rozpoznání živosti otisku prstu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 52s. Vedoucí práce: Ing. Jakub Kašpar

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma *Základní rozpoznání živosti otisku prstu* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **8. srpna 2018**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Kašparovi a Ing. Marině Ronzhině Ph.D. za cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne **8. srpna 2018**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Biometrie	2
3	Biometrie otisku prstu.....	4
3.1	Struktura otisku prstu	6
3.2	Princip snímání senzorem	8
3.2.1	Optické senzory	9
3.2.2	Optoelektrické senzory	10
3.2.3	Kapacitní senzory	11
3.2.4	Senzory elektrických polí	11
3.2.5	Multispektrální detektor.....	12
3.2.6	Termické senzory.....	13
3.2.7	Ultrazvukové senzory	13
3.3	Hardware metody	14
3.3.1	Detekce teploty	14
3.3.2	Detekce pulsu.....	15
3.3.3	Oxymetrie	15
3.3.4	Vodivost.....	16
3.3.5	Spektroskopické vlastnosti	16
3.3.6	Ultrazvukové vlny.....	17
3.4	Software metody	18
3.4.1	Detekce potu	18
3.4.2	Změny při přitlaku	19
3.4.3	Hodnocení kvality obrazu.....	19
3.4.4	Automatické klasifikování na základě souboru příznaků.....	20
4	Vybrané metody.....	22
4.1	Poměr stupňů šedi v obraze.....	22
4.2	Energie	22
4.3	Entropie	23
4.4	Kvadratický Průměr jasových hodnot.....	23
4.5	Rozptyl a směrodatná odchylka v obraze.....	23
4.6	Výběrová směrodatná odchylka	24
4.7	Šikmost.....	24
4.8	Strmost	24
4.9	Koeficient variace	25
4.10	Rozdíl spekter	25
5	Databáze.....	26
6	Předzpracování.....	27
6.1	Normalizace	27

6.2	Segmentace	27
6.3	Histogram.....	29
7	Klasifikace pomocí neuronových sítí	29
8	Statistické vyhodnocení	32
9	Závěr	48
	Literatura.....	49
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	52
	Seznam příloh	52

1 ÚVOD

Biometrická data jsou jedinečná, bezpečná a často používaná pro ochranu informací. Tyto systémy nabízejí velké výhody vzhledem k ostatním autentizačním technikám: zejména jsou uživatelsky velmi přívětivé a odráží kus jedinečnosti a fyzická uživatele. I tak lze v některých případech detektory obelhat, a proto je potřeba živost kontrolovat. Proto byly vyvinuty techniky kontroly živosti biometrického znaku jakožto potvrzení přítomnosti uživatele tohoto znaku. Hlavní potenciál hrozby pro systémy založené na otiscích prstů jsou: [\[1\]](#)

- Útok na komunikační kanály mezi senzorem a zbytkem systému.
- Napadání konkrétních softwarových modulů (např: extraktor funkce nebo matcher s trojským koněm).
- Napadení databáze přihlášených šablon.
- Přiložení falešných prstů k senzoru.

Z toho poslední bod je relativně nejjednodušší pro většinu lidí, a proto se na tento aspekt zaměřují použité techniky. Používané materiály mohou být například z gumy, želatiny, měkkého plastu, hlíny či vosku a dalších. [\[2\]](#)

Tato práce se zaměřuje na základní rozpoznání živosti otisku prstu. Používá se přitom softwarová metoda vycházející jen z jednoho obrazu prstu. Pro dokonalé rozpoznání je potřeba otisky srovnávat, tedy mít více než jeden stejný otisk, a proto jsou tyto metody velice náročné.

Předzpracování bylo provedeno binární segmentační maskou. Dále bylo využito metod využívající poměrů stupňů šedi v obraze, průměru, směrodatné odchylky nebo ekvalizace histogramu a spektrální analýzy. Všechny metody byly provedeny na databázi LivDet 2011 v prostředí Matlab a cílem bylo rozpoznání pravého otisku od falešného.

Navržený přístup je šetrný k životnímu prostředí a kromě skeneru otisků prstů nevyžaduje dodatečný nákladný hardware vyhodnocující snímky otisku prstu správnou rychlostí. Experimentální výsledky naznačují nevyhnutelnost používání nových softwarových algoritmů, které jsou slibnou technikou, díky čemuž mohou být systémy pro rozpoznávání otisků prstů robustnější proti pokusům o spoofing na základě falešných prstů.

2 BIOMETRIE

Skoro všechny klíče a hesla používané v minulosti i současnosti mají jednu velkou nevýhodu, a to, že je lze odcizit, hacknout, či jinak získat bez souhlasu majitele. A tady přichází k užitku tzv. biometrické znaky, jakožto rys unikátnosti každého člověka. Tyto unikátní znaky nelze zapomenout, či ukrást. Jen velmi obtížně je lze napodobit a velmi snadno a rychle se rozpoznávají. Proto se tyto biometrické technologie těší čím dál tím větší oblibě.

Biometrické technologie přispívají k vyššímu stupni zabezpečení, díky principu založeného na jedinečných rysech každého člověka. Tyto tzv. biometrické identifikátory slouží pro automatické identifikování osoby. Pod tímto pojmem si můžeme představit jedinečnosti, resp. odlišnosti našeho těla:[\[5\]\[3\]](#)

- a) Fyziologické znaky - například takový otisk prstu, či dlaně, vzor duhovky, snímek obličeje a jiné. Celkem tak máme 21 takovýchto znaků.
- b) Behaviorální (dynamické) – do této skupiny spadají znaky jako charakteristika psaní, řeč, chůze ec.
- c) Duševní – otisk mozkových vln (vývoj)

Výhody:

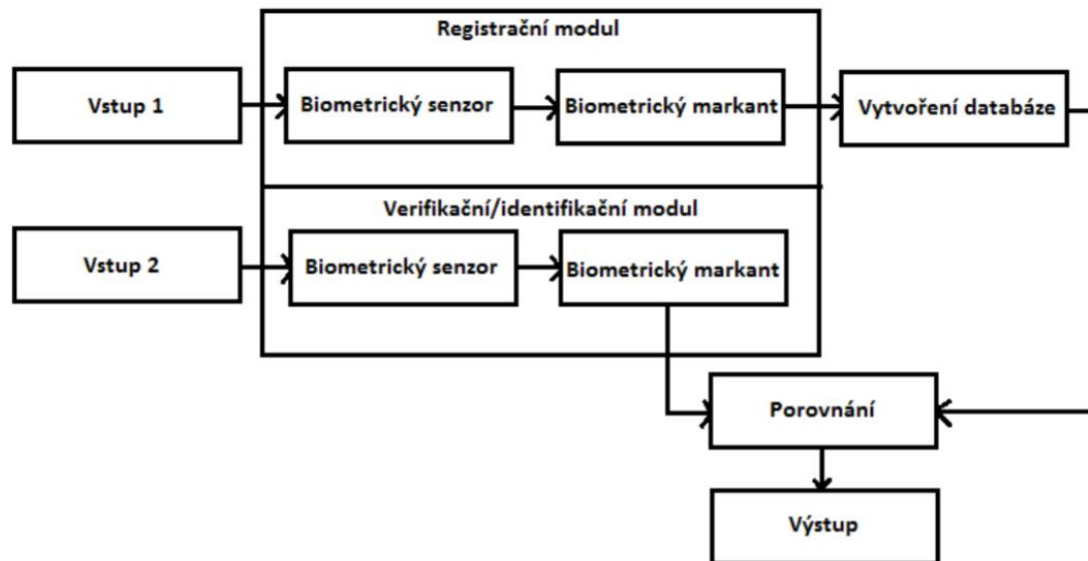
- vyšší bezpečnost
- ztěžuje ztrátu identity
- ztěžuje krádež identity
- ztěžuje popření identity
- zvyšuje pohodlnost a rychlost zabezpečení

Nevýhody:

- narušuje soukromí
- znak nemůže být anulován, či změněn
- vyšší cena
- nutnost osvěty (pochopení používání)

Právě kvůli jejich velkým výhodám jsou neustále víc a víc zakomponovávány do nejrůznějších aplikací státní i soukromé sféry. V zásadě jsou považovány za spolehlivější a efektivnější, než tradiční metody založené na používání předmětů (např. klíče) nebo pamatování (např. heslo). Vyskytují se však i obavy z možnosti padělání, čemuž je snaha zabránit, a proto je efektivita a bezpečnost těchto metod nesrovnatelně vyšší v porovnání s klasickými metodami.[\[4\]](#) [\[5\]](#)

Biometrický systém jako takový se skládá ze dvou částí. První z nich je registrační modul, který slouží k nasnímání určitého biometrického znaku (prst, sítnice) a následného převodu identifikačních rysů do porovnávací databáze. Druhý z nich je modul identifikační, resp. verifikační, který snímá nový vstup a porovnává ho s databází pro udělení nebo neudělení autorizace. Tomuto procesu říkáme verifikace.[\[5\]](#)



Obr. 1: Schéma biometrického systému [\[5\]](#)

Je nutné také podotknout, že biometrický systém pracuje s daty v podobě signálů a obrazů, zpracovává je, a tudíž se mohou zanést šumem, který způsobuje nepřesnosti v automatickém rozhodování. [\[6\]](#)

3 BIOMETRIE OTISKU PRSTU

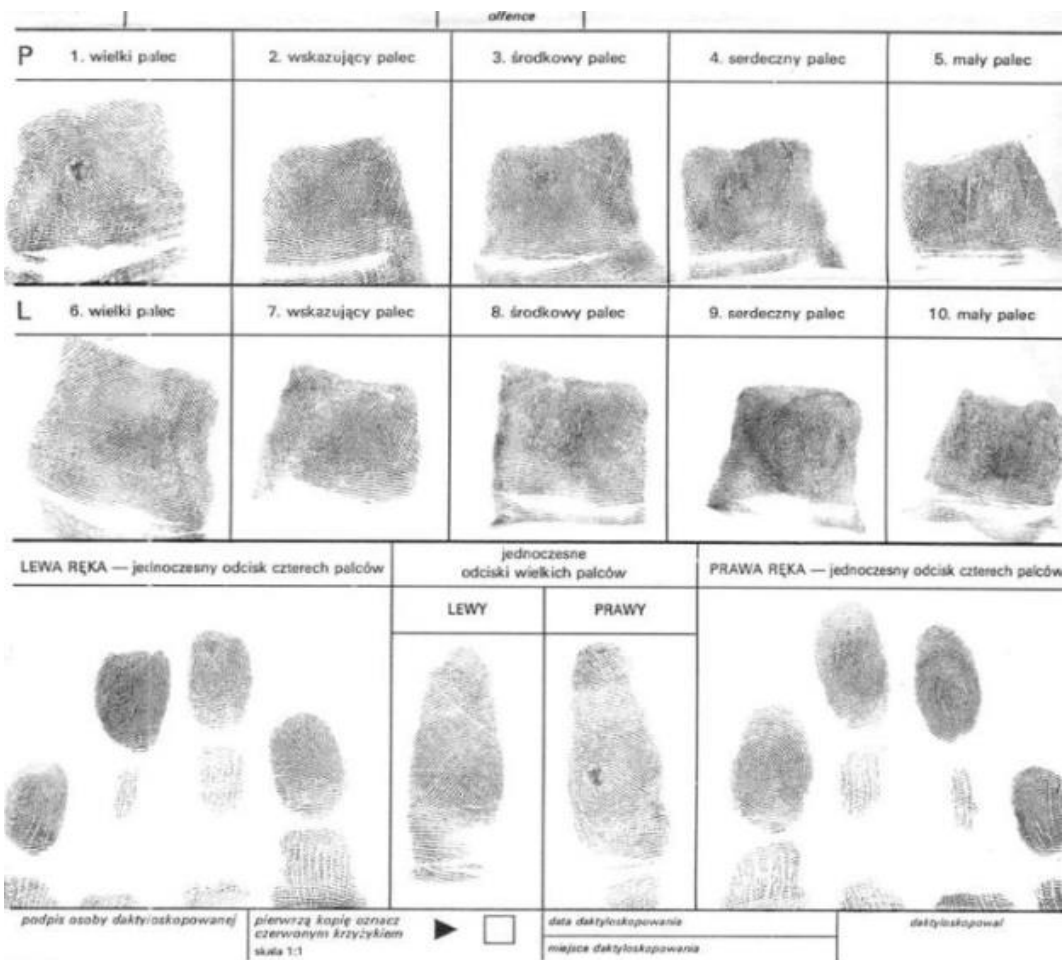
Biometrická metoda na základě porovnávání otisků prstů, jakožto znak pro rozpoznávání osob je nejrozšířenější a nejstarší typ identifikace. Doménou této metody je výhoda v jednoduchosti a rychlosti pořizování jednotlivých otisků.

Existují tři základní metody pořizování otisků prstů, a to válený, píchaný a latentní. Válený otisk vzniká obarvením bříška prstu barvivem (např. inkoust), a jak už jeho název napovídá, pozvolným oválením celého bříška i okrajů prstu na podklad (např. daktyloskopická karta) v jednom směru. Tímto způsobem se vytvoří otisk prstu v celé jeho šíři. Píchaný otisk se také barví, jenže oproti metodě předešlé se bříško prstu jen obtiskne na podklad – viz obr. 2. Vzniká tedy otisk předního náhledu prstu. Tento způsob získávání otisků je hojně používán pro digitální zpracování, a proto se takové obrázky používají i v použité metodě rozpoznávání živosti prstu. Latentní otisky prstu se získávají z předmětů poté, co na nich daný otisk zůstane. Příklad takového otisku je možné vidět na obr. 3. Ke zviditelnění takového otisku se používá řada technik, nejčastěji však jde o metodu chemickou, či použití tzv. daktyloskopických prášků – tyto metody jsou značně závislé na okolních podmínkách (např. vlhkost, teplota) a stáří otisku. Jsou využívány především ve forenzních odvětvích jako důkazní materiál. [\[6\]](#)
[\[7\]](#)

Z takovýchto otisků posléze lze odlít formu vytvarovanou podle otisku. Tato forma falzifikátů, spojených s obejitím detektoru je nejčastější. Proto vyvstává potřeba mít u každého detektoru mechanismus kontroly těchto podvrhů. Tento mechanismus se nazývá detekce živosti.

Základními předpoklady pro detekci živosti je bezbolestnost, jednoduché používání, efektivnost, cena a velikost. [\[5\]](#)

Naštěstí jsou odlitky provázeny vznikající řadou nepřesností, resp. nedokonalostmi v kontinuitě struktury otisku. Na tyto nedokonalosti se pak autorizační systémy zaměřují nejdříve.



Obr. 2: Typy otisků prstů: nahoře válený, dole píchany [8]



Obr. 3: Latentní typ otisku prstu [9]

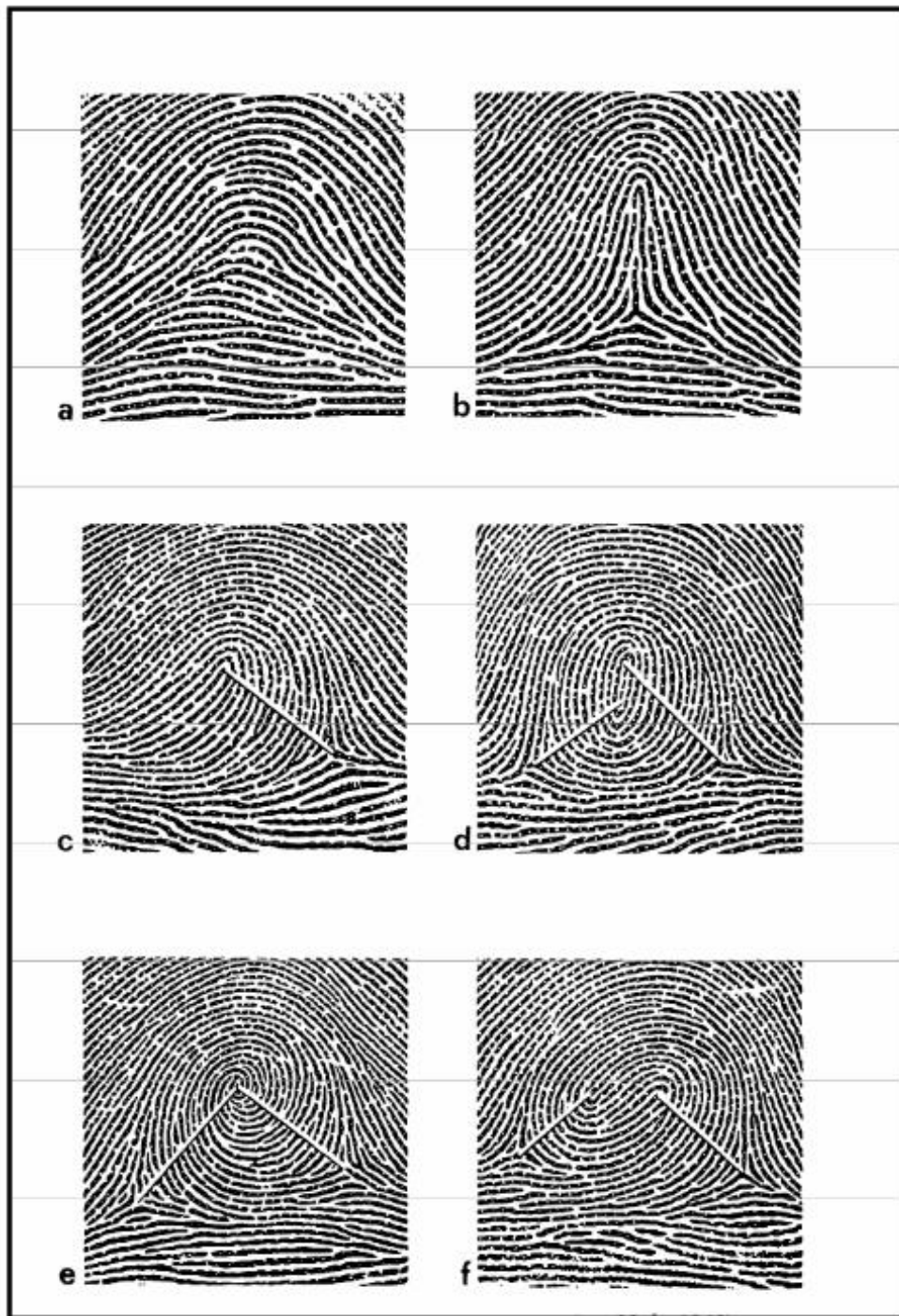
3.1 Struktura otisku prstu

Co se týče samotné struktury otisku prstu, tak ta je tvořena tzv. papilárními liniemi. Papilární linie jsou epidermální útvary vyčnívající z pokožky jako pohoří shlukující se do několika typů útvarů známých jako dermatoglyfy. Tyto linie mají kromě jiného i význam při určování identity jedince – jednoznačně slouží k jeho určení, neboť průběhy papilárních linií jsou pro každého z nás jedinečné. Navíc na rozdíl od zbytku celého těla, dlaně a plošky nohou jsou zcela bez ochlupení. Mezi papilárními liniemi, resp. hřebeny se nacházejí rýhy. Struktura kůže s papilárními liniemi je znázorněna na obrázku 5. [\[10\]\[17\]](#) Tyto struktury se vyvíjejí během nitroděložního cyklu a po celý život vykazují stabilitu vůči stárnutí i okolnímu prostředí. S přibývajícím věkem se sice mění rozměry plošek prstů, dlaní a chodidel, nicméně struktura zůstává stejná. Co se týče rozměrů, tak ty se pohybují v rozmezí 0,2-0,5 mm pro šířku a s výškou 0,1-0,4 mm. [\[10\]\[5\]](#)

Dalším důležitým poznatkem jsou tzv. markanty a interpapilární linie, které propojují určité hřebeny, a tím udávají směr struktury a formují celkovou unikátní charakteristiku daného jedince. [\[18\]](#)

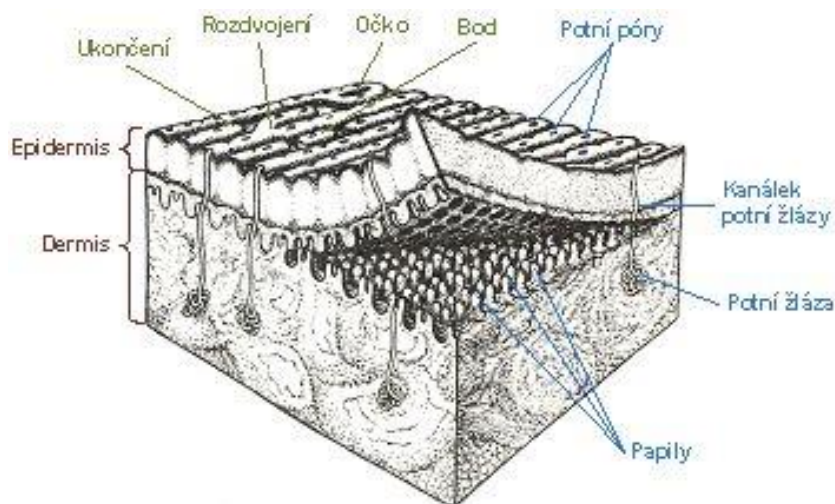
Případové zprávy a několik starších studií o opakovaně odebraných otiscích prstů potvrzují, že mezi papilárními liniemi se mohou vyvinout již zmíněné interpapilární linie. Otázky této studie byly: Jak často se vyskytují interpapilární linie? Mohou být kvantifikovány rozdíly mezi papilárními a interpapilárními hřebety? Vyšetření bylo provedeno dvěma křemíkovými výtisky a jejich měření pomocí laserové profilometrie. V 215ti případech z 502 inkoustových otisků (42,8%) bylo možno prokázat interpapilární linie. U subjektů mladších 20 let byly méně časté (34,1%), než ve věku nad 20 let (51,8%). Závěrem jde tedy říci, že v průběhu života se mohou vyvíjet nebo projevit nové hřebety mezi běžnými papilárními hřebeny. Skutečnost, že interpapilární linie jsou častěji nalezeny na pravé ruce u mužů a u starších lidí, je v souladu s teorií, že odpovídají degenerativním změnám a změnami v citlivosti dotyku. [\[18\]](#)

Jednotlivé dermatoglyfy se dělí do několika typů dle obrázku 4. [\[17\]](#)



Obr. 4: Základní typy kožních dermatoglyfů: a) oblouk; b) křížení; c) smyčka; d) soustředný vír; e) spirální vír; f) dvojitá smyčka [17]

Nespornou výhodou je jedinečnost těchto otisků na jedince. Dají se tak rozpoznat i jednovaječná dvojčata. Další výhodou je, že se tvarově nemění při procesu stárnutí.[10]



Obr. 5: Struktura kůže[10]

Nevýhodou zůstává nemožnost použití této metody při různých onemocnění kůže, a tedy zničení částí papilárních struktur, kterých v poslední době přibývá.[10]

Nejčastějším problémem jsou pokusy jak obelstít biometrický senzor umělou napodobeninou měřeného znaku (např. gumové prsty, výlisky).

Protože existuje na trhu mnoho různých vhodných materiálů i způsobů výroby těchto falzifikátů, musíme nějak rozhodnout o pravosti daného znaku. Většinou jde o modul rozhodující na určitém kritériu. Tento proces nazýváme detekce živosti a funguje rozdílně podle charakteru senzoru.

