

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Softvérová infraštruktúra systému pre
diagnostiku kožných lézií - ERIDOK**

Diplomová práca

2022

Bc. Samuel Gregorovič

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Softvérová infraštruktúra systému pre diagnostiku kožných lézií - ERIDOK

Diplomová práca

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	9.2.1. Informatika
Školiace pracovisko:	Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ:	Ing. Emília Pietriková PhD.
Konzultant:	RNDr. Dušan Chorvát, PhD. MUDr. Janette Baloghová, PhD. Ing. Milan Biroš, PhD. Ing. Martin Klein

Košice 2022

Bc. Samuel Gregorovič

Abstrakt v SJ

Hlavným cieľom práce bolo analyzovať, navrhnúť a implementovať časti softvérovej infraštruktúry, pre použitie v inovatívnom riešení systému pre diagnostiku kožných lézií - ERIDOK. Systém bude využívaný ako integrované laserové zariadenie s bezdrôtovou perifériou, určené pre prostredie dermatologických ambulancií. Obsah tejto práce priamo nadväzuje na projekt ERIDOK, vedený spoločnosťou MM Medical s.r.o. v spolupráci s výskumnými partnermi inštitúcií CVTI SR a UPJŠ. Práca obsahuje krátku analýzu problematiky, spracovanie detailných požiadaviek na systém a samotný návrh a implementáciu modulov infraštruktúry. Zároveň sú v práci obsiahnuté aj experimentálne výsledky, ktoré potvrdzujú funkčnosť a efektívnosť navrhnutého riešenia spolu s detailnou technickou dokumentáciou.

Kľúčové slová v SJ

Django, Python, Websockety, ERIDOK, Raspberry Pi, Uzavreté systémy, Dermatológia, Diagnostika, Melanóm, Kožné lézie, Laser, Strojové učenie, Softvérová infraštruktúra, AWS, CVTI SR, UPJŠ, API

Abstrakt v AJ

Primary goal of the thesis was to analyse, design and implement modules of software infrastructure to be used for innovative skin lesion diagnostic system - ERIDOK. System will be used as an integrated laser device, with wireless accessory, intended for dermatological facilities. Work in this thesis is directly related to project ERIDOK, directed by MM Medical s.r.o. in cooperation with research partners from CVTI SR and UPJŠ. Thesis contains brief analysis of the field, detailed system requirements and infrastructure module design with partial implementation. In addition, experimental results supporting the proposed implementation are included, along with detailed documentation.

Kľúčové slová v AJ

Django, Python, Websockets, ERIDOK, Raspberry Pi, Embedded, Dermatology, Diagnostics, Melanoma, Skin lesions, Laser, Machine Learning, Software infrastructure, AWS, CVTI SR, UPJŠ, API

Bibliografická citácia

GREGOROVÍČ, Samuel. *Softvérová infraštruktúra systému pre diagnostiku kožných lézií - ERIDOK*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2022. 97s. Vedúci práce: Ing. Emília Pietriková PhD.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE
DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **Informatika**
Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Softvérová infraštruktúra systému pre diagnostiku kožných lézií - ERIDOK

Software infrastructure of system for skin lesions diagnostics - ERIDOK

Študent: **Bc. Samuel Gregorovič**
Školiteľ: **Ing. Emília Pietriková, PhD.**
Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**
Konzultant práce: **MUDr. Janette Baloghová, PhD., RNDr. Dušan Chorvát, PhD., Ing. Milan Biroš, PhD., Ing. Martin Klein**
Pracovisko konzultanta: **MM MEDICAL, s.r.o.**

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Analyzovať problematiku diagnostických metód pri vyšetrovaní kožných lézií a oboznámiť sa s existujúcimi riešeniami, ktoré využívajú strojové učenie.
2. Spracovať doménové a systémové požiadavky na diagnostický systém v spolupráci s partnermi projektu.
3. Navrhnuť architektúru softvérovej infraštruktúry pre spracovanie, uchovávanie a vyhodnocovanie diagnostických údajov z dermatologických vyšetrení.
4. Implementovať softvér pre jednotlivé súčasti systému, vrátane fyzického prototypu diagnostického zariadenia.
5. Vyhodnotiť navrhnutý systém a na základe spätnej väzby od koncových používateľov definovať potenciálne zmeny a vylepšenia.
6. Prácu vrátane príručiek vypracovať podľa štandardov KPI.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: **slovenský**
Termín pre odovzdanie práce: **22.04.2022**
Dátum zadania diplomovej práce: **29.10.2021**



prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 13.5.2022

.....

Vlastnoručný podpis

Podakovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval svojmu vedúcemu práce za jeho čas a odborné vedenie počas riešenia mojej záverečnej práce. Rovnako by som sa chcel poďakovať všetkým konzultantom a celému výskumnému tímu projektu ERIDOK, za profesionálny a odborný prístup k vypracovaniu výskumnej a inovačnej časti projektu. Osobitne sa chcem poďakovať členom organizácií CVTI SR a UPJŠ, za spoluprácu pri riešení úloh a experimentálnom testovaní. Zároveň by som rád poďakoval konzultantovi Ing. Martinovi Kleinovi, za pomoc pri návrhu architektúry systému.

Obsah

Úvod	1
Formulácia úlohy	3
1 Analýza problematiky a existujúcich riešení	4
1.1 Diagnostika v dermatológii	4
1.1.1 Proces diagnostického vyšetrenia	4
1.1.2 Dermatoskopia	6
1.1.3 ABCDE/ABCD algoritmus	7
1.2 Využitie strojového učenia	9
1.2.1 Datasets kožných výrastkov	9
1.2.2 Dostupné komerčné riešenia	10
2 Spracovanie požiadaviek	12
2.1 Špecifikácia požiadaviek	12
2.1.1 Doménové požiadavky	12
2.1.2 Systémové požiadavky	16
2.2 Analýza požiadaviek	17
2.2.1 Bezdrôtová diagnostická hlavica	17
2.2.2 Riadiaca jednotka v tele lasera	22
2.2.3 Vzdialený API server	26
3 Návrh a implementácia riešenia	30
3.1 Výber technológií	30
3.1.1 Klientska časť	30
3.1.2 Serverová časť	32
3.2 Konceptia	34
3.2.1 Diagnostický proces	36
3.3 Bezdrôtová snímacia hlavica	38
3.3.1 HW riešenie	38

3.3.2	Proces zhotovovania fotografií	44
3.3.3	Interakcia používateľa	47
3.3.4	Integrácia modelu strojového učenia	47
3.3.5	Konfigurácia OS	49
3.3.6	Komunikačná zložka	50
3.4	Riadiaca jednotka lasera	50
3.4.1	HW riešenie	50
3.4.2	Autorizácia	54
3.4.3	Ovládanie lasera	55
3.4.4	Používateľské rozhranie	56
3.4.5	Párovanie snímacej hlavice	57
3.4.6	Komunikačná zložka	58
3.4.7	Systémové aktualizácie	58
3.5	Vzdialený API server	59
3.5.1	Koncepcia serverovej infraštruktúry	59
3.5.2	AWS infraštruktúra	61
3.5.3	Websocket komunikácia	61
3.5.4	Autorizácia a autentifikácia	62
3.5.5	Databáza	62
3.5.6	ERIDOK API	65
3.5.7	API pre IS PZS	67
3.5.8	Administrátorské rozhranie	68
3.5.9	Integrácia strojového učenia	69
3.6	DevOps nástroje	69
3.6.1	CLI deploy tool	69
3.6.2	Aktualizácie komponentov	69
3.6.3	Server Dashboard	71
3.6.4	Github actions	71
4	Testovanie	72
5	Nasadenie a údržba systému	74
5.1	Fyzické zariadenia	74
5.1.1	Nasadenie zariadení	74
5.1.2	Aktualizácia SW zariadení	76
5.2	Serverová infraštruktúra	77
5.2.1	Konfigurácia AWS infraštruktúry	78
5.2.2	Aktualizácia aplikačného servera	79

6	Vyhodnotenie	81
6.1	Zistenia z analýzy problematiky	81
6.2	Zistenia zo spracovaných požiadaviek	82
6.3	Vyhodnotenie návrhu riešenia	82
6.3.1	Zariadenie diagnostickej hlavice	82
6.3.2	Zariadenie riadiacej jednotky lasera	83
6.3.3	Serverová infraštruktúra	84
6.4	Komplikácie pri procese vývoja	84
6.5	Hodnotenie prínosov a implementácie riešenia	85
6.5.1	Prototyp snímacej hlavice	86
6.5.2	Diagnostické snímky	86
6.5.3	Ovládanie lasera	87
6.5.4	Párovanie snímacej hlavice	88
6.5.5	Autorizačný modul riadiacej jednotky lasera	89
6.5.6	Infraštruktúra servera	89
6.6	Spätná väzba	90
6.6.1	Lekárska komunita	91
6.6.2	Výskumný tím CVTI	91
6.6.3	Technický tím MM Medical	91
6.6.4	Vedenie spoločnosti MM Medical	92
6.7	Vylepšenia, plán ďalšieho vývoja	92
7	Záver	93
	Literatúra	96
	Zoznam skratiek	98
	Zoznam príloh	99

Zoznam obrázkov

1.1	Tradičný dermatoskop pri diagnostickom ošetrení [8]	7
1.2	Zariadenie digitálneho dermatoskopu [9]	8
1.3	Názorný príklad použitia ABCDE pravidla [6]	8
3.1	Diagram rozloženia a úloh modulov systému ERIDOK	35
3.2	Diagram HW periférií diagnostickej hlavice	39
3.3	3D model prototypu diagnostickej hlavice [12]	40
3.4	Prototyp osvetľovacej dosky (vľavo) a finálna verzia na prototyp snímacej hlavice (vpravo)	42
3.5	Diagram zobrazujúci návrh umiestnenia difúznej aparatury (vľavo) a experimentálny prototyp (vpravo) [13]	43
3.6	Ilustrácia generovaných pulzov generovaných kamerou a SW pri snímaní	46
3.7	Diagram procesu časovania zmeny osvetlenia počas snímania . . .	47
3.8	Príklad použitých obrazoviek snímacej hlavice	48
3.9	Diagram softvérovej infraštruktúry riadiacej jednotky lasera	51
3.10	Diagram HW periférií riadiacej jednotky lasera	51
3.11	Telo lasera vytvoreného technickým tímom MM Medical	52
3.12	Model dokovacej stanice a snímacej hlavice [12]	54
3.13	Príklad štruktúry správy pre nastavenia výkonu lasera na 50W . . .	56
3.14	Diagram architektúry API servera	60
3.15	Diagram príkladu použitia integrácie systému ERIDOK s IS PZS . .	68
6.1	Posledná iterácia funkčného prototypu snímacej hlavice	86
6.2	Príklad vytvorených diagnostických snímok	87

Zoznam tabuliek

6.1	Hodnoty z meraní procesu zhotovovania diagnostických snímkov .	87
6.2	Hodnoty z meraní procesu riadenia laserového zariadenia	88
6.3	Hodnoty z meraní procesov párovania snímačej hlavice	89
6.4	Porovnanie rýchlosti spracovania 200 sekvenčných požiadaviek . .	90
6.5	Porovnanie rýchlosti spracovania 1 požiadavky	90

Úvod

Prevenencia a včasná diagnostika patria medzi najefektívnejšie prístupy pri boji s väčšinou ochorení ľudskej populácie. Vďaka neutíchajúcemu pokroku v oblastiach automatizácie, strojového učenia a spracovania veľkých množstiev dát, je možné diagnostikovať závažné ochorenia v čoraz kratšom čase. Platí to aj pre oblasť dermatovenerológie, kde sa už niekoľko rokov používajú rôzne implementácie tejto metodiky. Rozvoj nových diagnostických riešení v tejto oblasti podporil aj fakt, že na odstránenie, resp. invazívne zákroky na kožných útvaroch sa používa laserové žiarenie. Nebezpečenstvo vzniká pri použití laserového lúča na oblasti už postihnutej niektorou z kožných chorôb. Takýto zásah môže spôsobiť patologické zmeny na koži formou excízie melanómu a častokrát aj zhoršenie zdravotného stavu [1]. Táto skutočnosť zvyšuje nároky na diagnostické metódy v tejto oblasti, a ukazuje potrebu efektívnejšej a presnejšej diagnostiky dermatovenerologických ochorení, kožných lézií či melanómov. Významnou mierou sa na zlepšení diagnostických procesov podieľala integrácia tzv. digitálnych dermatoskopov do procesov vyšetrení a diagnostiky. Tento nástroj umožnil lekárovi jednoduchšie, rýchlejšie a presnejšie identifikovať problém, za pomoci pokrokových optických a digitálnych technológií [2]. V posledných rokoch sa do nástrojov dermatovenerológov pridalo aj strojové učenie. Táto technológia rástla na efektivite a presnosti najmä vďaka čoraz väčšiemu množstvu dostupných dátových zdrojov obrazových záznamov vyšetrených kožných útvarov. Počas niekoľkých rokov sa na trhu objavilo viacero rôznych implementácií tejto technológie, ktoré dodnes úspešne asistujú na klinikách dermatovenerológie po celom svete. Väčšina týchto implementácií sa pri diagnostike zameriava na také vlastnosti kožných výrastkov, ktoré je možné pozorovať len vo viditeľnom svetelnom spektre. Častokrát sa na vyhodnocovanie používajú fotografie kože, ktoré nie sú dostatočne kvalitné. Tento postup dokáže úspešne odhaliť veľké množstvo chorôb a patologických nálezov, avšak nezohľadňuje zvyšok svetelného spektra, ktoré môžu obsahovať dôležité diagnostické informácie. Cieľom tejto práce je na základe vedeckého výskumu zo spolupráce s partnermi projektu Eliminácia rizika dopadov koherent-

ného žiarenia pri dermatologických zákrokoch (ERIDOK), vytvoriť efektívnejší a presnejší spôsob diagnostiky kožných lézií a vytvoriť pre toto riešenie softvérovú infraštruktúru. Hlavnou motiváciou pre tento cieľ je zamedziť neoprávneným a nebezpečným použitiam laserového lúča v prípadoch, kde je nález na kožnom výrastku patologický [1]. Na začiatku sme sa zamerali na analýzu aktuálne používaných diagnostických postupov a zhodnotili sme ich silné a slabé stránky. Následne bol predstavený plán na zlepšenie kvality týchto postupov, vytvorený v spolupráci s výskumným tímom projektu ERIDOK. Na základe spolupráce s partnermi projektu bola zostrojená špecifikácia požiadaviek, ktorú sme spracovali a analyzovali do podoby technických a doménových špecifikácií systému. Ústrednou časťou práce je návrh a integrácia upraveného diagnostického postupu do nového diagnostického prístroja a jeho prepojenia so vzdialeným API serverom. V tejto časti bol detailne popísaný návrh a implementácia hardvérového a softvérového riešenia plánovaného systému. Súčasťou práce je aj spôsob nasadenia systému do produkčného a vývojového prostredia spolu s postupmi, ktoré boli použité pre testovanie a experimentálne pozorovanie vzniknutých prototypov. V záverečnej časti práce sme zhrnuli navrhnuté časti systému a moduly, resp. prototypy ktoré sa podarilo implementovať. Nakoľko v čase písania tejto práce neexistoval finálny produkt vhodný pre produkčné prostredie, sú taktiež zhrnuté plány na ďalšie smerovanie projektu a prípadné vylepšenia existujúcich navrhnutých riešení.

Formulácia úlohy

Ústrednou úlohou tejto práce je vypracovať návrh softvérovej infraštruktúry pre aplikáciu odborných záverov z výskumnej časti projektu ERIDOK a následne ho implementovať. V rámci analytickej časti projektu je najskôr nutné spracovať existujúce riešenia a ich výsledky. V ďalšom kroku je potrebné spracovať výstupy z práce výskumného tímu ERIDOK. Spracovaním týchto doménových (netech-nických) požiadaviek získame konkrétne čiastkové ciele. Následne je potrebné navrhnuť postup integrácie týchto požiadaviek do softvérovej infraštruktúry. Jej konkrétnu implementáciu je potrebné dôsledne navrhnuť a zdokumentovať. Po zohľadnení všetkých druhov požiadaviek nasleduje iteratívny vývoj v úzkej spolupráci s výskumným tímom projektu ERIDOK a implementácia samotného systému. V rámci práce je cieľom vytvoriť prototyp diagnostického zariadenia, implementovať najdôležitejšie súčasti systému a pripraviť ho na ďalšie doplnenie funkcionalít. Napokon je potrebné vykonať vyhodnotenie návrhu a implementácie, s výstupom vo forme zistených prekážok a vylepšení do ďalšieho výskumu a vývoja. Finálnym výsledkom v rámci dlhodobého cieľa má byť softvérová infraštruktúra systému, ktorá umožní v spolupráci s laserovým zariadením a jeho príslušenstvom správne diagnostikovať kožné výrastky a zamedziť tak nebezpečnej excízií melanómu laserovým lúčom [1].

1 Analýza problematiky a existujúcich riešení

Takmer 80% dospelých postihlo aspoň jedno ochorenie kože, ktoré si vyžadovalo lekársku intervenciu či liečbu. Viac ako tretina z týchto ľudí bola zasiahnutá tromi alebo viacerými chorobami kože zároveň [3]. Väčšina týchto ochorení prináša najmä negatívny estetický efekt. Časť týchto diagnóz však prináša vážne zdravotné komplikácie. Tak ako pri ostatných medicínskych disciplínach, aj v dermatológii je veľmi dôležitá prevencia, ale najmä včasná diagnostika.

1.1 Diagnostika v dermatológii

V praxi sa najčastejšie stále používajú tradičné postupy, ktoré sa primárne opierajú o posudok skúseného lekára a výsledky laboratórnych testov. Tento proces je presný a spoľahlivý, avšak časovo je veľmi náročný. Zároveň môže spôsobovať väčšiu chybovosť a subjektivitu pri posudzovaní diagnóz. V spolupráci s čoraz vyspelejšími prostriedkami v technológiách, sa v diagnostickej praxi v mnohých odboroch využíva najmodernejšia technika. V zárodkoch sa v dermatológii jednalo najmä o lepšie zobrazovacie nástroje pre lekára a ich archivácia. Najdôležitejším nástrojom dermatológa sa stal dermatoskop [4]. Samotný proces určenia diagnózy bol však stále závislý od skúsenosti a pozornosti lekára. Dôležitým míľnikom pre dermatológiu bolo zavedenie použitia strojového učenia a klasifikačných algoritmov do diagnostického procesu. Vďaka tejto zmene môže ošetrojúci lekár potvrdiť alebo vyvrátiť svoje zistenia a hypotézy aj za pomoci iných prostriedkov.

1.1.1 Proces diagnostického vyšetrenia

Proces diagnostiky má štandardne nasledujúce kroky:

- Skúmanie zdravotnej histórie pacienta

Kožné lézie s patologickým potenciálom sa najčastejšie dokumentujú pri bežnej zdravotnej prehliadke, v rámci rutínnej prehliadky kože pacienta. Aj keď niektoré kožné výrastky spôsobujú vonkajšie prejavy ako je svrbenie, začervenanie či krvácanie, väčšina z melanómov je bezpríznaková [5]. Včasné dokumentovanie týchto nálezov je dôležité, nakoľko sa o pacientovu medicínsku históriu neskôr opiera dermatológ pri komplexnejšom vyšetrení. Ten je schopný na základe nálezu hľadať väzby s existujúcimi indikáciami pacienta.

- Fyzická kontrola kože odborným lekárom

Pri examinácii kože dermatológom sa po spracovaní metadát aplikuje pravidlo/algoritmus ABCDE [6], podľa ktorého je možné jednoducho a rýchlo určiť podozrivé kožné výrastky. V prípade pozitívneho nálezu sa odporúča bližšie skontrolovať okolité výrastky a vykonať kontrolu lymfatických uzlín pre zistenie prítomnosti zápalu lymfatických uzlín - lymfadenitídy [5]. V prípade dostupnosti použije lekár pri tomto vyšetrení dermatoskop.

- Dokumentácia pozorovaní

Ďalším krokom je dôkladná dokumentácia nálezu vo forme fotografií a zápisu informácií o zachytených kožných léziách. Odporúča sa zhotovovať konzistentné a farebne neutrálne fotografie, ktoré zachytávajú kožnú léziu a jej blízke okolie. Tieto fotografie budú pri opakovanom pozorovaní porovnávané pre sledovanie patologických zmien na dotknutej kožnej lézii.

- Vykonanie biopsie

Pri podozrivých kožných výrastkoch sa odporúča vykonanie biopsie, ktorú je možné uskutočniť excíziou alebo čiastočným odobraním vzorky z kožnej lézie. Odobraná vzorka je zaslaná na patologické oddelenie, ktoré vráti do dermatologickej ambulancie komplexné výsledky histologického vyšetrenia [5]. Tie obsahujú rôzne ukazovatele, ktoré presnejšie špecifikujú zloženie a charakteristiky pozorovaného výrastku.

- Vyhodnotenie výsledkov

Na základe zistení z histologického vyšetrenia a zdravotného stavu, resp. indikácií pacienta je lekár schopný vyhodnotiť stav kožnej lézie a prognózu jej vývoja. V tejto časti sa môže lekár opierať aj o výsledky z prípadnej analýzy systémom strojového učenia. Po zhodnotení stavu kožnej lézie sa v prípade potreby naplánuje ďalšia liečba, resp. chirurgické odstránenie výrastku. Toto odstránenie sa najčastejšie realizuje použitím Co2 lasera [7].

1.1.2 Dermatoskopia

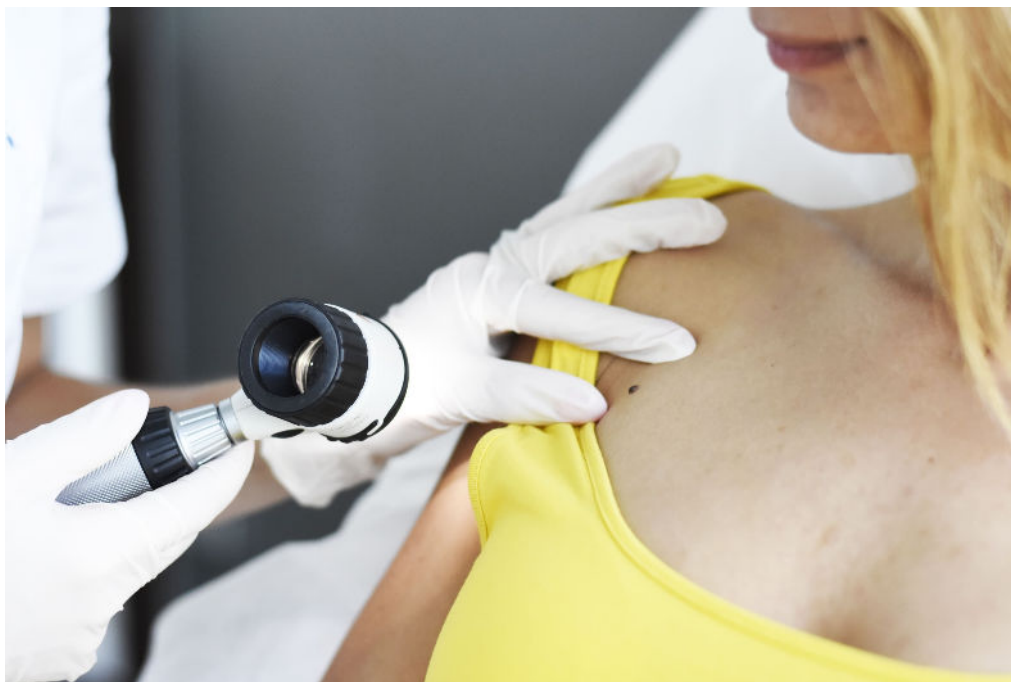
Dermatoskopia je neinvazívna diagnostická metóda, ktorá slúži najmä na vyšet- rovanie pigmentových kožných prejavov. Jednou z jej hlavných zameraní je od- líšenie malígnych a benígnych pigmentových lézií [2]. Jedným z najdôležitejších nástrojov pre diagnostiku kožných výrastkov alebo patologických zmien na koži sa stal dermatoskop. Tento prvotne čisto analógový nástroj umožňuje pozorova- nie takých štruktúr, tvarov a iných znakov kože, ktoré nie je možné spoľahlivo pozorovať a posúdiť voľným okom. Najčastejšie sa dermatoskopy používajú pri podozrení na melanóm alebo iné druhy rakoviny kože, ktoré sprevádzajú patolo- gické zmeny v pigmentácii[4]. Tieto nástroje sú relatívne finančne náročné, a teda ich nie je jednoduché aplikovať globálne. Navyše, aj napriek zlepšeniu efektivity a kvality diagnostiky (často len zväčšeniu pozorovanej plochy), nie sú niektoré znaky pre odborného lekára jednoducho rozoznatelné. V súčasnosti sa napriek tomu jedná o najrozšírenejší diagnostický prístroj v oblasti dermatológie.

Tradičné dermatoskopy

Hlavným prínosom tohto prístroja je výrazné zlepšenia kvality diagnostiky, čo je docielené optickým zväčšením pozorovaného objektu a jeho nasvietením (Obr. 1.1). Tradičný dermatoskop pozostáva z achromatickej šošovky, ktorá poskytuje 10- až 20-násobné zväčšenie, z halogénovej lampy, ktorej svetlo dopadá na povrch sledovaného objektu pod uhlom 20 stupňov a zo sklenenej platničky [2]. Rôzne implementácie dermatoskopov ponúkajú lepšie nasvietenie a optické vylepšenia pre detailnejšie zobrazenie pozorovaných kožných štruktúr.

Digitálne dermatoskopy

V spolupráci s lekármi klinickej praxe bol vytvorený aj ďalší nástroj, tzv. digitálny dermatoskop (Obr. 1.2). Pracuje na princípe videomikroskopie kože. Digitálny variant umožňuje meniť zväčšovaciu schopnosť prístroja v priebehu vyšetrova- nia podľa vlastnej potreby. Menšie zväčšenie poskytuje prehľad o celej vyšetro- vanej lézii s možnosťou uchovávanía obrazovej informácie, naopak, väčšie zväč- šenie poskytuje detailnejšie obrazové informácie o malých prejavoch, prípadne konkrétnych častiach väčších prejavov[2]. Okrem kvalitnejšieho obrazu umož- ňujú dodatočnú diagnostiku a analýzu kožnej oblasti bez nutnosti prítomnosti pacienta. Vďaka digitalizácii pozorovaných oblastí a ich následnej archivácii v ambulantnom IS, je taktiež možné jednoducho pozorovať a hodnotiť zmeny kož- ného nálezu v čase. Lekár má k dispozícii objektívne výsledky počítačovej ana-



Obr. 1.1: Tradičný dermatoskop pri diagnostickom ošetrení [8]

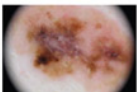
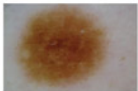
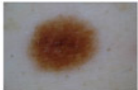
lýzy všetkých dermatoskopických nálezov. Máme možnosť neinvazívne sledovať zmeny štruktúry, farby, veľkosti a iných charakteristík vyšetrovaných prejavov. Pri opakovaných vyšetreniach je možné sledovanie dynamiky zmien pigmentových prejavov [2]. Digitálne dermatoskopy sú však po finančnej stránke výrazne náročnejšie.