3.2 Princip snímání senzorem

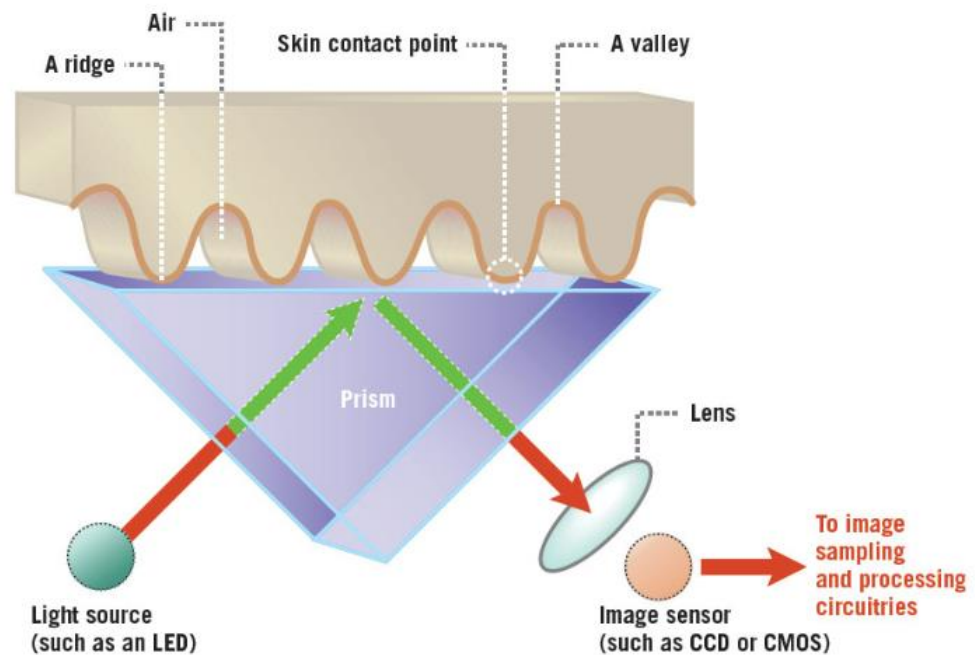
Otisky můžeme snímat tzv. off-line nebo on-line, přičemž první možnost se využívá pro ex post analýzy a v dnešní době se již moc nepoužívá. Naproti tomu on-line zpracování nabízí přesně to co od senzoru očekáváme, a to je okamžitý výsledek. Takovýto senzor totiž vyhodnocuje data ihned a využívá k tomu buď softwarových algoritmů nebo dodatečných hardwarových částí. Přidáním hardwarové části k senzoru zvyšujeme jeho zabezpečení přesností. Velkou výhodou pak je, že tyto systémy někdy nepotřebují přímý kontakt bříška prstu se detektorem, nýbrž ho scanují z bezprostřední blízkosti. Nicméně dnešní rychlé softwarové algoritmy tyto výhody dohánějí inovativními metodami rozpoznávání s využíváním neuronových sítí s učením a adaptací.[19]

3.2.1 Optické senzory

Optické čtečky pracují celkem na jednoduchém principu - využívají lomu viditelného světla přes skleněný hranol. Světelný paprsek vycházející většinou z LED diody, umístěné pod sklíčkem detektoru, prosvěcuje přiložený prst na detektoru. Část energie paprsku se pohltí, tento jev je největší právě v brázdách mimo špičky hřebenů papilárních linií, kvůli mnohonásobnému odrazu a útlumu uvnitř rýhy. Světlo, které není absorbováno, čemuž se tak děje nejvíce na hřebenech, se odráží zpět, fokusuje se pomocí optické čočky a přenáší se do kamery (CCD, CMOS). Schéma na obr. 6.

Optický senzor může být obelstěn 2D obrázkem prstu, pokud nemá mechanismus detekce živosti. [20]

An optical sensor.

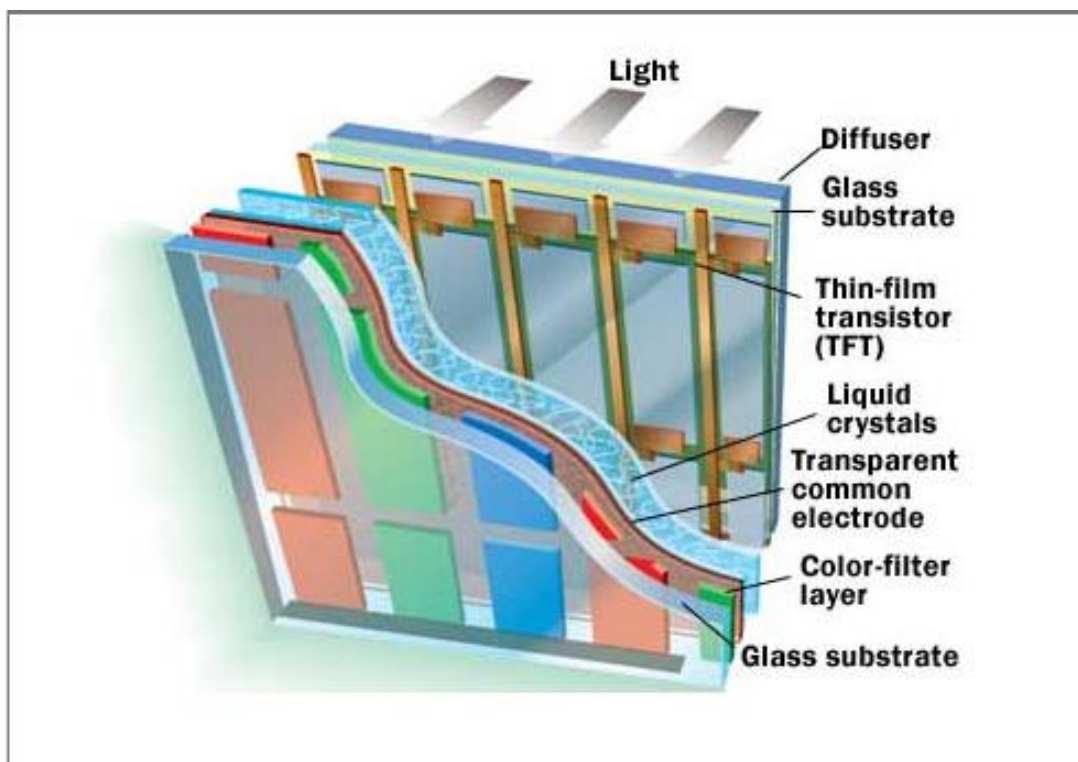


Obr. 6: Princip optického senzoru [20]

Optické senzory se mohou vyskytovat i v bezkontaktní variantě, kdy princip zůstává stejný, jen je použit laserový paprsek o více zdrojích a z několika úhlů, což umožní scanovat prst na vzdálenost do 5 cm. Tímto způsobem odpadá problém ve formě znečištění jak prstu tak detektoru. [\[5\]\[19\]](#)

3.2.2 Optoelektrické senzory

Optoelektrické senzory jsou založeny na scintilaci. Jsou složeny ze dvou základních vrstev, přičemž vrchní vrstva má kontakt s prstem a je vyrobena ze speciálního polymeru TFT. Ten po dotyku emituje světelnou stopu. Ta je silnější v místě dotyku hřebenů a velmi slabá v brázdách (kvůli jejich fyziologickému výškovému rozdílu). Světelné záblesky pak putují k druhé skleněné vrstvě potažené fotodiodami, které převádí světelné záblesky na elektrické impulsy. Schéma viz obr. 7. Slabé záblesky od míst s brázdami jsou filtrovány automatickým prahem. V komerčních sférách se používají citlivé CMOS čipy.[\[19\]](#)

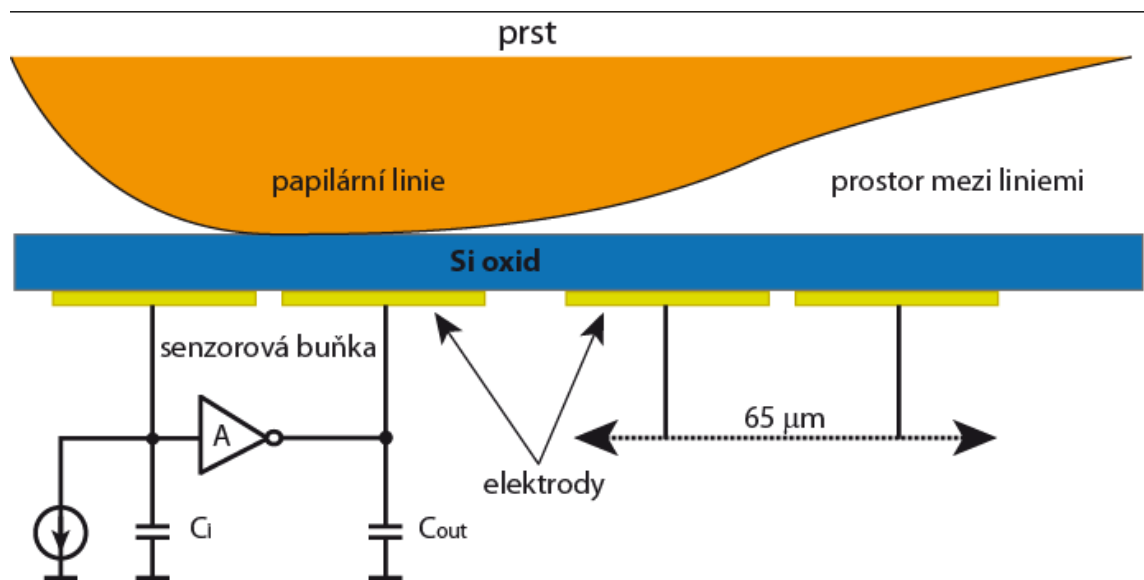


Obr. 7: Princip optoelektrického senzoru [\[21\]](#)

3.2.3 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory detekují otisk na základě měření elektrické kapacity. Vlastně jde o matici vzájemně odizolovaných vodivých plošek. Plošek jsou řádově statisíce proto, aby měli vyšší jemnost rozložení než struktura papilárních linií. Na vrchní izolační vrstvu, která pokrývá vodivé plošky, se přiloží prst, což způsobí vytvoření kondenzátoru o jistém napětí. Senzor pak měří jednotlivé kapacitance pod hřebeny, kde dosahují vysokých hodnot a pod rýhami, kde se změny kapacity moc neprojeví. Tyto rozdíly se pak mohou elektricky převést do digitálního obrazu. Grafické znázornění je na obrázku 8.

Výhodou je stálost měření, avšak tyto systémy jsou náchylné na nečistoty ulpívající na detektoru i prstu samotném, což zvyšuje vrstvu dielektrika. [19][22]



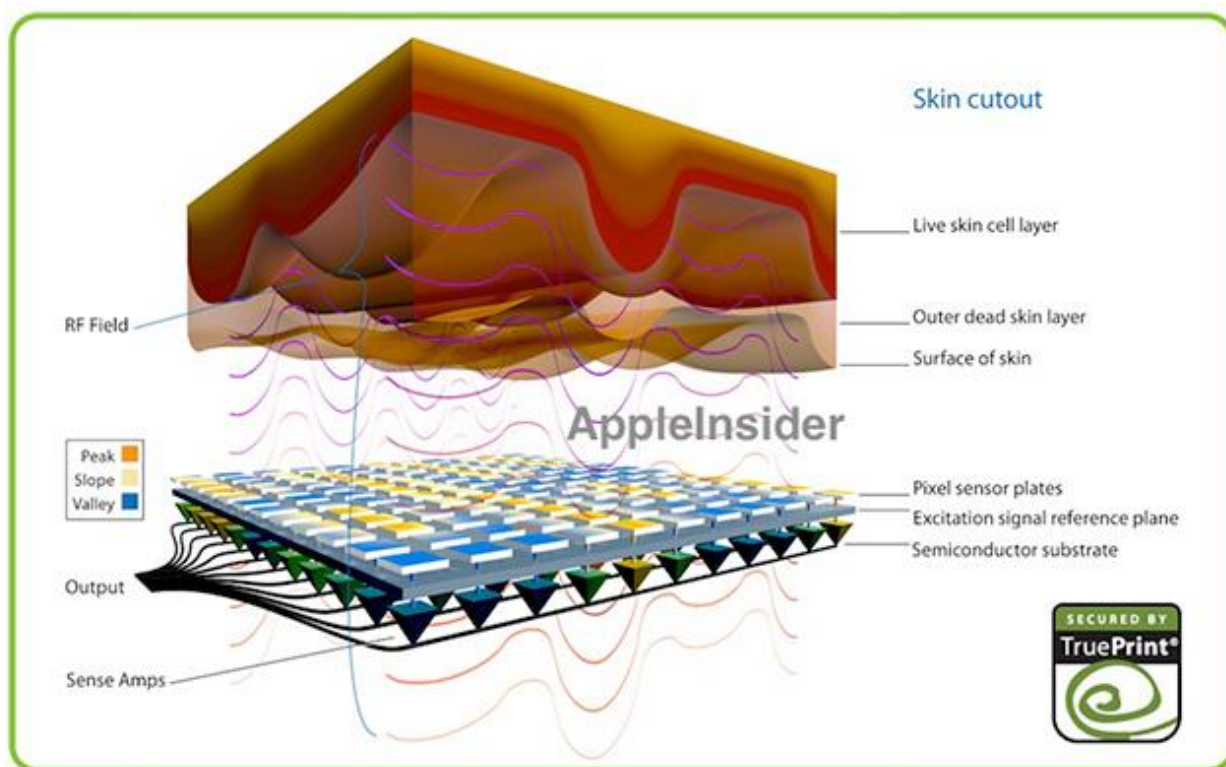
Obr. 8: Princip kapacitního senzoru [22]

3.2.4 Senzory elektrických polí

Principem elektronických senzorů (známých jako e-field nebo RF imaging) je vznik elektrického pole mezi dvěma paralelními deskami, které jsou vodivé a elektricky nabitě. Horní desku nahradíme vlnitým povrchem pokožky prstu. Ten je však špatně vodivý a nedokázal by docílit chtěného zdeformování

elektrického pole. Tvar tedy není ovlivňován nevodivou povrchovou vrstvou, ale silně vodivou vrstvou podpovrchovou, která samozřejmě kopíruje tvar povrchového zvrásnění (papilární linie). Horní deska je tedy tvořena pokožkou do které je pouštěn referenční elektrický signál pomocí elektrického prstence na povrchu detektoru. Vzniká tedy deformované elektrické pole podle struktury prstu, které je zachyceno hustou sítí deskových antén pod povrchem detektoru. Takovýto signál je následně transformován do podoby digitálního otisku. Princip zachycen na obr. 9.

Jelikož systém pracuje v podpovrchové úrovni, není zatížen znečištěním, poškozením nebo zvlhčením povrchových ploch, což je velkou výhodou.[\[19\]](#)



Obr. 9: Princip senzoru využívající elektrické pole [\[23\]](#)

3.2.5 Multispektrální detektor

Multispektrální systémy se svou konstrukcí nijak zvlášť neliší od konstrukcí kontaktních optických senzorů. Rozdíl je v tom, že multispektrální detektor

obsahuje více typů i zdrojů světla. Prst je postupně prosvěcován světelným paprskem o různých vlnových délkách. Jelikož každá z vlnových délek proniká do jiné hloubky pokožky a osvětlení pod několika úhly zvýrazňuje vždy jinou část povrchových rysů, výsledné snímky se od sebe liší. Jejich kombinací získáme po vlnkové transformaci kvalitní obraz otisku prstu.

Tato metoda je velmi komplexní a v mnoha ohledech překonává konvenční metody. Hlavní výhodou je snímání většího objemu prstu, tedy i podpovrchové části, čímž se eliminují rušivé faktory povrchu kůže. To zvýší kvalitu obrazu i detekce samotné živosti.

V následné spektrální analýze se projeví všechny niance struktur a bezpečně tak odhalí pokus o spoofing. [\[19\]\[24\]](#)

3.2.6 Termické senzory

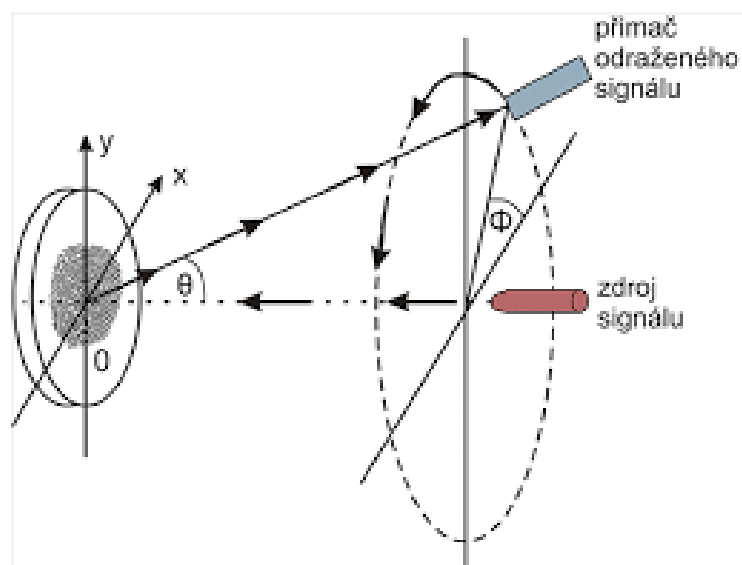
Teplotní senzory fungují na principu termokamery. Proces je řízen pyroelektrickou buňkou, která postupně snímá celé bříško prstu. Následně vyhodnocuje na základě, že teplo prstu se nejvíce předává v místech dotyku, tedy na hřebenech, v rýhách jsou tyto teplotní úbytky menší. Z dat sestrojuje teplotní mapu, která se dá převést do formy digitálního otisku prstu.

Rozdíly jsou však podobné, a tak je detekce živosti dosti omezena. [\[19\]](#)

3.2.7 Ultrazvukové senzory

Jedná se o senzory využívající odraz ultrazvukové vlny od rozhraní prostředí. Základem této technologie je rotující kombinovaný ultrazvukový vysílač a přijímač. Tato kombinace rotuje po kruhové hráze a vysílá krátké vysokofrekvenční pulsy, v rozsahu desítek MHz směrem ke snímané ploše a zachytává a vyhodnocuje vlnění odražené právě na rozhraních prostředí jako tzv. echa. Vzniká velmi přesný (do 0.1 mm), nijak nezkreslený trojrozměrný obraz papírných linií s vysokým kontrastem. Ultrazvukové vlny pronikají i pod povrch, což napomáhá detekci živosti. Princip senzoru je na obrázku 10.

Výhodou je kvalita a přesnost. Nevýhodou pak větší rozměry a delší doba snímání. [\[19\]\[5\]\[24\]](#)



Obr. 10: *Princip ultrazvukového detektoru* [6]

V základním pojetí způsobu rozhodování rozlišujeme dva typy způsobů detekce živosti prstu. Hardwarové a softwarové metody. Hardwarové metody využívající přídavného zařízení jsou obecně přesnější a dražší než metody softwarové využívající digitálního zpracování obrazu otisku prstu.

3.3 Hardware metody

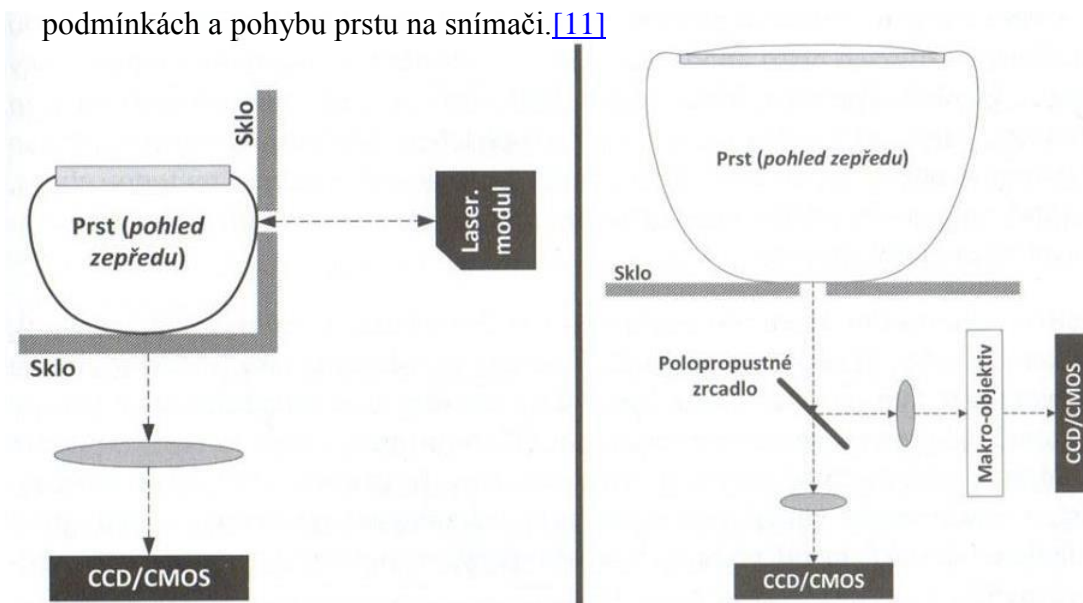
U této metody máme celou řadu dodatečných prvků ke snímači. Většinou jde o snímač optický.

3.3.1 Detekce teploty

Tato metoda se využívala dříve hlavně kvůli tomu, že jde o jednoduše měřitelnou veličinu na prstu. Jelikož ale se mění teplota těla v závislosti na stresu, fyzickém výkonu, tak se mění i teplota na konečcích prstů. To zhoršují i onemocnění cirkulace krve a syndrom studených rukou. Výsledkem je teplotní rozpětí $25^{\circ} - 37^{\circ}\text{C}$. Jedním z řešení byl vyhřívaný detektor na určitou teplotu, ale ukázalo se, že tenký latentní otisk přilepený na prstu má moc malé výchylky teploty (zhruba do 2°C), než aby se dala provést dostačující detekce živosti. [5][24]

3.3.2 Detekce pulsu

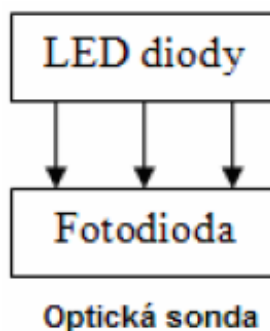
Jakým příznakem ověřovat živost znaku snad každého jako první napadne puls. Ten lze detekovat buď na základě vzdálenosti odraženého paprsku laseru odvíjející se z objemových změn cév, resp. prstu, vzniklých pulzní vlnou cirkulující krve. Nebo tyto objemové pulzní změny detekovat na CCD kameře zaznamenávající detekci dilatací a konstrikcí papilárních linií na jejich značně zvětšeném výřezu – viz obr. 11. Tato metoda je však velmi náchylná na okolních podmínkách a pohybu prstu na snímači. [11]



Obr. 11: Detekce živosti podle pulzové vlny pomocí laserového měření (vlevo) a pomocí kamery (vpravo). [5]

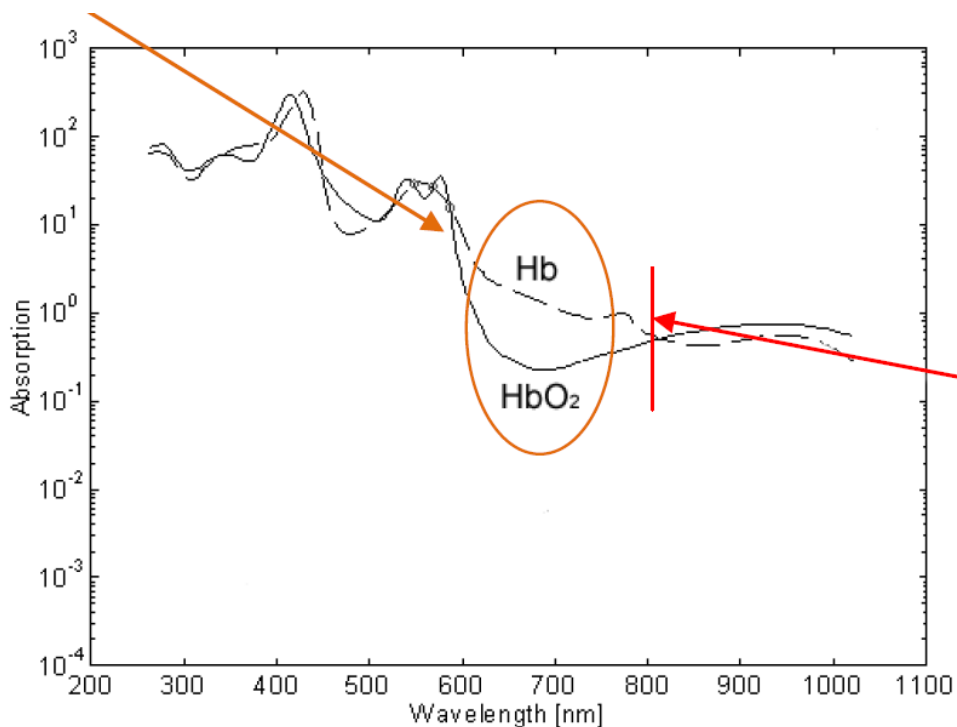
3.3.3 Oxymetrie

Pulsní oxymetrie je založena na průchodu/odrazu světla dvou specifických vlnových délek tkání.