1.1.3 ABCDE/ABCD algoritmus

Na posúdenie závažnosti melanocytových zmien sa osvedčuje dermatoskopické ABCD pravidlo so sledovaním štyroch základných znakov Asymetria, Border (ohraničenie), Colour (farba) a Diferenciálna štruktúra 1.3. Od dermatoskopického je nutné odlíšiť klinické ABCDE pravidlo, kde D znamená priemer lézie a E jeho zmeny v čase[2]. Vyhodnotenie znakov v súlade s pravidlom ABCD je presne zadefinované, a pri posudzovaní jednotlivých znakov sa pridelujú body, ktorými je možné získať tzv. dermatoskopickú bodovú hodnotu (DBH). Výsledná hodnota odzrkadľuje stav sledovanej kožnej lézie, a používa sa na určovanie diagnózy. V spojení s DBH sa používajú aj rôzne iné stratégie a algoritmy. Napriek tomu takto nie je možné identifikovať všetky malígne melanómy [2].



Obr. 1.2: Zariadenie digitálneho dermatoskopu [9]

	Benign		Malignant	
Symmetrical		A Asymmetry		Assymetrical (the two sides do no match)
Borders are even		B Border		Borders are uneven
One color		C Color		Two or more colors
Smaller than 6 mm (1/4 inch)		D Diameter		Larger than 6 mm (1/4 inch)
Ordinary mole		E Evolution		Changing in size, shape, color, or another trait

Obr. 1.3: Názorný príklad použitia ABCDE pravidla [6]

1.2 Využitie strojového učenia

Napriek odbornosti dermatológov a všeobecných lekárov, ktorý pri vyhodnocovaní znamienok používajú rôzne typy algoritmov, sa ich úspešnosť detekcie melanómu pohybuje pod úrovňou 80% [10]. V dermatologickej praxi je pri integrácii systémov strojového učenia hlavným cieľom zhodnotenie korelácie dermatoskopického vyšetrenia s klinickým vyšetrením a s výsledkom histopatologického vyšetrenia so zameraním na redukciu chybovosti v diagnostike malígneho melanómu [11]. Implementácie týchto systémov sa delia na 2 typy:

- automatizovaná obrazová analýza vyhotovených snímok na základe špecifikovaného algoritmu, resp. znakov ktoré majú byť rozhodujúce,
- použitie strojového učenia vo forme hlbokjej konvolučnej neurónovej siete (CNN) bez dodania hľadaných charakteristík [10].

Pre potvrdenie aplikovateľnosti týchto riešení, bol v roku 2018 vykonaný rozsiahly experiment. V ňom sa pri klasifikácii fotografií znamienok porovnala presnosť vyhodnotenia 58 dermatológov z rôznych krajín sveta a modelu strojového učenia. Pri tomto teste sa použilo 300 rôznych obrazových vzoriek melanómov a benígnych znamienok, kde 80% z nich bolo neškodného charakteru. Výsledky tejto práce ukázali, že na vybranej vzorke mal lepšiu výkonnosť práve automatizovaný proces diagnostiky. Toto porovnanie s reálnou skupinou odborných lekárov ukazuje, že použitie automatizovaného vyhodnocovania obrazových informácií pri diagnostike kožných výrastkov môže priniesť presnejšiu klasifikáciu ich stavu a charakteristík [10].

1.2.1 Datasets kožných výrastkov

V dermatologickej praxi je pre sledovanie vývoja kožnej lézie potrebné zachytávať jeho vzhľad a vlastnosti v čase. Okrem rôznych metadát sa uchováajú digitálne fotografie. V rámci projektu ERIDOK pracoval na sústreďenie dostupných zdrojov tím UPJŠ. "Na základe publikovaných dát bola v centre záujmu identifikácia kľúča k určovaniu kožných lézií vhodných a nevhodných na laseroterapiu, sumarizovanie zhromaždených dát, ich archivácia, analýza, ako aj definícia bezpečnosti dát a možnosť ich porovnávaní v čase"[11]. Vo vytvorenej správe sa nachádza zoznam verejne dostupných zdrojov týchto obrazových informácií, ktoré je možné využiť pri tréňovaní systémov umelej inteligencie. "Výsledkom čiastkovej úlohy je zoznam literatúry a odvolávky na zdroje, súbory prednášok z kon-

gresov, foto-dokumentácia z článkov, z atlasov a internetových zdrojov. Zozbierané informácie boli predkladané tímu CVTI SR a opakovane prediskutovávané formou online stretnutí s cieľom čo najlepšieho pochopenia diferenciálnych znakov a parametrov dermatoskopického vyšetrenia s prihliadnutím na makroskopicky farebne odlišné kožné zmeny a na charakter ochorenia vhodný prípadne nevhodný na laseroterapiu (benígne a malígne kožné lézie)"[11].

1.2.2 Dostupné komerčné riešenia

Aktuálne sa na trhu nachádza množstvo systémov či aplikácií, ktoré majú slúžiť na klasifikáciu kožných lézií. Väčšina z nich sa zameriava na znamienka, kde je cieľom získať informáciu o tom, či je znamienko benígne alebo sa jedná o melanóm.

Mobilné aplikácie

Najčastejšou formou distribúcie týchto systémov je mobilná aplikácia. Výhodou týchto riešení je dostupnosť, použiteľnosť a mobilná stránka tohto nástroja. Fotografie je možné urobiť kdekoľvek a kedykoľvek, s použitím fotoaparátu mobilného zariadenia. Okrem vyhodnotenia obrázkov sa v týchto aplikáciách taktiež na klasifikáciu často používajú odpovede na jednoduchý dotazník, ktorý využíva pravidlo ABCDE a iné známe ukazovatele. Pri klasifikácii fotografií pokladáme za najväčšiu nevýhodu týchto aplikácií fakt, že jednotlivé mobilné zariadenia obsahujú širokú škálu fotografických senzorov a optických komponentov, ktorých kvalita a vlastnosti sa môžu výrazne líšiť. Táto skutočnosť môže výrazne ovplyvniť kvalitu klasifikácie, a môže znemožniť použitie fotografií vytvorených používateľmi pre dodatočné tréningovanie systému. Použitie týchto aplikácií je taktiež často jednorázové, keďže ich nie je možné jednoducho integrovať s ďalšími nástrojmi lekára.

Diagnostické PC aplikácie

Na trhu sa taktiež objavujú systémy vo forme samostatných desktopových aplikácií, ktoré ponúkajú možnosti vyhodnocovania znamienok. Výhodou týchto aplikácií je možnosť použitia rozšíreného používateľského rozhrania, pomocou ktorého má lekár lepší prehľad o výsledkoch klasifikácie ale aj prístup k zväčšeným obrázkom sledovaného znamienka. Nevýhodou je však nutnosť použitia vlastnej externej kamery, ktorú je potrebné k počítaču zakúpiť. Opäť sa tu teda vyskytuje problém s rôznorodým HW vybavením periférie použitej na vytvore-

nie snímkov. Tieto aplikácie častokrát poskytujú možnosť importovania obrázkov z iného zdroja, čo je však v ambulantnom prostredí nepraktické. Navyše je väčšinou nemožné tieto aplikácie jednoducho integrovať do širšieho IS ambulancie či dermatologickej kliniky.

Integrácie do digitálnych dermatoskopov

Najrozšírenejšie systémy využívajúce strojové učenie, z pohľadu dermatologických ambulancií sú práve implementácie využívajúce integráciu s digitálnym dermatoskopom. Lekár tak môže pri použití dermatoskopu pri vyšetrení zároveň využiť výsledky z integrovaného modelu strojového učenia. Proces tradičnej diagnostiky tak nieje obmedzený a je obohatený o výsledky získané použitím umelej inteligencie. Tieto systémy je však väčšinou taktiež náročné integrovať do IS ambulancie, najmä z hľadiska automatizácie a modulárnej infraštruktúry.

Integrácie s laserovými zariadeniami

Pri analýze procesu dermatologického ošetrovania sme zistili, že najčastejším prostriedkom pri odstraňovaní kožnej lézie je laserové zariadenie. Okrem odstraňovania znamienok sa používa aj na iné estetické zákroky ako je napr. odstránenie bradavíc, ošetrovanie keratóz a fibrómov, resurfacing, omladzovanie pleti alebo redukovanie vrások. Tento prístroj je tak prítomný vo väčšine moderných dermatologických ambulancií [7]. Napriek tomu podľa nášho prieskumu trhu neexistuje zariadenie, ktoré by integrovalo analýzu kožných výrastkov práve so zariadením lasera. Spojením lasera a integrovaného systému strojového učenia, by bolo možné v ambulancii používať komplexné moderné zariadenie, bez potreby väčšieho priestoru ambulancie. Po diagnostickom ošetrovaní je tak možné ihneď vykonávať chirurgický zákrok, bez potreby presunu vybavenia ambulancie či pacienta. Týmto spôsobom by sa zvýšil komfort pacienta ale aj efektivita lekárskeho personálu.

2 Spracovanie požiadaviek

V rámci projektu ERIDOK spolupracujú 3 oddelené tímy. Prvým z nich je tím v spoločnosti MM Medical. Hlavnou úlohou tohto tímu je návrh a skonštruovanie fyzických prototypov a samotného finálneho produktu. Tento tím pracuje na SW a HW pre produkt a taktiež pripravuje jeho dizajn. Zároveň je ich úlohou spájať doménové a technické požiadavky na produkt. Tieto ciele a svoje riešenia pravidelne diskutujú s členmi ostatných tímov. Druhým tímom je skupina vedeckých pracovníkov z organizácie Centrum vedecko-technických informácií SR (CVTI SR). Tento tím sa primárne zameriava na vytvorenie optimálneho procesu diagnostiky, z pohľadu identifikovania znakov kožných lézií. Rovnako spolupracujú na výskume možností v oblasti optiky a svetelnej techniky pre HW riešenie prototypov a finálneho produktu. Poslednou vývojovou zložkou projektu je tím lekárov z organizácie Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach (UPJŠ). Tento tím je zložený z lekárov a výskumných pracovníkov v oblasti dermatovenerológie. Ich úlohou je poskytovať zvyšným tímom odborný pohľad z ambulantného a klinického prostredia, čím pomáhajú zlepšovať efektivitu finálneho produktu. Zároveň spolupracujú na získavaní znakov pri diagnostike znamienok a na úprave tohto procesu [1]. Požiadavky na tento systém teda prichádzajú zo všetkých tímov, a je potrebné ich detailne spracovať.

2.1 Špecifikácia požiadaviek

2.1.1 Doménové požiadavky

V našom prípade zaradzujeme medzi doménové požiadavky tie, ktoré vyplývajú z pozície firmy a jej predstaviteľov a komerčnej stránky projektu. Rovnako sem patria požiadavky z prostredia ambulantnej zdravotnej starostlivosti v oblasti dermatovenerológie. Taktiež do tejto skupiny zaradzujeme výstupy z výskumu o patologických znakoch kožných výrastkov a ich diagnostike. Tieto požiadavky sú prioritizované, nakoľko majú priamy vplyv na výsledky projektu a efektivitu

výsledného produktu. Požiadavky ktoré označujeme ako používateľské, boli získané formou dotazníkov ale aj v rámci diskusií na osobných stretnutiach. Z práce jednotlivých tímov a odpovedí koncových používateľov vyplynuli nasledujúce požiadavky:

Rýchlosť spracovania a vyhodnotenia

Vzniknuté riešenie má slúžiť ako nástroj pri diagnostickej činnosti lekárov v ambulanciách. Pre efektivitu ich práce je nutné zabezpečiť nie len presnosť týchto výsledkov ale aj rýchlosť ich doručenia. Táto požiadavka priamo poukazuje na zníženie času diagnostiky pri bežnom vyšetrení pacienta. Odozva od samotného diagnostického úkonu po získanie výsledkov by nemala presiahnuť 1 sekundu. Pri spracovaní tejto požiadavky sme dospeli k záveru, že vyhodnocovanie patologických znakov kožného výrastku je nutné realizovať priamo na HW zariadenia. Táto požiadavka bude mať značný dopad na výber HW komponentov, nakoľko vyhodnocovanie strojovým učením si vyžaduje značnú výpočtovú efektivitu a je náročné na systémové zdroje.

Vysoká kvalita snímok pre vyhodnocovanie

Z analýzy existujúcich prístupov sme zistili, že jedným z dôvodov nepresností týchto vyhodnocovacích systémov je použitie množstevných ale nie príliš kvalitných datasetov obrazových dát kožných lézií. [11]. Pri výbere optických a elektronických komponentov pre toto zariadenie, teda treba brať do úvahy potrebu získavať kvalitné obrazové dáta. Táto požiadavka sa prejaví na celkovej cene finálneho zariadenia, pričom by však mala drasticky zvýšiť kvalitu jeho výstupov. Nakoľko bude systém integrovať aj existujúce datasety, ich obsah bude pred použitím filtrovaný, a budú sa používať len obrazové dáta s postačujúcou kvalitou. Je potrebné si uvedomiť že vytvorenie kvalitných fotografií je časovo náročnejšie, a preto bude nutné vzhliadať aj na ostatné požiadavky.

Zbieranie metadát o pacientoch

Ďalším obohacujúcim faktorom pre výsledky tohto systému sú metadáta o diagnostikovaných pacientoch. Tieto na prvý pohľad jednoduché dáta ako sú vek, pohlavie, zdravotná história a pod. môžu mať v kontexte vyhodnocovania kožných lézií veľký dopad. Zbieranie týchto metadát je preto potrebné zapracovať do procesu vyšetrenia, aby boli pri diagnostike zahrnuté vo vyhodnocovacom algoritme strojového učenia. Obsah tohto formulára bude definovaný tímom UPJŠ, a bude

obsahovať otázky s preddefinovanou sadou odpovedí.

Kompaktný bezdrôtový prístroj

Kožné výrastky určené na diagnostiku sa môžu nachádzať kdekoľvek na ľudskom tele. Častokrát sú aj v úzkych priestoroch, kde sa väčšie zariadenie nedostane. Z tohto dôvodu, pre maximalizáciu počtu pacientov na ktorých je možné túto diagnostickú metódu aplikovať, je nutné minimalizovať rozmery zariadenia. Zariadenie je určené ako nástroj pre lekárov, ktorý budú používať v priestoroch ambulancie každodenne. Preto je nutné minimalizovať aj hmotnosť tohto zariadenia. Z podobnej myšlienky vznikla aj požiadavka, aby bolo finálne zariadenie bezdrôtové. Káblové zariadenie je náročnejšie na používanie, najmä v krehkom ambulantnom prostredí. Zariadenie s pevným káblom je taktiež limitujúce s pohľadu voľného pohybu okolo lôžka diagnostikovaného pacienta [12]. V prípade bezdrôtového riešenia sa týmto spôsobom zvýši komfort vyšetrovaného pacienta, ale aj ošetrojúceho lekára. Implementácia tejto požiadavky je jedna z najkomplikovanejších, nakoľko prináša množstvo technických prekážok ako je komunikačná rýchlosť, napájanie, bezpečnosť a podobne.

Jednoduché používateľské rozhranie

Táto požiadavka opäť prisľubuje zvýšenie efektivity diagnostiky a komfortu všetkých zúčastnených na tomto procese. Pre používateľov je dôležité jednoduché a intuitívne používateľské rozhranie, ktoré ich prevedie procesom ošetrenia, pričom ich nebude nijako obmedzovať alebo rušiť. Zároveň je však potrebné poskytnúť ošetrojúcemu lekárovi výsledky a dáta z diagnostiky v prehľadnom zobrazení.

Vytvorenie snímkov s rôznym nasvietením

V analýze existujúcich riešení sa ukázalo, že väčšina systémov vyhodnocuje patologické znaky kožných lézií len na základe RGB fotografií. Výskumný tím CVTI SR v spolupráci s tímom UPJŠ dospel k záveru, že zameranie sa na konkrétne vlnové dĺžky pri diagnostike môže mať veľký dopad na úspešnosť vyhodnotenia výsledkov. Táto hypotéza sa opiera o fakt, že rôzne látky, ktoré sú prítomné v koži a sú dôležité pre jej diagnostiku, sa zobrazujú na fotografiách jasnejšie pri určitých vlnových dĺžkach. Preto je potrebné umožniť snímanie s viacerými druhmi nasvietenia kože. Táto požiadavka bude na implementáciu opäť náročná, nakoľko je v priamom rozpore s požiadavkou 1. o rýchlosti spracovania, a požiadavkou č.2,

ktorá si vyžaduje kvalitné fotografie. Pred implementáciou je preto veľmi dôležité na základe testovania a diskusie dospieť ku kompromisu medzi týmito tromi požiadavkami.

Komponenty vhodné na použitie v ambulancii

Vzhľadom na to, že zariadenie má byť používané ako súčasť vybavenia dermatovenerologickej kliniky, je potrebné brať ohľad na výber konštrukčných komponentov zariadenia. Je teda dôležité vybrať bezpečné elektronické komponenty, batérie, žiarenia ale aj zdravotne nezávadné obalové materiály [12]. Taktiež je nutné hľadiť na procesy dezinfekcie v rámci ambulancie, a zaručiť, že vytvorené zariadenie bude možné jednoducho dezinfikovať.

Ovládanie lasera a zbieranie jeho servisných údajov

Vzniknuté zariadenie má okrem bežnej diagnostiky kožných nálezov slúžiť aj na elimináciu rizika pri používaní laserov na patologických kožných výrastkoch. Aby sa predišlo takémuto neoprávnenému použitiu, bude blokováné použitie lasera až po negatívny výsledok diagnostiky. Tento proces by mal byť zabezpečený cez blokovanie ovládacieho pedálu lasera. Keďže sa hlavná ovládacia jednotka diagnostického systému bude nachádzať priamo na konštrukcii lasera, vieme využiť tento systém aj na ďalšie funkcionality. Cieľom je zamerať sa na možnosť ovládať konfiguráciu lasera priamo cez rozhranie diagnostického systému. Vzniknúť by tak mal jednotný systém pre diagnostiku ale aj ovládanie konfigurácie lasera. V takom prípade bude možné zároveň zbierať údaje o stave lasera a jeho servisných detailov. Tento systém by tak zároveň slúžil aj na zbieranie týchto informácií o laseri, prípadne na jeho servis a údržbu. Celý proces ošetrenia laserom sa tak stane bezpečnejším [1].

Využitie strojového učenia

Automatizácia diagnostického procesu pri kožných léziách je bežnou súčasťou systémov v tejto oblasti. Po získaní kvalitných obrazových dát a metadát o pacientovi sa tieto informácie odošlú na vyhodnotenie to predtrénovaného modelu strojového učenia. Ten na základe vstupných parametrov vyhodnotí predpokladaný stav skúmaného objektu. Je nutné zabezpečiť možnosť meniť tento model a pravidelne ho pretrénovať na získaných dátach za pomoci a dozoru odborníka z oblasti dermatovenerológie.

2.1.2 Systémové požiadavky

Druhá časť požiadaviek zahŕňa požiadavky od vývojárov a technického tímu MM Medical. Nachádzajú sa v nich dodatočné limitácie a požiadavky na systém, ktoré nezadali koncový používatelia systému. Rovnako sú tu zahrnuté požiadavky pre dodržanie konvencií pri vývoji softvéru.

Anonymizácia získaných dát

Po spracovaní údajov z diagnostiky novým systémom sa budú všetky získané dáta aj archivovať. Táto potreba je opodstatnená pravidelnou aktualizáciou modelu neurónovej siete ale aj pre účely ďalšieho použitia získaných dát, napr. poskytnutie dát pre IS ambulancie. Nakoľko sa jedná o citlivé údaje, je potrebné ich anonymizovať. V rámci systému preto nebudú ukladané dáta o klientovi, ktorý bol ošetrovaný. Archivované budú iba dáta získané z tohto ošetrovania, pričom bude tomuto ošetrovaniu pridelený unikátny identifikátor. Ten je neskôr možné použiť na získanie záznamu z ošetrovania autorizovanému systému alebo osobe.

Prepojenie s ambulantným IS

Vzhľadom na technologický pokrok, je dnes bežnou praxou že väčšina kliník používa nejakú formu ambulantného IS. Tento prístup umožňuje jednoduchú spoluprácu jednotlivých kliník a ambulancií, nakoľko IS zhromažďujú dáta o pacientoch z ošetrovaní. Následne je možné lekárovi zobrazíť v rámci IS celú históriu ošetrovaní pacienta, na základe ktorej vie lepšie diagnostikovať ďalšie problémy pacienta. Na základe týchto faktov bola zadefinovaná požiadavka na možnosť prepojenia systému ERIDOK s ambulantnými IS. Tento proces je možné realizovať prostredníctvom verejného API, ktoré umožní rôznym PZS pristupovať k údajom z diagnostických dermatovenerologických vyšetrení. Dáta z diagnostických ošetrovaní teda budú môcť byť používané aj na ďalšie účely, pokiaľ sa tak PZS rozhodne. Realizáciou tejto požiadavky sa zvýši kvalita poskytovanej zdravotnej starostlivosti pre PZS, ktorí majú vlastný IS.

Automatizácia údržby a aktualizácií

Z hľadiska dlhodobej neudržateľnosti projektu je nevyhnutné pripraviť systém tak, aby bol v budúcnosti jednoducho udržiavaný. Samozrejmosťou je, že v budúcnosti sa môžu meniť základné funkcionality systému, resp. že sa budú pridávať nové. Preto je dôležité vytvoriť procesy a nástroje na aktualizáciu systému v

prípade potreby vykonávania zmien. Tento proces je taktiež vhodné automatizovať, čím sa zníži pravdepodobnosť chybových stavov systému.

Zachovanie princípov modularity

Pre umožnenie zmien na systéme v budúcnosti, je taktiež vhodné navrhnúť systém s ohľadom na tieto potenciálne zmeny. Je teda potrebné vytvoriť stabilnú a jednoducho modifikovateľnú základňu pre zdrojový kód, ktorá umožní jednoduché integrovanie zmien aj v budúcnosti. Tento proces zahŕňa zachovanie princípov modularity, DRY ale aj vytvorenie detailnej technickej a používateľskej dokumentácie. Taktiež je dôležitý výber programovacích jazykov a prislúchajúcich knižníc, aby v budúcnosti nenastali komplikácie s procesom vývoja a údržby.

Šifrovanie a integrita dát a komunikácie

Ako už bolo spomenuté, archivované dáta z ošetrov sú citlivého charakteru. Pre zabezpečenie integrity a bezpečnosti, je nevyhnutné pri implementácii myslieť na zabezpečenie dátových tokov systému. Taktiež sa vyžaduje, aby boli archivované dáta šifrované a redundantne archivované na sekundárnom archivačnom systéme.

2.2 Analýza požiadaviek

Špecifikáciou a následným spracovaním požiadaviek sme získali komplexný prehľad o tom, ako má vzniknutý systém fungovať. Zároveň sme získali informácie o dôležitých limitáciách, ktoré vzišli zo spracovaných požiadaviek. Výsledný systém bude rozdelený na 3 hlavné súčasti: bezdrôtová diagnostická hlavica, riadiaca jednotka umiestnená v tele lasera a vzdialený API server obsluhujúci jednotlivé zariadenia.

2.2.1 Bezdrôtová diagnostická hlavica

Táto časť systému sa má stať bezprostredným nástrojom pre diagnostiku kožných lézií. Má sa jednať o fyzické bezdrôtové zariadenie, ktoré umožní lekárovi vykonať jednoduchú a rýchlu diagnostiku. Toto zariadenie teda musí spĺňať prísne štandardy pre použitie v ambulantnom prostredí. Skutočnosť, že prístroj má byť bezdrôtového konštrukčného charakteru so sebou prináša viacero výziev v HW ale aj v SW implementácii. Na základe spracovaných požiadaviek, musí zariadenie obsahovať nasledujúce HW komponenty:

Riadiaci počítač

Pre uspokojenie požiadavky na bezdrôtovosť je nevyhnutné integrovať do zariadenia mikropočítač, ktorý bude vyhovovať veľkostným limitom na zariadenie a zároveň uspokojí požiadavky pre plynulú funkčnosť softvérovej zložky zariadenia. Zároveň je potrebné uvažovať nad vzájomnou kompatibilitou vybraného mikropočítača s ostatnými komponentmi, ktoré musí zariadenie obsahovať. Tento mikropočítač bude zodpovedný za riadenie celého zariadenia, a zároveň bude obsluhovať komunikáciu s riadiacim prvkom lasera. Je potrebné zaručiť, aby bol tento počítač dostatočne výkonný, nakoľko bude musieť v krátkom čase spracovať kvalitné obrazové dáta a zároveň vykonávať rôzne úlohy na pozadí, napr. generovanie používateľského rozhrania. Modul snímacej hlavice nie je samostatným zariadením, ale príslušenstvom celého diagnostického zariadenia. Je preto nevyhnutné zabezpečiť jeho prepojenie s hlavnou riadiacou jednotkou umiestnenou v tele lasera. Nakoľko sa jedná o bezdrôtové zariadenie, aj komunikácia s riadiacou jednotkou musí prebiehať bezdrôtovo. Riadiaci počítač snímacej hlavice teda musí poskytovať prostriedky pre realizáciu takejto komunikácie,

Kamerové moduly

Hlavnou funkcionalitou bezdrôtovej diagnostickej hlavice bude zachytávanie digitálnych fotografií kožnej lézie a jej následné spracovanie. Nevyhnutnou súčasťou tohto zariadenia je teda 1 alebo viac fotografických modulov. Výber konkrétneho snímača musí zohľadniť požiadavky na vysokú kvalitu a rýchlosť vytvorenia spracovaných fotografií. Taktiež je potrebné, aby bolo možné tento snímač podľa potreby počas vývoja konfigurovať. Týmto spôsobom bude možné nájsť najlepšiu kombináciu nastavení snímača pre vytvorenie kvalitných fotografií sledovanej kožnej lézie. Použitý snímač musí byť zároveň kompatibilný s ovládacím mikropočítačom. Nakoľko je cieľom okrem samotnej kožnej lézie pozorovať aj širšie okolie danej oblasti tela, je potrebné do zariadenia zahrnúť aj snímač, ktorým sa budú fotografovať snímky z väčšej vzdialenosti od kože.