Obr. 12: Schéma detektoru pro oxymetrii [11]

Musí se počítat pouze s absorpcí světla arteriální krve. Musíme tedy odstranit vliv absorpce v žilní krvi a ostatních zdrojích, které absorpci mohou měnit. Rozlišovací vlnová délka je okolo 660 nm – viz obr. 13. Faktory, schopné ovlivnit útlum, rozdělujeme do několika nezávislých skupin: arteriální krev, žilní krev a tkáň. Protože každý má jinak tlustý prst, musí se provádět kompenzace vlivu tloušťky a to druhým světelným zdrojem o vlnové délce 820 nm (a vyšší), který není již závislý na O₂.[\[11\]](#)



Obr. 13: Graf saturace kyslíkem v arteriální a venózní krvi[\[11\]](#)

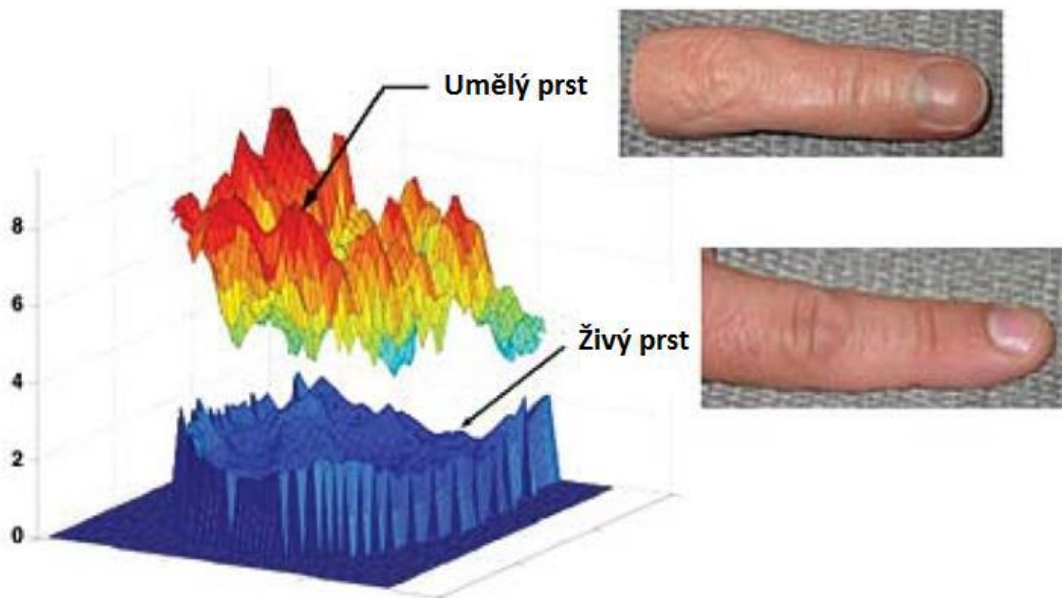
3.3.4 Vodivost

Lidská kůže dokáže vést elektrický proud, a proto je vhodné měřit její odpor, resp. vodivost. Podobně jako u předešlých metod je i vodivost kůže závislá na aktuálním fyzickém a psychickém stavu jedince. Experimentálně bylo prokázáno, že se vodivost kůže pohybuje v rozmezí 20kΩ – 3MΩ. Tímto způsobem lze vcelku dobře odlišit umělé náhrady od živého prstu.[\[5\]\[6\]](#)

3.3.5 Spektroskopické vlastnosti

Detekce živosti otisku prstu pomocí principu multispektrálního snímání má základ v multispektrálních vlastnostech kůže – viz obr. 14. Když osvětlujeme

různými vlnovými délkami prst, tak vzniká jemnější rozložení rozdílů energií absorbovaných a odražených. Míra odrazu a absorpce je u každého člověka trochu jiná, každý člověk má tedy svůj spektrální otisk. Nicméně rozdíly jsou však natolik malé, že je zatím nelze brát jako unikátní biometrickou stopu. Však pro rozlišení živosti je metoda více než dostačující. [19][24]



Obr. 14: Spektrální otisk při detekci živosti [24]

3.3.6 Ultrazvukové vlny

Ultrazvuková detekce živosti je založena na principu ultrazvukového senzoru popsaného v předešlé kapitole. Využívá se vlastností ultrazvuku na rozhraních prostředí a umožňuje tak detekovat jak náhrady, tak tenké nalepovací otisky na povrchu prstu. Pokročilejší obměny těchto systémů dokáží detekovat i puls z charakteristik odražených z vnitřku prstu.

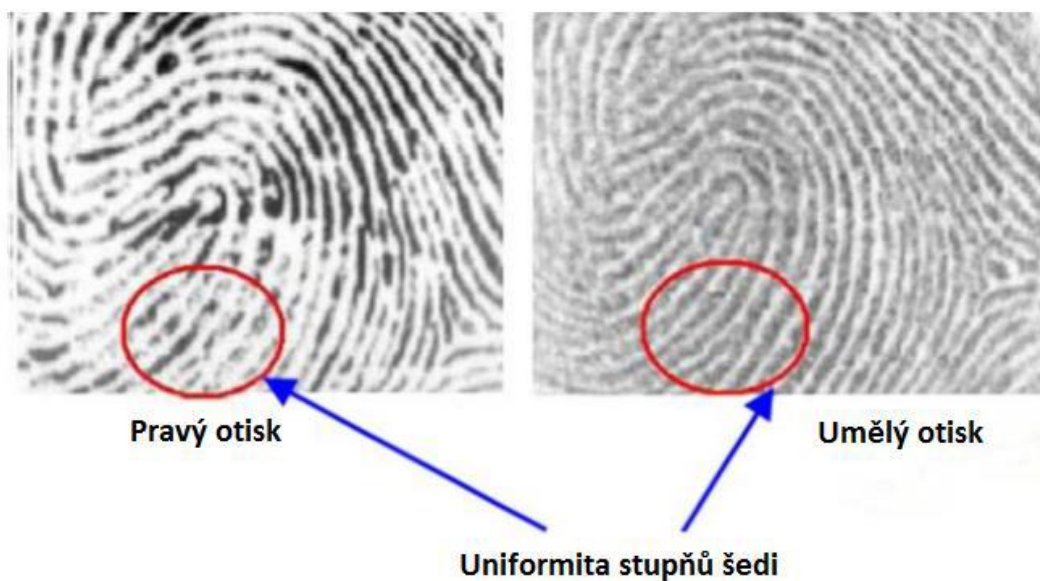
Tato metoda je přesná, avšak dosti náročná na konfiguraci parametrů pro správnou detekci živosti. [19][24]

3.4 Software metody

Jde o zpracování již nasnímaného otisku a jeho následné posouzení.

3.4.1 Detekce potu

Často používaná metoda detekce živosti je detekce potu. Principem této metody je postupné zvlhčování kůže prstu přiloženého na detektoru vlivem vylučování kapiček potu z potních žláz. Je nutné delší snímání – cca 5 s. Zvlhčením kůže dosáhneme ztmavnutí papilárních linií, což můžeme v čase detekovat jako změnu poměrů šedi v obraze (obr.16). Falzifikáty prstu vykazují konstantní a vyšší hodnoty, v případech hodnocení z jednoho obrazu pak daleko vyšší uniformitu než fyziologické různě opocené otisky (obr.15).[\[5\]](#)[\[24\]](#)



Obr. 15: Rozdílná uniformita stupňů šedi u otisků [\[2\]](#)



Obr. 16: Časový sled tmavnutí otisků [24]

3.4.2 Změny při přítlaku

K detekci falešných prstů můžeme využít i tlaku prstu na detektor a s tím spojené změny struktury otisku prstu. Principem je oddalování papilárních linií se zvyšujícím se tlakem. Měří se tedy velikost brázd (papilárních údolí) na snímcích pořízených v rychlém sledu za sebou v časovém okně asi 1,5 s. Živost se potvrdí tak, že otisk prstu spadá do dříve vypočteného rozsahu. [1]

3.4.3 Hodnocení kvality obrazu

Další možný přístup k hodnocení živosti otisku prstu je přes jeho kvalitu. Jedná se o metodu, kdy nasnímaný otisk prstu projde jen jednoduchým předzpracováním, kde se vybere pouze oblast prstu bez okolí, a poté se hledají určité strukturní znaky, které tvoří množinu charakteristik. Jedná se hlavně o artefakty vzniklé procesem vzniku falešných otisků. Metoda tedy předpokládá, že falzifikát je více zatížen na drobné, či pravidelné poruchy struktury papilárních linií. Živý prst by tedy měl lepší kvalitu obrazu než otisk falešný. [3]

Množina charakteristik dle [3] by mohla využívat následujících znaků v obraze: spojitost, plynulost, jas, či síla a směr papilárních linií nebo jejich celková celistvost. K získání takovéto množiny charakteristik se využívá informace obsažená v tzv. Distorzních polích, obsahující informace o směru pixelů, v jasových vrstvách obrazu, či spektrální analýze porovnávající výkonová spektra referenčního a originálního obrazu. Jelikož ale tato metoda pracuje pouze s jedním obrazem otisku, nemáme k dispozici nezkreslený referenční obraz či databázi. Pro vyřešení této situace se používá filtrace obrazu

filtrem typu Dolní propust' s Gaussovskou charakteristikou – směrodatná odchylka se nastavuje na 0,5 a maska filtru se používá o velikosti 3x3. Takto vyfiltrovaný obraz je následně považován za referenční.

3.4.4 Automatické klasifikování na základě souboru příznaků

Při detekci živosti otisku prstu lze využít několika rysů (příznaků) daného znaku, které by sice sami o sobě nedosahovali vysoké přesnosti, ale dohromady poskytují kvalitní hodnotící šablonu, podle které můžeme rozřazovat otisky na pravé a falešné. Tato metoda většinou využívá automatické klasifikátory jako je např. perceptronová síť nebo systémy využívající fuzzy logiku.

Tyto vlastnosti se přímo vztahují k vizuálně pozorovanému rozdílu v "živých" a "neživých" otisků prstů. To bylo také potvrzeno změnami v charakteristice histogramů různých otisků prstů. Pokud $H(n)$ určíme jako normalizovaný histogram, příznaky budou následující [2]:

- Energie

$$e = \sum_{n=0}^{N-1} H(n)^2 \quad (1)$$

- Entropie

$$s = - \sum_{n=0}^{N-1} H(n) \log H(n) \quad (2)$$

- Medián

$$M = \arg \min_a \left(\sum_n H(n) |n - a| \right) \quad (3)$$

- Rozptyl

$$\sigma^2 = \sum_{n=0}^N H(n) (n - \mu)^2 \quad (4)$$

- Sklon

$$\gamma_1 = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{n=0}^{N-1} H(n)(n - \mu)^3 \quad (5)$$

- Špičatost

$$\gamma_2 = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{n=0}^{N-1} H(n)(n - \mu)^4 \quad (6)$$

- Koeficient variace

$$cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad (7)$$

kde N je počet stupňů šedi, μ je průměr a σ značí směrodatnou odchylku.

Mnohé z těchto příznaků vyžadují referenční obraz, který pokud není k dispozici, je nahrazen obrazem vytvořeným vyhlazením původního obrazu filtrem dolní propust ve tvaru Gaussovy křivky s velikostí masky 3x3 a směrodatné odchylky 0,5.[\[12\]\[3\]](#)

4 VYBRANÉ METODY

V tomto oddílu jsou softwarové metody použité v algoritmu detekce živosti otisku prstu. Bylo vybráno třináct příznaků pro následnou klasifikaci neuronovou sítí. Metody byly vybírány s ohledem na následnou automatickou klasifikaci, proto zastupují jak statistické, tak strukturní a spektrální přístupy. Jak bylo zmíněno v předešlé kapitole, pro některé příznaky bylo nutné vytvořit referenční data normálního rozložení (DP s Gaussovou křivkou).

4.1 Poměr stupňů šedi v obraze

Tyto metody sledují nepatrné změny vyvolané pocením kůže (perspirace). Příznaky PSS1 a PSS2 (Poměr Stupňů Šedi) vypočítávají určitý poměr pixelů v šedotónovém obraze. Jasové intenzity byly nastaveny na 1-256.[\[26\]](#)

$$PSS1 = \frac{\langle P_{150}, P_{253} \rangle}{\langle P_1, P_{149} \rangle} \quad (8)$$

$$PSS2 = \frac{\langle P_{146}, P_{256} \rangle}{\langle P_1, P_{145} \rangle} \quad (9)$$

kde P_n je příslušná jasová hodnota.

4.2 Energie

Zde hodnotíme změny v energii jednotlivých pixelů (jejich normalizované hodnoty).

$$energie = \sum_{n=0}^{N-1} H(n)^2 \quad (10)$$

4.3 Entropie

Entropie je jedním ze základních pojmů v pravděpodobnosti a teorii informace. Vyskytuje se všude tam, kde hovoříme o pravděpodobnosti v systému, či jeho možných stavech. U tohoto příznaku vypočítáváme míru neuspořádanosti systému přes všechny jasové hodnoty pixelů v obraze (normalizované).

Tento příznak má zvláštní postavení ve statistických výpočtech a s příznakem energie se navzájem doplňují.

$$\text{entropie} = - \sum_{n=0}^{N-1} H(n) \log H(n) \quad (11)$$

4.4 Kvadratický Průměr jasových hodnot

Kvadratický průměr má lepší vlastnosti než průměr aritmetický. Je nezáporný a větší nebo roven průměru aritmetickému. Rovnost nastává, právě tehdy, když jsou všechny průměrované hodnoty stejné a nezáporné. To je důsledkem Cauchy-Schwarz-Buňakovského nerovnosti pro skalární součin.

Umocnění hodnot na druhou má za následek zvýraznění (přidělení větší váhy) hodnot vzdálenějších od nuly. Výpočet se blíží váženému průměru. [\[14\]](#)

$$K_{mean} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{i,j})^2}{NM}} \quad (12)$$

4.5 Rozptyl a směrodatná odchylka v obraze

Příznak VAR (rozptyl) udává rozptyl hodnot v obraze. Směrodatná odchylka se využívá hlavně v pravděpodobnosti a statistice. Příznak STD (Standard Deviation) vypovídá o vzájemných odlišnostech v souboru dat. Výsledek se odvíjí od pravidla tzv. tří sigma [\[14\]](#).

$$VAR = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{i,j} - \bar{P})^2}{NM} \quad (13)$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{i,j} - \bar{P})^2}{NM}} \quad (14)$$

4.6 Výběrová směrodatná odchylka

Výběrová směrodatná odchylka odráží skutečný výpočet odhadu směrodatné odchylky na empirických datech. [\[14\]](#)

$$V_{STD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{i,j} - \bar{P})^2}{(N-1)(M-1)}} \quad (15)$$

4.7 Šikmost

Statistická metoda sklonu dat. Monitoruje určité rozvrstvení dat v obraze.

$$g_1 = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{n=0}^{N-1} H(n)(n - \mu)^3 \quad (16)$$

4.8 Strmost

Statistická metoda špičatosti dat. Odráží charakteristiku dat v obraze.

$$g_2 = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{n=0}^{N-1} H(n)(n - \mu)^4 \quad (17)$$

4.9 Koeficient variace

Statistický příznak odrážející variabilitu dat v obraze.

$$cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad (18)$$

4.10 Rozdíl spekter

Tato metoda patří do skupiny spektrální analýzy posuzující kvalitu obrazu. Pomocí FFT (Fast Furier Transform) získáme amplitudové i fázové spektrum. Tyto spektra se pak porovnávají s referenčním spektrem referenčního obrazu (vytvořeno Gaussovskou křivkou). SPE (Spectral Phase Error) posuzuje odlišnosti fázového spektra, oproti tomu SME (Spectral Magnitude Error) posuzuje odlišnosti amplitudového spektra. [\[12\]](#)

$$SPE(I, I') = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |\arg(F_{i,j}) - \arg(F'_{i,j})|^2}{M * N} \quad (19)$$

$$SME(I, I') = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (|F_{i,j}| - |F'_{i,j}|)^2}{M * N} \quad (20)$$

Kde I je zkoumaný a I' je referenční obraz, $F_{i,j}$, resp. $F'_{i,j}$ je obraz po furierově transformaci, M jsou řádky a N pak sloupce.

5 DATABÁZE

Databáze otisků, která byla k dispozici pro tuto bakalářskou práci, na které se pracovalo a na které se prováděli všechny výpočty a úpravy, se jmenuje LivDet z roku 2011. Tato databáze je rozdělena na množinu trénovacích dat a na množinu dat zkušebních. Každá z množin obsahuje 4 soubory otisků ze 4 detektorů. Soubor dat je tedy dostatečně velký na porovnávání, výpočty i případné naučení některého z automatických klasifikátorů.

Databáze je hojně rozšířená a uznávaná jak pro svou objemnost, tak i pro úplnost – zejména sady jak pravých, tak falešných otisků. To má za následek možnost jednoduchého porovnání na různých algoritmech. Tyto porovnávací testy se uskutečňují např. ve společnosti „Liveness Detection Competitions“, která s těmito databázemi pracuje a vydává každý rok nové verze těchto databází.[\[15\]](#)

Struktura databáze je shrnuta v tabulce 1 a 2.

Tab. 1: *Počty trénovacích snímků otisků v databázi*

	Detektor	Počet trénovacích live snímků	Počet trénovacích fake snímků
1	Biometrika	1000	1000 (5x200)
2	Digital	1000	1000 (5x200)
3	Italdata	1000	1000 (5x200)
4	Sagem	1000	1000 (5x200)

Tab. 2: *Počty snímků otisků v databázi pro testování*

	Detektor	Počet testovacích live snímků	Počet testovacích fake snímků
1	Biometrika	1000	1000 (5x200)
2	Digital	1000	1000 (5x200)
3	Italdata	1000	1000 (5x200)
4	Sagem	1000	1000 (5x200)

6 PŘEDZPRACOVÁNÍ

Předzpracování dat je základním kamenem pro další práci s daty jako je např. jejich klasifikace.

6.1 Normalizace

Normalizace dat je důležitá pro homogenitu a srovnávání dat, je také velmi významným procesem při následné statistické analýze. Představuje především odstranění redundantních dat a prevenci vzniku repetitivních anomálií při práci s daty. Rovněž podporuje flexibilitu struktury.

Normalizační techniky byly použity až na vysegmentované části dat kvůli stabilitě segmentačních technik.

6.2 Segmentace

Segmentace je hlavní část předzpracování, které jako takové musí předcházet samotné analýze a výpočtům.

V této části se nejdřív provedlo načtení nasnímaného “surového“ obrazu příkazem *imread* – obraz má ale 3 rozměry a je typu *rgb*. Pro převod na šedotónový obraz, se kterým budeme pracovat, použijeme příkaz *rgb2gray* – nynější parametry jsou *uint8*, jas 0-255, rozměr *m x n*. Obraz se tedy ještě musí převést na datový formát *double*, což se provede příkazem *im2double*. Nyní má tedy parametry *double*, jas 0-1, rozměr *m x n*. Takto převedený obraz můžeme dál upravovat.

Dále chceme vybrat pouze určitou oblast zájmu (otisk) a oddělit ji od pozadí. To provedeme v programu pomocí stanovení přízpůsobivého prahu příkazem *graythresh*, ten automaticky vybere ideální hranici mezi tmavými a světlými poli. Pokud by se použil na pevně stanovený práh, nepokryli bychom ideálně všechny snímky, neboť každý z nich může mít odlišné jasové podmínky. Následně podprahové oblasti uzavřeme metodou dilatace a eroze pomocí aproximovaného morfologického operátoru tvaru disku o velikosti 10 pixelů příkazem *imclose*, přičemž vzniká binární segmentační obraz. [\[16\]](#)

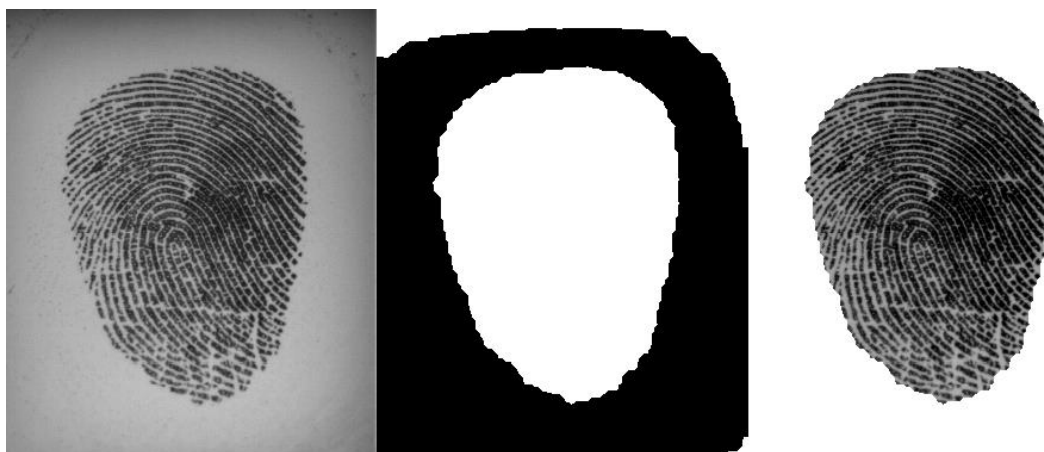


Obr. 16: Převedený originální obraz (vlevo) a Segmentační maska(vpravo)

Funkce *bwconncomp* vrací rozlišovací informace v segmentačním obraze. Získáme tedy hodnoty pixelů všech uzavřených oblastí v segmentační masce, kde největší plocha odpovídá samotnému otisku, zajímá nás tedy její index ve struktuře. Pak provedeme úpravu segmentace jen na otisk prstu. Následnou konvolucí obrazu se segmentační maskou dostaneme výsledný vysegmentovaný otisk bez pozadí (pro lepší kontrast je nastaveno pozadí bílé).

Pro zlepšení hodnoty otisku provedeme jeho normalizaci příkazem *imadjust* a ekvalizaci příkazem *histeq*.

Byla tedy použita binární segmentační maska, vytvořená uzamknutím oblasti otisku v obraze.[\[16\]](#)



Obr. 17: Proces segmentace – Vysegmentovaný otisk prstu (vpravo)

Na závěr byl vytvořen referenční obraz otisku za pomoci jeho vyhlazení filtrem typu DP s Gaussovskou charakteristikou. Tento proces byl proveden příkazem *fcpsial*.

Výpočet příznaků byl proveden dle vzorců v kapitole 4. a po zpětné analýze výpočtů příznaků bylo zjištěno, že příznak V_{std} (Výběrová směrodatná odchylka) neměla žádný informativně přispívající statistický vliv na detekci živosti, a proto s ní dále nebylo počítáno.

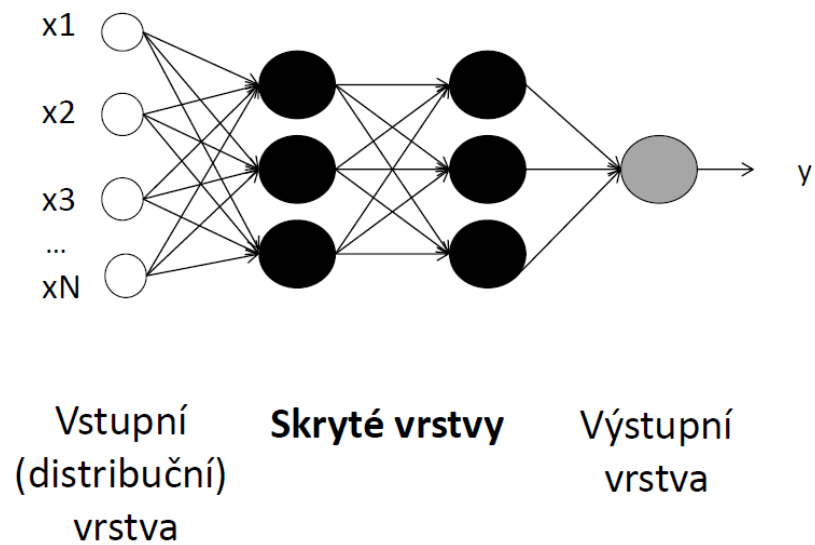
6.3 Histogram

Histogram je vektor četnosti pixelů na určité hladině šedi. Pokud lze obraz chápat jako násobnou realizaci ergodického náhodného pixelu, jsou hodnoty normalizovaného histogramu aproximací pravděpodobností jednotlivých šedých odstínů. Rozložení četností v histogramu informuje o správnosti expozice a kontrastu obrazu. Histogram slouží jako kontrolní nástroj dobré segmentace. Pomocí histogramů můžeme stejným způsobem jako u souborových odhadů odhadnout distribuční funkci a funkci hustoty rozdělení pravděpodobnosti. Podle histogramu se většinou aplikuje ekvalizace, aby vznikl tzv. Brilantní obraz (zastoupeny všechny frekvence v obraze).[\[16\]](#)

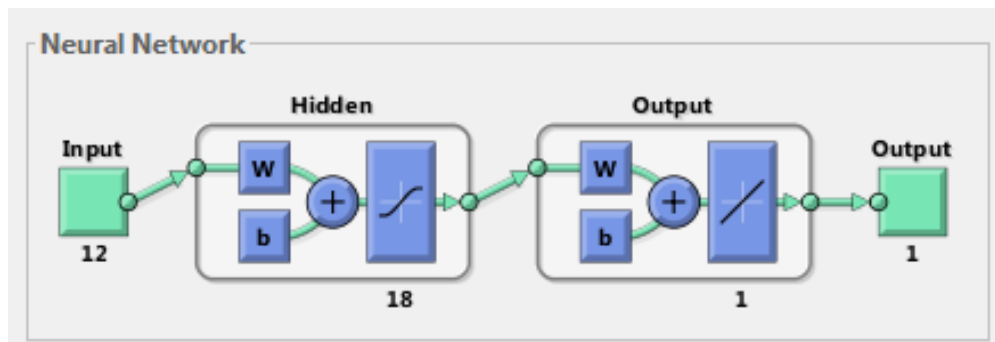
S histogramem se pracuje napříč programem viz kapitola 4, kde se využívá pro výpočet příznaků.

7 KLASIFIKACE POMOCÍ NEURONOVÝH SÍTÍ

Pro automatické vyhodnocování detekce živosti byla vybrána NN (Neural Network) s gradientní metodou učení. Jde o adaptivní klasifikátorovou dopřednou vícevrstevnou perceptronovou síť, kde neurony skrytých vrstev používají sigmoideální přenosovou funkci, kdežto neurony výstupní vrstvy jsou lineární. Princip vícevrstevné perceptronové sítě je na obrázku 18. a architektura použité sítě pak na obrázku 19.[\[25\]](#)

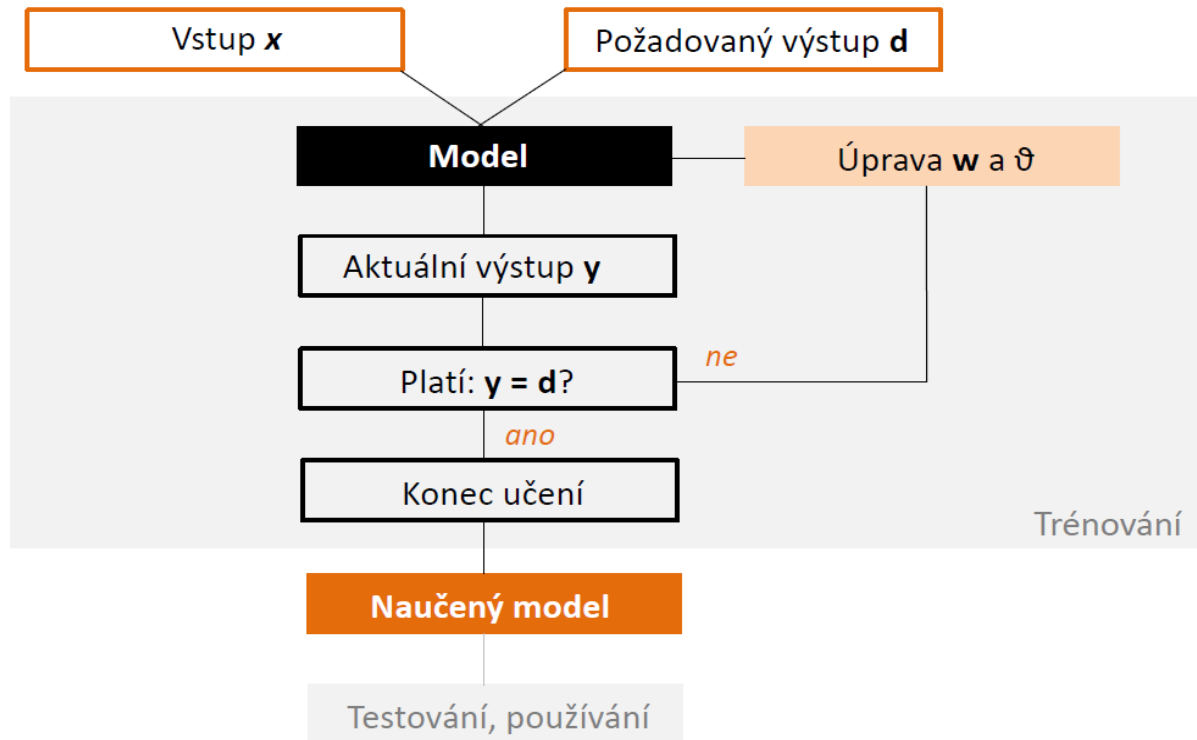


Obr. 18: Princip vícevrstevné neuronové sítě [25]



Obr. 19: Struktura použité neuronové sítě

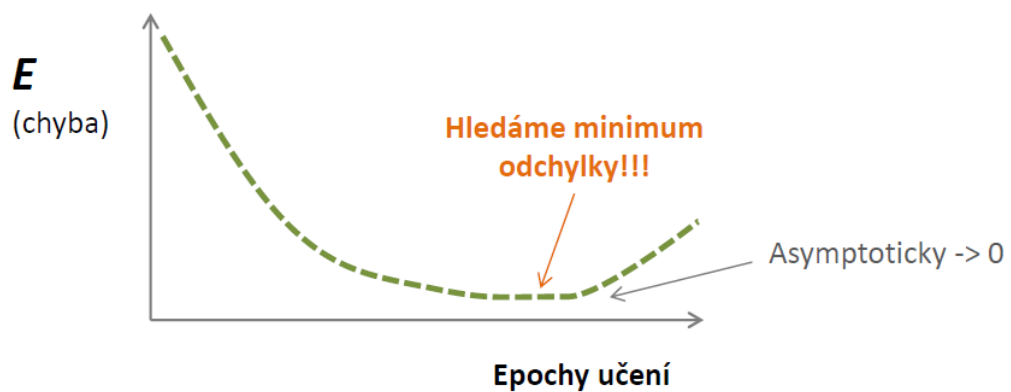
Učení probíhá formou tzv. s učitelem, to znamená předkládání vstupů, ke kterým známe výstupy (tj. příklady); aktuální výstup se srovnává s požadovaným výstupem a parametry sítě (váhy a prahy) se přenastavují tak, aby se snížil rozdíl mezi skutečným a požadovaným výstupem sítě. [25]



Obr. 20: Princip učení sítě s učitelem [25]

Metoda gradientního sestupu se pak snaží ladit hodnoty vah a prahů jednotlivých neuronů tak, aby byl co nejmenší kvadrát chyby, jakožto rozdíl aktuálního výstupu od požadovaného výstupu.[25]

$$E = \bar{\delta}^T \bar{\delta} = \sum_{j=1}^M (d_j - y_j)^2 \quad (21)$$



Obr. 21: Princip metody gradientního sestupu [25]

Počet neuronů ve vstupní vrstvě je roven počtu vypočtených příznaků. Počet neuronů ve skryté vrstvě byl experimentálně zvolen na 18. Jedna skrytá vrstva byla zvolena po odborné konzultaci a osvědčila se jako stabilní a dostačující. Výstupní vrstva je tvořena jen jedním neuronem, protože chceme klasifikovat data do dvou skupin – pravé a falešné, což zajistí právě jedna regresní přímka. Výstup posledního neuronu musí být zaokrouhlen kvůli používání lineární přenosové fce místo skokové, a následně vyhodnocen podle pravidla 1 = živý, 0= falešný.

Co se týče nastavení ostatních parametrů sítě, tak počet epoch byl nastaven na 1000, krok učení na 0.01 a maximální chyba na 0.01. Data byly rozděleny do skupin trénování (70%), validace (15%) a testování (15%).

Samotné vytvoření přizpůsobivé sítě bylo zrealizováno příkazem *fitnet*, což má tu výhodu, že prahy a váhy neuronů se při inicializaci nastaví automaticky a pak jsou dle pravidel laděny. Trénování se provedlo příkazem *train* (na 8000 vzorcích databáze + target vector) a testování generalizačních schopností na nových datech příkazem *sim*.

8 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Statistické vyhodnocení je zde zhotoveno formou boxplotů, které dobře demonstřují rozložení kvantilů z dat. Strukturně bylo vyhodnocení provedeno zvlášť pro každou část databáze dle použitého detektoru. Vždy byly porovnávány otisky pravé a falešné pro jednotlivé příznaky napříč databázemi (obr.22-33).

Neuronová síť byla natrénována a úspěšnost detekce živosti vyčíslena na 65,17%, což hodnotím jako solidní výsledek. K tomuto výsledku bylo dojito skrz porovnání výstupu sítě se správným target vektorem, dělením délkou vektoru a následným vynásobením stem pro výsledek v procentech.

Procento by mohlo být i vyšší, ale za cenu zhoršení generalizační schopnosti sítě, tedy přivyknutí sítě na poskytovaná data a neschopnost dobré reakce na data nová, což je jev označovaný jako tzv. Přeučená síť. Proto byla ponechána vyvážená bilance detekce.

Citlivost algoritmu byla následně vyčíslena pomocí Senzitivity (S+), která vyjadřuje pravděpodobnost pozitivní detekce při výskytu pozitivního znaku. Tu doplňuje Prediktivita (P+), která vyjadřuje pravděpodobnost přítomnosti pozitivního znaku při pozitivní detekci.

Dle rovnic:[\[25\]](#)

$$S^+ = \frac{TP}{TP + FN} \quad (22)$$

$$P^+ = \frac{TP}{TP + FP} \quad (23)$$

Kde TP (true positive) je správně nadetekovaný signál;

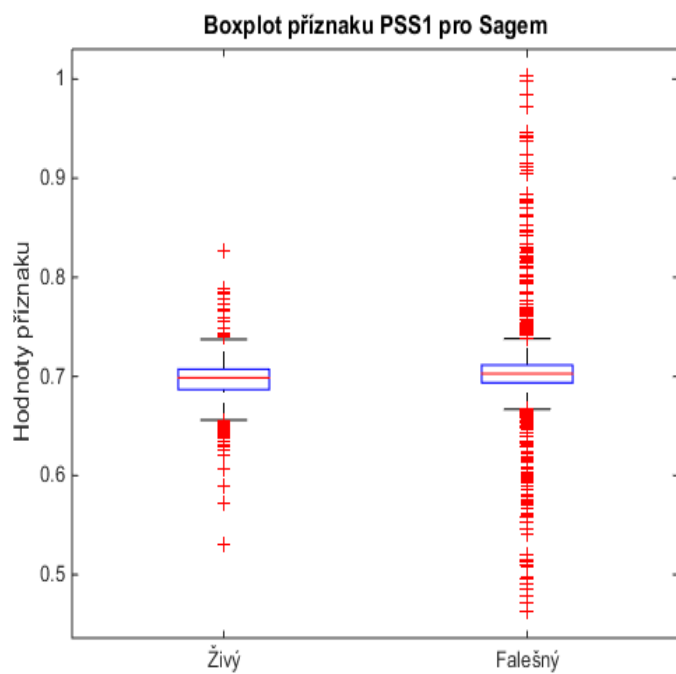
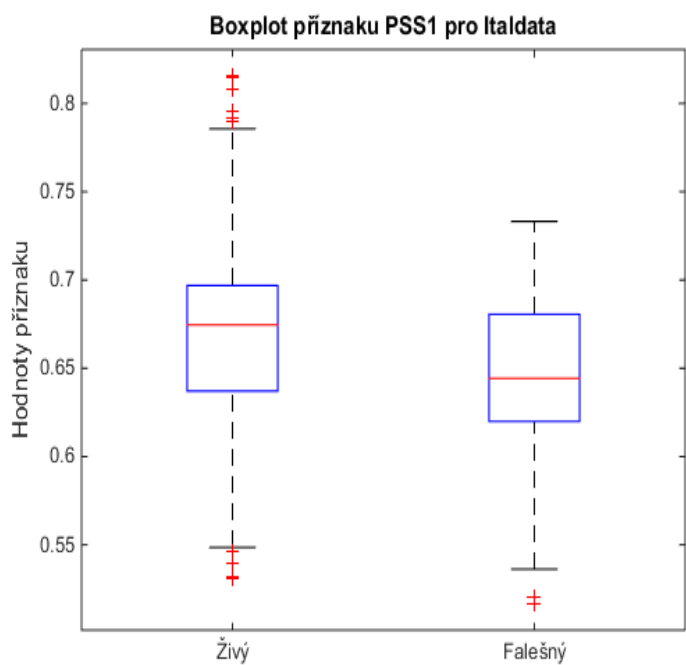
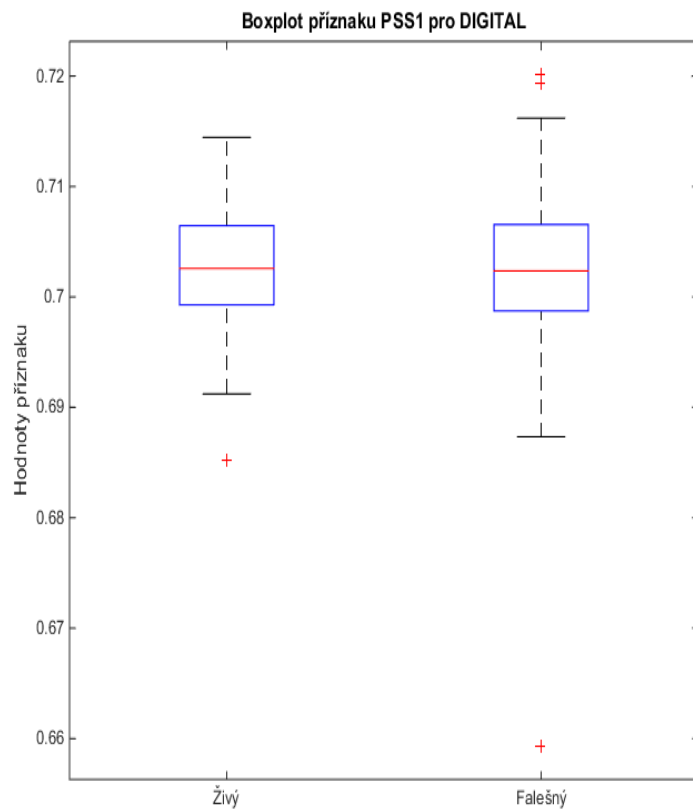
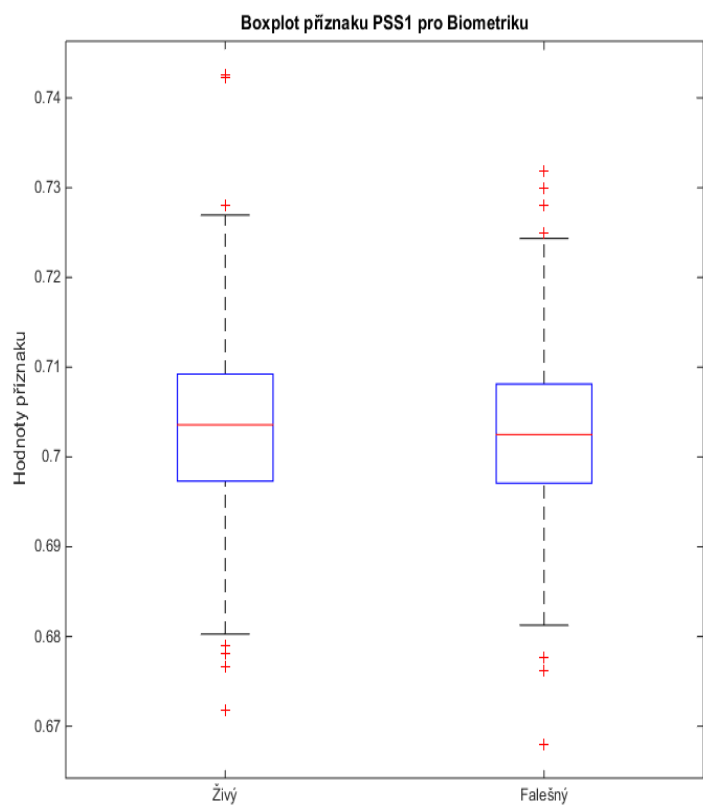
FN (false negative) je signál falešně negativní, tedy tam kde by měl signál zachytit, tak chybí;

FP (false positive) je signál falešně pozitivní, tedy chybně pustí falešný otisk.

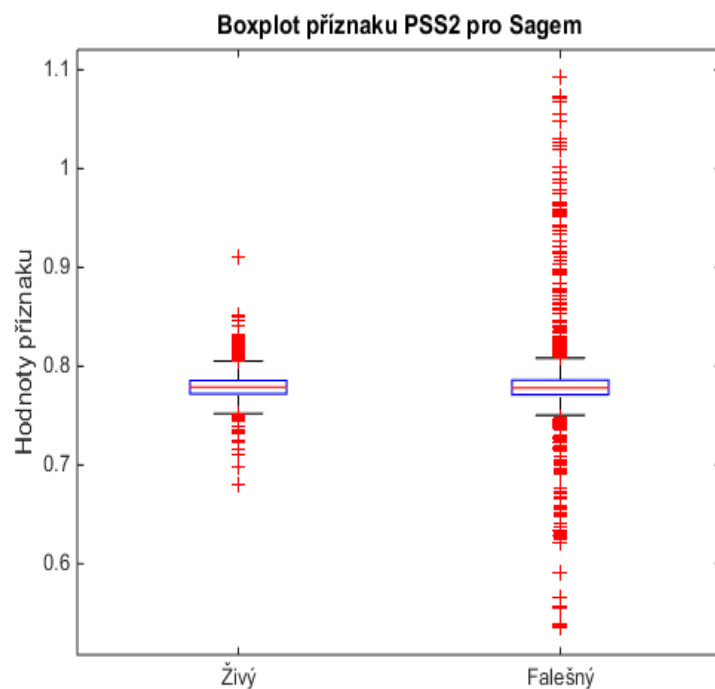
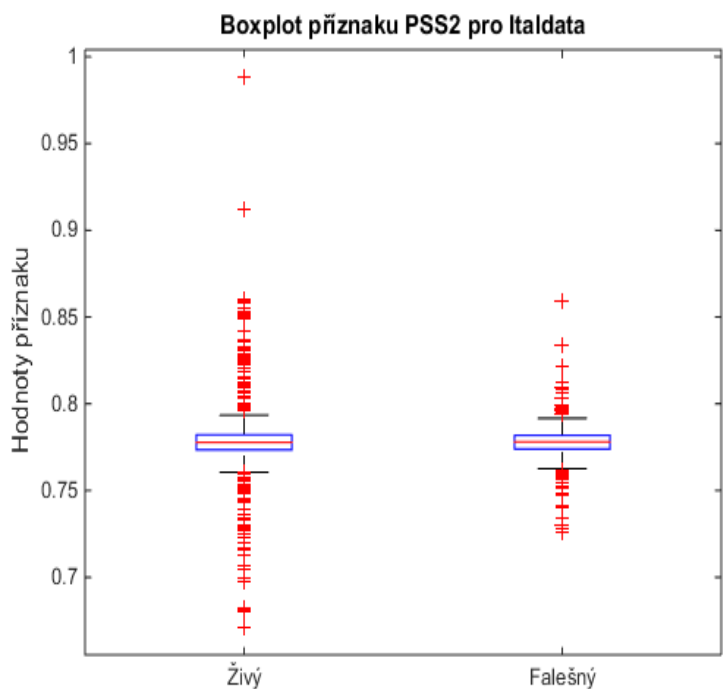
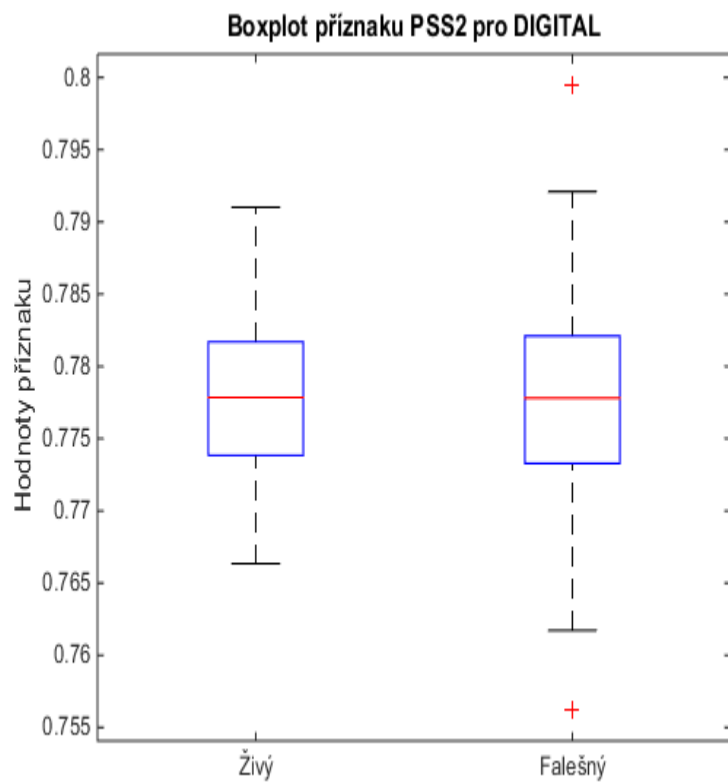
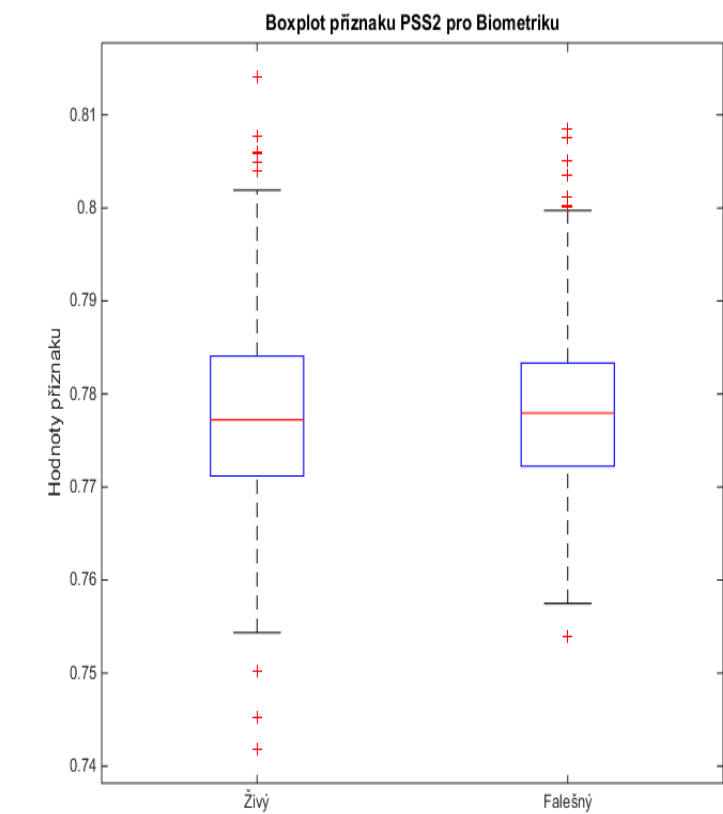
Z rovnic (22) a (23) byla vypočtena citlivost detekce jako:

- Senzitivita (S+): 73%
- Prediktivita (P+): 83%

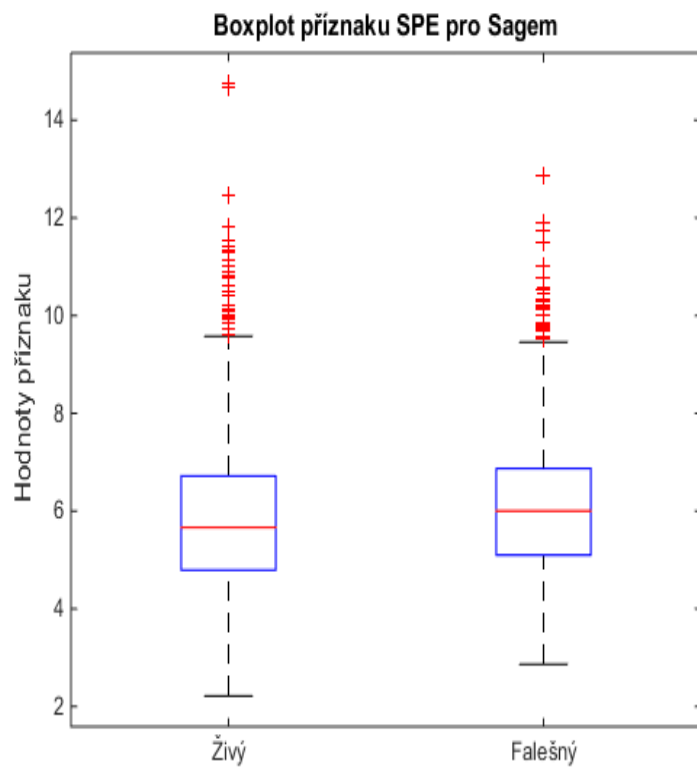
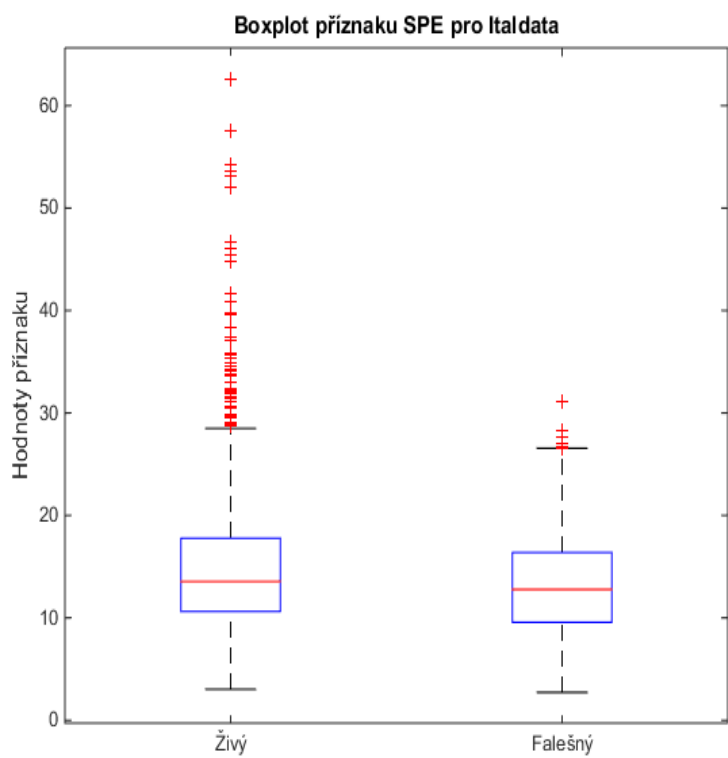
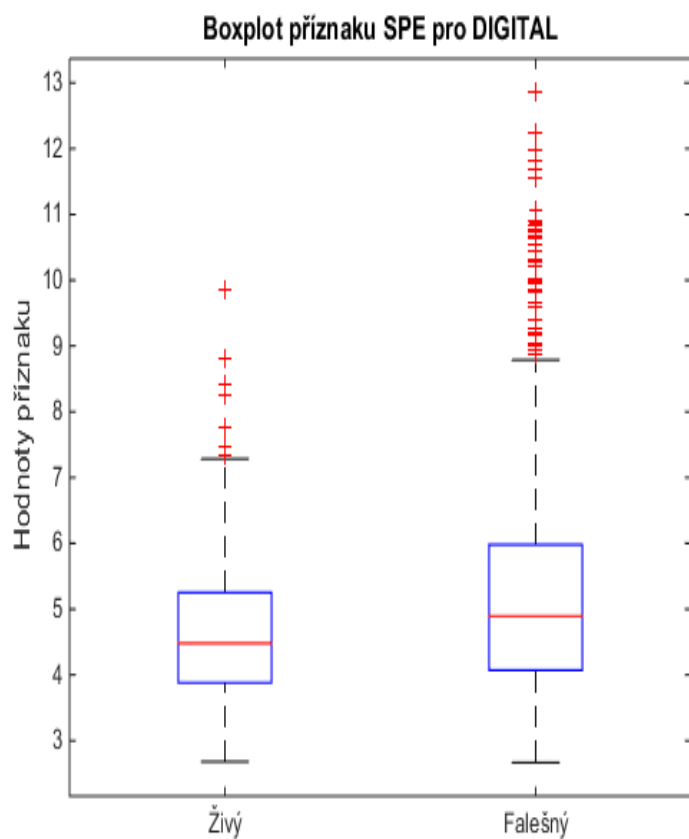
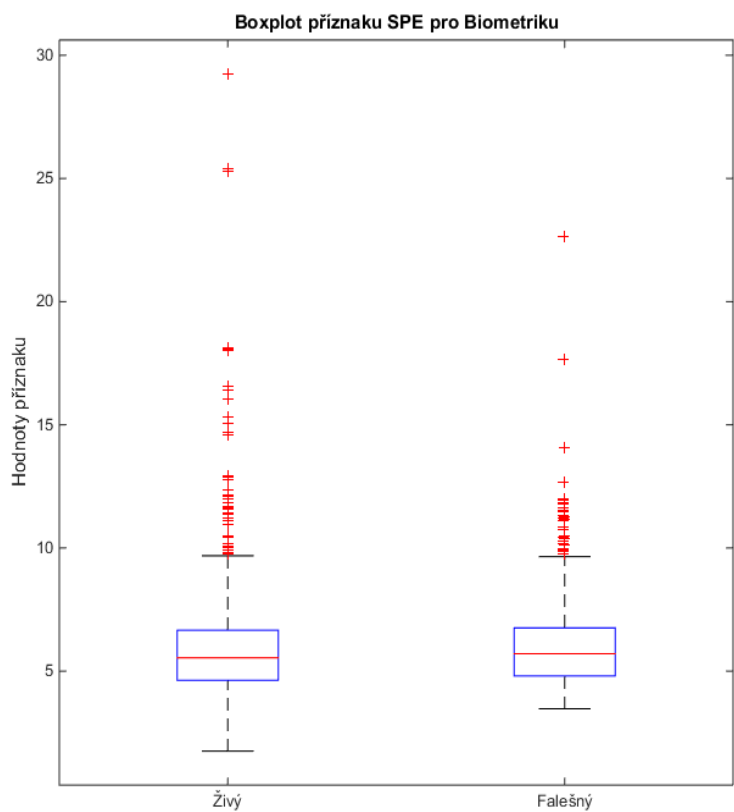
Z hodnot vidíme mírně zhoršenou statistickou citlivost detekce. Tedy, že část otisků projde, i když by projít neměly. To může být způsobeno problematickou detekcí falešných otisků, které jsou vyrobeny z různých materiálů.



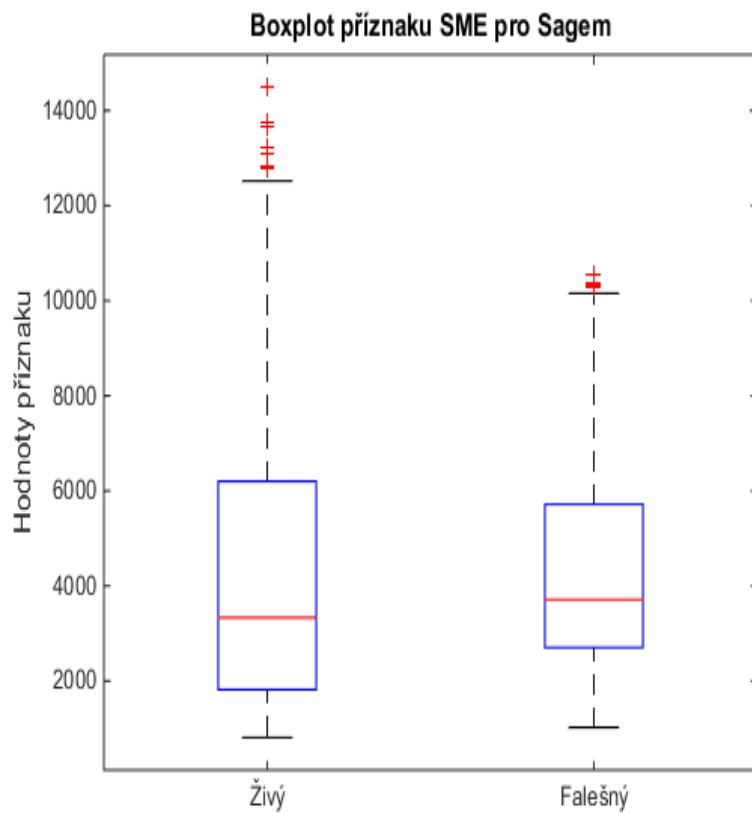
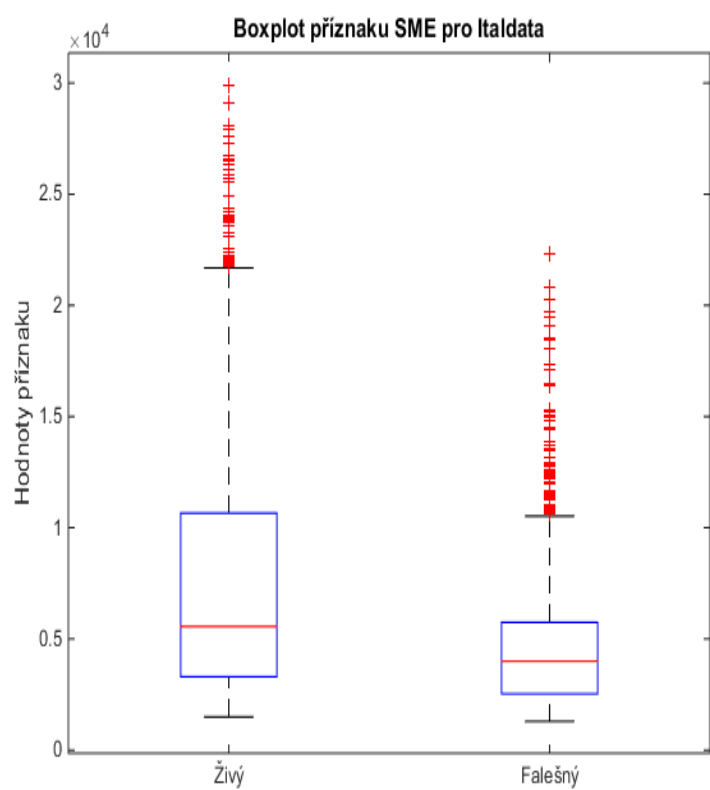
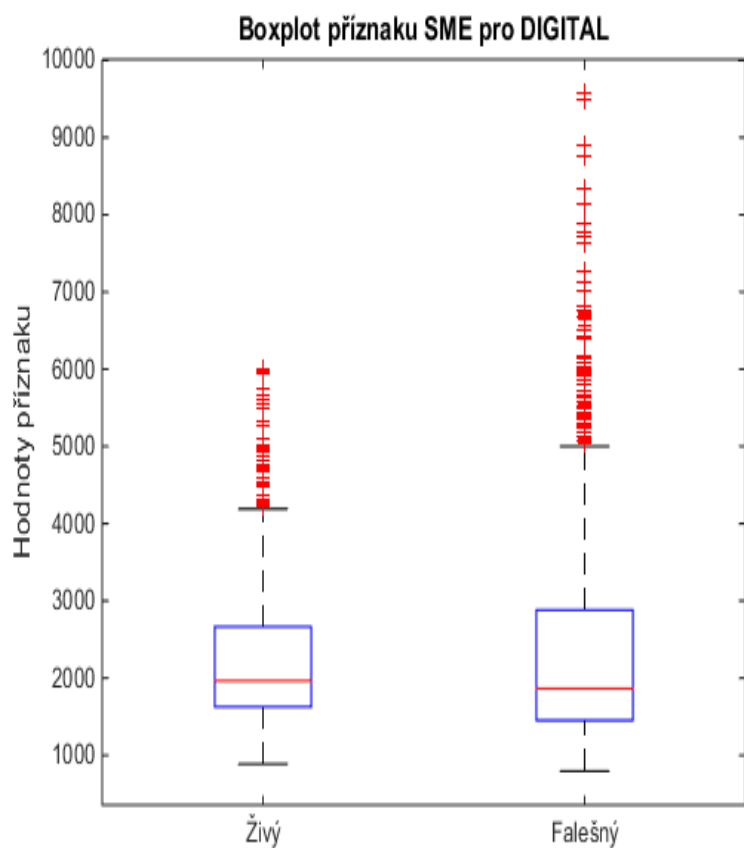
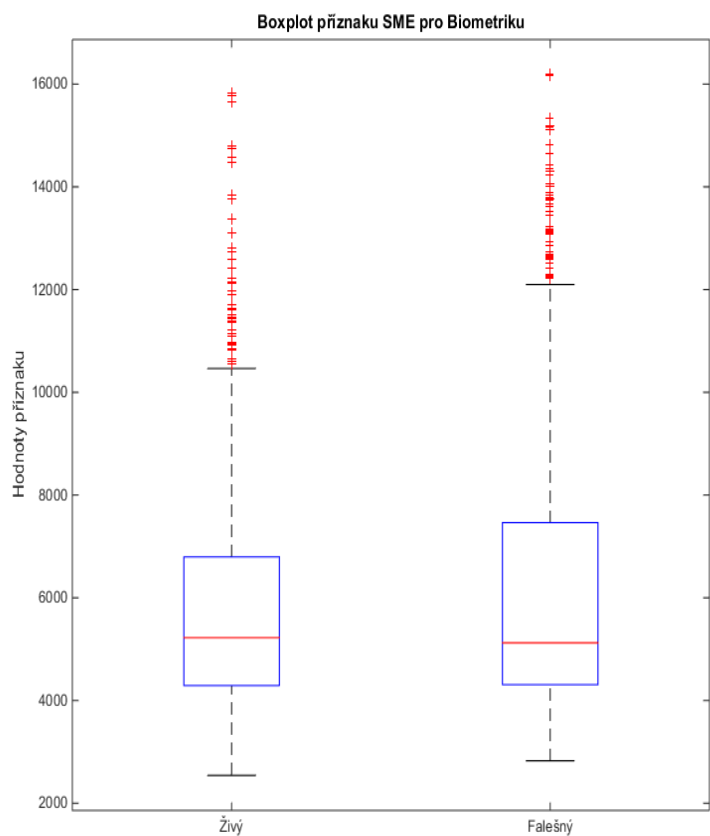
Obr. 22: Grafy rozložení dat příznaku PSS1



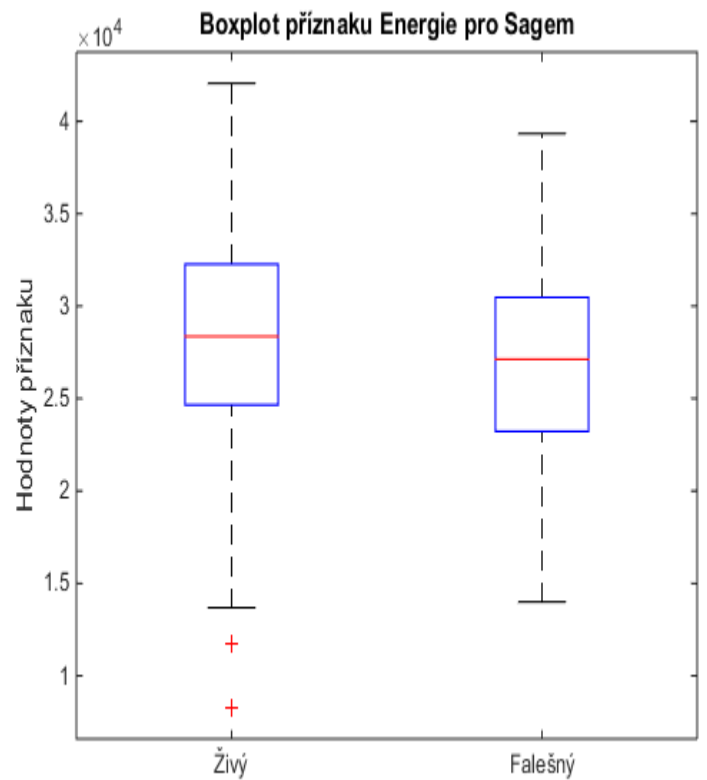
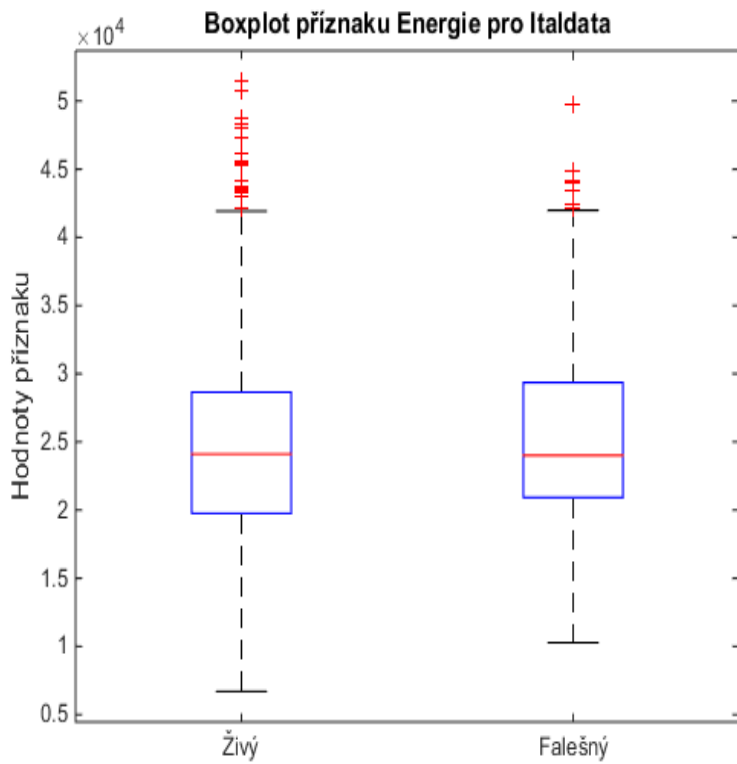
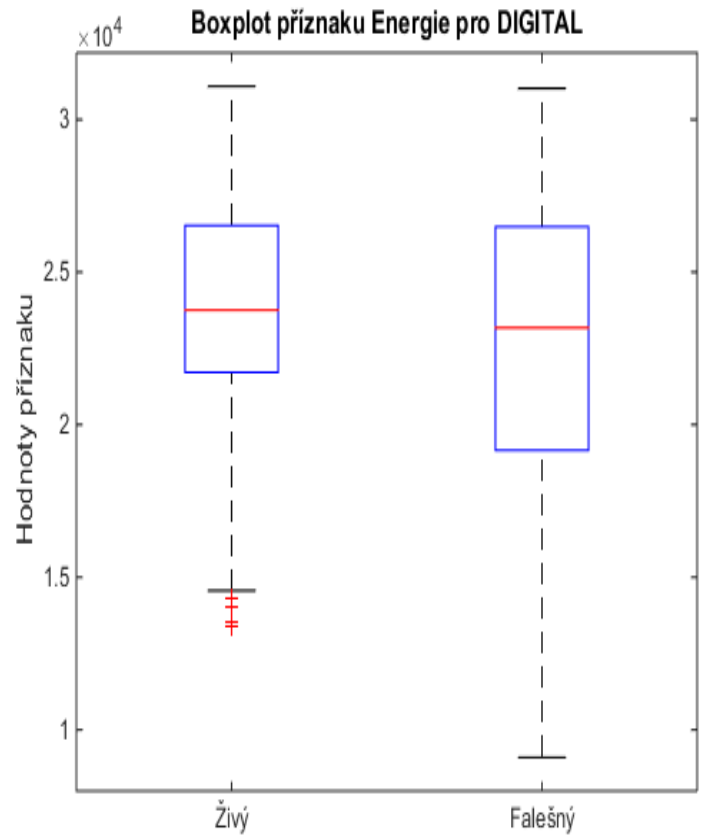
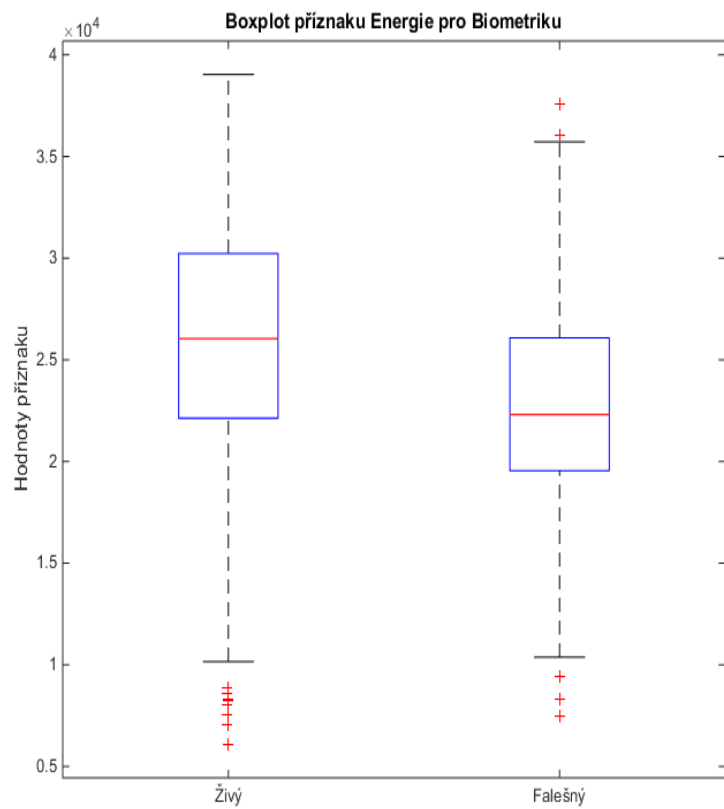
Obr. 23: Grafy rozložení dat příznaku PSS2