Optické prvky

Úspešná diagnostika kožnej lézie je podmienená vyhotovením kvalitného digitálneho snímku. Tento snímok bude zachytávať sledovanú kožnú léziu z blízkej vzdialenosti, pri nasvietení umelým zdrojom svetla. Okrem výberu snímača/senzora, je potrebné správne rozhodnúť o použitej optickej aparatúre. Pri výbere optických prvkov pre toto zariadenie, je nutné zaručiť

kvalitu šošoviek a ich optických vlastností, správne priblíženie a ich kompatibilitu s vybraným kamerovým senzorom.

Osvetľovací modul

Zo zistení tímu CVTI SR vyplynulo, že niektoré fyziologické znaky dôležité pre diagnostiku kožných lézií je možné zachytiť lepšie pri použití nasvietenia so špecifickými vlnovými dĺžkami. Týchto znakov je však niekoľko, a sú na digitálnej fotografii lepšie identifikovateľné pri rôznych vlnových dĺžkach. Z toho vyplýva, že diagnostická hlavica musí obsahovať osvetľovací modul, ktorým je možné generovať rôzne kombinácie svetla. Podmienkou pre uspokojenie tejto požiadavky je vytvoriť osvetľovací modul, ktorý bude možné softvérovo konfigurovať a používať v súčinnosti s kamerovým modulom pre správne nasvietenie sledovanej kožnej lézie pri vyhotovení digitálneho snímku. Okrem zdroja svetla je nutné brať do úvahy aj jeho distribúciu a intenzitu, ktorá musí byť rovnomerná aby sa predišlo skresleným, resp. znehodnoteným fotografiám, napr. v dôsledku neželaných odrazov svetla alebo optických artefaktov.

Batéria

Navrhnutá snímacia hlavica má byť podľa požiadaviek bezdrôtového charakteru. Neoddeliteľnou súčasťou tohto zariadenia je preto batéria. Jej vlastnosti musia zodpovedať náročnosti použitých komponentov zariadenia a spĺňať prísne štandardy v oblasti bezpečnosti a spoľahlivosti, nakoľko bude zariadenie používané v ambulantnom prostredí. Výber batérie taktiež ovplyvňuje jednoduchosť používania zariadenia, nakoľko výrazne mení jeho hmotnosť a rozloženie hmotnosti zariadenia. Taktiež je potrebné zohľadniť životnosť batérie a podporu rýchleho nabíjania, aby bolo používanie zariadenia čo najjednoduchšie.

Dokovací modul

Okrem bezdrôtového pripojenia pre účely komunikácie, je potrebné zariadenie pripájať k hlavnej riadiacej jednotke lasera aj pevným káblovým pripojením. Hlavným dôvodom je nutnosť nabíjať batériu snímacej hlavice. Dokovací modul preto musí obsahovať prvky nabíjania batérie. Zároveň bude dokovací modul slúžiť pre pevné uchytenie hlavice na telo lasera v čase, keď bude nečinná. Taktiež bude tento modul zabezpečovať káblovú komunikačnú zložku, určenú primárne na párovanie zariadenia, a odovzdania iných citlivých informácií, ktoré nebudú vhodné na prenos po bezdrôtovej linke.

Displej

Zariadenie bude slúžiť na snímanie fotografií kožných lézií. Tieto fotografie však bude potrebné vykonávať z blízkej vzdialenosti. Optická aparatúra bude kvôli tomu veľmi blízko pri povrchu kože. Pre ošetrojúceho lekára tak nebude možné jednoducho sledovať a určiť presnú oblasť ktorú v danom momente sníma. Jedným z čiastkových cieľov projektu je okrem automatizácie diagnostického procesu pomocou strojového učenia aj poskytnutie plnohodnotnej náhrady digitálneho dermatoskopu. Z toho dôvodu je potrebné mu obrazovú informáciu aktuálne snímanej oblasti zobrazíť iným spôsobom. Z požiadaviek teda vyplýva potreba zobrazovacieho zariadenia, resp. grafického displeja. Okrem simulácie "hľadáča", bude v procese diagnostiky poskytovať ošetrojúcemu lekárovi dodatočné informácie o priebehu ošetrenia a stave zariadenia. Vybraný grafický displej musí spĺňať konštrukčné limity zariadenia, a zároveň poskytovať dostatočne kvalitný obraz pre zobrazenie informácií pre používateľa.

Zo softvérového hľadiska je potrebné zabezpečiť nasledujúce funkcionality:

Vyhovujúci OS riadiaceho počítača

Riadiaci počítač snímacej hlavice má kontrolu nad všetkými komponentami zariadenia. Je potrebné ich v reálnom čase sledovať a ovládať, podľa vstupov používateľa a aktuálneho stavu zariadenia. Nakoľko je komponentov niekoľko a narastá počet súčasne prebiehajúcich procesov, stúpajú aj nároky na výkon riadiaceho počítača. Okrem HW vlastností je dôležitý aj výber operačného systému. Ten musí umožniť súbežné vykonávanie procesov, zobrazovanie používateľského rozhrania na displej a ovládanie HW komponentov zariadenia. Keďže musí vybraný počítač spĺňať konštrukčné limity zariadenia, je pri výbere operačného systému pre tento mikropočítač potrebné hľadiť aj na dostupný výkon, pamäť a ostatné systémové zdroje.

Bezdrôtová komunikácia s riadiacou jednotkou lasera

Zariadenie snímacej hlavice je príslušenstvom laserového zariadenia. Preto je potrebné zaručiť stabilnú komunikáciu s jeho riadiacou jednotkou. Pri výbere spôsobu komunikácie je potrebné brať ohľad na niekoľko požadovaných funkcionalít. Okrem stability a bezpečnosti komunikácie, musíme zabezpečiť aj rýchle odosielanie a prijímanie dát. Nakoľko bude riadiaci počítač snímacej hlavice spracúvať obrazové dáta, je nevyhnutné aby bolo možné odosielať dáta s väčším objemom, bez vytvorenia úzkeho hrdla, ktoré by ohrozilo plynulosť diagnostického procesu. Okrem týchto funkcionalít, je

potrebné sa vysporiadať aj možnou prítomnosťou iných zariadení s funkcionalitami bezdrôtového pripojenia. V rámci diagnostického systému sa bude pracovať s citlivými lekárskymi údajmi. Preto je potrebné zabezpečiť, aby bola sieť po ktorej bude snímacia hlavica komunikovať s riadiacou jednotkou lasera zabezpečená pred neoprávneným pripojením neautorizovaného zariadenia.

Ovládanie kamerových modulov

Jednou z hlavných funkcionalít snímacej hlavice je vytváranie fotografických snímok kožných lézií. Tento proces si vyžaduje ovládanie kamerového modulu softvérom. Okrem ovládania základných funkcionalít kamery, potrebujeme mať prostriedky pre konfiguráciu procesu snímania a senzora kamery. Je potrebné zabezpečiť rýchle a konzistentné vyhotovovanie fotografií. Zároveň je nevyhnutné pripraviť sa na možnosť, že bude treba tieto konfigurácie meniť aj medzi jednotlivými snímkami. Keďže je rýchlosť vyhotovenia snímok pre proces diagnostiky kľúčová, je nutné navrhnuť tento proces v rámci softvérovej implementácie veľmi efektívne. Dosiahnutím požadovanej rýchlosti snímania však nesmieme stratiť konzistenciu a presnosť časovania pri vytváraní jednotlivých snímok. Medzi snímkami totiž bude potrebné meniť konfiguráciu nasvietenia snímanej oblasti osvetľovacím modulom.

Ovládanie osvetľovacieho modulu

Z hľadiska diagnostiky je v rámci projektu ERIDOK kľúčová zmena vlastností svetla, ktorým sa nasvecuje snímaná oblasť pri vytváraní diagnostických snímok. Prepínanie medzi jednotlivými vlnovými dĺžkami, resp. generovanie správnej kombinácie svetiel musí byť presné a konzistentné. Táto funkcionalita bude úzko spätá s ovládaním kamerového modulu. Okrem rýchlosti samotného prepínania sa musíme zamerať na to, že počas vyhotovenia každej snímky bude sledovaná oblasť nasvietená správnou kombináciou svetiel. Správne načasovanie a konzistentnosť zmeny svetiel počas snímania kamerovým modulom je nevyhnutná pre dosiahnutia požadovaných výsledkov diagnostického procesu.

Generovanie používateľského rozhrania

Ovládané zariadenie bude mať na odovzdanie informácie pre ošetrojúceho lekára k dispozícii grafický displej. Pomocou tohto zobrazovacieho zariadenia mu budú poskytované informácie o procese diagnostiky a prenos obrazu zo snímača kamery v reálnom čase. Obrazový výstup na zariadení

musí byť nie len kvalitný ale aj plynulý. Vzhľadom na charakteristiku zariadenia bude potrebné optimalizovať proces zobrazovania grafického výstupu tak, aby výrazne neovplyvnil zvyšné procesy prebiehajúce na riadiacom počítači a nezaťažoval systémové zdroje viac ako je potrebné.

Vyhodnocovanie diagnostických dát modelom neurónovej siete

Systém ERIDOK má slúžiť ako pomôcka pri diagnostike kožných ochorení. Cieľom je dopomôcť lekárovi k správnej diagnostike kožného nálezu pomocou automatizovanej klasifikácie kožných nálezov. Klasifikácia bude realizovaná prostredníctvom modelu strojového učenia, ktorý bude vyhodnocovať stav kožnej lézie na základe vstupov vo forme obrazových záznamov vytvorených snímacou hlaviceou. Model bude trénovaný pomocou množstva existujúcich datasetov. Zároveň má byť postupne dopĺňaný diagnostickými záznamami systému ERIDOK. Tento model však kvôli obmedzeniam výkonu mikropočítača snímačnej hlavice bude musieť byť trénovaný na vzdialenom serveri, resp. počítači s vhodným výpočtovým výkonom. Natrénovaný model je však možné distribuovať a použiť na klasifikáciu aj na menej výkonných počítačoch. Pre zabezpečenie efektivity a rýchlosti ošetrovania je vhodné umiestniť natrénovaný model priamo na mikropočítač snímačnej hlavice, aby bolo vytvorené diagnostické záznamy možné vyhodnotiť okamžite.

2.2.2 Riadiaca jednotka v tele lasera

Systém ERIDOK sa má stať diagnostickým príslušenstvom pri vyšetreniach kožných lézií. Určenie stavu kožnej lézie pri diagnostike priamo predurčuje možnosť jeho odstránenia, resp. zásahu laserovým prístrojom. Z hľadiska použiteľnosti preto z požiadaviek vyplýva, že vytvorený systém bude potrebné integrovať s laserovým prístrojom. Túto časť systému sme nazvali riadiacou jednotkou systému ERIDOK. Tá bude mať za úlohu spracúvať informácie z diagnostickej snímačnej hlavice a delegovať požiadavky systému na vzdialený API server. Zároveň bude prepojený s riadiacim čipom lasera, čím bude umožnené riadiť, resp. konfigurovať jeho funkcionality. Okrem týchto funkcionalít bude ústredným prvkom v oblasti používateľskej interakcie, ktorú bude poskytovať v forme ovládacej konzoly, obsahujúcej dotykový LCD displej a autorizačný modul. Na základe spracovaných požiadaviek, musí zariadenie obsahovať nasledujúce HW komponenty:

Riadiaci počítač

Všetky komponenty riadiacej jednotky v tele lasera, budú ovládané riadia-

cim počítačom. Pri výbere správneho mikropočítača je potrebné zohľadniť niekoľko faktorov. Prvým z nich sú rozmery mikropočítača. Vzhľadom na to, že sa riadiaca jednotka nachádza v tele lasera, je nutné rešpektovať isté konštrukčné limity. Tie však nie sú tak prísne ako v prípade snímacej hlavice. Pre účely riadiaceho počítača je preto možné vybrať rozmerovo väčší mikropočítač. To umožňuje získanie vyššieho výkonu, veľkosti pamäte a vyššej dostupnosti iných systémových zdrojov. Dôležitou požiadavkou na tento mikropočítač je jeho modularita a kompatibilita s rôznymi elektronickými perifériami. Riadiaca jednotka by totiž mala byť do maximálnej miery modulárna, pre potenciálne budúce použitia v iných diagnostických prístrojoch. V neposlednom rade je vyžadovaná podpora bezdrôtovej komunikácie vo forme, ktorá bude zhodná s tou, ktorá je použitá v bezdrôtovej snímacej hlavici.

Prepojenie s riadiacimi prvkami lasera

Laserové zariadenie, v ktorom bude riadiaca jednotka integrovaná, má vlastný riadiaci modul. Ten má za úlohu priamo vykonávať príkazy nad HW vybavením lasera a zároveň umožňuje získavať diagnostické a servisné dáta o laseri. Nakoľko je jednou z požiadaviek ovládanie prvkov lasera a získavanie jeho servisných údajov, je potrebné vytvoriť fyzické komunikačné prepojenie medzi riadiacou jednotkou systému ERIDOK a riadiacou jednotkou lasera. Toto prepojenie musí byť kompatibilné s oboma riadiacimi jednotkami, a musí spĺňať požiadavky pre obojsmerný prenos dát medzi týmito zariadeniami.

Grafický displej

Displej pripojený k riadiacej jednotke systému ERIDOK, je hlavným ovládacím a zobrazovacím prvkom tohto systému. Má poskytovať detailné informácie k stavu systému a procesu diagnostiky kožnej lézie, ktoré nie je možné alebo vhodné zobrazovať na grafickom displeji snímacej hlavice. Tento displej bude pripevnený na externú konštrukciu laserového zariadenia. Pre uspokojivú a používateľsky prijateľnú prácu so systémom ERIDOK, je dôležité vhodne zvoliť vlastnosti a parametre vybraného grafického displeja. Z hľadiska diagnostiky je najkľúčovejším parametrom kvalita obrazu a vernosť zobrazovaných farieb, nakoľko tieto vlastnosti priamo vplyvajú na rozhodovací proces lekára v procese diagnostiky kožnej lézie. Nesprávna voľba týchto parametrov by mohla mať za následok skreslené obrazové informácie vplyvajúce na verdikt lekára a nastavenie ďalšej liečby pacienta. Poslednou

požiadavkou na displej je schopnosť akceptovať vstup pomocou dotykovej plochy, nakoľko sa jedna o intuitívny a jednoduchý spôsob interakcie so systémom v ambulantnom prostredí.

Dokovacia stanica

V čase, keď sa bezdrôtová snímacia hlavica systému ERIDOK nebude používať, bude uložená v špecificky vybranom mieste na externej konštrukcii tela lasera, ktoré bude slúžiť ako dokovacia stanica. Jej primárnou úlohou bude ukotvenie snímacej hlavice s integrovaním nabíjania a komunikačným prepojením s riadiacim počítačom riadiacej jednotky. Okrem robustnej a ergonomickej konštrukcie je potrebné zabezpečiť stabilnú komunikačnú linku a bezpečné nabíjanie batérie snímacej hlavice.

Autorizačný modul

Laserové zariadenie a diagnostický systém ERIDOK je určený výhradne pre lekárskeho personál, ktorý je autorizovaný a vyškolený na jeho použitie. Preto je nutné zaviesť bezpečnostné mechanizmy, ktoré zabránia neautorizovanému alebo nechcenému použitiu systému. Na telo lasera je preto potrebné umiestniť autorizačný modul, ktorý bude v používateľsky prijateľnej forme verifikovať práva používateľa, a sprístupní funkcionality zariadenia až po úspešnej autorizácii.

Zo softvérového hľadiska je potrebné zabezpečiť nasledujúce funkcionality:

Spoľahlivý a bezpečný OS riadiaceho počítača

Riadiaci počítač riadiacej jednotky systému ERIDOK je jedným z najdôležitejších prvkov systému. Je preto nevyhnutné správne vybrať OS pre toto zariadenie. Riadiaca jednotka obsluhuje viacero HW komponentov, pričom veľa z týchto procesov prebieha paralelne. Okrem komunikačnej a výpočtovej zložky, tento počítač musí byť schopný vykresľovať grafické používateľské rozhranie na grafický displej vo vysokom rozlíšení. Tento počítač teda musí byť schopný kvalitného grafického výstupu, pričom ho musí zvládať paralelne s ovládaním ostatných HW komponentov a softvérových súčastí systému. Okrem týchto vlastností, sa od operačného systému tohto počítača vyžaduje podpora pre ovládače a softvérové komponenty, ktoré sú nevyhnutné pre ovládanie všetkých pripojených periférií. Kvôli nutnosti pripojenia na vzdialený API server, sa od OS počítača riadiacej jednotky taktiež vyžaduje schopnosť pripojiť sa na internetovú sieť bezdrôtovo.

Bezdrôtová komunikácia so snímacou hlavicou

Okrem pripojenia k vzdialenému API serveru je potrebná komunikácia s bezdrôtovou snímacou hlavicou. Pre tento účel je nutné navrhnúť a implementovať štruktúrovaný komunikačný protokol na úrovni vyššieho programovacieho jazyka, aby bolo možné jednotlivé požiadavky korektne spracovať. Tento protokol musí byť kompatibilný s komunikáciou so vzdialeným API serverom. Odhliadnuc od spôsobu komunikácie je taktiež potrebné zabezpečiť samotnú autorizáciu snímacej hlavice, aby sa predišlo pripojeniu škodlivého, resp. neautorizovaného zariadenia k riadiacej jednotke systému ERIDOK. Je preto potrebné navrhnúť proces párovania a autorizácie pred samotným používaním a výmenou citlivých dát medzi zariadeniami. Poslednou požiadavkou je rýchly a efektívny prenos údajov, bez vytvorenia komunikačného úzkeho hrdla pri spracovaní vyššieho objemu informácií, napr. obrazových dát.

Komunikácia so vzdialeným API serverom

Riadiace jednotky všetkých zariadení systému ERIDOK je potrebné vzdialene monitorovať. Na tento účel slúži vzdialený API server. Okrem monitorovania stavu zariadení sa prostredníctvom tohto komunikačného kanálu majú odosielať dáta z diagnostického zariadenia určené na ďalšie spracovanie serverom, kde budú archivované v centrálnej databáze systému ERIDOK. Proces a štruktúra tejto komunikácie musí byť zabezpečená a kompatibilná s ostatnými komunikačnými prvkami v rámci systému, aby sa predišlo duplikovaniu kódu a výskytu chýb.

Autorizácia používateľa

Pre zabezpečenie prístupu k funkcionalitám lasera a diagnostickému systému ERIDOK, je na tele lasera integrovaný autorizačný modul. Riadiaca jednotka ho bude využívať na autorizáciu a overenie používateľov. Tento proces však musí byť verifikovaný aj vzdialeným API serverom. Týmto sa stane overenie dvoj-krokovým a zároveň bude možné presne zaznamenať používanie všetkých prístrojov. Tento proces je potrebné navrhnúť a implementovať, pričom je nevyhnutné zabezpečiť integritu tohto postupu a zabrániť akýmkoľvek zlyháním v procese autorizácie. Tento proces je taktiež potrebné navrhnúť a implementovať modulárne, aby ho bolo možné použiť aj v iných zariadeniach, ktoré potrebujú pre používanie autorizáciu používateľa.

Generovanie používateľského rozhrania

Pomocou hlavného grafického displeja bude používateľovi poskytnuté grafické používateľské rozhranie. Pomocou tohto rozhrania bude možné konfigurovať a monitorovať proces diagnostiky kožných lézií a stavu lasera. Používateľské rozhranie musí byť prehľadné, intuitívne a prispôbené pre použitie s dotykovým displejom v ambulantnom prostredí. Návrh tohto rozhrania je potrebné diskutovať s koncovými používateľmi, a na základe ich požiadaviek ho implementovať. Rozhranie musí zároveň slúžiť aj na ovládanie lasera a jeho konfiguráciu. Taktiež je vhodné navrhnúť toto rozhranie v modulárnej forme, aby bolo možné použiť jeho základné prvky v rozhraniach budúcich, resp. nadväzujúcich systémov.

Konfigurácia a ovládanie prvkov lasera

Pre zabezpečenie ovládania prvkov laserového zariadenia, je potrebné navrhnúť a implementovať komunikačný protokol, pomocou ktorého budú tieto dva nezávislé systémy komunikovať. Je potrebné sa oboznámiť s dostupnými funkcionalitami lasera a s jeho vnútornou funkcionalitou, a následne prispôbiť komunikačný proces získaným zisteniam. Pri tomto procese je potrebné dbať na maximálnu bezpečnosť a konzistentnosť komunikácie bez priestoru na chybové udalosti. Okrem ovládania a konfigurácie laserového zariadenia je taktiež potrebné v prípade potreby z neho získavať dostupné servisné údaje a zobraziť ich používateľovi na displej v grafickej podobe. Proces tejto komunikácie, resp. jeho časti je vhodné modularizovať pre ďalšie použitie.

2.2.3 Vzdialený API server

Posledným prvkom navrhovaného systému by mal byť riadiaci API server. Ten bude spravovať a monitorovať všetky pripojené zariadenia. Táto časť systému je nevyhnutná pre umožnenie centralizovaného prístupu k zariadeniam a ich funkcionalitám. Zároveň umožní uspokojenie požiadavky pre API pre IS PZS. Tento serverový systém bude pristupovať k centralizovanej databáze údajov z ošetrení a obsluhovať prvky umelej inteligencie systému. Pri jeho implementácii je potrebné zabezpečiť nasledujúce funkcionality:

Dostupnosť a stabilita

Vytvorený systém bude mať za úlohu obsluhovať a monitorovať množstvo zariadení. Tieto prístroje a ich príslušenstvo budú vybavením dermatologických kliník a budú sa priamo podieľať na diagnostickom procese pri lekárskom vyšetrení. Pri návrhu a implementácii servera je preto potrebné

klásť dôraz na jeho dostupnosť a stabilitu. Výpadky systému či jeho nespoľahlivý chod môžu spôsobiť zdržanie, nepresnosti a chyby v diagnostickom procese. Navyše môžu zapríčiniť nepríjemný zážitok z vyšetrenia a odradiť tak pacientov od ďalších návštev, či vôli podrobiť sa samotnej diagnostike.

Obsluha API pre zariadenia

Primárnou úlohou API servera bude sprostredkovanie a vybavovanie požiadaviek z vytvorených diagnostických zariadení, resp. z ambulantných IS ktoré budú na systém napojené. Vytvorený komunikačný protokol by mal byť modulárny, aby bolo možné použiť jeho súčasti na ďalšie potenciálne rozšírenia funkcionalít systému. Zároveň musí spĺňať štandardy a konvencie, aby bolo jednoduché poskytovať služby externým systémom, či potenciálnym klientom. Taktiež je nutné kvalitne zabezpečiť a archivovať všetku komunikáciu, nakoľko sa v nej budú vyskytovať citlivé dáta o klientoch a ich zdravotnom stave. Keďže jednou z požiadaviek je aj monitorovanie zariadení, je dôležité vybrať správny podliehajúci komunikačný protokol, aby bolo možné sledovať zariadenia v reálnom čase a zabezpečiť včasnú distribúciu informácií a upozornení naprieč systémom a zariadeniami.

Zabezpečenie šifrovania a integrity dát

Informácie a záznamy o diagnostických vyšetreniach sú mimoriadne citlivé. Preto sa od API servera vyžaduje schopnosť archivovať získané dáta bezpečne, pričom by mali byť chránené šifrovaním. Proces šifrovania a dešifrovania však nesmie výrazne ovplyvniť rýchlosť a stabilitu systému. Okrem ukrytia obsahu dát, je nutné zabezpečiť aj ich integritu, teda zabrániť nežiadúcim aktérom nepozorovane pozmeniť alebo odstrániť dáta zo systému. Tento proces má poskytnúť prvky kontroly a prevencie pred takýmito akciami.

Zabezpečenie anonymizácie dát

Systém má obsluhovať viacero zariadení, potenciálne používaných viacerými poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti. Preto je nutné systém navrhnuť tak, aby dáta o vyšetreniach nezahŕňali všetky osobné údaje pacienta. Tie by sa mali nachádzať na IS PZS. Systém ERIDOK by mal poskytovať len zdravotné údaje a analytické dáta z vyšetrení vykonaných na zariadeniach systému ERIDOK. Tie však musia byť logicky prepojené s vykonaným ošetrením, pričom informácie o tomto ošetrení je možné získať IS PZS cez API pre IS.

Obsluha API pre ambulantné IS

Proces ošetrovania pacienta nekončí diagnostickým vyšetrením. Výsledky z ošetrovania je potrebné analyzovať a dlhodobo sledovať. Tento proces však nie je dlhodobo možné prakticky a efektívne realizovať len za pomoci diagnostických zariadení. Moderné ambulancie obsluhujú a používajú vlastné IS, ktoré im umožňujú dodatočné funkcionality pre plnohodnotné vyšetrenie pacienta. Preto je potrebné navrhnuť a vytvoriť API aj pre externé IS PZS, ktorými bude možné získať dáta z vykonaných ošetrovaní lekárom/lečkármi daného PZS. Toto API musí spĺňať štandardy a zásady, ktoré umožnia jednoduchú integráciu do IS, pre PZS ktorý sa v budúcnosti rozhodnú používať diagnostický systém ERIDOK.

Vzdialené aktualizácie súčastí systému

Evolúcia a údržba sú nevyhnutnou súčasťou životného cyklu softvérových infraštruktúr. V navrhovanom systéme bude figurovať množstvo zariadení, ktoré bude počas budúceho vývoja nutné pravidelne aktualizovať. Tento proces by mal byť plne automatizovaný, pričom musí zaručiť bezpečné a plynulé vykonanie aktualizácií, bez možnosti poškodenia či zlyhania systému. Dôležitou súčasťou tohto procesu bude balíčkovanie týchto aktualizácií, nakoľko má systém viacero článkov a vrstiev, ktoré si budú musieť tieto aktualizácie posúvať.