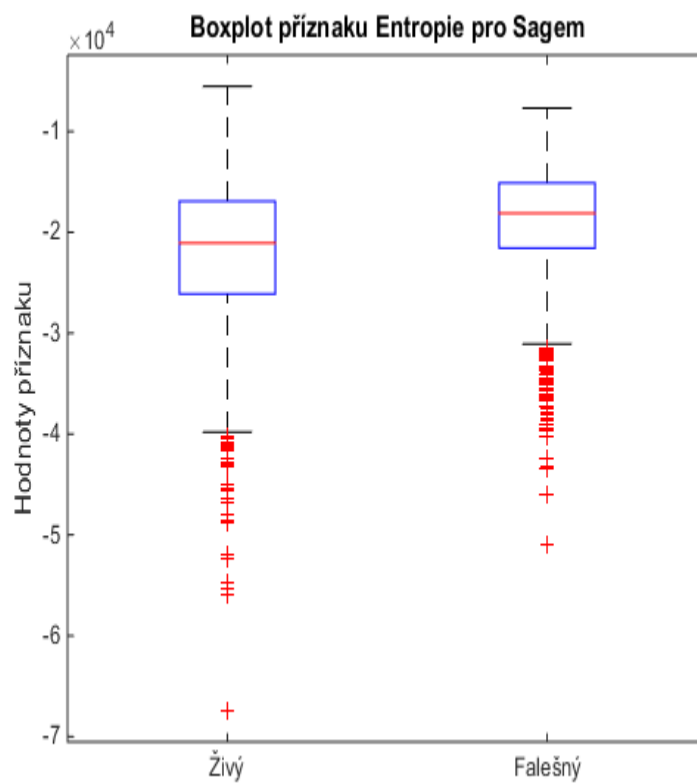
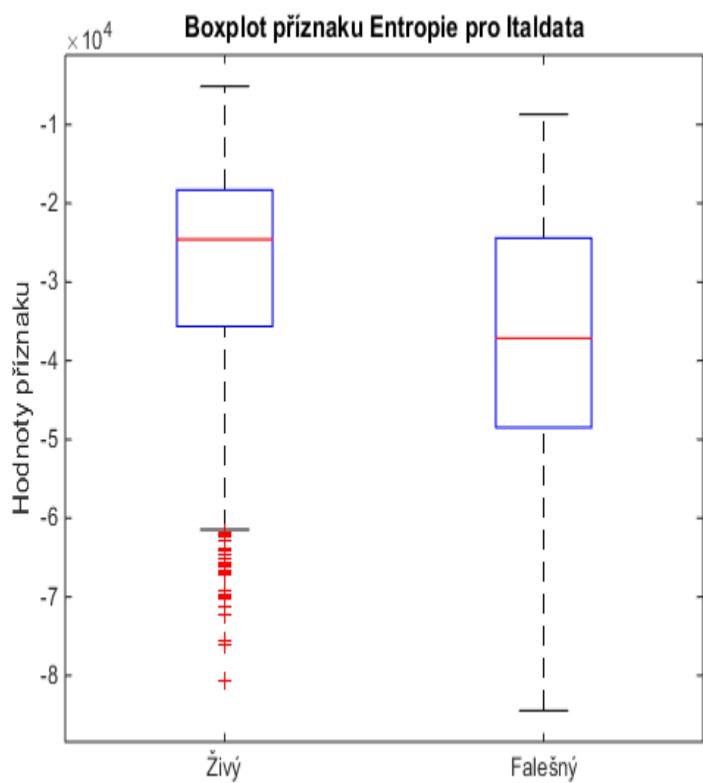
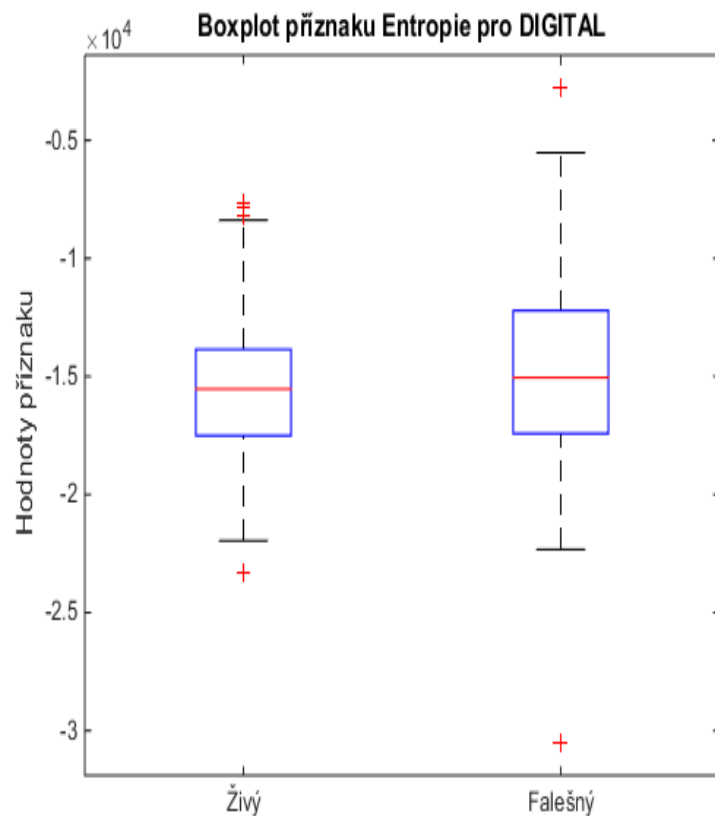
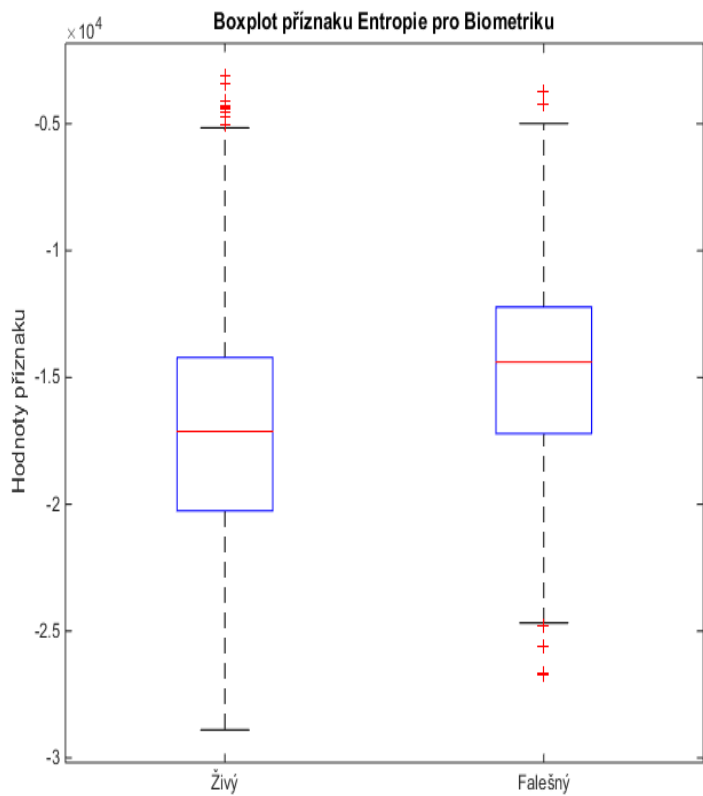
Obr. 24: Grafy rozložení dat příznaku SPE



Obr. 25: Grafy rozložení dat příznaku SME

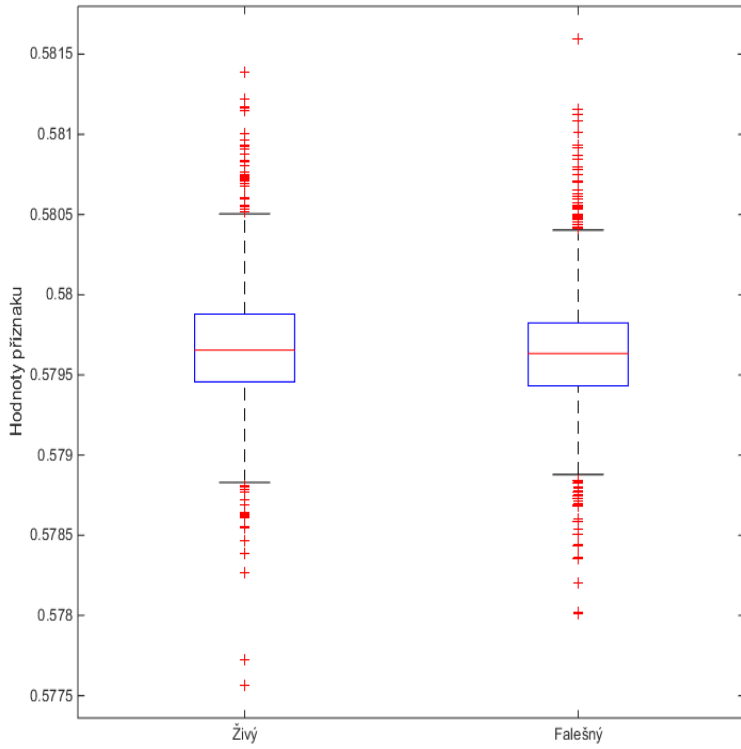


Obr. 26: Grafy rozložení dat příznaku Energie

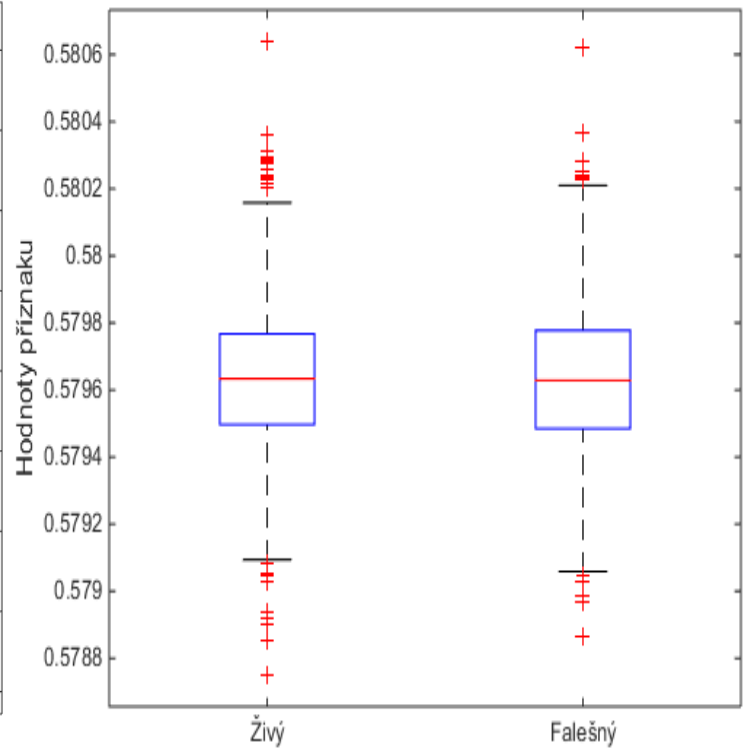


Obr. 27: Grafy rozložení dat příznaku Entropie

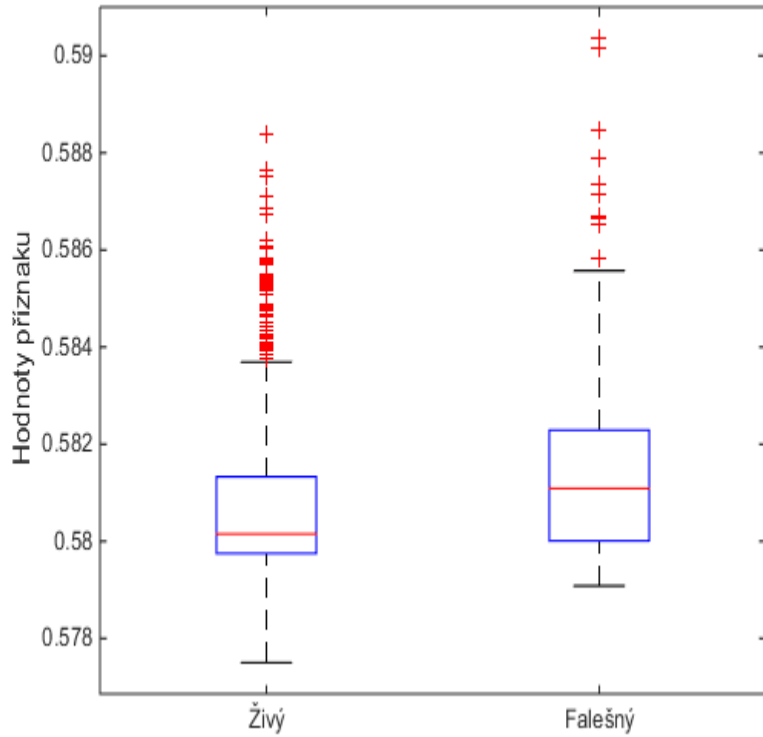
Boxplot příznaku Kmean pro Biometriku



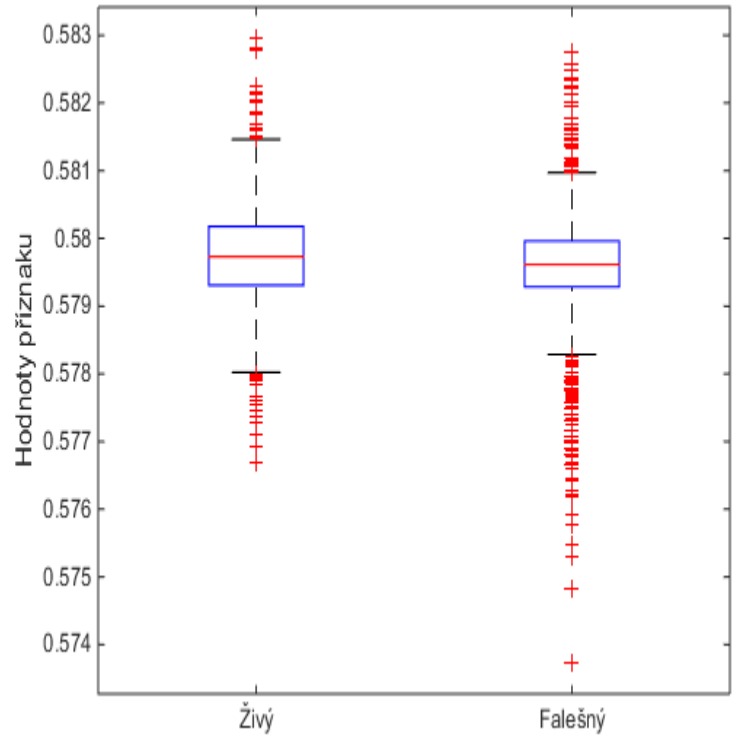
Boxplot příznaku Kmean pro DIGITAL



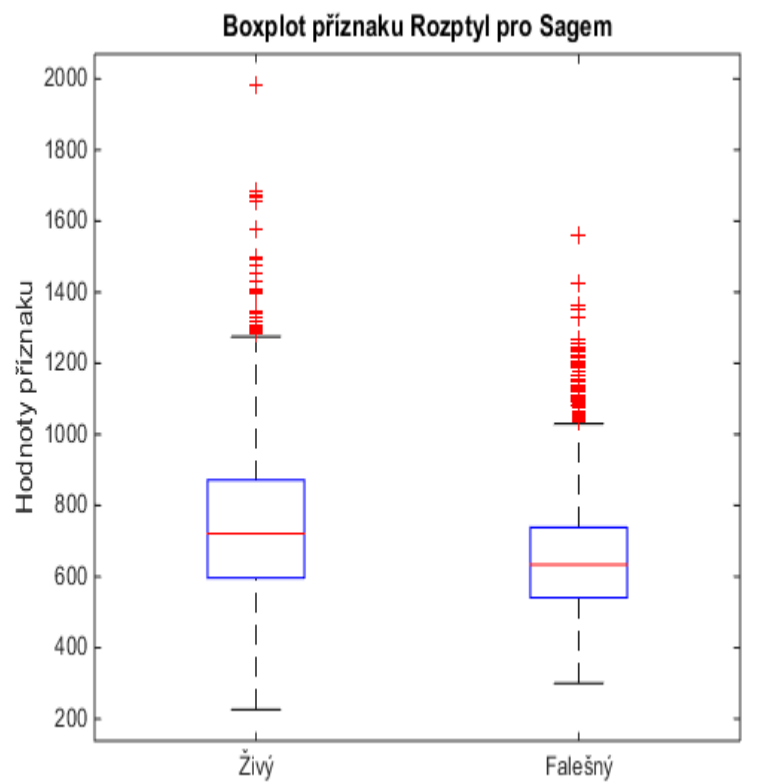
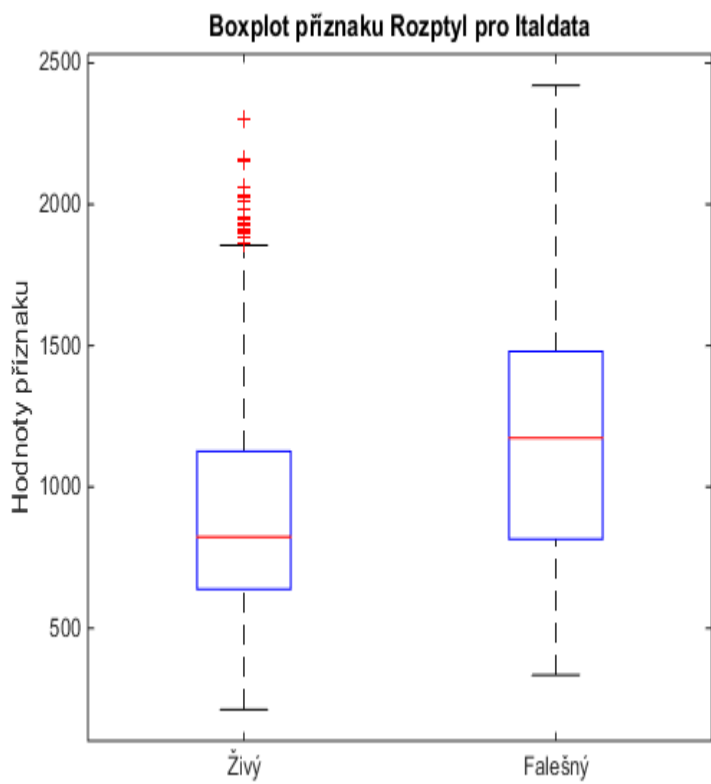
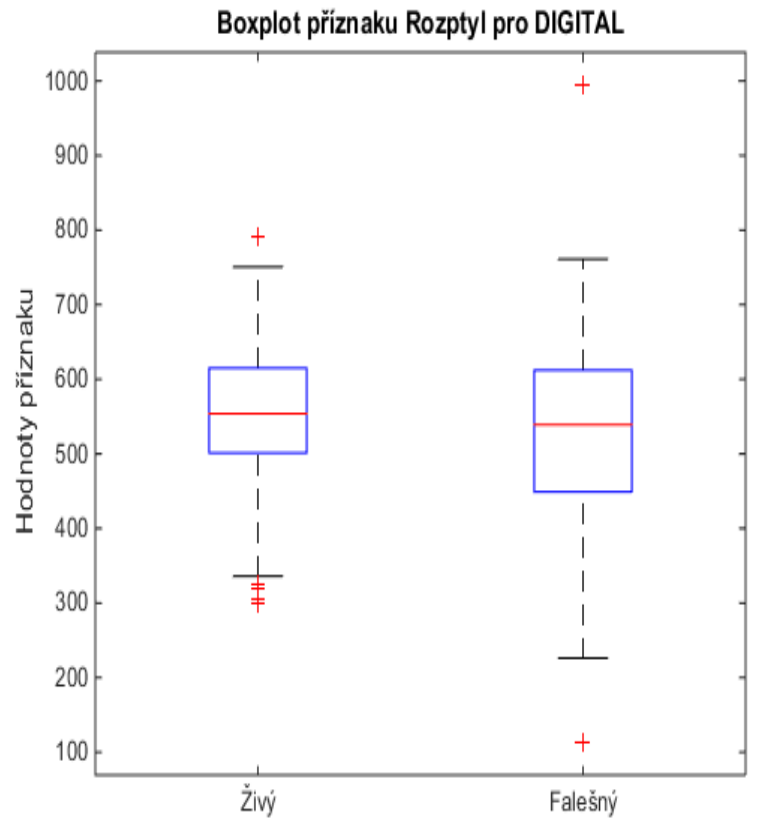
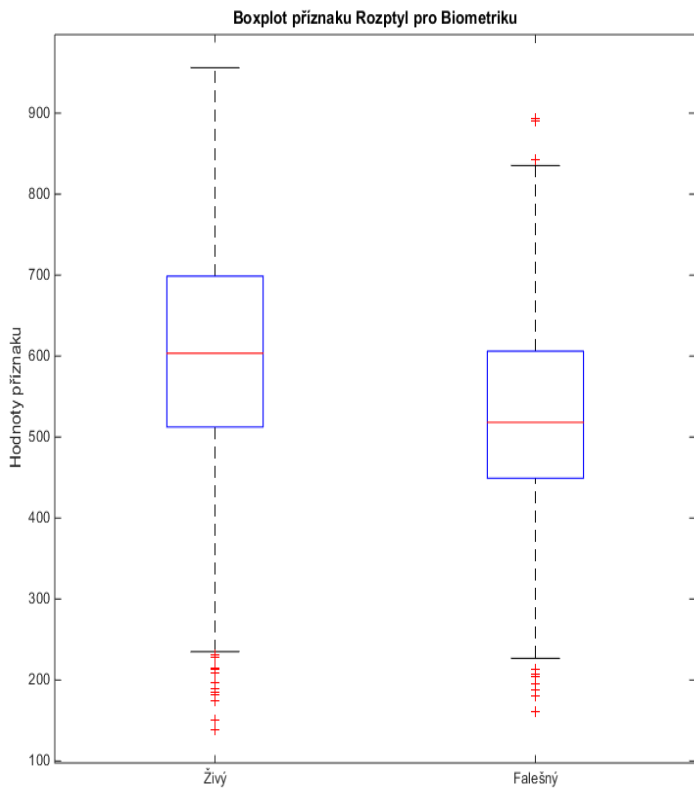
Boxplot příznaku Kmean pro Italdata