Archivácia obrazových dát

Systém ERIDOK bude okrem metadát o ošetrovaniach a pacientoch archívovať primárne obrazové dáta z diagnostických ošetrovaní. Tieto záznamy budú kvalitné obrazové fotografie, pričom každé ošetrovanie ich bude generovať viacero. Preto je potrebné hľadiť na možné komplikácie s ich archíváciou. Dáta budú primárne slúžiť na pretrénovanie klasifikátora umelej inteligencie, ale zároveň aj na ich poskytovanie pre IS PZS. Spôsob ich archívácie musí zabezpečiť dostupnosť a rýchlosť dodania týchto zdrojov.

Webové rozhranie pre správu zariadení

Okrem spracúvania dát z diagnostických ošetrovaní, má systém za úlohu tak tiež poskytovať monitorovanie a údržbu diagnostických zariadení systému ERIDOK. Pre pohodlnú a prehľadnú prácu so zariadeniami, je potrebné navrhnuť a implementovať jednoduché webové rozhranie, ktorým bude možné sledovať aktivitu, stav, polohu a iné vlastnosti vlastnených prístrojov. Toto rozhranie by zároveň malo slúžiť pre dodatočné administratívne požiadavky.

Integrácia strojového učenia

Trénovanie komplexného modelu umelej inteligencie si vyžaduje väčšie množstvo zdrojov. Preto ho nie je možné jednoducho realizovať na menej výkonných mikropočítačoch, nakoľko narážajú na výkonnostné a pamäťové limity. Tento proces preto bude prebiehať na špecifickom HW alebo cloud riešení. Integrácia strojového učenia musí zahŕňať spôsob na aktualizáciu modelu po pretrénovaní, poskytovanie obrazových dát pre tréning a iné funkcionality.

3 Návrh a implementácia riešenia

Špecifikáciou a následným spracovaním požiadaviek sme získali komplexný prehľad o tom, ako má vzniknutý systém fungovať. Zároveň sme získali informácie o dôležitých limitáciách, ktoré vzišli zo spracovaných požiadaviek. Na základe týchto zistení môžeme vybrať technológie a nástroje pre implementáciu riešenia.

3.1 Výber technológií

Technológie z ktorých bude výsledný systém pozostávať, musí poskytovať prostriedky, ktoré umožnia okrem splnenia vytýčených cieľov aj jednoduchú implementáciu zmien požiadaviek počas procesu vývoja. Použité prostriedky musia taktiež uspokojiť potreby škálovateľnosti a spoľahlivosti. Nevyhnutnou požiadavkou na sadu vybraných technológií je taktiež ich vzájomná kompatibilita a možnosti integrácie s HW súčasťami systému. Proces výberu je taktiež značne ovplyvnený existujúcou infraštruktúrou spoločnosti zákazníka, ktorá do istej miery limituje technologické zloženie systému.

3.1.1 Klientka časť

Časť softvérovej infraštruktúry, integrovanej priamo do fyzických diagnostických zariadení je priamo závislá na použitých HW komponentoch. Táto časť systému bude taktiež náchylná na rapídne zmeny v špecifikáciách a požiadavkách v priebehu vývoja v spolupráci s vedeckou a lekárskou komunitou. Musí byť preto zložená z technológií, ktoré je možné jednoducho meniť, zamieňať a prispôbovať potrebám ostatných komponentov či zmenám v špecifikácií. Taktiež je potrebné hľadiť na modularitu, ktorá je nevyhnutná pre použitie na podobné medicínske príslušenstvo.

RaspberryPi

Nosným pilierom diagnostického prístroja v laserovom zariadení a bezdrôtovej snímačej hlavici je riadiaci počítač. Okrem spomenutých požiadaviek schopnosti reagovať na zmeny v špecifikácii produktu, sú hlavnými požiadavkami na riadiaci počítač jeho veľkosť, dostatočný výkon, modularita, kompatibilita a dostupnosť modulov a dielov potrebných pre splnenie vytýčených cieľov. Väčšinu z týchto požiadaviek spĺňa množstvo mikropočítačov od rôznych výrobcov. Najčastejšou nevyhovujúcou charakteristikou týchto počítačov bola obmedzená podpora pre komplexnejšie podliehajúce SW prostriedky, vyššie programovacie jazyky či operačné systémy. Pri výbere sme zohľadnili napr. vývojové dosky rady STM, a Arduino. Po zohľadnení dostupných možností sme sa rozhodli pre radu vývojových dosiek RaspberryPi. Pre hlavnú riadiacu jednotku lasera sme sa rozhodli pre model RaspberryPi 4B. Pre počítač snímačej hlavice sme vybrali model RaspberryPi Zero W. Tieto modely poskytujú dostatočné systémové zdroje a kompatibilitu pre ostatné použité moduly, či potenciálne nadstavby systému v budúcnosti. Zároveň spĺňajú požiadavky pre podporu operačného systému a softvérových nadstavieb. Vďaka rozsiahlemu ekosystému a prostriedkov vyvíjaných komunitou RaspberryPi je možné jednoducho a rýchlo integrovať meniace sa požiadavky na HW a SW súčasti pre účely prototypovania a rapídneho vývoja v spolupráci s vedec-kou komunitou. V neskoršej fáze projektu po finalizácii požiadaviek a špecifikácie systému je možné uvažovať o zmene použitých modelov.

Python

Pri výbere programovacieho jazyka pre implementáciu funkcionálit diagnostických prístrojov a ovládanie HW periférií musíme zohľadniť viacero faktorov. Vybraná technológia musí poskytovať prostriedky pre ovládanie HW zariadení, avšak zároveň je potrebné aby spĺňala požiadavky pre rapídny vývoj a modularitu. Implementácia náhlych zmien v špecifikácii či požiadavkách na systém môže byť zložitejšia, najmä pri nižších jazykoch ako je napr. C/C++. Z týchto dôvodov sme sa rozhodli pre programovací jazyk Python. Tento výber nám umožní rýchly a prototypovací prístup k vývoju systému. Python poskytuje širokú škálu nástrojov a knižníc pre implementáciu potrebných funkcionálit a vývoja modulárneho a prehľadného zdrojového kódu. Zároveň poskytuje množstvo knižníc pre prácu s HW perifériami rôznych zariadení. Týmto výberom získame možnosti jednoduchých a rýchlych úprav pre vývoj prototypov pre rôzne fázy vývoja projektu. Vo finálnej fáze projektu je možné pozmeniť zdrojový kód pre využitie jazyka Mic-

roPython/CircuitPython, ktorý umožní efektívnejšie vykonávanie kódu na menších mikropočítačoch. Táto zmena bude potrebná primárne pre implementáciu funkcionality snímačovej hlavice, nakoľko sa v nej použije menej výkonný mikropočítač.

JavaFX

Primárnym prostriedkom používateľa pre interakciu s diagnostickým systémom bude grafické používateľské rozhranie. Toto rozhranie bude dostupné cez dotykovú obrazovku na laserovom prístroji. Podliehajúce funkcionality hardvérových periférií vyvolané používateľským rozhraním budú implementované a spracované v jazyku Python. Tento jazyk však neposkytuje dostatočne vyhovujúce prostriedky pre implementáciu komplexných a používateľsky prijateľných rozhraní. Pri výbere technológie pre implementáciu používateľského rozhrania sme zohľadnili viacero technológií, napr Qt5, Tkinter, Kivy a iné. Napokon sme sa rozhodli pre programovací jazyk Java s použitím frameworku JavaFX. Prostriedky ktoré poskytuje JavaFX umožňujú jednoduchú tvorbu komplexných a modulárnych používateľských rozhraní. Toto rozhodnutie zároveň ovplyvnili existujúce knižnice pre podporu dotykových obrazoviek a multi-dotykových giest. Okrem splnenia požiadaviek na funkcionality toto rozhodnutie podporili aj existujúce knižnice v rámci ekosystému spoločnosti zákazníka, ktoré je možné integrovať do vytvoreného systému a urýchliť tak vývoj niekoľkých súčastí systému (napr. komunikácia cez websocket, serializácia dát).

3.1.2 Serverová časť

Serverovú časť systému, resp. jej infraštruktúru je možné z veľkej časti implementovať nezávisle od softvérového riadenia fyzických zariadení. Primárnymi zložkami serverovej časti je hlavný API server, databázový server, infraštruktúra strojového učenia a iné komponenty. Okrem výberu technológií pre jednotlivé komponenty je dôležité vybrať správne nástroje, resp. poskytovateľa nástrojov pre implementáciu serverovej infraštruktúry.

Amazon AWS

Nosným pilierom serverových komponentov je samotná infraštruktúra a jej poskytovateľ. V našom riešení sme sa rozhodli pre externého poskytovateľa tejto infraštruktúry, nakoľko prostriedky na vytvorenie a údržbu vlastnej serverovej siete sú z dlhodobého hľadiska neudržateľné. Pri výbere poskytovateľa tejto infra-

štruktúry sme brali do úvahy viacero ekosystémov ako je Amazon Web Services (AWS), GoogleCloud a Microsoft Azure. Pre našu implementáciu sme vybrali nástroje správy cloud infraštruktúry AWS. Tento ekosystém poskytuje množstvo nástrojov pre správu, údržbu súčastí serverových systémov, ktoré sú potrebné pre uspokojenie požiadaviek na vytvorenú infraštruktúru. Medzi tieto nástroje patrí Elastic Beanstalk, CloudWatch, RDS, S3, SecretsManager, Route53 a iné. Tieto služby umožňujú jednoduchú správu serverových systémov, automatizáciu procesov, integráciu databáz a podobne. Niektoré z týchto služieb už používa existujúca infraštruktúra ekosystému spoločnosti zákazníka, čo umožní jednoduchú integráciu s existujúcim systémom a jeho správou.

Django

Hlavný API server je ústrednou súčasťou systému pre obsluhu vytvorených diagnostických zariadení. Okrem poskytovania API pre riadiacu jednotku lasera sa od servera vyžaduje poskytovanie API pre IS PZS, manipulácia s databázou, prepojenie s implementáciou strojového učenia a iných potrebných komponentov. Rovnako ako pri klientskej časti sa vyžaduje možnosť implementovať funkcionality modulárne a prehľadne, aby ich bolo možné jednoducho upravovať, meniť a udržiavať podľa potrieb v rôznych fázach vývoja. Pri výbere sme zohľadnili webové rámce Django, Spring Boot, Flask a FastAPI. Napokon sme sa rozhodli pre webový framework Django. Ten poskytuje všetky potrebné nástroje pre uspokojenie požiadaviek na hlavný API server. Silnou stránkou tejto technológie je úzka a efektívna implementácia ORM pre prácu s databázami a API modelmi. Zároveň umožňuje jednoduchú implementáciu a prepojenie s inými komponentami. Vývojárska komunita frameworku Django zároveň poskytuje množstvo prostriedkov pre integráciu najpoužívanejších knižníc a technológií vo svete webových API serverov. Django taktiež spĺňa potreby pre implementáciu asynchrónnej websocket komunikácie a REST riešení. Tento framework rovnako umožňuje jednoduchú tvorbu jednoduchých webových stránok s používateľským rozhraním. Okrem splnenia spomenutých požiadaviek, spoločnosť zákazníka taktiež disponuje internou infraštruktúrou postavenou práve na webovom frameworku Django, čo v istých smeroch urýchlí návrhový a implementačný proces.

MySQL

Databáza je nevyhnutnou súčasťou zamýšľaného riešenia. V prípade našej implementácie nemáme okrem kompatibility a stability riešenia žiadne špecifické požiadavky na vybraný databázový server. Preto sme sa zamerali na výber techno-

lógie podľa bezpečnosti a kompatibility riešenia. Pri výbere sme zohľadnili implementácie MySQL, Postgres a Oracle. Vo finálnom riešení sme sa rozhodli použiť databázovú implementáciu MySQL. Tá poskytuje všetky potrebné prostriedky pre tvorbu a údržbu relačnej databázy. Rovnako disponuje silnou komunitou a dodatočnými nástrojmi. Tento databázový systém je taktiež použitý v existujúcej infraštruktúre spoločnosti zákazníka.

Daphne

Daphne je najrozšírenejším ASGI serverom pre Python. Poskytuje prostriedky pre implementáciu websocketovej komunikácie vo webovom frameworku Django. Tento ASGI server dokáže pristupovať k jednotlivým požiadavkám vo forme viacerých workerov, ktorý očakávajú prichádzajúce požiadavky a spracujú ich prostredníctvom aplikačného servera Django. Daphne poskytuje automatické rozoznávanie protokolov, čo znamená že dokáže spravovať riadiace procesy websocket protokolu na nízkej úrovni. Zároveň podporuje zabezpečené pripojenie WSS a v prípade potreby dokáže spracovať aj požiadavky protokolu HTTP/HTTPS.

3.2 Konceptia

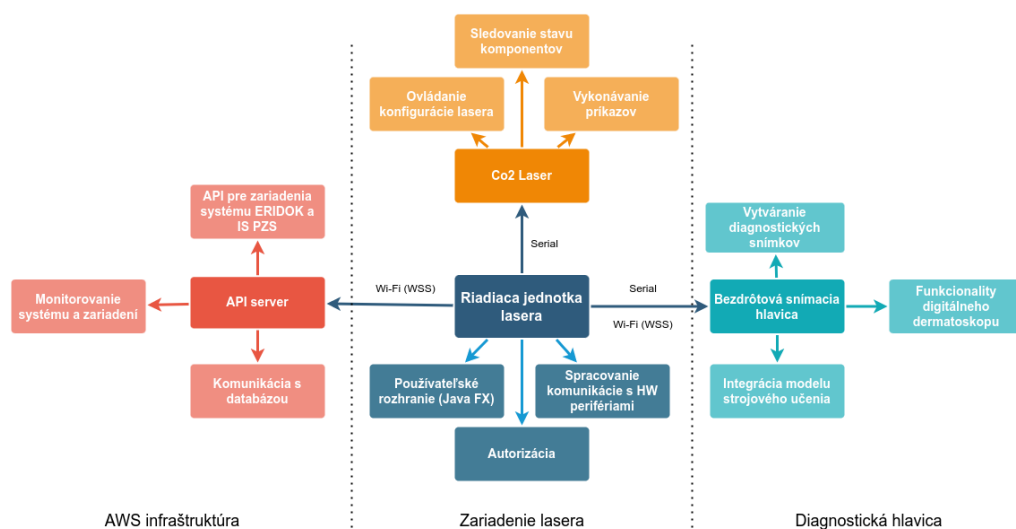
Zo špecifikácie vyplýva, že celý diagnostický systém sa musí skladať z troch primárnych prvkov, a to bezdrôtovej snímacej hlavice, riadiacej jednotky lasera a vzdialeného API servera. Súbor týchto komponentov obsiahne všetky funkcionality potrebné na splnenie vytýčených cieľov a požiadaviek na systém (Obr. 3.1).

Koncovou súčasťou systému je bezdrôtová snímacia hlavica. Tento nástroj bude slúžiť ako diagnostická pomôcka v rukách lekára, ktorá zároveň príde do priameho styku s pacientom. Jej ovládanie a používateľské rozhranie bude preto jednoduché, aby sa zabezpečil efektívny a bezpečný proces vyšetrenia. Zároveň bude toto zariadenie navrhnuté tak, aby spĺňalo najprísnejšie hygienické a bezpečnostné štandardy. Diagnostický proces bude prebiehať podľa záverov z výskumnej časti projektu. Zachytávanie fotografií a správne nasvietenie sledovaného miesta bude implementované práve v snímacej hlavici. Spracovanie zosnímaných diagnostických údajov sa vyhodnotí priamo na ovládacom počítači snímacej hlavice, pomocou predtrénovaného a pravidelne aktualizovaného modelu strojového učenia.

Aby mohla snímacia hlavica spĺňať svoj účel snímania diagnostických fotografií, potrebuje byť prepojená s riadiacou jednotkou lasera. Tá bude mať za úlohu

sprostredkovať výsledky a analytické dáta o vyšetrení zo snímacej hlavice ošetrojúcemu lekárovi. Zároveň bude riadiť činnosť lasera prostredníctvom štandardizovanej komunikácie s ovládacím mikropočítačom lasera. Taktiež bude pomocou používateľského rozhrania a ovládacích prvkov sprevádzať lekára procesom diagnostického ošetrenia. V neposlednom rade bude riadiaca jednotka slúžiť ako prostredník v komunikácii so vzdialeným API serverom.

Ten bude aktívne monitorovať pripojené zariadenia v reálnom čase, pričom bude sledovať viacero aktuálnych štatistík a informácií o stave jednotlivých zariadení. Taktiež bude v infraštruktúre vystupovať ako autorizačná a autentifikačná autorita, ktorá bude schvaľovať používanie zariadení na pomocou centrálnej databázy zariadení a používateľov. Podľa potreby bude sprostredkovať, resp. archívovať dáta z diagnostických ošetrení pre diagnostické prístroje. Iným kanálom bude poskytovať dáta z ukončených diagnostických ošetrení pre IS PZS prostredníctvom štandardizovaného API. Všetka komunikácia medzi zariadeniami bude prebiehať cez websockety, čím sa umožní dynamická komunikácia a distribúcia správ medzi všetky zariadenia systému. Okrem týchto funkcionalít bude server zodpovedný aj za správu databázového servera, ktorý bude súčasťou vytvorenej serverovej infraštruktúry. Finálnou a nemenej dôležitou úlohou servera bude komunikovať so serverom implementujúcim tréning modelov strojového učenia, ktorému bude signalizovať periodické pretrénovanie modelu a získavať od neho distribúciu aktuálneho modelu pre vyhodnocovanie diagnostických snímkov. Ten bude následne po komunikačnej linke poskytovať pre zariadenia systému ERIDOK.



Obr. 3.1: Diagram rozloženia a úloh modulov systému ERIDOK

3.2.1 Diagnostický proces

Pred návrhom a implementáciou softvérových súčastí systému ERIDOK je potrebné navrhnuť proces samotného diagnostického ošetrenia. Ten bude následne odzrkadlený v softvérovej implementácii systému. Proces diagnostiky bude pri použití systému ERIDOK vyzeráť nasledovne:

1. Vytvorenie ošetrenia v IS PZS

Tento krok je voliteľný, a platí len pre PZS, ktorý používajú vlastný IS. V jeho prostredí vytvoria interný proces a dátové štruktúry, v ktorých sa budú archivovať dáta o danom ošetrení.

2. Nahratie ošetrenia cez API pre IS PZS do systému ERIDOK

V prípadoch, kde je aplikovateľný krok č.1 je možné prostredníctvom API pre PZS IS vytvoriť ošetrenie v systéme ERIDOK. Následne sa doň vloží anonymizovaný identifikátor ošetrenia, pomocou ktorého ho bude možné následne získať. Pri nahrávaní sa vyberie aj zariadenie, resp. ambulancia, v ktorej bude možné ošetrenie vykonať. Následne dané zariadenie obdrží informácie o tomto ošetrení.

3. Autorizácia lekára bezpečnostnou kartou

Ošetrujúci lekár sa pred použitím systému ERIDOK musí autorizovať osobnou bezpečnostnou kartou. Priložením karty k autorizačnému modulu sa mu umožní prístup do systému ERIDOK a ovládaniu lasera.

4. Výber a spustenie ošetrenia na riadiacej jednotke lasera

Lekár v používateľskom rozhraní systému ERIDOK na riadiacej jednotke lasera uvidí dostupné ošetrenia, ktoré je možné spustiť. Po výbere ošetrenia ktoré si želá začať, spustí proces ošetrenia v systéme.

5. Zadanie metadát o pacientovi

V prípade že sa jedná o pacienta, ktorý už bol vyšetrený systémom ERIDOK, načítajú sa údaje o jeho zdravotnom stave, vrátane indikácií, poberaných liekov a iné. Ak sa jedná o nového pacienta, lekár zadá tieto údaje o pacientovi do systému prostredníctvom jednoduchého formulára.

6. Vytvorenie fotky okolia sledovanej oblasti

Ošetrujúci lekár vyberie snímaciu hlavicu z dokovacej stanice. Automaticky sa v rámci softvéru hlavice spustí proces ošetrenia. Prvým krokom je vytvorenie fotky okolia sledovanej oblasti. Tá sa vytvorí sekundárnou kamerou

snímacej hlavice. Následne bude fotografia odoslaná do riadiacej jednotky lasera.

7. Zvolenie konkrétnej lézie pre ďalšiu diagnostiku

V ovládacej konzole riadiacej jednotky lasera bude lekárovi zobrazená vytvorená fotografia okolia sledovanej oblasti. Lekár v nej bude môcť vybrať kožné lézie, ktoré si želá vyšetriť. Vybrané kožné lézie bude takto možné vyšetrovať opakovane a sledovať ich vývoj.

8. Vytvorenie série snímok konkrétnej kožnej lézie

Lekár použitím snímacej hlavice vytvorí diagnostické snímky vybranej kožnej lézie. Tieto fotografie sa vytvoria prostredníctvom primárnej kamery snímacej hlavice. Vytvorené fotografie sa odošlú do riadiacej jednotky lasera, kde budú klasifikované modelom strojového učenia.

9. Sledovanie vytvorených snímok a diagnostických výsledkov na riadiacej jednotke lasera

Lekárovi sa zobrazia na konzole riadiacej jednotky lasera vytvorené diagnostické snímky. Taktiež sa mu zobrazia výsledky spracované modelom strojového učenia. Na základe týchto výsledkov sa môže lekár rozhodnúť o správnom ďalšom postupe.

10. Opakovanie krokov 5 - 8 podľa potreby

Predošlé kroky je možné opakovať podľa množstva kožných lézií, ktoré si želá lekár sledovať a diagnostikovať.

11. Konfigurácia prvkov lasera

V prípade, že lekár určí, že je potrebné vykonať laserový zákrok, používateľské rozhranie riadiacej jednotky mu umožní konfigurovať rôzne prvky lasera. Týmto spôsobom je možné nastaviť správanie lasera individuálne pre rôznych klientov. Lekár bude mať pre urýchlenie procesu taktiež možnosť vybrať si z preddefinovaných režimov lasera.

12. Vykonanie laserového ošetrenia

Ošetrojúci lekár vykoná ošetrenie laserom, pričom sa aplikuje nastavená konfigurácia. Následne sa v systéme uloží vykonaný laserový zákrok spolu s použitou konfiguráciou.

13. Ukončenie ošetrenia na systéme ERIDOK

14. Získanie diagnostických dát o ošetrení cez API pre IS PZS

Po ukončení ošetrenia, je možné získať vytvorené diagnostické dáta prostredníctvom API systému ERIDOK. Tieto dáta je možné získať pomocou identifikátora, ktorý bol poskytnutý pri vytváraní ošetrenia.

15. Pokračovanie diagnostiky a ošetrenia v IS PZS

Lekár môže pokračovať v režime ošetrenia prostredníctvom IS PZS, kde mu môžu byť zobrazené diagnostické dáta zo systému ERIDOK.

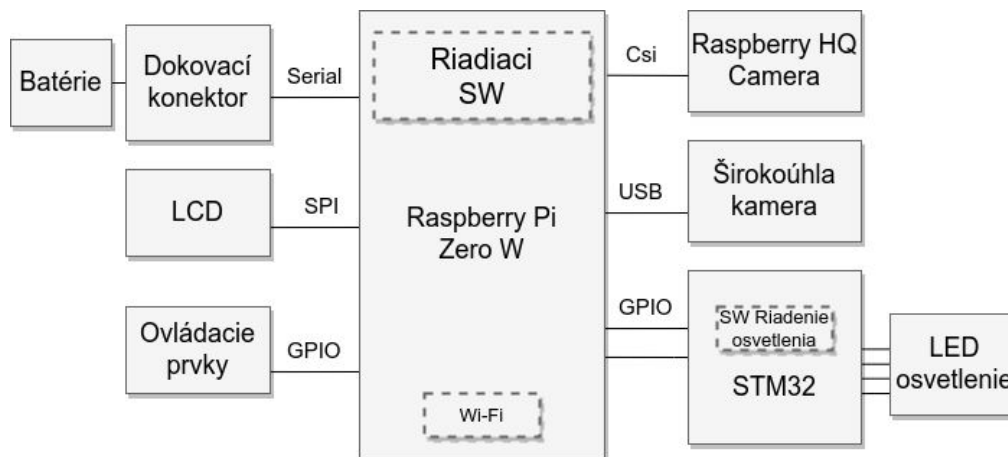
3.3 Bezdrôtová snímacia hlavica

Snímacia hlavica sa má stať hlavným nástrojom lekára pri diagnostike kožných nálezov. Okrem funkcionalít tradičného digitálneho dermatoskopu, má obsahovať prostriedky pre automatizáciu diagnostiky prostredníctvom strojového učenia. Keďže táto časť systému bude používaná priamo v lekárskej ambulancii, je kľúčové správne navrhnuť jej vzhľad, ergonómiu, použité materiály a iné vlastnosti HW riešenia. Dôležité je ale dbať aj na zachovanie samotného procesu ošetrenia, a navrhnuť softvérové riadenie tak, aby bol proces ošetrenia rýchly a pohodlný pre ošetrojúceho lekára ale aj ošetrovaného pacienta.

3.3.1 HW riešenie

Pri návrhu HW riešenia bude potrebné dbať na viaceré aspekty vyplývajúce z požiadaviek. Okrem výberu správnych materiálov vhodných pre prostredia ambulancie, bude potrebné hľadiť aj na ergonómiu, tvar a hmotnosť samotného zariadenia, aby sa zariadenie jednoducho používalo. Zariadenie má byť pomerne malé, a jednoducho ovládateľné jednou rukou. Ďalšou výzvou preto bude výber a usporiadanie jednotlivých komponentov do tela riadiacej hlavice. Zároveň je dôležitým aspektom aj bezdrôtový charakter snímacej hlavice, ktorý prinesie dodatočné prekážky pri implementácii HW riešenia. Na návrhu HW riešenie sa podieľali všetky tímy účastné na projekte ERIDOK. Zamestnanci lekárskej fakulty UPJŠ priniesli poznatky a praktické skúsenosti z ambulantného prostredia, čo sa odrazí na ergonómií zariadenia ako aj na procese jeho použitia. Výskumní pracovníci laserového centra z organizácie CVTI SR priniesli dôležité poznatky z výskumného a konštrukčného hľadiska a zároveň vykonali experimentálne testovanie optickej a osvetľovacej aparatury. Vedenie spoločnosti MM Medical s.r.o. doplnilo tieto poznatky o vlastné skúsenosti z komerčného vývoja medicínskych zariadení spolu s analýzou dopadov vzhľadu a funkčnosti zariadenia na ich používanie. Ústred-

nou skupinou podieľajúcou sa na návrhu a vývoji HW stránky tohto zariadenia je technický a softvérový tím spoločnosti MM Medical s.r.o.. Tieto tímy pravidelne spracúvajú požiadavky od všetkých zúčastnených strán a pracujú na ich implementácií do iteratívnych prototypov [12].



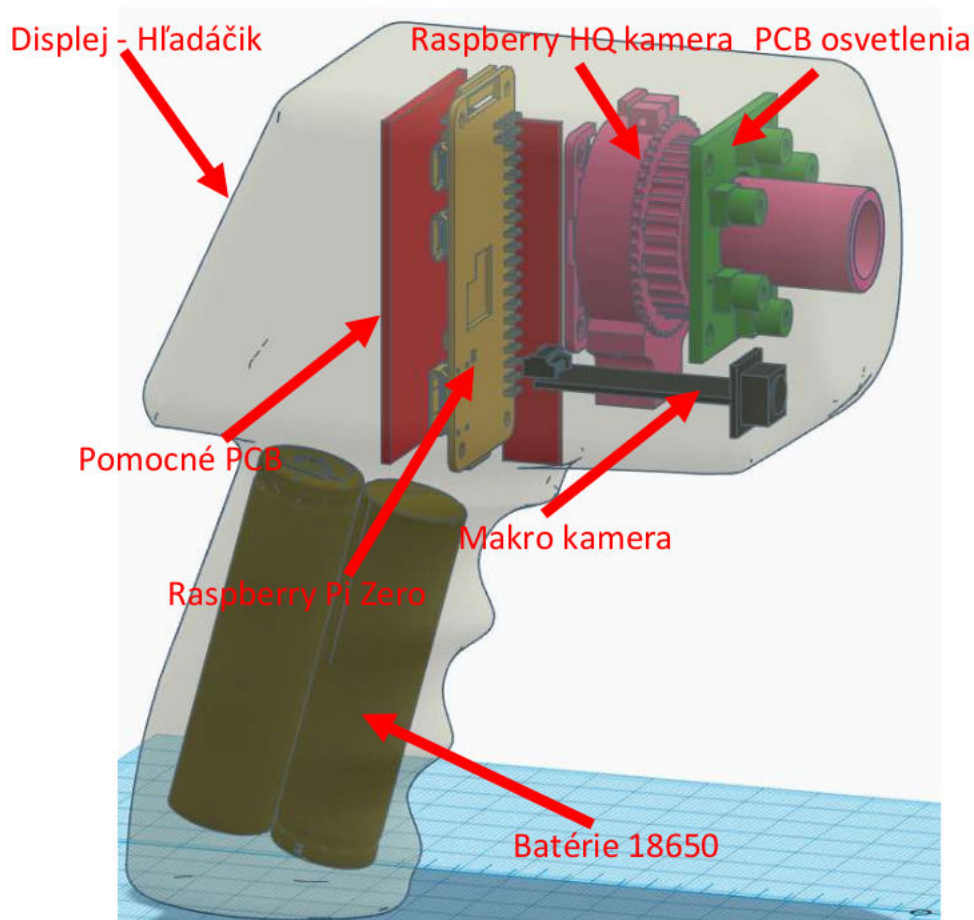
Obr. 3.2: Diagram HW periférií diagnostickej hlavice

Telo hlavice

Snímacia hlavica bude slúžiť ako pomôcka pre lekárskeho personál ako diagnostická pomôcka. Musí byť preto jednoduchá na použitie. Zároveň je nutné zabezpečiť jednoduchú manipuláciu s týmto nástrojom, aby bol proces ošetrenia príjemný, efektívny a plynulý. Po spracovaní požiadaviek a vzhľadom na použité komponenty bol zvolený "pištoľový" tvar. Ten umožní umiestnenie všetkých komponentov, a zároveň prinesie ergonomický tvar vhodný pre použitie jednou rukou. Použitím tohto riešenia taktiež vznikne vhodné umiestnenie pre tlačidlá, ktoré bude možné ovládať prstom a palcom jednej ruky. Displej snímacej hlavice taktiež získa prirodzené umiestnenie na čele tela snímacej hlavice. Rovnako dôležitá je aj voľba použitých materiálov, ktoré musia spĺňať požiadavky pre použitie v ambulantnom prostredí. Zároveň musia byť jednoducho dezinfikovateľné a zdraviu nezávadné [12].

Riadiaci počítač

Ovládanie funkcionalít snímacej hlavice bude sprostredkovaný riadiacim počítačom. Na základe požiadaviek a vybraných technológií sme sa rozhodli pre tento modul použiť pre tento účel mikrokontrolér RaspberryPi Zero W. Tento model rady RaspberryPi Zero poskytuje rozsiahle možnosti konfigurácie periférií prostredníctvom GPIO hlavice, čím umožňuje širokú škálu úprav a pripojenia rôz-



Obr. 3.3: 3D model prototypu diagnostickej hlavice [12]

ných zariadení. V oblasti kompatibility je zabezpečená podpora pre rôzne druhy zariadení a periférií, čím sa tento model stáva vhodným prostriedkom pre vytvorenie prototypu snímacej hlavice. Vybraný model taktiež obsahuje WiFi čip umožňujúci bezdrôtovú sieťovú komunikáciu. Všetky HW prvky sú obsiahnuté v minimalistickom formáte vývojovej dosky, ktorá je vhodná na integráciu do menších zariadení. Okrem vyhovujúcich HW parametrov, sa tento model taktiež vyznačuje podporou rôznych OS a vyšších programovacích jazykov. Rozsiahla komunita RaspberryPi ponúka množstvo open-source nástrojov a návodov na docieľenie cieľov, ktoré sú blízke potrebám našej implementácie.

Fotografické a optické komponenty

Hlavným diagnostickým prostriedkom snímacej hlavice bude kamerová a optická aparatúra. V našom prípade pozostáva táto časť z nasledujúcich komponentov:

- Kamerový senzor

Pre našu implementáciu kamerového senzora sme si vybrali kamerový modul RaspberryPi HQ Camera. Tento modul obsahuje kamerový senzor Sony IMX477. Jedná sa o 12.3 megapixelový senzor, ktorý umožňuje snímánie statických obrázkov s rozlíšením 4056 x 3040 pixelov, a snímánie videa v kvalite 1080p pri 30 fps alebo 720p pri 60 fps. Senzor je osadený v ovládacej doske modulu spolu s adaptérom na optické prvky. Prepojenie s riadiacim počítačom je realizované pomocou konektora Csi. Okrem ovládania samotného snímania je možné konfigurovať rôzne prvky a charakteristiky ovládacej dosky a senzora.

- Objektív

Pre dosiahnutie vyhovujúcich snímok, je okrem kvalitného senzora potrebné vybrať aj vhodnú optickú aparatúru. Prvou časťou tejto aparatúry je objektív kamery. Dôležité je vybrať objektív ktorý poskytne kvalitný prenos obrazu bez optických chýb. Zároveň musí byť vhodný pre snímánie objektov z blízkej vzdialenosti, kde je potrebné minimalizovať optické zväčšenie. V poslednom rade musí spĺňať veľkostné a hmotnostné požiadavky pre možnosť umiestnenia do snímacej hlavice a potreby kompatibility s ostatnými prvkami optickej aparatúry. V našom prípade sme sa rozhodli pre použitie objektívu MAP 052550-A od spoločnosti ThorLabs, spolu s adaptérom SM05A2 pre upevnenie na kamerový modul [12]. Z hľadiska obrazových vlastností spĺňa požiadavky pre potreby nášho systému.

- Optický tubus

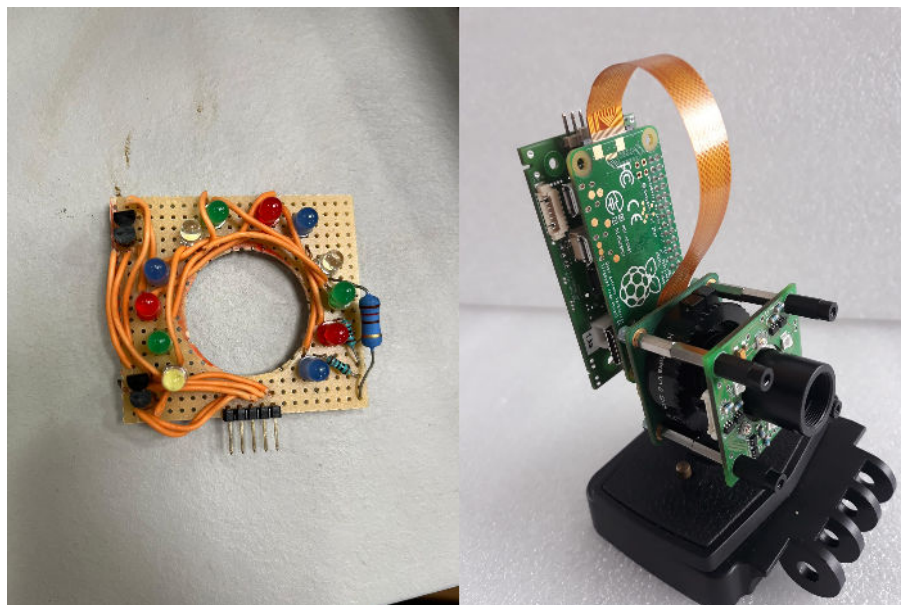
Rovnako ako pri objektíve snímacej hlavice je dôležité vybrať model tubusu vhodný pre snímánie z blízkej vzdialenosti a zároveň zaručiť kvalitu optického vybavenia vybraného modelu. Okrem týchto požiadaviek je samozrejmosťou kompatibilita s objektívom a splnenie veľkostných parametrov pre umiestnenie v snímacej hlavici. Zároveň bude tento tubus slúžiť na elimináciu parazitného svetla, ktoré by mohlo negatívne ovplyvniť vzniknuté diagnostické snímky prostredníctvom neželaných odrazov a artefaktov. V čase písania práce ešte nebola finalizovaná finálna podoba a rozmery zariadenia. Preto sa pre účely prototypov snímacej hlavice použil iba spomínaný objektív. Aktuálne sa uvažuje nad použitím tubusu SM05T2 od spoločnosti ThorLabs. Vo finálnom riešení bude tubus charakteristikami a vlastnosťami zodpovedať konečnému dizajnu snímacej hlavice.

Osvetlenie

Jedným z najvýraznejších rozdielov oproti existujúcim systémom pre diagnostiku kožných lézií je použitie a špecifického spôsobu osvetlenia pri vytváraní diagnostických snímok. Pre špecifické potreby našej implementácie bolo potrebné navrhnuť vlastné riešenie osvetlenia a jeho riadenia. Vytvorený systém osvetlenia musí obsahovať vyhovujúce LED prvky, ktoré bude možné za účelom prototypizácie a testovanie rôzne konfigurovať počas behu systému. Ovládanie svetiel bude sprostredkovať ovládací čip STM32, ktorý bude vykonávať potrebné operácie na základe požiadaviek z riadiacej jednotky systému ERIDOK.

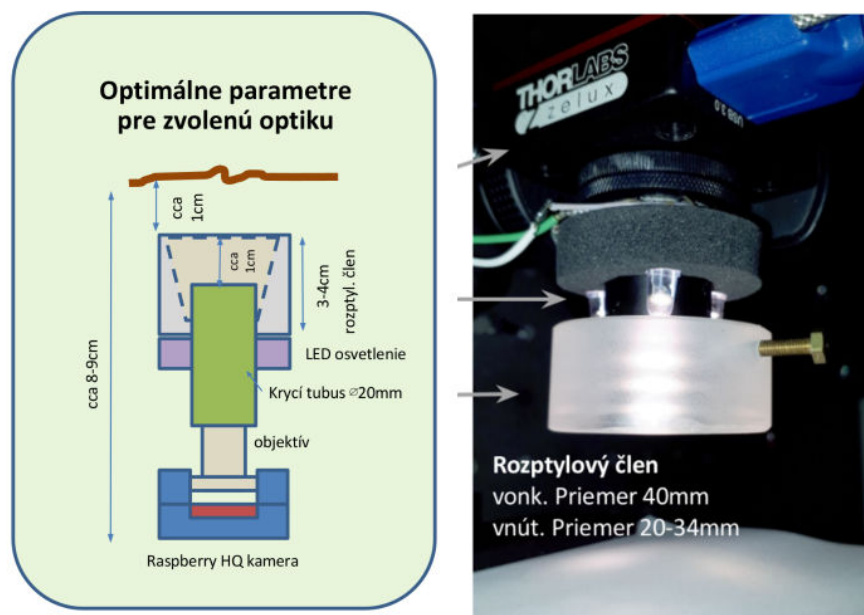
Ďalšou výzvou je integrácia svetelného aparátu do tela snímacej hlavice. Z hľadiska umiestnenia optickej aparatúry a zvyšku komponentov, je pre zabezpečenie korektného osvetlenia snímanej oblasti potrebné umiestniť osvetľovacie prvky čo najbližšie k sledovanej oblasti. Tubus optickej aparatúry siaha takmer do konca snímacej hlavice. Jediný spôsob umiestnenia svetelnej aparatúry je preto jeho osadenie na telo optického tubusu. Doska so svetelnými prvkami preto musí obsahovať otvor, ktorým bude tento tubus prechádzať. LED svetlá tak budú osadené v tvare prstenca okolo optickej aparatúry (Obr. 3.4). Dizajn a vytvorenie prototypu tejto ovládacej dosky bol vytvorený výskumným tímom MM Medical s.r.o.[12].

Charakteristika samotných LED svetiel však nevyhovuje docieleniu rovnomer-



Obr. 3.4: Prototyp osvetľovacej dosky (vľavo) a finálna verzia na prototyp snímacej hlavice (vpravo)

ného osvetlenia. Z toho dôvodu je potrebné svetlo preniesť bližšie k sledovanému miestu na koži a následne zaručiť rovnomerné osvetlenie tohto miesta. Tento problém sme sa rozhodli vyriešiť difúznou aparátúrou vo forme matného krúžka, umiestnenou na konci snímačnej hlavice (Obr. 3.5). Toto riešenie bolo navrhnuté a experimentálne priebežne testované tímom CVTI SR. Pomocou optických vlákien bude svetlo zo svetelnej aparatury privedené na do tejto difúznej aparatury. Tá následne zabezpečí rozptýlenie svetla pre rovnomerné osvetlenie sledovaného miesta.[12]



Obr. 3.5: Diagram zobrazujúci návrh umiestnenia difúznej aparatury(vľavo) a experimentálny prototyp(vpravo) [13]

LCD Displej

Pre umožnenie vykonania diagnostického ošetrenia musí zariadenie zobrazovať priblížený obraz sledovanej kožnej lézie. Pre tento účel je potrebné na snímaciu hlavu umiestniť zobrazovacie zariadenie. Okrem funkcionality tzv. hľadáča pre snímání diagnostických snímok, má slúžiť aj ako komfortnejšia náhrada digitálneho dermatoskopu. Umožní tak lekárovi bez vytvorenia snímok plynulo sledovať priblížený obraz sledovaných kožných lézií. Pre implementáciu snímačnej hlavice sme vybrali displej s riadiacim ovládačom ili9341. Tento LCD displej s uhlopriečkou 2.2" poskytuje zobrazenie s postačujúcim rozlíšením vo veľkosti 640 x 480 pixelov. Prepojenie displeja s riadiacou jednotkou je uskutočnené prostredníctvom zbernice SPI.

Nabíjanie, batérie a dokovanie

Navrhovaná snímacia hlavica má byť bezdrôtového charakteru. Táto požiadavka si vyžaduje riešenie zdroja elektrickej energie pre komponenty a jeho nabíjania. Do snímacej hlavice je preto potrebné zahrnúť systém batérií, ktorý bude slúžiť ako napájací zdroj pre komponenty snímacej hlavice. Tieto batérie budú umiestnené v rukoväti snímacej hlavice. Konkrétne sa jedná o 2 kusy nabíjateľných batérií. Nabíjanie týchto batérií bude realizované cez prevodník a nabíjačku, umiestnenú v dokovacom konektore. Ten je umiestnený na spodnej strane snímacej hlavice. Týmto konektorom spolu s mechanizmom úchytu bude možné snímaciu hlavicu uložiť do dokovacej stanice riadiacej jednotky na tele lasera. Tá sprostredkuje el. energiu pre nabíjanie cez dokovací systém. Zároveň bude toto prepojenie umožňovať jednoduchú komunikáciu, určenú primárne na párovanie snímacej hlavice s riadiacou jednotkou. Táto komunikácia bude sprostredkovaná pomocou sériovej linky prepájajúcej riadiaci počítač snímacej hlavice a počítač riadiacej jednotky.

3.3.2 Proces zhotovovania fotografií

Hlavným zdrojom informácií pre vylepšenie procesu diagnostiky v systéme ERI-DOK sú fotografie vyhotovené diagnostickou snímacou hlavicom. Na základe požiadaviek vyplývajúcich z vedeckého výskumu, je potrebné vyhotoviť pre každú sledovanú vzorku (kožnú léziu) viacero fotografií. Každá z nich sa líši spôsobom osvetlenia, resp. nasvietenia sledovaného objektu. Samotná implementácia vyhotovenia série fotiek nie je zložitá a je možné ju v s dostupným HW uskutočniť za zlomok sekundy. Proces v našom prípade komplikuje nutnosť rapídnej zmeny nasvietenia sledovanej oblasti. Proces nasvietenia v uspokojivom čase však taktiež nie je problémom. Zložitou výzvou pri návrhu a implementácii nášho riešenia je presná synchronizácia, resp. načasovanie zmeny svetla a zhotovenia fotografie senzorom. Je potrebné zaručiť, že počas celého trvania procesu snímania senzorom bude celá sledovaná oblasť rovnomerne a plne nasvietená.

Ovládanie fotoaparátov

V tele diagnostickej snímacej hlavice sa nachádzajú 2 kamery. Prvá z nich je jednoduchá širokouhlá kamera bez špecializovanej optickej aparatúry. Táto kamera má za úlohu zhotovovať fotografie širšieho okolia kožnej lézie, za účelom sledovania jej vývoja v čase a potenciálnych zmien na koži v jej okolí. Ovládanie tejto kamery je priamočiare a jednoducho uskutočniteľné pomocou dostupných kniž-

níc pre zhotovovanie fotografií. Pre tvorbu tejto fotografie neexistujú žiadne dodatočné požiadavky či časové obmedzenia, nakoľko sa vykonáva ako doplnok k hlavnému diagnostickému procesu, konkrétne k časti o zbieraní metadát o pacientovi. Na zhotovené fotografie taktiež nie sú striktné požiadavky na kvalitu fotografie, nakoľko sa na nej budú objekty zachytávať z väčšej vzdialenosti a nebudú sa pomocou nej sledovať jemné detaily sledovanej oblasti.

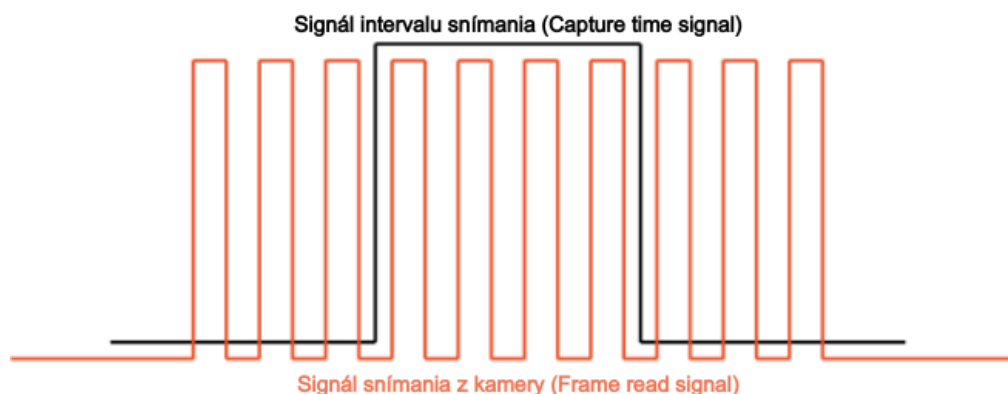
Primárna kamera má za úlohu zachytávať detailné snímky sledovanej oblasti z blízkości 4-6 cm. Fotografie zhotovené touto kamerou budú použité pre diagnostiku lekárom a strojovým učením. Ovládanie kamery RaspberryPi HQ Camera je sprostredkované knižnicou picamera pre programovací jazyk Python. Tá poskytuje množstvo funkcionalít pre konfiguráciu a ovládanie senzora a príslušenstva čipu kamerového modulu. Bohaté možnosti konfigurácie prvkov kamery a procesu snímania poskytujú prostriedky pre uspokojenie požiadaviek na výsledné fotografie. Proces snímania jednotlivých fotografií v režime "capture", určeného na vyhotovenie statických fotografií je však relatívne pomalý. Vyhotovenie 4 potrebných fotografií, vyplývajúcich z požiadaviek výskumného tímu v tomto režime trvá niekoľko sekúnd. Použitie tohto režimu v reálnom ambulantnom prostredí je preto nereálne. Okrem problémov so stabilizovaním obrazu na takto dlhý časový interval, so sebou prináša dlhší proces diagnostiky aj diskomfort pacienta a lekára pri vyšetrení viacerých kožných lézií. Kvalita ktorú tento režim umožňuje je zároveň výrazne vyššia ako je potrebné pre dosiahnutie korektnej diagnostiky pomocou lekárskeho úsudku, či strojového učenia.

Kamera však poskytuje aj režim "video", ktorý je primárne určený na zhotovenie videozáznamov. V tomto režime je možné tvoriť aj statické fotografie. Napriek tomu že kvalita zhotovených snímok je oproti režimu "capture" nižšia, je postačujúca pre dosiahnutie vytýčených cieľov. Snímanie fotografií v tomto režime je niekoľkonásobne rýchlejšie, čo umožní uspokojiť požiadavku na rýchle vyhotovenie fotografií a efektívnejší proces diagnostického vyšetrenia. Tento režim sa okrem vyhotovenia statických obrázkov použije aj na sledovanie pozorovanej oblasti cez displej, čo poslúži ako náhrada za digitálny dermatoskop.

Nasvietenie objektu

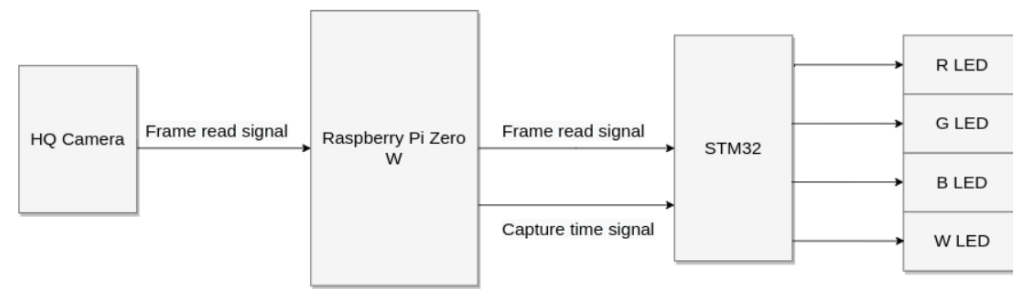
Čas rozsvietenia osvetľovacej aparatúry je oveľa kratší ako čas samotného vyhotovenia obrazového záznamu. Táto vlastnosť je spôsobená komplexným procesom zloženým z viacerých podprocesov, ako je napr. nahriatie senzora, dĺžka expozí-

cie a iné. Tento fakt sme sa rozhodli využiť v náš prospech. Skôr než bude senzor pripravený na vytvorenie fotografie, nasvietime sledovanú oblasť požadovaným svetelným spektrom. Problémom je však zabezpečenie správneho načasovania nasvietenia a vytvorenia fotografie. Na úrovni zdrojového kódu nie je možné túto funkcionality naimplementovať v uspokojivom čase. Vyvolanie signálu pre GPIO nie je možné vložiť medzi vytvorenie jednotlivých snímkov, nakoľko je táto časť kódu výrazne optimalizovaná pre rýchle vyhotovenie série fotografií. Pre riešenie tohto problému sme sa rozhodli využiť vlastnosť použitého senzora. Kamerový modul RaspberryPi HQ Camera totiž poskytuje priamu elektronickú cestu, ktorou po správnej konfigurácii signalizuje presný moment začiatku snímania obrázku. Softvérovou konfiguráciou v OS je možné presmerovať tento signál na výstupy zariadenia (GPIO). Týmto spôsobom môžeme vyslať signál pre zmenu nasvietenia priamo v momente začiatku snímania. Následne sme schopný na základe výstupného signálu o snímaní ovládať zmeny nasvietenia pomocou jednoduchého ovládača svetelnej aparatury (Obr. 3.6 a Obr. 3.7).



Obr. 3.6: Ilustrácia generovaných pulzov generovaných kamerou a SW pri snímaní

Pre zabezpečenie dostatočne rýchleho zhotovenia fotografií sa kamerový senzor používa v režime "video capture". Tento fakt spôsobuje, že spomínaný signál z kamery o začatí snímania senzora je generovaný niekoľko krát za sekundu, podľa nastavenia FPS kamery (v našom prípade 30 FPS). Z tohto dôvodu potrebujeme odseparovať pulzy mimo fázy snímania. Tento problém sme vyriešili generovaním ďalšieho a dlhšieho signálu, ktorý vyčleňuje časť snímania v ktorej sa vyhotovujú požadované fotografie pre diagnostické účely (Obr. 3.6 a Obr. 3.7). Týmto spôsobom je možné na ovládacom čipe svetelnej aparatury rozlíšiť, kedy je potrebné na pulz z kamery reagovať zmenou svetla, a kedy tento signál ignorovať.