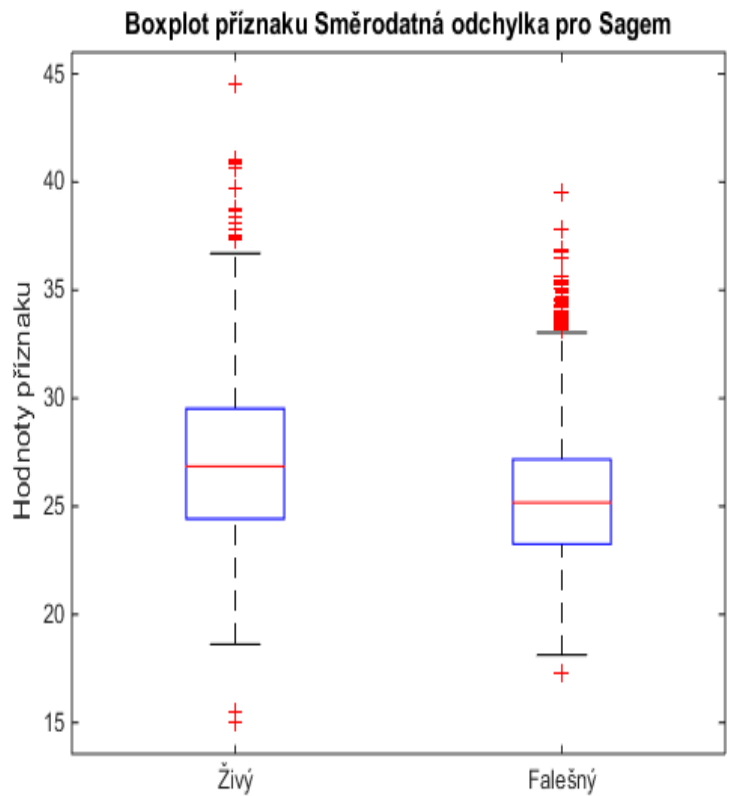
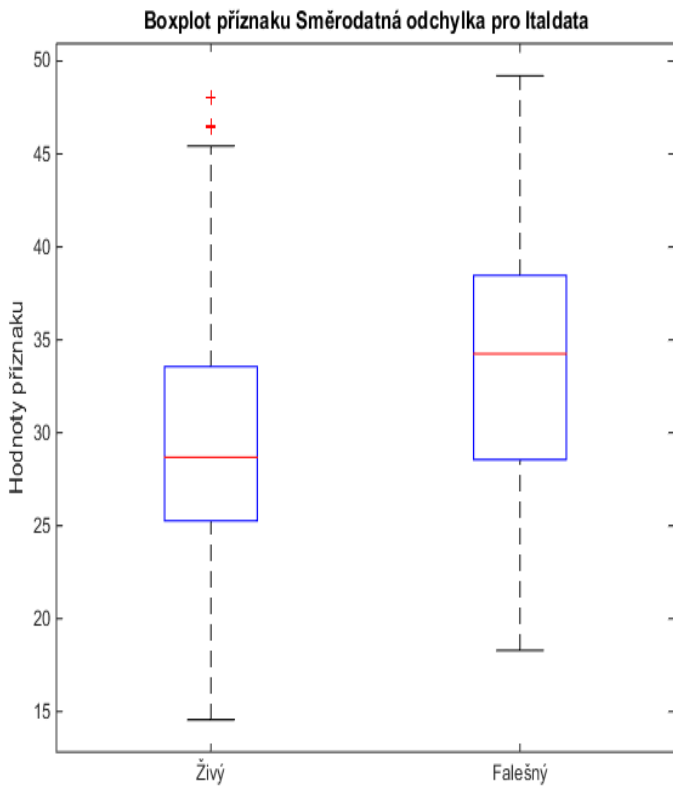
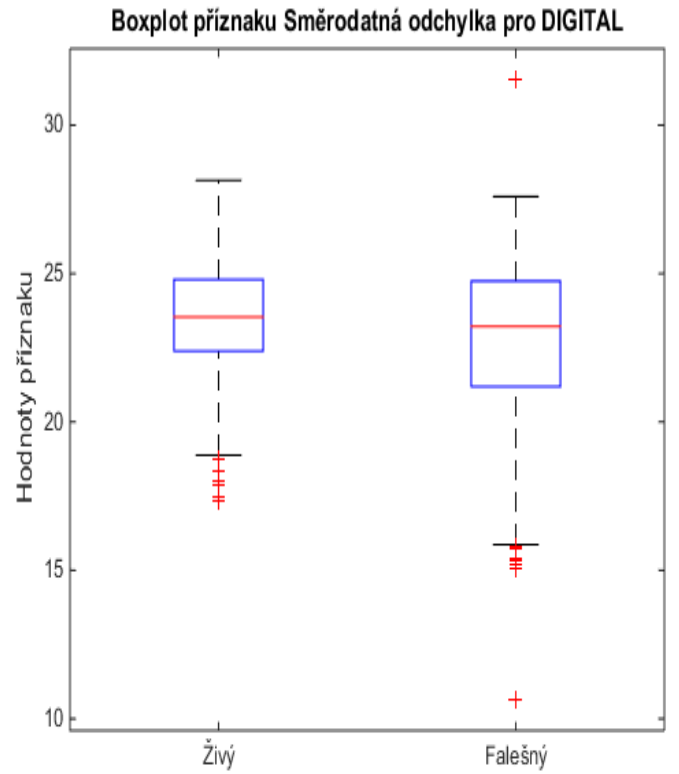
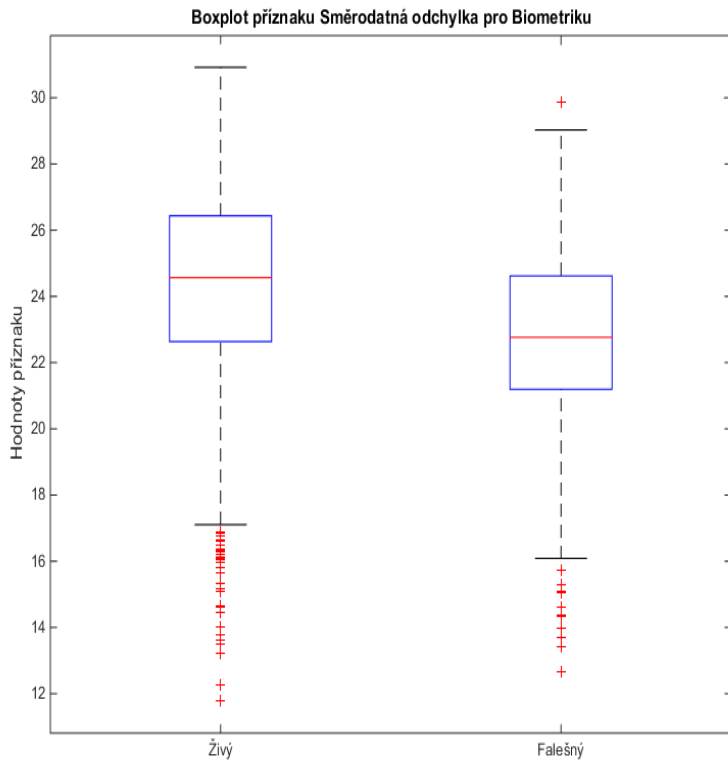
Boxplot příznaku Kmean pro Sagem



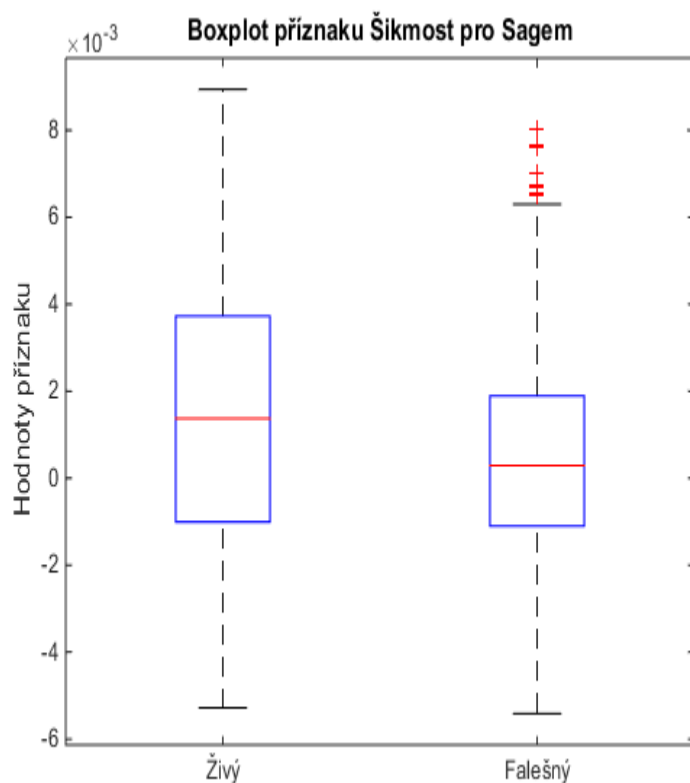
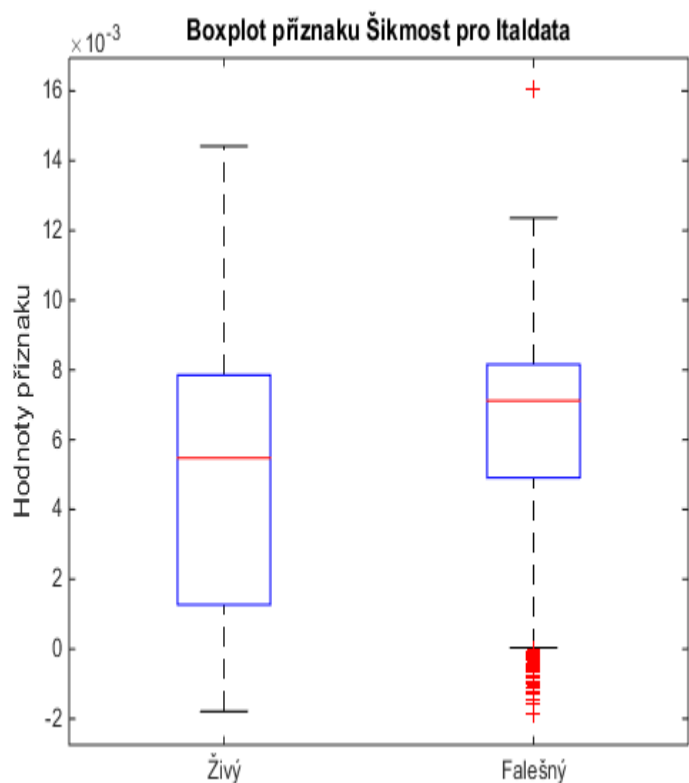
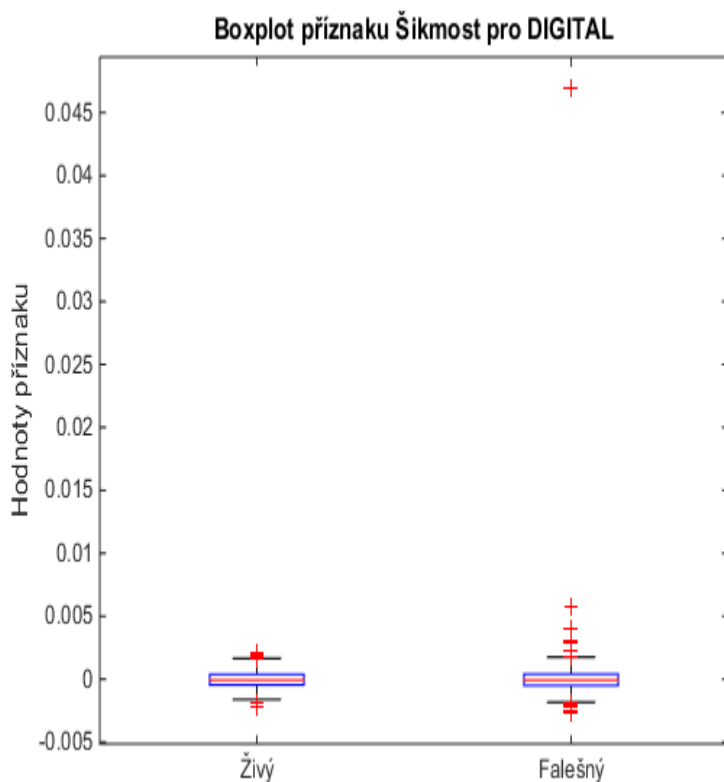
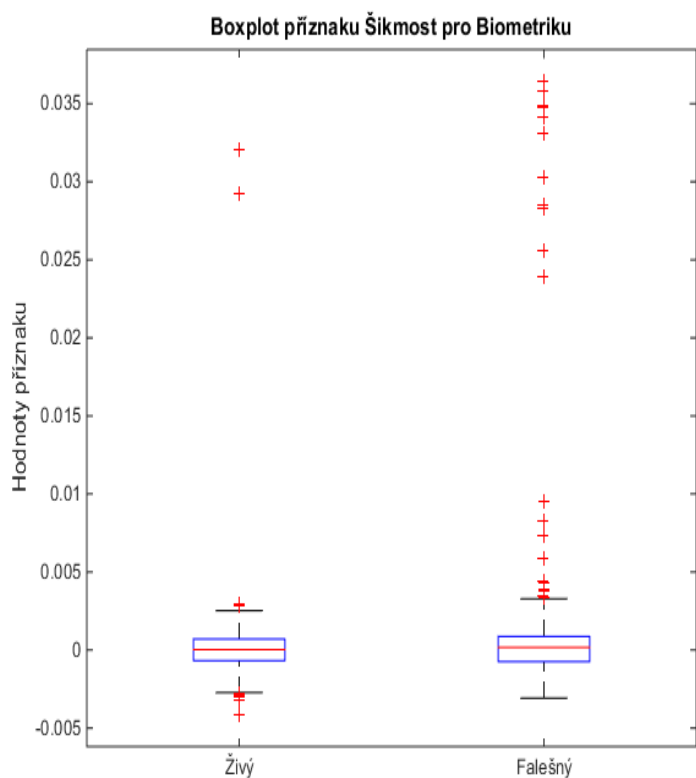
Obr. 28: Grafy rozložení dat příznaku Kmean



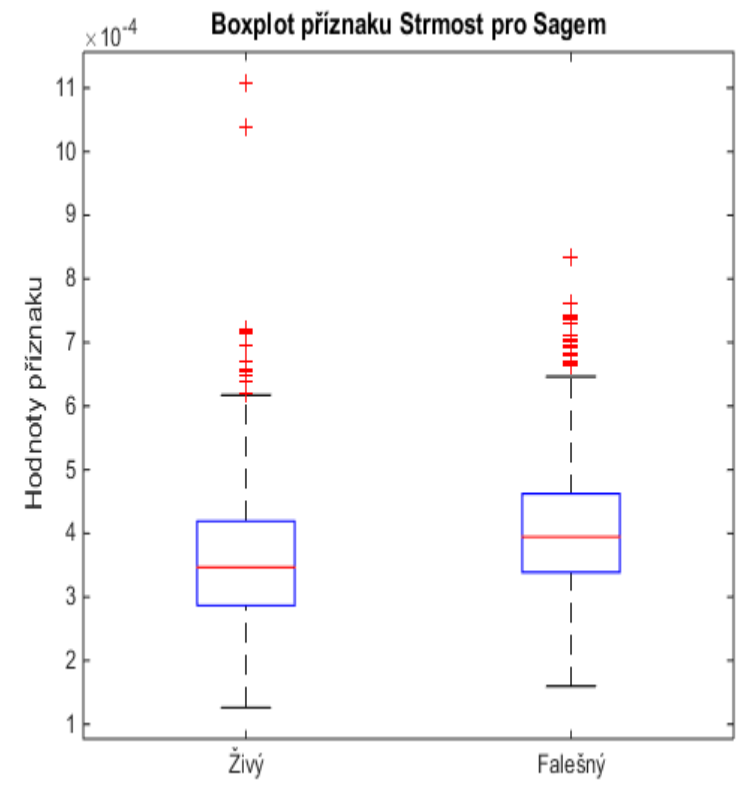
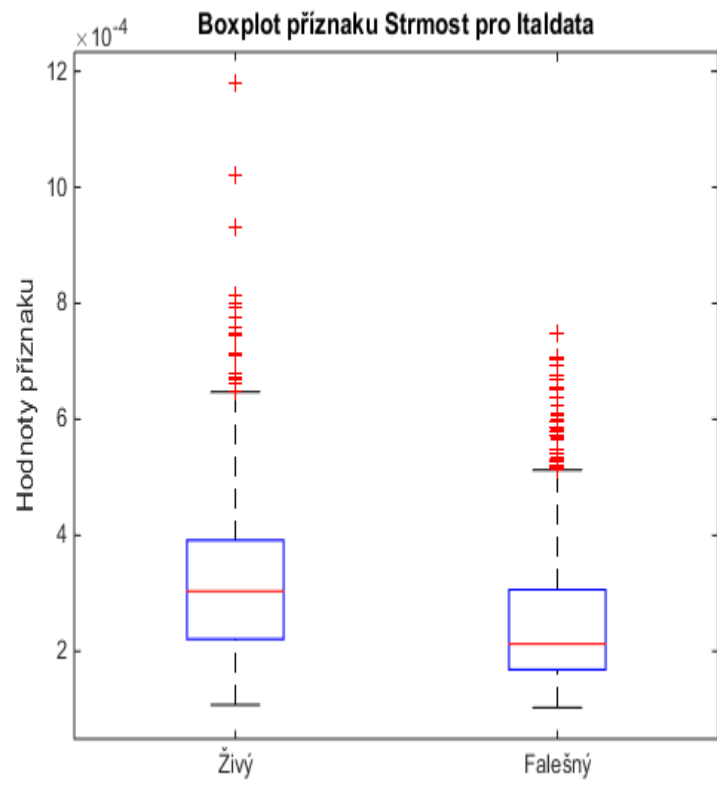
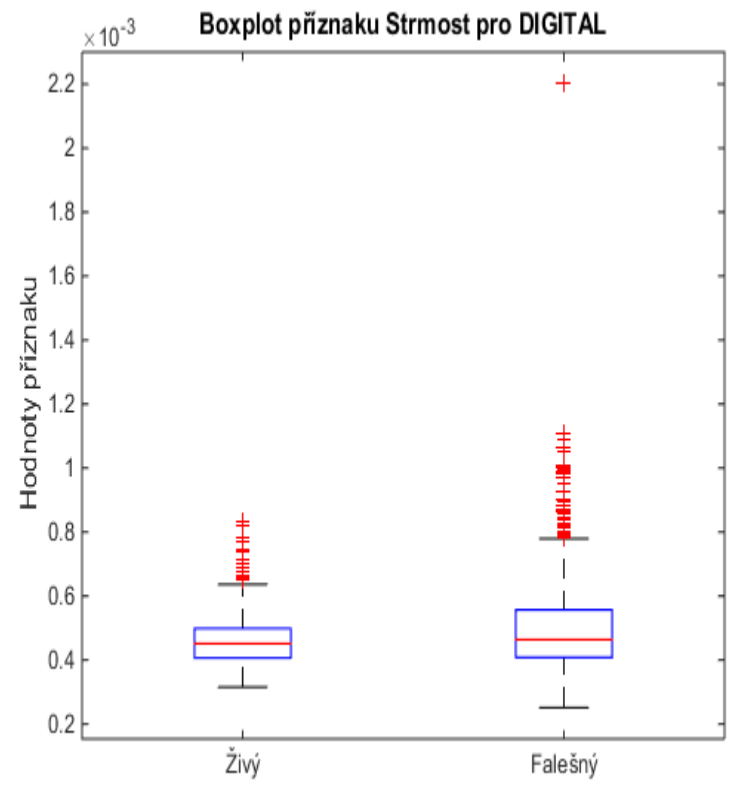
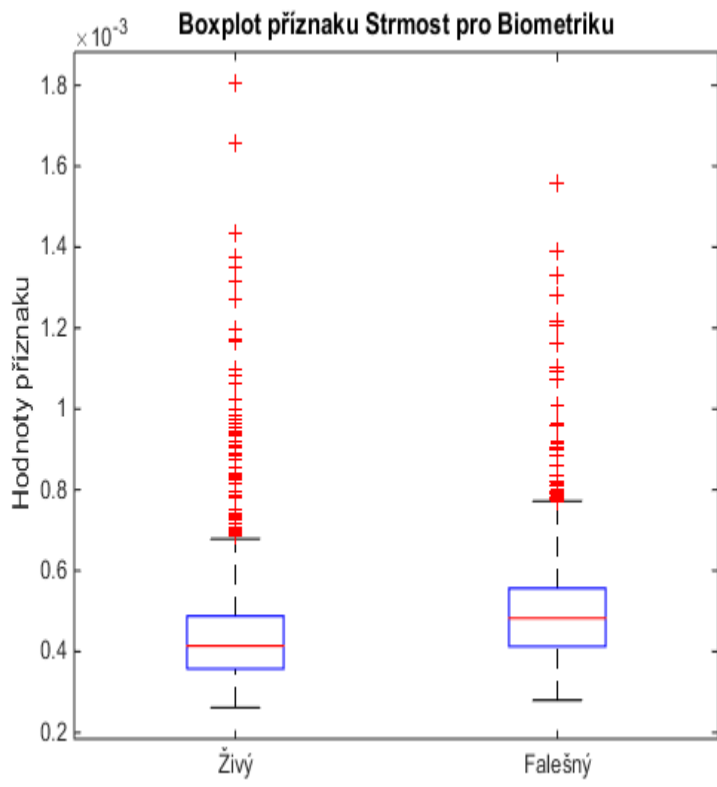
Obr. 29: Grafy rozložení dat příznaku Rozptyl