Obr. 3.7: Diagram procesu časovania zmeny osvetlenia počas snímania

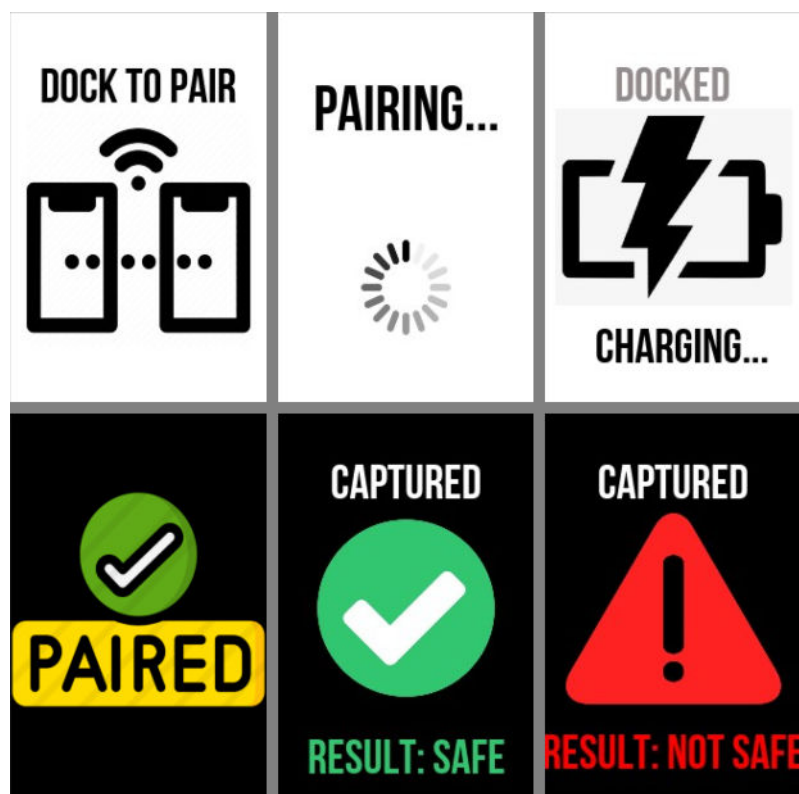
3.3.3 Interakcia používateľa

Pri používaní snímacej hlavice bude mať k dispozícii používateľ niekoľko jednoduchých prvkov pre interakciu. Hlavným prvkom je samotné grafické používateľské rozhranie. To bude dostupné cez LCD displej umiestnený na tele hlavice otočenej k lekárovi. Na ňom bude systém sprevádzať lekára procesom diagnostického ošetrenia. V hlavnom režime bude zobrazovať obrazový prenos z kamier snímacej hlavice, výsledok diagnostického ošetrenia ale aj systémové informácie o stave systému. Snímacia hlavica bude taktiež obsahovať riadiace prvky vo forme fyzických tlačidiel. Prvým z nich bude tlačidlo pre spúšť fotoaparátov. Druhé tlačidlo bude umožňovať konfiguračné úkony v procese diagnostického ošetrenia.

3.3.4 Integrácia modelu strojového učenia

Zo spracovaných požiadaviek vyplynulo, že pre zaistenie plynulého a komfortného diagnostického procesu je nutné, aby klasifikácia prebiehala čo najbližšie k samotnému diagnostickému nástroju. V ideálnom prípade by sa mala klasifikácia vykonávať priamo na snímacej hlavici nášho systému. Integrácia strojového učenia do snímacej hlavice má nasledujúce súčasti:

- **Natrénovaný model**
Klasifikácia kožných lézií s použitím metadát o pacientovi a diagnostických snímok bude realizovaná pomocou natrénovaného modelu strojového učenia. Tento model bude trénovaný na vzdialenom serverovom systéme, pričom jeho najnovšia verzia bude umiestnená priamo v pamäti riadiaceho počítača snímacej hlavice.
- **Pre-processing dát**



Obr. 3.8: Príklad použitých obrazoviek snímacej hlavice

Pred samotnou klasifikáciou je potrebné dáta transformovať do podoby, vhodnej pre vstupy vytvoreného modelu strojového učenia. Tieto transformácie budú vykonané podľa potreby primárne nad vytvorenými diagnostickými snímkami, ale aj nad metadátami o pacientovi. V prípade pre-processingu snímkov pôjde napr. o zmenu veľkosti diagnostických obrázkov, zmenu, resp. úpravu farebných kanálov či ich transformáciu na maticu dát potrebného tvaru. Konkrétne operácie budú upravované podľa aktuálneho modelu strojového učenia, a jeho požiadaviek na tvar a formát vstupných dát.

- **Klasifikácia**

Proces klasifikácie je pomerne jednoduchý. Najskôr sa upraví dáta podľa požiadaviek modelu. Následne sa do pamäte z disku načíta natrénovaný model strojového učenia. Výstupné dáta z pre-processingu sa použijú ako vstupy do modelu. Model následne z metadát a obrazových snímkov vyhodnotí kožnú léziu. Výsledok bude spracovaný riadiacim počítačom snímacej hlavice a zobrazený používateľovi cez displej na snímacej hlavici. Posledným krokom je odoslanie získaných diagnostických dát a výsledkov z klasifikácie do riadiacej jednotky lasera pre archiváciu a zobrazenie na hlavnom displeji lasera.

- Aktualizácie modelu

Model strojového učenia bude v priebehu životného cyklu softvérových častí systému pravidelne trénovaný na základe spätnej väzby a získaných diagnostických dát. Po pretrénovaní bude vzdialený API server distribuovať aktuálnu verziu modelu pre všetky riadiace jednotky systému ERIDOK. Vzápätí budú tieto aktualizácie preposlané na riadiaci počítač snímačovej hlavice, kde nahradia starú verziu modelu.

3.3.5 Konfigurácia OS

Riadiaci počítač poskytuje možnosti pre použitie najpoužívanejších OS. V našom prípade sme sa rozhodli použiť oficiálne podporovaný OS Raspian Buster vo verzii Lite. Tento OS je pod záštitou vývojárskeho tímu RaspberryPi, čo zaručuje plnú kompatibilitu s použitým HW a jeho funkcionalitami. Verzia Lite prináša základné funkcionality OS, pričom neobsahuje grafické prostredie vo forme tzv. Desktop rozhrania. Interakcia s OS je možná cez jednoduchšie CLI rozhranie, ktoré poskytuje všetky dostupné funkcionality OS, pričom vyžaduje výrazne menej systémových zdrojov.

Riadiaci softvér snímačovej hlavice bude bežať pod týmto OS vo forme Python skriptu. Ten bude ovládať všetky funkcionality hlavice. Tento proces bude potrebné daemonizovať, teda vytvoriť samostatný proces spravovaný supervisorom OS, ktorý bude spúšťať tento ovládací skript automaticky pri spustení OS.

Ďalšou nutnou konfiguráciou bude umožnenie použitia HW periférií a predvolené zakázaných SW prvkov. Do tejto kategórie patria nasledujúce nastavenia:

- Umožnenie použitia LCD displeja cez prostredníctvom tzv. framebuffer.
- Konfigurácia WiFi pripojenia
- Povolenie SSH prístupu
- Povolenie použitia kamery
- Konfigurácia vstupov a výstupov GPIO
- Povolenie SPI a SERIAL zberníc

3.3.6 Komunikačná zložka

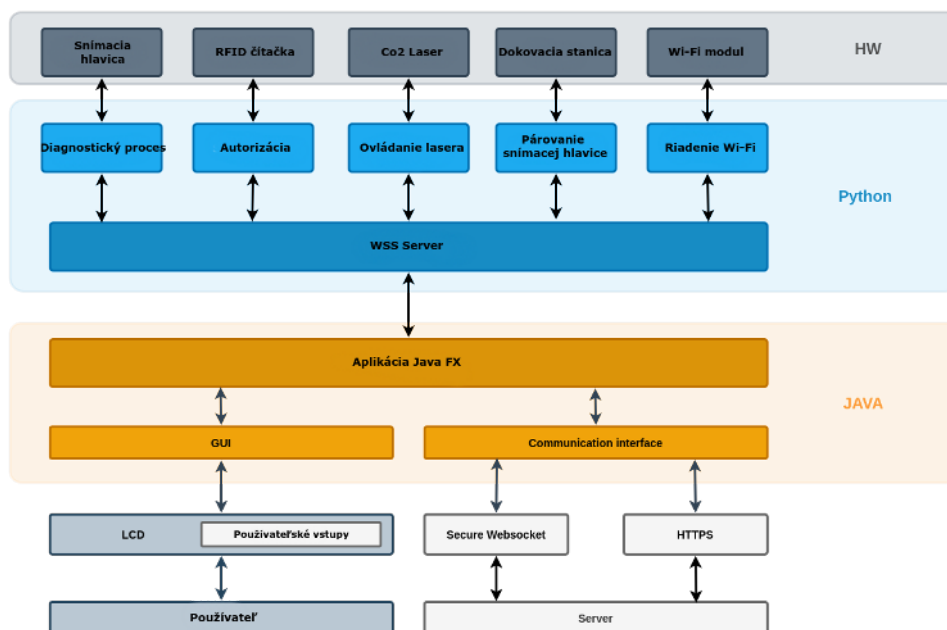
Snímacia hlavica bude komunikovať výlučne s riadiacou jednotkou na tele lasera. Táto komunikácia bude primárne bezdrôtového charakteru cez WiFi rozhranie. Druhou, jednoduchšou komunikačnou linkou bude sériové spojenie, ktoré bude použité len pre účely párovania hlavice s riadiacou jednotkou a pri nabíjaní zariadenia. Spojenie cez WiFi bude realizované len medzi zariadením riadiacej jednotky a snímačej hlavice cez privátnu sieť limitovanú na práve 2 zariadenia. Pri bezdrôtovej komunikácii sa bude používať WSS protokol. Proces autorizácie prebehne pri vytvorení websocket spojenia. Následne si budú zariadenia môcť asynchrónne vymieňať správy, potrebné pre uskutočnenie vytýčených cieľov. Tieto správy budú mať vopred špecifikovanú obálku, ktorá bude použitá vo všetkých súčiastkach systému. Zvyšný obsah sa bude meniť v závislosti od typu požiadavky. Okrem tradičných požiadaviek bude možné realizovať aj tzv. notifikácie vyvolané vzdialeným serverom alebo riadiacou jednotkou, čo umožní dynamickú charakteristiku systému a neblokujúce upozornenia pre ostatné časti systému.

3.4 Riadiaca jednotka lasera

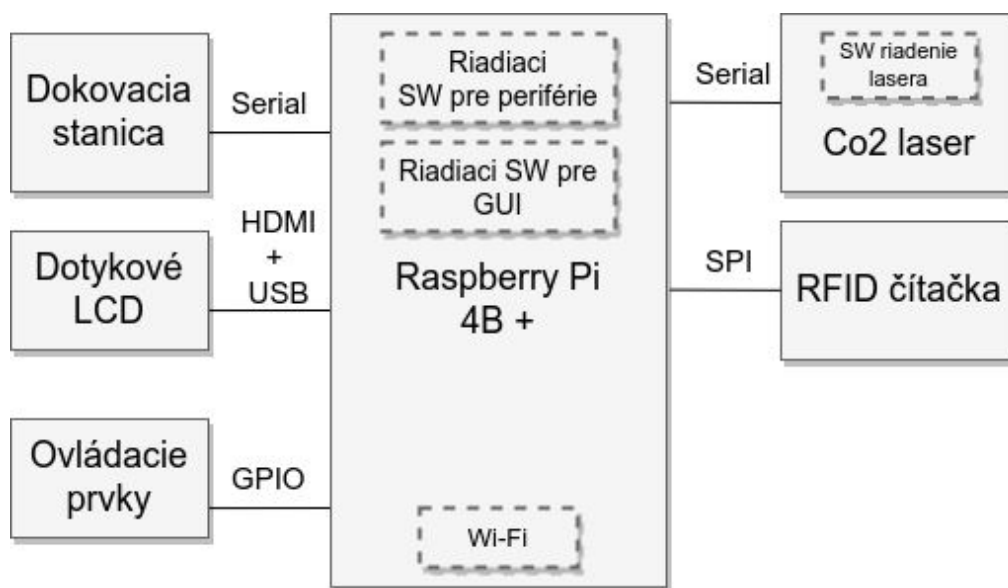
Riadiaca jednotka bude sprostredkovateľom informácií medzi bezdrôtovou snímacou hlavice, API serverom a používateľom. Komunikačná zložka bude fungovať na báze bezdrôtového WiFi pripojenia. Pre účely komunikácie medzi zariadeniami a serverom bude použitá websocketová komunikácia, ktorá umožní dynamické charakteristiky systému. Tento komponent systému ERIDOK bude vyrobený vo variante, kde sa bude jednať o priamu integráciu riadiacej jednotky do tela lasera, ktorý bude distribuovaný spolu s diagnostickou jednotkou.

3.4.1 HW riešenie

Riešenie integrácie modulu riadiacej jednotky do tela lasera je úzko spojené so samotným modelom lasera. Modul riadiacej jednotky systému ERIDOK potrebuje mať prístup k LCD displeju zariadenia, a k vnútornej elektronickej infraštruktúre lasera. Zároveň je potrebné dodať pre riadiacu jednotku napájanie, aby nebolo potrebné dodatočné externé pripojenie na elektrickú sieť. Riadiaca konzola s LCD displejom má zároveň obsahovať aj autorizačný modul vo forme čítačky elektronických kariet. Jediným prístupovým prvkom pre ovládanie systému ERIDOK cez laserový modul bude interakcia s grafickým používateľským rozhraním do-



Obr. 3.9: Diagram softvérovej infraštruktúry riadiacej jednotky lasera



Obr. 3.10: Diagram HW periférií riadiacej jednotky lasera

stupným cez displej laserového zariadenia. Na návrhu a vývoji tohto zariadenia sa primárne podieľal výskumný tím spoločnosti MM Medical s.r.o..

Laserový prístroj

Riadiaca jednotka bude integrovaná do tela laserového zariadenia. Tento laser je navrhnutý práve pre účel integrácie so systémom ERIDOK. Jedná sa o frakčný a chirurgický Co2 laser s integrovaným odsávaním spalín. Základné riadenie kom-

ponentov lasera a sledovanie jeho stavu je sprostredkované cez riadiacu jednotku lasera, ovládanú procesorom STM32F303 [7]. Väčšina súčastí funkcionalít lasera a jeho HW prvkov vrátane napájania, má byť ovládaná prostredníctvom externej riadiacej jednotky systému ERIDOK. (Obr. 3.11)



Obr. 3.11: Telo lasera vytvoreného technickým tímom MM Medical

Riadiaci počítač systému ERIDOK

Modul riadiacej jednotky systému lasera a systému ERIDOK bude spravovaný riadiacim počítačom. Na základe požiadaviek a vybraných technológií sme sa rozhodli pre tento modul použiť pre tento účel mikrokontrolér RaspberryPi 4B+. Tento model poskytuje rozsiahle možnosti konfigurácie periférií prostredníctvom modifikovateľného IO. V oblasti kompatibility je zabezpečená podpora pre rôzne druhy zariadení a periférií, čím sa tento model stáva vhodným prostriedkom pre použitie počas vývojového procesu. Vybraný model taktiež obsahuje WiFi čip umožňujúci bezdrôtovú sieťovú komunikáciu. Tento model zároveň ponúka výkonnejšie komponenty, čo poskytuje viac dostupných systémových zdrojov. Preto je možné na tomto mikropočítači spúšťať aj zložitejšie programy a OS. Riadiaca jednotka, bude spolu s ostatnými vnútornými komponentami systému ERIDOK

umiestnená do vnútra tela lasera, kde môže byť prepojená s jeho vnútornou elektroinštaláciou.

LCD displej

Hlavným prostriedkom slúžiacim pre interakciu s používateľom bude v systéme ERIDOK grafické používateľské rozhranie. Toto rozhranie bude zobrazené prostredníctvom LCD displeja, umiestneného na tele laserového zariadenia. Pre našu implementáciu sme vybrali displej s uhlopriečkou 15", rozlíšením 2K a obnovovacou frekvenciou 60Hz. Displej má integrovanú dotykovú plochu, podporujúcu multi-touch a gestá. Obrazovka je uchytená a integrovaná do ovládacej konzoly lasera. Pripojenie displeja je možné cez viacero druhov komunikačných protokolov a fyzických konektorov. V našom prípade bude použité prepojenie prostredníctvom HDMI.

Autorizačný modul

Prístup do diagnostického systému ERIDOK a prístup k ovládacím prvkom lasera budú obmedzené vlastným bezpečnostným mechanizmom. Ten bude mať za úlohu identifikovať používateľa a autorizovať ho pre vstup do systému. V našom prípade sme sa rozhodli pre verifikáciu identity používateľa prostredníctvom bezpečnostných kariet. Karta používateľa sa bude overovať pomocou čítačky RFID/NFC kariet. Autorizačný modul s čítačkou kariet bude umiestnený v tzv. riadiacej konzole, spolu s dotykovým LCD displejom. V našej implementácii sa jedná o čítačku s čipom MRC522, ktorý bude modifikovaný pre účely želanej funkcionality a umiestnený v na mieru vytvorenom obalovom module.

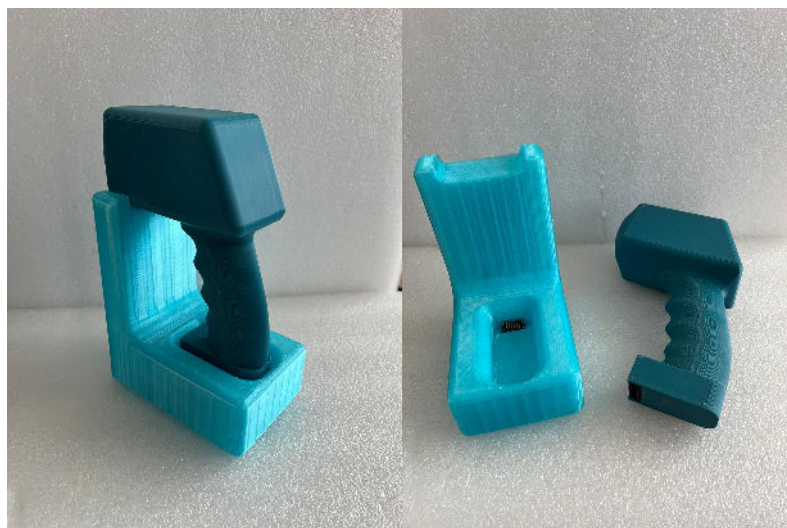
Komunikačné moduly

Nakoľko je úlohou riadiacej jednotky okrem riadenia lasera aj komunikácia so vzdialeným serverom a snímacou hlavicou, je potrebné v tomto komponente zahrnúť komunikačné moduly. Komunikácia s vonkajšími komponentami bude prebiehať výlučne po bezdrôtovom kanáli. Primárnym spôsobom pripojenie pre toto zariadenie bude technológia WiFi, ktorá umožní pripojenie snímačkej hlavice pomocou privátnej siete, a zároveň pripojenie ku vzdialenému serveru cez WiFi sieť ambulancie prostredníctvom internetu. V zariadení má byť zároveň záložné pripojenie v podobe 4G LTE modemu, ktorý zabezpečí konektivitu k hlavnému API serveru v prípade výpadku siete ambulancie. Okrem základných komunikačných

prostriedkov sa plánuje aj zahrnutie GPS modulu, ktorý umožní sledovanie polohy zariadení v reálnom čase.

Dokovacia stanica

Na tele lasera sa bude nachádzať aj tzv. dokovacia stanica. Tá bude slúžiť pre uschovanie, párovanie a nabíjanie snímačovej hlavice. Tvar dokovacej stanice je navrhnutý tak, aby dizajnovo zodpovedal zvyšku tela lasera a zároveň bol ergonomický a pohodlný na použitie. Finálny model bol vybraný z 3 návrhov (Obr. 3.12). Do dokovacej stanice smeruje prepojenie od napájacieho zdroja a komunikačná sériová linka. Zároveň sa v ňom nachádza prevodník a nabíjací mechanizmus. Súčasťou nabíjacieho mechanizmu je aj signalizačný systém tvorený sériou LED svetiel pre informovanie používateľa o stave nabíjania a komunikácie.



Obr. 3.12: Model dokovacej stanice a snímačovej hlavice [12]

3.4.2 Autorizácia

Bezpečnostným prvkom pre identifikáciu používateľa systému ERIDOK sa v našom prípade stali fyzické RFID karty. Tieto karty dostane každý oprávnený používateľ, ktorý má oprávnenie pre vstup do systému. Prístupy k zariadeniam bude možno konfigurovať cez webové rozhranie pre PZS. Komunikáciu s kartou bude sprostredkovať čítačka RFID/NFC kariet. Tá prečíta obsah karty a verifikuje bezpečnostné údaje voči vzdialenému API serveru, ktorý vyhodnotí úroveň prístupu, ktorý je používateľovi umožnený. Dodatočná autorizácia týmto prvkom môže byť dodatočne vyžiadaná v prípade prístupu k mimoriadne dôležitým či citlivým prvkom systému ako je napr. ovládanie lasera.

3.4.3 Ovládanie lasera

Jednou z požadovaných funkcionalít systému je aj ovládanie, resp. konfigurácia prvkov lasera prostredníctvom riadiacej jednotky systému ERIDOK. Všetky funkcionality, ktoré laserové zariadenie poskytuje a je možné ich konfigurovať budú dostupné cez skupinu príkazov. Tieto príkazy budú spracované od používateľa cez grafické rozhranie. Následne sa vyberie adekvátny príkaz, ktorý zodpovedá želanej funkcionalite, resp. konfigurácii spolu s argumentami zadanými používateľom. Tieto príkazy sa následne odošlú cez sériovú linku do ovládacieho čipu lasera. Ten validuje a interpretuje obdržané príkazy a vykoná želanú konfiguráciu alebo akciu zodpovedajúcu spracovanému príkazu. Detailná implementácia tohto procesu sa nachádza v technickej príručke (Príloha A).

Ovládací čip lasera

Pre zabezpečenie modularity riešenia, sú samotné funkcionality lasera ovládané separátnym mikrokontrolérom. Jedná sa o vývojovú dosku modelovej rady STM 32F303. Tento mikrokontrolér implementuje základné funkcionality laserového prístroja, vrátane jeho konfigurácie a monitorovania pomocou senzorov. Prepojenie s riadiacou jednotkou systému ERIDOK je realizované pomocou sériovej linky, na ktorej očakáva tento mikrokontrolér konfiguračné a funkčné požiadavky. Riadiaci softvér tohto zariadenia je napísaný v jazyku C.

Dostupné príkazy a funkcionality

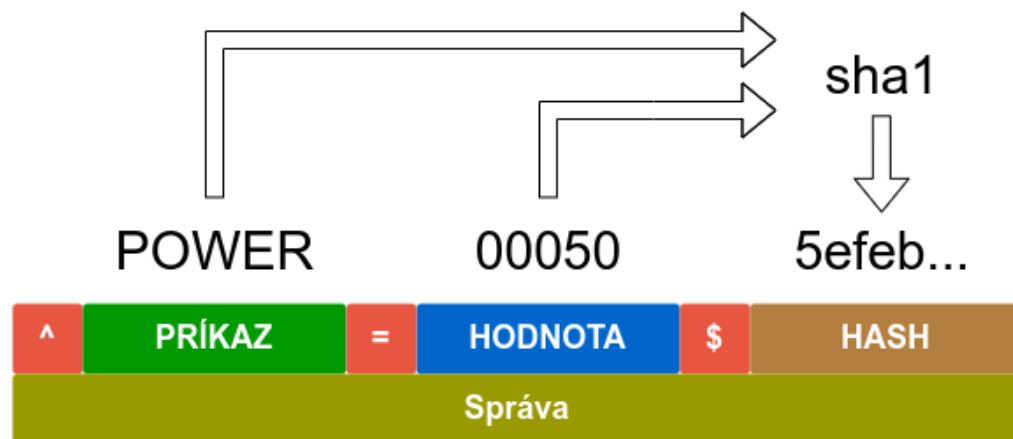
Cez komunikačnú linku je možné do ovládacieho modulu lasera odoslať niekoľko požiadaviek vo forme príkazov. Tieto príkazy sa delia do 2 skupín:

- Konfiguračné príkazy určené na nastavenie prvkov lasera pred jeho použitím.
- Stavové príkazy umožňujúce získanie informácií o vnútornom stave lasera a jeho komponentov.

Komunikačný kanál

Výmena správ medzi riadiacim čipom lasera a riadiacou jednotkou systému ERIDOK bude prebiehať prostredníctvom sériovej komunikácie. Laserová riadiaca jednotka bude podľa situácie odpovedať na jednoduché štrukturované príkazy s kontrolným súčtom Obr. (3.13). Odpoveďami bude stav vykonania príkazu a voliteľná hodnota (napr. pri stavových príkazoch). Tieto operácie budú blokujúceho

charakteru, čo zabezpečí správne poradie vykonanie príkazov na laseri. Jednotlivé požiadavky pre vykonanie príkazov lasera, budú používateľským rozhraním odoslané na lokálny WSS server, ktorý spracuje túto požiadavku, a pomocou implementácie komunikácie s laserom tento príkaz odošle do riadiaceho čipu lasera. Po obdržaní výsledkov ich zahrnie do odpovede pre používateľské rozhranie.



Obr. 3.13: Príklad štruktúry správy pre nastavenia výkonu lasera na 50W

3.4.4 Používateľské rozhranie

Grafické používateľské rozhranie riadiacej jednotky systému ERIDOK, bude hlavným interaktívnym prvkom systému. Rozhranie sa bude zobrazovať cez dotykový LCD displej v riadiacej konzole, ktorým bude možné prijímať používateľský vstup. Pomocou tohto rozhrania bude možné ovládať konfiguráciu lasera, a postupovať pri diagnostickom procese prostredníctvom systému ERIDOK. Riadiace prvky budú jednoduchého intuitívneho charakteru, pre zabezpečenie rýchleho a efektívneho procesu diagnostického ošetrenia a komfortu pacienta.

Koncept

Používateľské rozhranie bude implementované v jazyku Java, pomocou frameworku JavaFX. Rozhranie bude zložené z tzv. scén. Každá z nich bude reprezentovať jednotlivé obrazovky, ktoré sú potrebné pre uskutočnenie navrhnutých rozhraní. Riadiaci softvér rozhrania bude taktiež spracúvať vstupy od používateľa prostredníctvom dotykovej obrazovky, vo forme tlačidiel, jednoduchých formulárov a dotykových giest. Navrhnuté scény a rozhrania vieme rozdeliť na 2 skupiny:

- Ovládanie lasera
Súčasťou dermatologických ošetrení je často aj zásah laserom. Integráciou

systému ERIDOK do lasera, získame prístup k riadiacemu čipu lasera. Pri týchto zásahoch je potrebné nakonfigurovať vlastnosti lúča lasera, pre umožnenie bezpečného a korektného priebehu zákroku. Cez používateľské rozhranie riadiacej konzoly bude preto možné ovládať charakteristiky lasera pred a počas jeho používania. V tejto časti rozhrania budú umiestnené informácie o stave lasera, spolu s ovládacími prvkami pre umožnenie jeho konfigurácie. Tieto prvky budú reprezentované súborom tlačidiel, ktoré umožnia ovládať moduly a správanie lasera. Zároveň bude možné zvoliť preddefinovaný súbor nastavení, resp. vytvoriť a uložiť nový profil nastavení, ktoré bude následne možné použiť podľa potreby. Používateľské vstupy tohto rozhrania následne spracuje vo forme požiadaviek riadiaci softvér systému ERIDOK, ktorý vykoná požadované nastavenia prostredníctvom odoslania správ do riadiaceho čipu lasera.

- Diagnostický systém ERIDOK

Hlavnou časťou rozhrania bude prostredie, ktoré prevedie lekára diagnostickým procesom pomocou systému ERIDOK. Okrem prezenčnej a autorizáčnej časti rozhrania, sa bude primárne jednať o obrazovky s dátami z ošetrenia a informáciami o jeho priebehu. Obrazovky tohto rozhrania budú taktiež usporiadané pre použitie s dotykovou obrazovkou, a budú obsahovať intuitívne ovládacie prvky pre plynulý proces ošetrenia. Rozhranie bude zložené z týchto ovládacích prvkov, vrátane priestoru na zobrazenie získaných diagnostických snímok a dodatočných analytických údajov z ošetrenia. Grafické prvky zobrazujúce obrazové snímky budú podporovať dotykové gestá, ktoré umožnia komfortný proces diagnostiky na LCD displeji. Požiadavky budú spracované riadiacim softvérom rozhrania, a následne budú vykonané vyžiadané akcie formou požiadaviek na API server, alebo riadiaci softvér systému ERIDOK.

3.4.5 Párovanie snímacej hlavice

Pre použitie snímacej hlavice musí prebiehať komunikácia s riadiacou jednotkou systému ERIDOK. Táto komunikácia bude uskutočnená prostredníctvom WiFi pripojenia medzi zariadeniami. Túto WiFi sieť bude sprostredkovať riadiaca jednotka, pričom sa bude jednať o súkromnú sieť so zabezpečeným prístupom. Táto sieť však bude až do spárovania zariadení deaktivovaná.

Proces párovania začne zasunutím snímacej hlavice do dokovacej stanice tela la-

sera. Po sériovej linke si zariadenia vymenia a skontrolujú bezpečnostné prvky a identifikátory. Proces bude implementovaný prostredníctvom Diffie-Hellman výmeny kľúčov. po ktorej bude možné ďalšie správy šifrovať vzniknutým spoločným kľúčom. Po úspešnej výmene kľúčov a autorizácii snímacej hlavice, jej riadiaca jednotka odošle identifikátor skrytej siete a prislúchajúci prístupový kód pre pripojenie do tejto siete. Po ukončení párovacieho procesu sa snímacia hlavica môže pripojiť k tejto súkromnej sieti, kde môže prebiehať zabezpečená websocket komunikácia so systémom ERIDOK. Detailná implementácia tohto procesu sa nachádza v technickej príručke (Príloha A).

3.4.6 Komunikačná zložka

Pre zabezpečenie distribúcie informácií medzi prvkami systému ERIDOK je potrebné navrhnuť rýchlu, spoľahlivú a bezpečnú komunikáciu. Nakoľko sa jedná o distribuovaný systém zariadení, je medzi želanými funkcionalitami aj možnosť medzi prvkami systému odosielať asynchrónne správy a notifikácie. To umožní dynamické chovanie systému a reakciu prvkov na globálne udalosti distribuované cez tento systém. Tieto charakteristiky komunikácie spĺňa protokol WSS. Umožňuje asynchrónne odosielanie a prijímanie správ medzi prvkami systému rýchlou a efektívnou formou.

Oproti tradičným HTTP / HTTPS požiadavkám má zároveň výhodu efektívnejšieho vyhodnocovania požiadaviek. Táto charakteristika je spôsobená tým, že autorizácia zdroja sa nerealizuje pri každej požiadavke, ale len pri otvorení WSS kanálu. Týmto spôsobom sa urýchli komunikácia, pričom sa bude využívať zabezpečený a šifrovaný kanál. Medzi všetkými prvkami systému bude použitá práve táto forma komunikácie. Jednotlivé požiadavky budú odosielané v generickej obálke, ktorá bude spoločná pre všetky správy v systéme. Vnútoraná štruktúra správ, ktorá je unikátna pre jednotlivé požiadavky sa bude meniť v závislosti od želanej funkcionality danej správy. Správy všetkých prvkov systému teda budú zodpovedať tejto štruktúre. Tento prístup zjednoduší proces spracovania, logovania a ladenia jednotlivých požiadaviek naprieč systémom.

3.4.7 Systémové aktualizácie

V prípade potreby zmeny či pridania funkcionalít do softvéru snímacej hlavice alebo riadiacej jednotky lasera je potrebné navrhnuť systém pre distribúciu aktualizovaných softvérových balíčkov. Všetky aktualizácie budú poskytované pro-

stredníctvom websocketovej komunikácie a budú obdržané vždy len od vzdialeného API servera. Samotný proces aktualizácie si však bude vyžadovať separátny skript, ktorý umožní aktualizáciu, zmazanie či nahradenie súborov na zariadení. Pred samotným procesom aktualizácie je potrebné vytvoriť zálohu aktuálne nasadenej konfigurácie pre prípad zlyhania procesu. Odseparovaním procesu aktualizácie od hlavného skriptu aplikácie sa tak zabezpečí predídienie fatálneho zlyhania aktualizáčného procesu, ktorý by mohol spôsobiť že zariadenie nebude použiteľné bez manuálneho zásahu technickej podpory. Pri aktualizáciách softvéru snímačej hlavice, sa bude aktualizálny balíček taktiež získavať zo vzdialeného API servera a následne bude poskytnutý pre snímáciu hlavicu prostredníctvom websocketovej komunikácie, ktorá samotnú aktualizáciu vykoná.

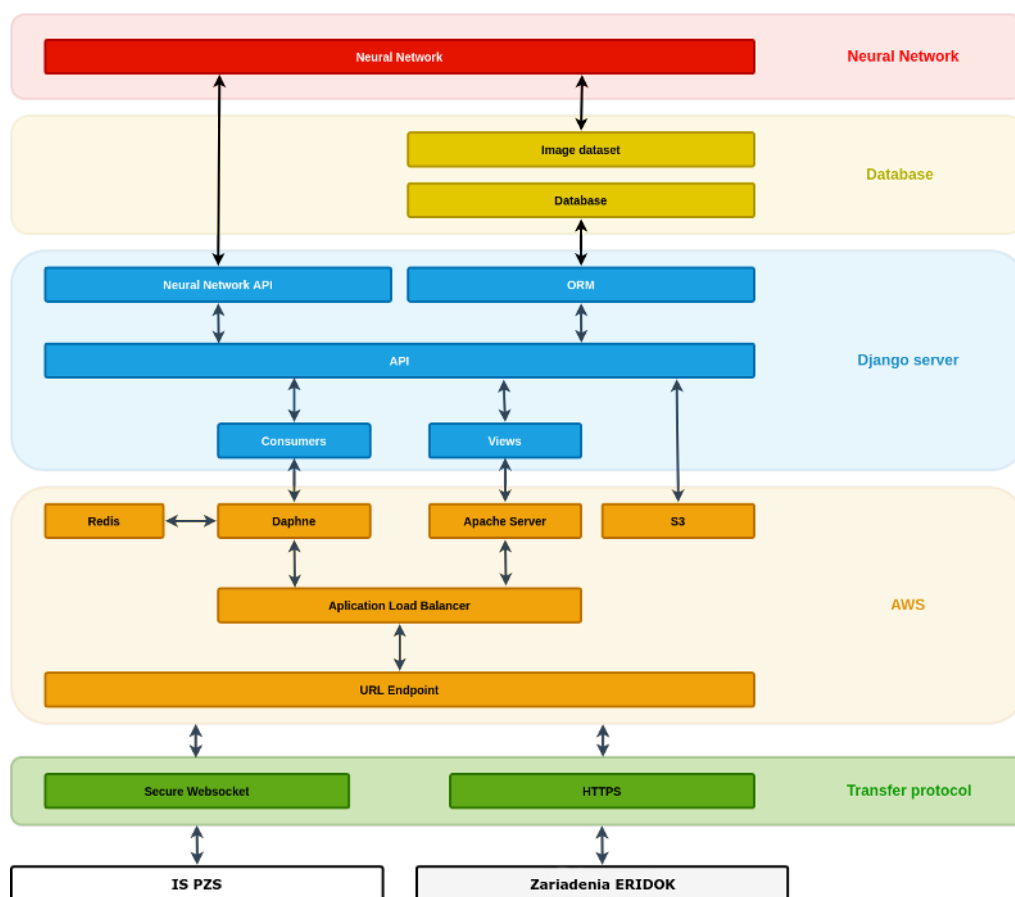
3.5 Vzdialený API server

Centrálny API server je ústrednou súčasťou systému ERIDOK. Slúži pre poskytovanie a ukladanie dát získaných z diagnostických zariadení ERIDOK. Webová aplikácia bude nasadená prostredníctvom webového frameworku Django na infraštruktúre AWS. V rámci tejto infraštruktúry bude implementovaný proces pre prijímanie požiadaviek vo forme websocketovej komunikácie ako implementácia API pre zariadenia systému ERIDOK, a HTTPS pripojenie ako API pre IS PZS. Server bude zároveň jediným prvkom s možnosťou čítania a zápisu do databázy. Taktiež bude slúžiť ako ústredný autorizačný prvok pre všetky komponenty systému.

3.5.1 Konceptia serverovej infraštruktúry

Všetky zariadenia systému ERIDOK sa budú pripájať k centrálnemu vzdialenému API serveru. Samotný aplikačný server bude implementovaný v Python frameworku Django. Jeho primárnou úlohou je obsluha API pre riadiace jednotky fyzických zariadení ERIDOK. Aplikačný server bude nasadený do cloudovej infraštruktúry AWS (Obr. 3.14), konkrétne pomocou služby Elastic Beanstalk. Pre zabezpečenie dynamických charakteristík systému a jeho bezpečnosti sme sa rozhodli implementovať komunikačnú zložku tohto API pomocou websocketovej komunikácie. Toto rozhodnutie nám umožní udržiavať stále spojenie so všetkými zariadeniami systému, pričom urýchli proces autorizácie a uľahčí prenos dát rôznej podoby. Server bude zároveň slúžiť ako autorizačná autorita. Pred získaním akýchkoľvek dát zo servera sa budú musieť zariadenia a používatelia autorizovať. Zároveň bude server poskytovať API pre IS PZS. Toto API bude implementované

pomocou štandardizovaného systému REST cez HTTPS pripojenie. Naimplementovaný Django server je taktiež jediným prvkom systému s možnosťou priameho zápisu a čítania údajov databázy. Tá bude spĺňať prísne požiadavky pre bezpečnosť, šifrovanie dát, ich integritu a anonymizáciu citlivých údajov o klientoch. Server bude taktiež sprostredkovať aktualizácie komponentov pre zariadenia systému ERIDOK. Rovnako by mal poskytovať grafické webové rozhranie pre PZS, kde bude možné sledovať údaje o vlastnených a používaných zariadeniach. V neposlednom rade bude hlavný API server komunikovať s implementáciou strojového učenia, čím bude možné sprostredkovať pre ERIDOK zariadenia aktuálne natrénované modely na vyhodnocovanie diagnostických údajov a konfigurovať proces tréningu modelov. Pre údržbu tejto serverovej infraštruktúry bolo potrebné navrhnuť a implementovať niekoľko nástrojov. Jedná sa o softvérové moduly umožňujúce spravovať, aktualizovať a vzdialene riadiť API server počas jeho vývoja ale aj v produkčnom prostredí.



Obr. 3.14: Diagram architektúry API servera

3.5.2 AWS infraštruktúra

Vývojové a produkčné prostredie pre hlavný API server budú nasadené na cloudovej infraštruktúre AWS. V našej implementácii sme využili viacero dodatočných služieb tohto ekosystému, nakoľko ich spolupráca po internej infraštruktúre AWS je efektívnejšia ako pripájanie sa na externé služby tretej strany. V našom systéme používame nasledujúce služby:

- Route 53
Služba pre správu domén a DNS nastavení
- Certificate manager
Služba pre správu SSL certifikátov
- Elastic Beanstalk
Služba pre prostredie webovej aplikácie
- EC2
Služba pre poskytnutie virtuálnych výpočtových jednotiek
- Application Load Balancer
Služba pre smerovanie požiadaviek
- S3
Služba pre zabezpečené úložisko
- RDS
Služba pre správu databázových serverov
- Secrets manager
Služba pre uchovávanie citlivých údajov

3.5.3 Websocket komunikácia

V rámci implementácie API sme sa rozhodli použiť websocketovú komunikáciu. Pre poskytnutie koncových bodov na pripojenie pomocou websocket klientov, je potrebné pripraviť infraštruktúru pre akceptovanie takýchto pripojení a ich zabezpečenie. V našom prípade sme pre konfiguráciu využili možnosti služieb AWS, ktoré v kombinácii s konfiguráciou Django servera a použitím knižnice `channels_redis` poskytuje prostriedky pre realizáciu websocketovej komunikácie [14]. Vďaka asynchrónnemu prístupu k spracovaniu požiadaviek, získa náš systém dynamické charakteristiky, ktoré je možné využiť pre efektívne spracovanie požiadaviek, ale aj distribúciu správ naprieč systémom.

3.5.4 Autorizácia a autentifikácia

Zabezpečenie systému pred neautorizovaným vstupom a používaním bude do-
cielený pomocou autorizačných prvkov vo web frameworku Django, v kombi-
nácií s vlastnými prvkami zabezpečenia. Vstup do systému bude umožnený 3
typom používateľov:

- Administrátor
- Vývojári a obsluha IS PZS
- Lekár/obsluha zariadení

Administrátor bude schopný pomocou webového administrátorského rozhrania
monitorovať zariadenia a konfigurovať rôzne nastavenia systému. Prístup do tohto
rozhrania bude obmedzený dvojfázovou autorizáciou pomocou prihlasovacieho
mena a hesla a dodatočného overenia pomocou OTP kódu zaslaného na mobilný
telefón alebo emailovú schránku.

Prístup k dátam poskytovaným pre IS PZS cez API bude podmienený autorizač-
ným procesom pri všetkých vykonaných požiadavkách. Tento proces bude im-
plementovaný pomocou autorizačných tokenov, ktorých prítomnosť bude vyža-
dovaná pri každej požiadavke na API. Každý PZS zároveň obdrží prihlasovacie
údaje do webového rozhrania, pomocou ktorého bude možné monitorovať exis-
tujúce zariadenia zakúpené pre daný PZS. Pri strate týchto údajov bude možné
ich resetovať pomocou verifikačného odkazu zaslaného na emailovú adresu PZS.

Lekársky personál bude vstupovať do systému prostredníctvom zariadení sys-
tému ERIDOK. Všetky akcie v riadiacej jednotke lasera a snímacej diagnostic-
kej hlavici budú sprístupnené až po úspešnej autorizácii používateľa. Tento pro-
ces bude realizovaný prostredníctvom fyzického autorizačného prvku vo forme
RFID karty, ktorá bude pre PZS distribuovaná spolu so zariadeniami systému
ERIDOK. Identita používateľa bude v procese overená voči hlavnému API ser-
veru. Dodatočné úkony ako je napr. konfigurácia prvkov lasera bude podmienená
zadaním špeciálneho prístupového kódu zamestnanca.

3.5.5 Databáza

Ústredným bodom serverovej infraštruktúry je z hľadiska perzistencie uložených
dát databázový server. V našom prípade sa jedná o inštanciu MySQL servera, na-

sadenú prostredníctvom služby RDS a EC2 na infraštruktúre AWS. V tejto relačnej databáze sa budú uchovávať všetky relevantné informácie potrebné pre beh systému v produkčnom a vývojovom prostredí. Pre možnosť ďalšieho vývoja aj počas produkčného životného cyklu systému budú vytvorené 2 databázy, pričom jedna z nich bude slúžiť pre produkčné a druhá pre vývojové prostredie. Databáza bude obsahovať tabuľky 2 typov:

- Systémové Django tabuľky

Pri vytvorení Django aplikácie je pre využitie vnútorných funkcionalít Django frameworku nutné vytvoriť v databáze tabuľky, ktoré bude aplikácia Django používať pre vnútorný chod aplikácie. Súbor týchto tabuliek závisí od vybraných funkcionalít, ktoré chceme prostredníctvom aplikácie Django využívať. V našom prípade sa jedna o autentifikačný a autorizačný systém frameworku Django. Najdôležitejšími tabuľkami sa v našom prípade stanú `auth_user` a `django_session`, pomocou ktorých dokážeme vytvoriť autorizačný systém na mieru a zároveň naplno využiť vstavanú funkcionalitu frameworku Django.

- Operačné tabuľky systému ERIDOK

Väčšina obsahu databázy je zložená z operačných a archivačných tabuliek určených pre funkcionality systému ERIDOK. V čase písania tejto práce sa jednalo o 40 prepojených tabuliek. V našom prípade sme sa pri tvorbe tabuliek rozhodli nepoužiť možnosť tzv. "migrovania" tabuliek pomocou frameworku Django. Tabuľky spravujeme priamo v prostredí správy databázy, nakoľko nám to umožňuje širšie a konkrétnejšie možnosti konfigurácie vytvorených tabuliek.

Autorizácia

Prístup k databáze bude z dôvodu prísneho zabezpečenia výrazne obmedzený. K zmenám k databáze bude môcť dojsť len prostredníctvom 2 používateľov: `admin` a `django`. Administrátorský účet bude určený pre údržbu a manuálne zásahy do databázy pri vývoji systému. Prístup k administrátorskému účtu bude umožnený len z určeného a zabezpečeného zariadenia prostredníctvom SSH kľúča. Vytvorená Django aplikácia bude pristupovať k databáze cez konektor definovaný v súbore `settings.py`. Oba prístupy budú môcť komunikovať s databázou len prostredníctvom zabezpečeného SSL spojenia, ktoré bude vyžadované pri každom pripojení. Rovnaký spôsob autorizácie (s pozmenenými prístupovými heslami a kľúčmi) bude použitý aj pre vývojový databázový server.

Model

Všetky databázové tabuľky, ktoré bude systém využívať budú na API serveri reprezentované v podobe Django modelov. Všetky stĺpce tabuliek budú predstavovať atribúty modelu. Vnorené pod-objekty modelov budú taktiež dostupné cez atribúty hlavného modelu, avšak v niektorých prípadoch, konkrétne pri reláciách one-to-many budú voči API tieto modeli reprezentované cez tzv. reverzné relácie. V praxi to znamená, že v prípade že niektorý z modelov má logicky patriaci zoznam riadkov inej tabuľky, bude tento zoznam reprezentovaný a serializovaný ako list, resp. pole inštancií tohto modelu. Tento prístup bude využitý najmä pri serializácii dát pre API.

Modely vytvorené pre systém ERIDOK vieme zaradiť do nasledujúcich skupín:

- Entity pre správu používateľov systému
Modely obsahujúce informácie o používateľoch a autorizačné modely
- Entity určené pre proces diagnostiky a ošetrovania
Tabuľky obsahujúce diagnostické dáta z ošetrovaní
- Entity pre zariadenia a ich monitorovanie
Modely určené na identifikáciu, sledovanie stavu a umiestnenia zariadení
- Entity pre uchovávanie systémových informácií
Systémové tabuľky pre ladenie chýb a monitorovanie systému

Anonymizácia

V systémovej databáze sa budú uchovávať citlivé informácie z diagnostických ošetrovaní. Nakoľko sa jedná o spoločnú databázu pre všetky distribuované zariadenia, je potrebné zaručiť anonymizáciu dát. Pre diagnostické a analytické účely nepotrebujeme v systéme uchovávať citlivé klientske osobné údaje ako sú meno, priezvisko, rodné číslo či bydlisko. API pre IS PZS preto umožní získavať dáta a informácie z ošetrovaní na základe unikátneho identifikátora ošetrovania. Spojenie konkrétneho klienta s daným ošetrovaním je spravovaný IS PZS.

Integrita dát

Okrem zabezpečenia vstupu a odhalenia dát je taktiež dôležité zaručiť, že s dátami nebude manipulované priamo v databáze pri úspešnom neautorizovanom vniknutí. Integrita dát v databáze sa dá docieľiť viacerými spôsobmi. V našom

případe sme si zvolili implementáciu vlastného riešenia. Princípom tohto mechanizmu je vytvorenie dodatočného stĺpca pre všetky operačné tabuľky databázy. Tento stĺpec bude obsahovať hodnotu, ktorá bude vypočítaná z obsahu ostatných buniek a dodatočných metadát. Táto hodnota bude plniť funkciu kontrolného súčtu. To znamená že pri akejkoľvek zmene dát, pri ktorej nedôjde k aktualizácii kontrolného súčtu, bude možné odhaliť neautorizované manuálne zásahy do databázy, ktoré neboli vykonané serverom. Stĺpec s kontrolným súčtom sa bude aktualizovať pri akejkoľvek zmene dát a ich vytvorení. Reverzným výpočtom bude možné periodicky kontrolovať integritu dát v databáze. Budúce pridávanie databázových stĺpcov neohrozí funkčnosť tohto algoritmu, nakoľko časová pečiatka obsahuje zoznam aktuálne dostupných stĺpcov tabuľky databázy.

3.5.6 ERIDOK API

Zariadenia systému ERIDOK sa budú pripájať na zabezpečený koncový bod aplikačného servera. Prostredníctvom tohto kanálu bude možné získavať potrebné údaje o ošetrovaniach a zároveň sledovať a monitorovať jednotlivé zariadenia.

Spracovanie požiadaviek

Spracovanie interných požiadaviek zo zariadení systému ERIDOK využíva skutočnosť, že API a logika funkcionalít je úzko previazaná s navrhnutými ORM modelmi. Prístup na toto API bude umožnený len vnútorným zariadeniam systému, preto je možné dať do rúk vývojárom klientskej strany systému viac možností pre plné využitie jeho funkcionalít. Komunikácia bude prebiehať prostredníctvom websocketového kanálu. Ten umožní dynamické charakteristiky systému, kde bude možné distribuovať informácie naprieč systémom pomocou asynchrónnych správ vo forme notifikácií.

Serializácia a deserializácia objektov

Okrem odlišností od tradičného REST spracovania požiadaviek, toto API vyniká aj spôsobom serializácie jednotlivých objektov použitých v požiadavkách a odpovediach. Navrhnuté ORM modely sú viac vertikálneho ako horizontálneho charakteru. Pri takejto štruktúre tabuliek v databáze, vznikne prirodzený problém s výrazne vyšším počtom potrebných požiadaviek pre získanie celého objektu aj so všetkými vnorenými súčasťami. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli pre nekonvenčné riešenie serializácie týchto vnorených objektov. Pripojené zariadenie bude môcť získavať dáta pomocou upraveného REST spracovania požiadaviek. V ňom

bude môcť definovať štruktúru a hĺbku objektov, ktoré má obdržať v odpovedi. Tento proces bude uskutočnený pomocou tzv. serializérov, ktoré umožnia definovať rôznu komplexitu a hĺbku serializovaných údajov. Pre každý z modelov je možné vytvoriť viacero serializérov, ktoré môžu byť vhodné na rôzne situácie.

Cache a optimalizácie

Pri použití komplexnejších dát pri vybavovaní API požiadaviek prichádza riziko pomalého vybavovania požiadaviek. Tento problém vieme mitigovať dvoma spôsobmi: optimalizovanie použitých serializérov a použitie cache. V našom prípade bude použitá cache v prípadoch, kde sa využíva filtrovanie objektov podľa sady parametrov. Táto cache bude mať najväčší efekt pri modeloch, ktoré sú štruktúrou zložitejšie a ich serializácia je časovo náročná. Pri akejkolvek zmene v databázovej tabuľke daného modelu, bude cache vyčistená. Samotnú serializáciu je možné taktiež optimalizovať. Pri serializácií zložitých objektov vzniká problém s opakujúcimi sa dopytmi na databázu, pre vyplnenie štruktúr vnorených objektov. Tento problém je možné vyriešiť optimalizáciou týchto dopytov, ktoré získajú všetky potrebné dáta v jednom dopyte. Týmto spôsobom sa výrazne urýchli čas vykonania požiadaviek. Pre tento účel sme použili súčasti knižnice django-auto-prefetching.

Atomicita - transakcie

Pri spracúvaní komplexných požiadaviek sa častokrát stane, že sa do databázy zasahuje na viacerých miestach. V prípade nečakanej chyby, ktorá spôsobí nevalidné ukončenie požiadavky, musíme zabezpečiť korektné spracovanie odpovede a zaručiť konzistentný stav databázy. Pre riešenie tohto problému sme sa rozhodli využiť databázové transakcie. Každým spustením spracovávania API požiadavky, sa proces uzavrie do samostatnej databázovej transakcie. Všetky zásahy do databázy, ktoré menia jej obsah sa teda potvrdia až v momente keď je požiadavka validne ukončená. V prípade chyby sa všetky akcie uskutočnené nad databázou vrátia do pôvodného stavu.

Napriek tomu chceme v niektorých prípadoch zapisovať do databázy aj v momente, keď na serveri nastane chyba. Jedným z príkladov je logovanie a archivácia chýb. Tieto databázové dopyty sa preto uskutočnia prostredníctvom iného databázového pripojenia, čo zapríčiní že budú v databáze potvrdené aj ak v systéme nastane chyba a nebudú ovplyvnené nadradenými transakciami.

3.5.7 API pre IS PZS

Pre plnú integráciu systému ERIDOK do procesu ošetrovania bude vzdialený API server poskytovať získané diagnostické údaje z ošetrovaní aj mimo svojich zariadení. Toto API bude dostupné pre PZS, ktorý využívajú vlastnú implementáciu IS, v ktorom spracúvajú informácie o pacientoch. Tento prístupový bod umožní pokračovať v diagnostike aj mimo prostredia systému ERIDOK, a používať získané diagnostické údaje pre ďalšie účely. Toto rozhranie bude prístupné cez skupinu HTTPS požiadaviek, a bude mať podobu upraveného konceptu REST.

API pre tento účel bude vytvorené na mieru a bude mať isté obmedzenia. Nakoľko sa k tomuto prístupovému bodu budú pripájať cudzie zariadenia, je potrebné obmedziť funkcionality a možnosti získavania dát. Klientske zariadenia pripájajúce sa na toto API budú musieť používať preddefinované požiadavky, ktoré budú narozdiel od API pre vnútorné zariadenia presne definované. Týmto spôsobom sa najprv definujú údaje, ktoré bude možné prostredníctvom API získať, a na základe tejto množiny sa zadefinujú presné požiadavky pre ich získanie. Nebude tak možné získavať akékoľvek dáta, ako to je pri vnútornom API.