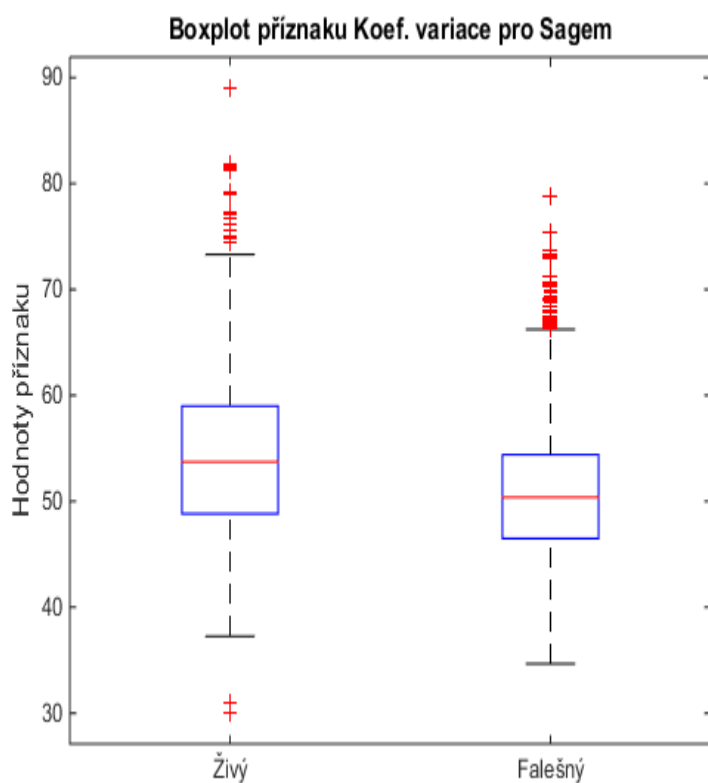
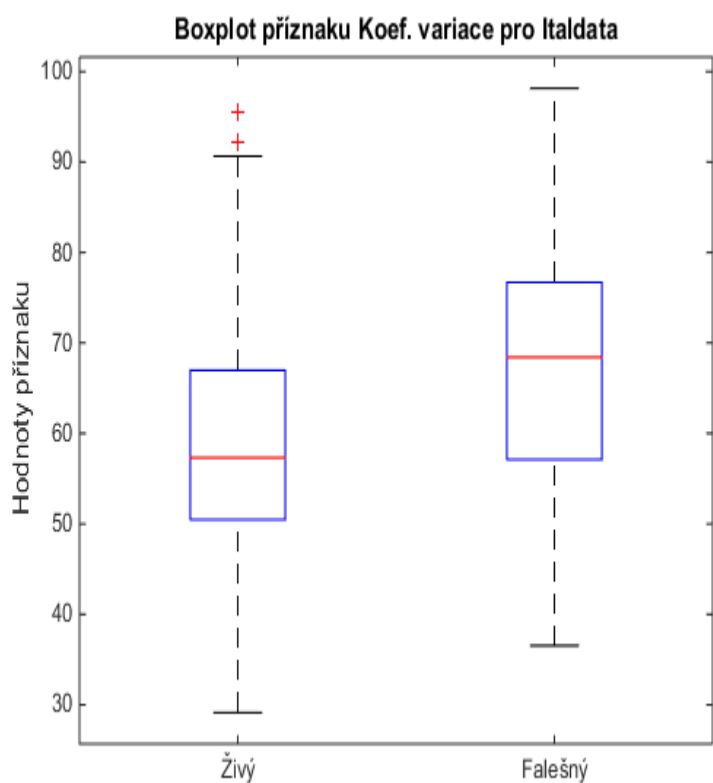
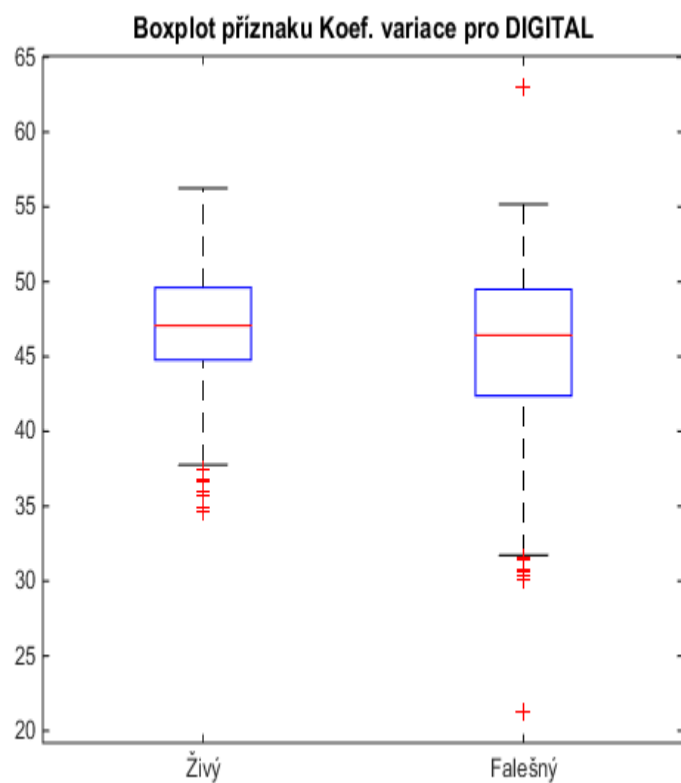
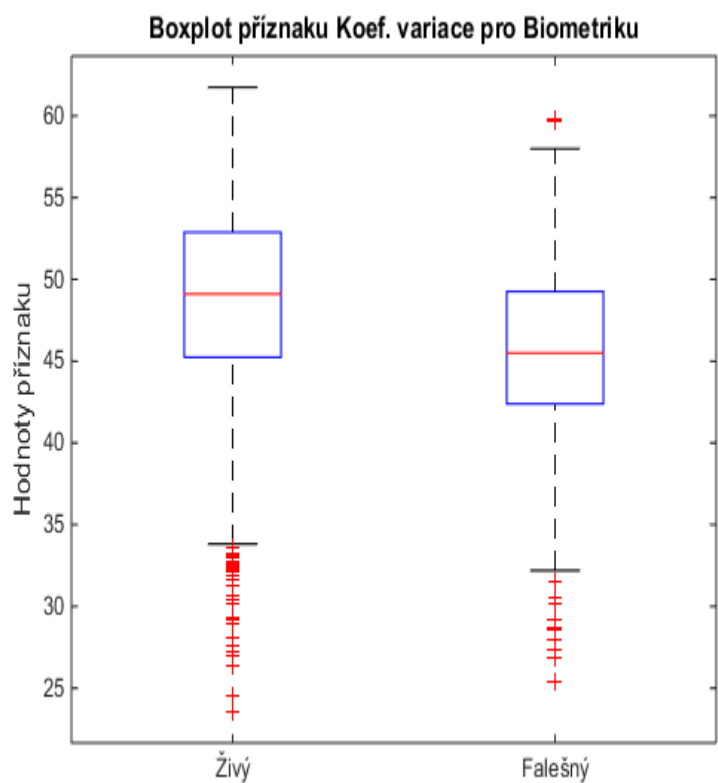
Obr. 30: Grafy rozložení dat příznaku Směrodatná odchylka



Obr. 31: Grafy rozložení dat příznaku Šikmost



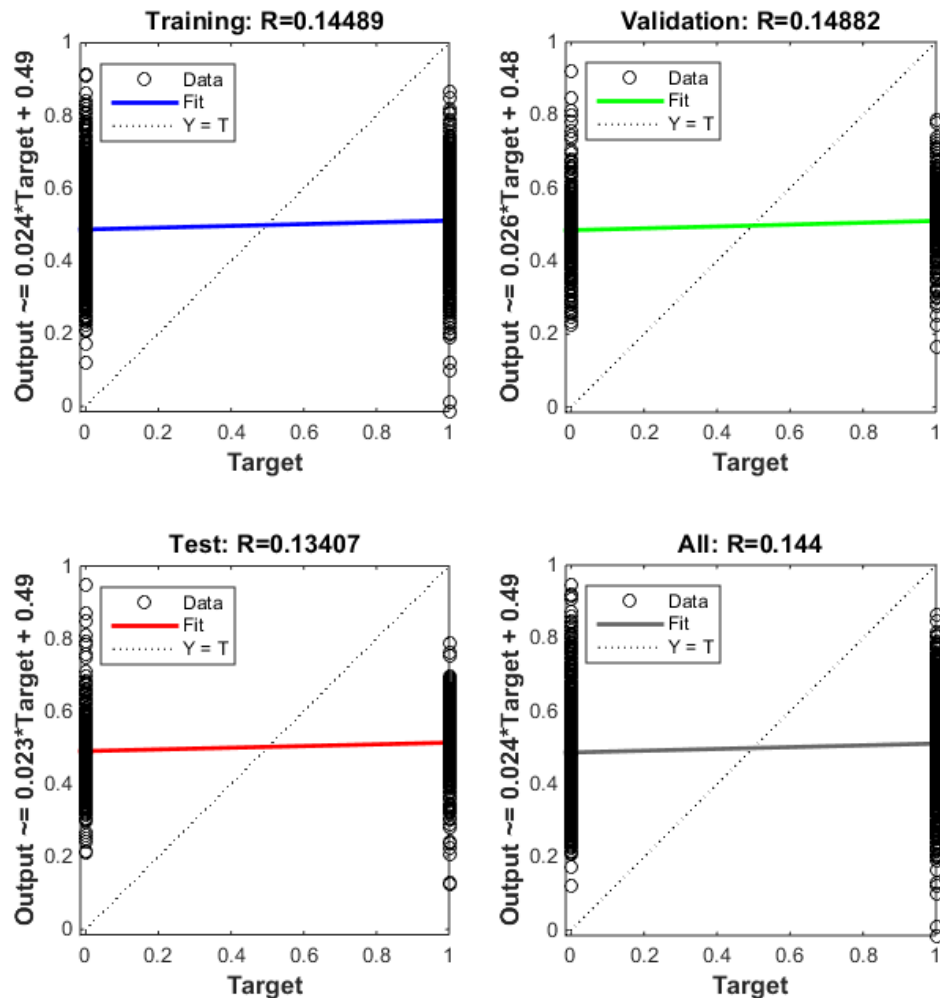
Obr. 32: Grafy rozložení dat příznaku Strmost



Obr. 33: Grafy rozložení dat příznaku koef. variace

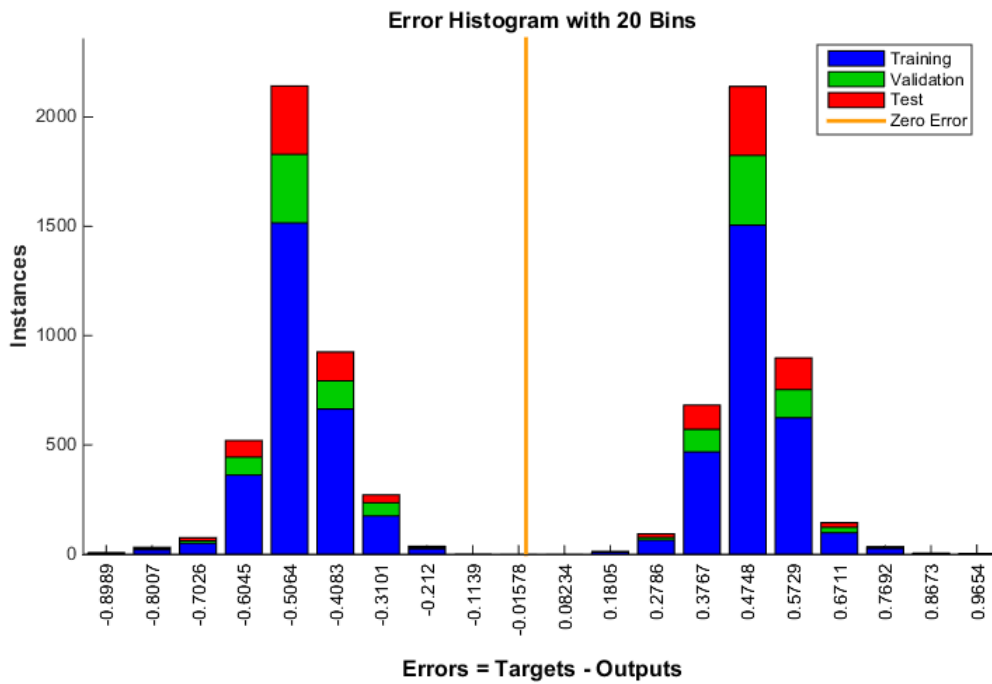
Z uvedených grafů je patrné, že se příznaky pravých a falešných otisků co do hodnoty částečně překrývají. Proto by ani jeden příznak nemohl určovat živost otisku samostatně a je nutné brát jejich vzájemné kombinace. Nejvíce se ovlivňuje příznak Kmean (kvadratický průměr), což je nejspíše dáno tím, že průměr vystupuje ve vícero rovnicích. Nejméně pak Směrodatná odchylka.

Regresní přímka rozděluje prostor dat na dvě skupiny. NN se snaží nafilovat neurony tak, aby regresní přímka co nejlépe rozčleňovala data podle target vectoru. Jak je vidět na průběhu učení (obr.34), regresní přímka nedosahuje na první pohled optimálního postavení. Nicméně z dostupných dat je patrné, že se data pravých i falešných otisků z velké části překrývají, což má za následek danou pozici regresní přímky. Proto je tak těžké určovat živost pouze z jednoho obrazu otisku prstu.



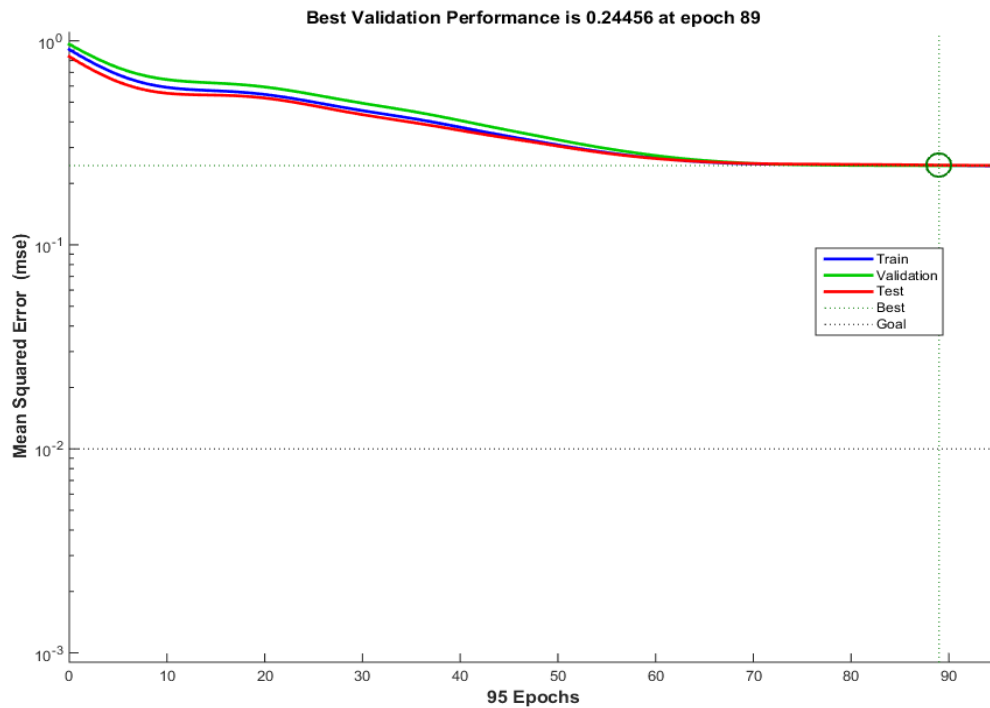
Obr. 34: Vykreslení regresních přímek na trénovacích, validačních a testovacích datech

Fungování neuronové sítě můžeme vidět na následujících grafech (35. a 36.). Histogram výpočtu chyby v průběhu učení ukazuje symetrické rozložení.



Obr. 35: Graf četností chyby při učení

Snižování mse (mean square error) značí dobrou učící schopnost k danému cíli.



Obr. 36: Úroveň performance učení

9 ZÁVĚR

Všechny úpravy a výpočty jsou prováděny v prostředí Matlab. V sekci předzpracování je popsán celý postup segmentace a normalizace, i s použitými příkazy. Program je funkční a dokáže otisky z databáze načíst a vysegmentovat z obrazů jen oblast s otiskem. Dále se na takto upravený obraz aplikují výpočetní algoritmy.

Co se týče automatického klasifikátoru, tak byla zvolena perceptronová síť, která po natrénování na trénovací množině klasifikuje hladce s úspěšností detekce 65,17 %. Spolehlivost detekce pak byla vyčíslena pomocí Senzitivity (S+), kterou doplňuje Prediktivita (P+):

Senzitivita (S+): 73%

Prediktivita (P+): 83%

Pro srovnání lze použít skoro každoročně pořádané soutěže společnosti LivDet, která také poskytuje databáze. Výsledky soutěže z roku 2012 na stejných datech jsou shrnuty v následující tabulce: [\[27\]](#)

Tab. 3: Soutěž společnosti LivDet z roku 2012

	LivDet 2011 — Fingerprint liveness detection competition 2011	Databáze	Úspěšnost detekce
1.	Dermalog	LivDet 2011	77,06%
2.	Federico	LivDet 2011	74,45%
3.	CASIA	LivDet 2011	72,79%

Z výsledků je patrné, že použitý algoritmus (65,17%) by se umístil až na posledním místě. Detektoru dělá trochu problém nehomogenita dat, což je způsobeno obrazy otisků z vícero detektorů a u falešných otisků ještě různý materiál výroby. Nicméně tak data nejlépe reflektují reálné podmínky.

Tyto problémy vyřešili autoři programu [\[28\]](#), využívající binarizované statistické operátory (BSIF), kteří dosáhli detekční úspěšnosti 92,78% (s 12ti bitový HW) a 86,19% (s klasickým 8mi bitovým HW).

Závěrem bych chtěl zmínit, že tato práce má pořád velký budoucí potenciál. Například by se mohlo pracovat na některých hi-tech algoritmech neuronových sítí používaných v komerční sféře.

Literatura

- [1] ANTONELLI, A., R. CAPPELLI, D. MAIO a D. MALTONI. Fake Finger Detection by Skin Distortion Analysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* [online]. 2006, **1**(3), 360-373 [cit. 2018-01-03]. DOI: 10.1109/TIFS.2006.879289. ISSN 1556-6013.
- [2] ABHYANKAR, Aditya a Stephanie SCHUCKERS. Fingerprint Liveness Detection Using Local Ridge Frequencies and Multiresolution Texture Analysis Techniques. In: *2006 International Conference on Image Processing* [online]. IEEE, 2006, 2006, s. 321-324 [cit. 2018-01-03]. DOI: 10.1109/ICIP.2006.313158. ISBN 1-4244-0480-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4106531/>
- [3] GALBALLY, J., F. ALONSO-FERNANDEZ, J. FIERREZ a J. ORTEGA-GARCIA. A high performance fingerprint liveness detection method based on quality related features. *Future Generation Computer Systems*. 2012, roč. 28, č. 1, s. 311-321 [cit. 2018-01-03].
- [4] BLAHO, Vojtěch. *Automatické zlepšování kvality obrazu otisku prstu*. 2010 [cit. 2018-01-03].
- [5] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. 1. vyd. [Brno: M. Drahanský], 2011, 294 s. [cit. 2018-01-03]. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [6] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008 [cit. 2018-01-03]. Profesionál. ISBN isbn978-80-247-2365-5.
- [7] J. Pješčák a kol. *Kriminalistika, Obzor*, Bratislava 1981 [cit. 2018-01-03]. ISBN 65-056-81
- [8] Polské policejní oddělení. Dostupné z: http://www.kujawskopomorska.policja.gov.pl/kb/dzialania_policji/kryminalistyka/aktualnosci/arciwmlb/2540,Prawidlowe-zabezpieczenie-materialu-dowodowego-i-porownawczego-do-badan-daktylos
- [9] DRAHANSKY, Martin. Přehled biometrických systémů a testování jejich spolehlivosti. Kongres bezpečnostních sítí. Praha. 2007. [cit. 2018-01-03] Dostupné z: http://data.security-portal.cz/clanky/113/odborne_prednasky/Prezentace.pdf.
- [10] DRAHANSKÝ, Martin a Eva BŘEZINOVÁ. Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů. Ministerstvo vnitra České republiky [online]. 2010 [cit. 2018-01-

- 03]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/webpm/clanek/dermatologicke-factory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>.
- [11] Radim Kolář, Lékařská diagnostická technika. Fakulta Elektrotechniky a Komunikačních Technologí VUT v Brně, 2004, 105 [cit. 2018-01-03].
- [12] GALBALLY, Javier, Sebastien MARCEL a Julian FIERREZ. Image Quality Assessment for Fake Biometric Detection: Application to Iris, Fingerprint, and Face Recognition. IEEE Transactions on Image Processing [online]. 2014, 23(2): 710-724 [cit.2018-01-03]. DOI: 10.1109/TIP.2013.2292332. ISSN 1057-7149.
- [13] MAMMANO, Augusto a Leonida ROSINO. The spectrum 1966-67 of the peculiar object MHalfa 328-116 (V 1016 CYG): note II. Firenze: Tipografia Raccini & Chiappi, 1968. Memorie della Societa astronomica Italiana, vol. 39, fasc. 3.
- [14] Břetislav Fajmon, Irena Hlavičková, Michal Novák. Matematika 3. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Druhé, aktualizované. 2017 [cit. 2018-05-20].
- [15] Databáze, LivDet 2011. Dostupné z: <http://livdet.org/>
- [16] WALEK, Petr, Martin LAMOŠ a Jan JIŘÍ. Analýza biomedicínských obrazů. Druhé, aktualizované. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav biomedicínského inženýrství, 2015 [cit. 2018-05-20]. ISBN 978-80-214-47929. Dostupné z: <http://www.dbme.feec.vutbr.cz/sites/default/files/news/fabo.pdf>
- [17] Tomica, S.I.: Umweltresistenz und histo-morphologisches Korrelat der Zwischenleisten, eine weitgehend unbekannte Struktur der menschlichen Leistenhaut, disertační práce, Klinik für Dermatologie und Allergologie, St. Josef-Hospital Bochum, Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum, Dortmund, 2003 [cit. 2018-05-20], s. 89. [online] Dostupné z: <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/TomicaSveaIsabel/diss.pdf>
- [18] Stücker M, Geil M, Kyeck S, Hoffman K, Röchling A, Memmel U, Altmeyer P. Interpapillary lines--the variable part of the human fingerprint. In: 2001 [cit. 2018-01-03] NCBI [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11451067>
- [19] KOVÁŘ, Martin. *Snímač otisku prstu*. 2015. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/38949/Martin_Kovar_DP.pdf?sequence=1
- [20] Mems Journal, Fingerprint Sensors for Mobile and Consumer Applications. In 2016 [cit. 2018-05-20]. NEW Report Sample v2.
- [21] Michal Mikláš, Periferie I. [online] Dostupné z: <http://www.gjszlin.cz/ivt/esf/ostatni-sin/periferie-1.php>

- [22] Jaromír Hubálek, Jana Drbohlavová, Jan Prášek, Petra Bušinová, Mária Bendová. Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. [cit. 2018-05-20].
- [23] Obrázek RF pole [online], dostupný z: <https://mobilenet.cz/clanky/techbox-heslo-si-nosime-na-spickach-svych-prstu--13089>
- [24] Martin Drahansky (2011). Liveness Detection in Biometrics, Advanced Biometric Technologies, Dr. Girija Chetty (Ed.), ISBN: 978-953-307-487-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- [25] Jiří Kozumplík, Ivo Provazník, Marina Ronzhina. Umělá inteligence v medicíně. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav biomedicínského inženýrství, 2007 [cit. 2018-05-20].
- [26] MARASCO, Emanuela a Carlo SANSONE. Combining perspiration- and morphologybased static features for fingerprint liveness detection. Pattern Recognition Letters [online]. 2012, 33(9): 1148-1156 [cit. 2018-01-03]. DOI: 10.1016/j.patrec.2012.01.009. ISSN 01678655.
- [27] YAMBAY, David, Luca GHIANI, Paolo DENTI, Gian Luca MARCIALIS, Fabio ROLI a S SCHUCKERS. LivDet 2011 — Fingerprint liveness detection competition 2011. In: *2012 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB)* [online]. IEEE, 2012, s. 208-215 [cit. 2018-05-20]. DOI: 10.1109/ICB.2012.6199810. ISBN 978-1-4673-0397-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6199810/>
- [28] GHIANI, Luca, Abdenour HADID, Gian Luca MARCIALIS a Fabio ROLI. Fingerprint Liveness Detection using Binarized Statistical Image Features. In: *2013 IEEE Sixth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS)* [online]. IEEE, 2013, s. 1-6 [cit. 2018-05-20]. DOI: 10.1109/BTAS.2013.6712708. ISBN 978-1-4799-0527-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6712708/>

Seznam symbolů, veličin a zkratek

E_c	A jiné
e	Energie
s	Entropie
M	Median
$\sigma^2; VAR$	Rozptyl
$\gamma_1; g_1$	Sklon
$\gamma_2; g_2$	Špičatost
cv	Koeficient variace
PSS_1	Poměr stupňů šedi (1)
PSS_2	Poměr stupňů šedi (2)
K_{mean}	Kvadratický průměr
$STD; \sigma$	Směrodatná odchylka
V_{STD}	Výběrová směrodatná odchylka
μ	průměr
N	počet stupňů šedi
I	zkoumaný obraz
I'	referenční obraz
$F_{i,j}$	obraz po furierově transformaci
$F'_{i,j}$	ref. obraz po furierově transformaci
M	řádky
N	sloupce
NN	Neural network (neuronová síť)
d_j	požadovaný výstup
y_j	aktuální výstup
w	váha neuronu
θ	práh neuronu
$BSIF$	Binarized Statistical Image Features

Seznam příloh

K této práci patří i CD s programovým kódem z prostředí Matlab.