Okrem obmedzenia voľnosti pri získavaní dát budú zavedené aj bezpečnostné mechanizmy. Prvým z nich je autorizácia samotných požiadaviek. Tento proces zaručí, že dáta o diagnostických ošetrovaniach sa dostanú len k autorizovaným systémom, v tomto prípade IS PZS, ktorý zariadenia vlastní a používa. Autorizácia bude prebiehať pomocou autorizačného API tokenu, ktorý bude očakávaný v hlavičke HTTPS požiadavky. Jeho prítomnosť a validita sa budú overovať pri čítaní a spracúvaní každej požiadavky prichádzajúcej na API. Celá komunikácia bude vyžadovať SSL pripojenie, čo zaručí prenos šifrovaných dát po zabezpečenom kanáli. Okrem týchto mechanizmov bude pri každej požiadavke zaručené, že IS PZS bude môcť získať zo systému len dáta, ku ktorým má povolený prístup. Tento proces je jednoducho implementovateľný pomocou na mieru vytvorených metód na spracovanie HTTPS požiadaviek.

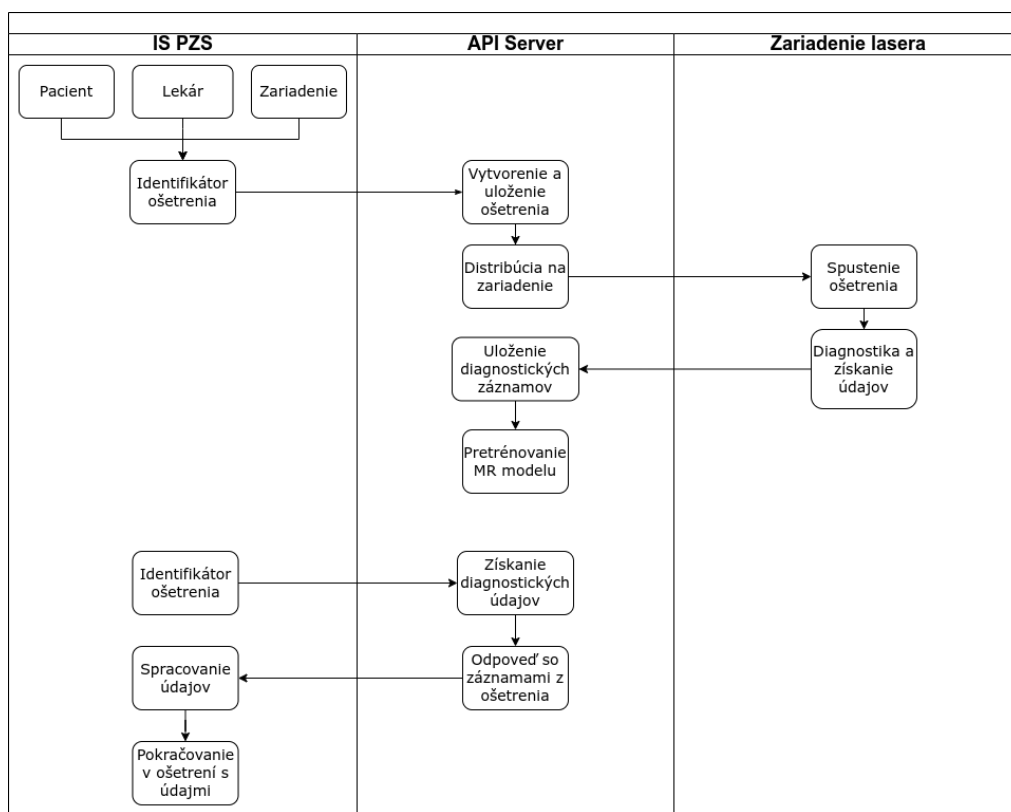
Prostredníctvom tohto API bude možné získať nasledujúce údaje:

- údaje z diagnostických ošetrovaní
- Hlavnou úlohou API pre IS PZS je automatizácia procesov diagnostiky a umožnenie jeho pokračovania v IS PZS. Prvou úlohou tohto API je preto možnosť vytvárania, resp. plánovania ošetrovaní pre konkrétneho pacienta,

lekára a zariadenie. Tieto informácie sa neskôr dostanú do zariadenia, ktoré umožní vykonanie vyšetrenia. Dáta z vykonaných diagnostických ošetrení bude možné získať na základe identifikátora ošetrenia, pacienta alebo lekára, resp. iných vyhľadávacích parametrov. Príklad použitia tejto integrácie je znázornený na diagrame (Obr. 3.15).

- informácie o vlastných zariadeniach

Okrem diagnostických údajov, je dôležité umožniť PZS získavať informácie o vlastných zariadeniach. Toto API im preto umožní sledovať umiestnenie a stav ich zariadení, spolu s ich využitím pre plánovanie ich používania v rámci svojich ambulancií. Zároveň táto funkcionalita odbremení IS PZS od vlastnej implementácie takéhoto systému.



Obr. 3.15: Diagram príkladu použitia integrácie systému ERIDOK s IS PZS

3.5.8 Administrátorské rozhranie

Toto rozhranie je určené pre monitorovanie a sledovanie stavu dostupných zariadení daného PZS. Prístup do zariadenia je pridelený pre PZS, ktorý používa diagnostický systém ERIDOK. Z tohto zariadenia je možné riadiť administráciu

jednotlivých strojov a získavať informácie o ich aktivite. Zároveň je cez toto rozhranie možné konfigurovať prístupy pre používanie diagnostických zariadení ERIDOK pre odborných zamestnancov.

3.5.9 Integrácia strojového učenia

Trénovanie a správa modelov strojového učenia bude prebiehať na osobitnom vzdialenom serveri. Prepojenie s týmto serverom je však dôležité. Primárne bude slúžiť na získavanie aktuálneho modelu strojového učenia, ktorý bude slúžiť na diagnostický proces. Po získaní tohto modelu zo servera bude distribuovaný na zariadenia vo forme aktualizáčného balíčka. V neskorších fázach bude možné automatizovať procesy konfigurácie a trénovanie modelov strojového učenia, práve prostredníctvom tohto prepojenia.

3.6 DevOps nástroje

Správa rozsiahleho systému si vyžaduje nástroje na údržbu. Napriek tomu že na trhu ich existuje množstvo, v niektorých prípadoch ich nie je možné prispôbiť pre konkrétnu požiadavku či charakteristiky systému. V našom prípade sme zvolili kombináciu existujúcich komerčných softvérových nástrojov, open-source modulov a vlastných riešení. Tieto komponenty budú slúžiť pri procese vývoja, údržby a aktualizácií systému a jeho súčastí.

3.6.1 CLI deploy tool

Tento nástroj bol vytvorený ako doplnujúci softvér pre systém ERIDOK. Slúži na nasadzovanie komponentov systému a sprevádzajúcich procesov. Jedná sa o program napísaný v jazyku Python. Disponuje jednoduchým používateľským CLI rozhraním. Bude poskytovať prostriedky na nasadzovanie všetkých komponentov systému ERIDOK, vrátane serverovej webovej aplikácie. Bude možné ho použiť pre vývojové ale aj produkčné prostredie. Okrem nasadzovania komponentov systému bude spúšťať automatizované testovanie a dodatočné procesy pre správu vývoja.

3.6.2 Aktualizácie komponentov

Aktualizácie komponentov systému ERIDOK sa budú vykonávať prostredníctvom softvéru CLI deploy tool. V našom systéme potrebujeme aktualizácie 2 druhov komponentov:

1. API server

Nasadenie novej verzie aplikačného servera má niekoľko krokov. Väčšina z nich je však automatizovaná existujúcim nástrojom infraštruktúry AWS - `awsebcli`. Najskôr nástroj CLI `deploy tool` vyberie správne konfiguračné súbory pre vybranú konfiguráciu pre nasadenie. Týmto nástrojom je totiž možné nasadzovať aktualizácie na produkčný ale aj vývojový server. Po príprave konfiguračných súborov služby Elastic Beanstalk sa spustí príkaz nástroja `awsebcli - eb deploy`. Ten sprostredkuje proces aktualizácie aplikačného servera a informuje používateľa textovým výstupom. Pred začatím samotnej výmeny verzií nástroj CLI `deploy tool` kontaktuje server, a upovedomí ho o prichádzajúcej zmene. Následne uzavrie všetky otvorené pripojenia s komponentami systému ERIDOK a uvedie server do stavu údržby. Po obdržaní potvrdenia pokračuje nástroj `awsebcli` vo vykonávaní aktualizácie. Po ukončení procesu je aplikačný server spustený v najnovšej verzii. Posledným krokom je vytvorenie git commitu so zdrojovým kódom nasadennej verzie. Následne sa aktivuje git hook, kde sa vygeneruje komentár pre commit s príznakom čísla verzie a zadanou správou od používateľa.

2. Softvér fyzických zariadení

Proces má začať spustením automatizovaných testov komponentu. Ďalším krokom je kompilácia prvkov projektu. Následne sa vygeneruje balíček aktualizácie, zo zdrojového kódu komponentu na lokálneho disku. Po príprave súboru aktualizácie sa nástroj spojí s hlavným API serverom. Pri komunikácii sa má overiť aktuálne nasadená verzia a verzia aktualizácie. Po úspešnej autorizácii a overení sa začne nahrávanie novej verzie cez websocketovú komunikáciu. Aktualizačný balíček sa nahrá na určený S3 bucket. Po úspešnom nahrávaní server pomocou websocketov notifikuje všetky zariadenia o najnovšej dostupnej verzii softvéru. Následne sa pri najbližšom spustení alebo vo vhodnom momente spustí proces aktualizácie softvéru zariadenia, ktorý nahradí existujúci softvér novou verziou. Dodatočne by malo byť možné vrátiť účinok aktualizácie a softvér vrátiť na predchádzajúcu verziu, čím sa umožní zvrátiť neželané účinky chybnéj aktualizácie. Rovnako ako pri aktualizácii aplikačného servera na konci dôjde k automatickému vytvoreniu záznamu v nástroji pre správu verzií.

3.6.3 Server Dashboard

Ďalším nástrojom pre vývojové účely ale aj pre sledovanie nasadeného servera a zariadení je tzv. dashboard. Jedná sa o webové rozhranie pre administrátora systému. Je v ňom možné pozorovať stav systému a informácie o aktivite jednotlivých zariadení. Zároveň je z tohto rozhrania možné konfigurovať časti systému a jeho funkcionality. Prístup do tohto prostredia má len administrátor systému, resp. vývojársky tím a je podmienený zadaním administrátorského používateľského mena a hesla.

3.6.4 Github actions

Pri vývoji a údržby systému ERIDOK je naším cieľom použiť prvky pre automatizáciu viacerých procesov. Medzi tieto procesy patrí testovanie, sledovanie verzií systému a zmien v zdrojovom kóde a konfigurácií systému. Pre tento účel sme sa rozhodli použiť nástroje poskytnuté systémom na kontrolu verzií Github. Nástrojom Github actions vieme realizovať rôzne akcie pri operáciách nad repozitármi častí systému. V našom prípade sa bude primárne jednať o automatizáciu nasadenia na produkčné prostredia, integráciu so systémom na správu úloh Jira a spúšťania automatizovaných testov.

4 Testovanie

Pri implementácii rozsiahlych systémom, ktoré majú byť určené na distribúciu je potrebné zabezpečiť ich korektné fungovanie. Okrem dôsledného návrhu a implementácie, je potrebné aj overiť funkčnosť jednotlivých komponentov systému. Na overenie funkcionality a stability súčastí systému však nestačí to, že splní vytýčené ciele a požiadavky. Rovnako dôležitá je konzistencia výsledkov jednotlivých operácií a korektné zvládanie chybových situácií a prípadných zlyhaní systémových modulov. Napriek tomu že nie je možné odchytiť a predvídať všetky chyby a nedostatky systému, veľké množstvo z nich sa dá odhaliť už pri samotnom procese vývoja a to prostredníctvom testovania.

V našom prípade sme využili niekoľko postupov pre docielenie konzistencie a overenie korektnosti návrhu a implementácie:

- automatizované jednotkové (unit) testy

V rámci vývoja a implementácie softvéru pre riadiaci softvér snímačej hlavice a softvéru vzdialeného API servera, sme použili pre účely automatizovaných testov testovací framework pytest. Pomocou jeho nástrojov sme vytvorili sadu jednotkových testov, určených na overenie funkcionality a konzistencie priebehu programových súčastí týchto systémov. Testy pre jednotlivé súčasti sú umiestnené v osobitnom priečinku projektu, ktorý štruktúrou kopíruje štruktúru hlavného softvérového balíka. Jednotlivé testy sú tvorené najmä pre najdôležitejšie súčasti systému, pričom je možné ich dopĺňať pri implementácii finálnych funkcionality. Tieto testy sú automaticky spúšťané pri odoslaní akýchkoľvek zmien v repozitárii projektu, prostredníctvom nástrojov automatizácie web-stránky Github.

- manuálne (white-box) testy a experimenty

Okrem automatizovaných testov pre overenie funkčnosti súčastí systému boli v priebehu vývoja vykonaných aj množstvo manuálnych testov. Účelom týchto testov bolo primárne sledovať chovanie súčastí systému, ktoré si vyžadovali interakciu a pozorovanie v reálnom svete. Hlavnou náplňou

týchto testov bolo overenie funkcionalít SW a HW prvkov diagnostickej snímacej hlavice. Napriek použitiu automatizovaných testov, bolo potrebné vykonať aj experimenty, ktoré nebolo možné nasimulovať či automatizovať. Ako príklad môžeme uviesť testovanie správania systému pri vytváraní diagnostických snímok, kde bolo nutné overiť presnosť časovania prostredníctvom manuálnej kontroly vytvorených fotografií a ich nasvietenia. Rovnakým spôsobom sa testovali aj iné funkcionality, ktoré interagovali s HW alebo inými prvkami systému a to napr. párovanie snímacej hlavice, boot sekvencia zariadení, testovanie funkcionalít LCD displeja a iné. Výsledky z pozorovaní a experimentov boli následne spracované a náprava alebo úprava ich príčin bola doplnená do implementácie.

- používateľské (black-box) testovanie

V čase písania práce ešte neexistoval prototyp všetkých súčastí systému. Chýbajúca časť SW pre ovládanie lasera a jeho prvkov spôsobila, že nebolo možné uskutočniť plnohodnotné používateľské testovanie rôznych scenárov a prípadov použitia v reálnom ambulantnom prostredí. Prostredníctvom stretnutí partnerov projektu ERIDOK, sme však pravidelne komunikovali funkcionality prototypov súčastí systému s odborníkmi a lekármi, čo sa prejavilo spresňovaním špecifikácie a získaním spätnej väzby na fyzické prototypy zariadení. Po úspešnom vytvorení funkčných prototypov lasera a snímacej hlavice, bude vykonané testovanie rôznych scenárov v reálnom ambulantnom prostredí. Výsledky tohto testovania budú zaznamenané pomocou formulárov a záznamov z testovania, ktoré budú následne prenesené do požiadaviek na úpravy funkcionalít systému. Následne budú navrhnuté zmeny implementované v ďalšej iterácii prototypu a opätovne testované koncovými používateľmi.

5 Nasadenie a údržba systému

Napriek skutočnosti, že v čase písania práce tento systém ešte nebol nasadený do produkčného prostredia, je potrebné pripraviť procesy a nástroje, pomocou ktorých to bude možné po dokončení implementácie. Okrem produkčného prostredia je taktiež samozrejmosťou separátne vývojové prostredie, ktoré bude zrkadlením funkcionalít a použitých nástrojov simulovať správanie finálneho produkčného prostredia. Toto prostredie ostane zachované aj po nasadení systému do produkcie, pre možnosť bezpečného vývoja systému bez ovplyvnenia produkčného prostredia a používateľov. Nasadenie jednotlivých komponentov systému do prostredia používateľov, resp. vývojového prostredia sa líši v závislosti od vlastností jednotlivých modulov. V našom prípade rozlišujeme z pohľadu spôsobu nasadenia komponenty do 2 skupín:

- fyzické zariadenia,
- serverová infraštruktúra.

5.1 Fyzické zariadenia

V prípade fyzických zariadení sa bude proces odvíjať hlavne od spôsobu distribúcie a samotnej finálnej podoby týchto zariadení. Základné kroky tohto procesu je však možné navrhnuť s pohľadom na známe softvérové požiadavky.

5.1.1 Nasadenie zariadení

Nasadenie systému pri fyzických zariadeniach je úzko spojené s nasadením samotných HW prvkov tohto zariadenia. Pred distribúciou zariadení k zákazníkom a používateľom je potrebné zariadenia pripraviť na použitie v produkčnom prostredí. Tento proces zahŕňa niekoľko súvisiacich procedúr:

1. Výroba HW pre zariadenia

Prvou časťou procesu nasadenia zariadení do produkčného prostredia je

konštrukčná výroba týchto zariadení. Tento proces obnáša výrobu alebo zadováženie potrebných komponentov zariadenia a ich následné osadenie do konštrukcie zariadenia. Tento proces sa líši v závislosti od vlastností zariadenia. V ideálnom prípade je tento proces strojovo automatizovaný. V našom prípade z dôvodu komplexity vyrábaných zariadení a finančnej náročnosti automatizácie týchto procesov, bude samotná výroba a konštrukcia zariadení vykonávaná manuálne a primárne na objednávku. Napriek tomu bude proces prebiehať podľa vopred definovaných postupov, aby sa predišlo chybám či nepresnostiam. Tento proces zároveň obnáša testovanie HW prvkov zariadenia, ktoré používajú vlastný softvér alebo je nutné overiť ich HW prvky.

2. Inštalácia SW do zariadení

Po úspešnej konštrukcii jednotlivých zariadení je potrebné do zariadenia nainštalovať jednotlivé softvérové prvky. Tento proces úzko súvisí s použitým HW pre riadiace počítače. V súčasnom prototypu sú na mieste riadiacich počítačov použité mikrokontroléry Raspberry Pi. Inštalácia samotného softvéru teda spočíva vo vložení SD karty s pred-inštalovaným OS a softvérom do zariadenia. V prípade budúceho použitia flash pamäte alebo iného typu zariadenia sa tento proces upraví podľa potreby. Proces samotného umiestnenia softvéru na pamäťové médium je možné automatizovať. Najskôr je však potrebné vytvoriť vzorový obraz OS a jeho súčastí pre cieľové médium. Tento systémový obraz by mal obsahovať všetky potrebné SW prvky, spolu s ich konfiguráciou.

3. Testovanie prvkov systému

Pred odovzdaním zariadení do rúk zákazníka je potrebné previesť finálne testovanie SW a HW prvkov systému. Tento proces je možné automatizovať zavedením kalibračného, resp. testovacieho softvéru, ktorý bude možné spustiť pri inicializácii zariadenia. Rovnaký softvér bude použitý pre inicializačné testovanie aj pri každom spustení zariadenia. Tento proces by mal overiť dostupnosť a funkčnosť všetkých dostupných prvkov zariadenia, ktoré zabezpečia že zákazník obdrží plne funkčné zariadenie pripravené na použitie. Obsah a konkrétne prvky týchto testov sa budú odvíjať od finálneho zloženia HW a SW prvkov jednotlivých zariadení.

4. Distribúcia k zákazníkovi

Okrem fyzického dodania zariadení do ambulancie zákazníka, je v tomto procese dôležité jasne identifikovať o ktoré zariadenie sa jedná. Tento fakt

vychádza z možností, ktoré má systém z hľadiska sledovania zariadení ponúknuť. Je preto dôležité aby pred samotnou distribúciou bolo v systéme špecifikované, ktoré zariadenia boli odoslané a kto je ich príjemcom. Webovým rozhraním bude možné priradiť jednotlivé zakúpené zariadenia k zákazníkom, čo do budúcnosti umožní zjednodušenie a automatizáciu postupov pri obsluhu a údržbe fyzických zariadení.

5. Konfigurácia zákazníkom

Po obdržaní zariadení je potrebná dodatočná konfigurácia zariadení zákazníkom. Tá bude taktiež realizovateľná pomocou webového rozhrania pre PZS. Tu bude možné voliť 2 režimy používania zariadení:

- režim samostatného zariadenia,
- režim integrovaného zariadenia.

V režime samostatného zariadenia bude možné zariadenie používať bez integrácie s IS PZS. V tomto prípade bude zákazník musieť vykonať len jednu konfiguráciu, a tou je pridelenie prístupov k zariadeniu pre používateľov. V prípade že si zákazník želá integrovať zariadenia systému ERIDOK do svojho IS, je potrebné vykonať viacero krokov. Prvým z nich je vygenerovanie prístupového API tokenu, ktorým bude možné pristupovať k funkcionalitám systému ERIDOK cez API. Následne musí PZS vykonať samotný proces integrácie funkcionalít systému ERIDOK do svojho IS podľa potreby. Aj v tomto prípade je potrebné udeliť prístupy k jednotlivým zariadeniam.

5.1.2 Aktualizácia SW zariadení

Pri nasadení systému a odovzdaní zariadení zákazníkovi treba počítať s nutnosťou dodatočných zmien a aktualizácií softvérových prvkov v priebehu životnosti zariadenia. Tento proces je možné riešiť manuálnymi aktualizáciami pri pravidelných servisných prehliadkach. Niektoré aktualizácie však môžu byť len softvérového charakteru. V takých prípadoch je návšteva servisného technika zbytočná. Tieto aktualizácie SW prvkov systému je preto vhodné automatizovať. Proces aktualizácie SW pre zariadenia má nasledujúce kroky:

1. Vytvorenie aktualizáčného balíčku

Prvým krokom tohto procesu je vytvorenie aktualizáčného balíčku pre dané zariadenie. Tento krok je vykonaný vývojárskym tímom zodpovedným za SW pre konkrétne zariadenie. Otestované súčasti zdrojového kódu spolu s

dodatočnými súbormi aktualizácie sú zabalené do balíčka, ktorý je komprimovaný a zašifrovaný.

2. Nahratie aktualizácie na riadiaci API server

Po úspešnom vytvorení súboru samotnej aktualizácie je potrebné umiestniť tento balíček na riadiaci API server. Pre zabezpečenie konzistentného prenosu a uloženia na serveri je tento proces automatizovaný a je možné ho uskutočniť pomocou nástroja CLI deploy tool. Tento nástroj uskutoční komunikáciu so serverom, a následne nahrá aktualizáciu balíček na server. Server tento balíček prijme a uloží do zabezpečeného úložiska, spolu s verziou aktualizácie a dodatočnými informáciami.

3. Distribúcia aktualizácie do zariadení

Následne sú zariadenia prostredníctvom websocketovej komunikácie notifikované o dostupnosti aktualizácie. Vo vhodnom momente je možné aktualizáciu spustiť používateľom, alebo ju v prípade kritických chýb vyvolať automaticky. SW zariadenia si následne od servera vyžiada aktualizáciu balíček, ktorý bude stiahnutý do úložiska zariadenia. V prípade aktualizácie SW snímacej hlavice, bude aktualizácia najskôr stiahnutá na zariadenie riadiacej jednotky lasera, ktorá dodatočne odošle aktualizáciu do zariadenia snímacej hlavice.

4. Inštalácia aktualizácie

Po obdržaní balíčka aktualizácie je možné ju nainštalovať. Tento proces by mal vykonať samostatný SW, určený na aktualizáciu modulov systému. Tento skript zálohuje existujúce SW komponenty systému, aby sa predišlo fatálnej chybe pri neúspešnej aktualizácii. Tento softvér následne skontroluje obsah a kontrolný súčet aktualizácie balíčka a spustí proces aktualizácie. Po úspešnom procese aktualizácie ohlásí túto skutočnosť serveru.

5.2 Serverová infraštruktúra

Nasadenie súčastí serverovej infraštruktúry je z pohľadu implementácie jednoduchšie, nakoľko nie je závislé od fyzických zariadení. V našom prípade je server nasadený za pomoci služieb a nástrojov ekosystému AWS. Okrem samotnej konfigurácie servera je preto potrebné nasadiť a nakonfigurovať aj súčasti infraštruktúry AWS.

5.2.1 Konfigurácia AWS infraštruktúry

Pre nasadenie aplikačného servera do vývojového a produkčného prostredia je potrebné nakonfigurovať jednotlivé prvky a služby AWS ekosystému. V našom prípade je potrebné uskutočniť nasledujúce kroky:

- nasadenie databázy

Prvým krokom konfigurácie AWS infraštruktúry je vytvorenie databázovej inštancie pre účely operačnej databázy systému ERIDOK. Tento proces je možné uskutočniť cez webové rozhranie služby Amazon RDS. Po vytvorení databázy je automaticky vytvorená EC2 inštancia s adresou a prístupovými údajmi, ktoré budú použité v konektore pre databázu vo webovej aplikácii Django.

- vytvorenie prostredia pre aplikačný server

Najdôležitejším nastavením konfigurácie AWS infraštruktúry je vytvorenie prostredia pre samotný aplikačný server. V našom prípade sme použili službu ElasticBeanstalk. Proces konfigurácie jednotlivých prvkov tejto služby je definovaný v konfiguračných súboroch. Tieto súbory obsahujú súbor akcií a konfiguračných nastavení, ktoré pripravia všetky potrebné prostriedky pre nasadenie aplikačného servera.

- nastavenie smerovania požiadaviek

Okrem samotného prostredia aplikačného servera je taktiež potrebné zabezpečiť správne smerovanie požiadaviek v rámci AWS infraštruktúry. Jedná sa primárne o konfiguráciu aplikačného load balancera, ktorý triedi a smeruje jednotlivé požiadavky na súčasti AWS infraštruktúry, resp. jednotlivé porty webovej aplikácie. Tieto nastavenia sú taktiež realizované prostredníctvom konfiguračných súborov.

- vytvorenie domény a certifikátov

Ďalším krokom pre nasadenie a použitie aplikačného servera je umožniť jeho dostupnosť cez internet. Pre naše účely sme registrovali prostredníctvom nástroja AWS Route53 doménu eridok.eu. Následne sme pomocou služby CertificateManager vytvorili certifikát pre túto doménu a jej subdomény. Nakoniec sme nastavili v DNS konfigurácií A záznam, ktorý smeruje požiadavky prichádzajúce na doménu eridok.eu na aplikačný load balancer prostredia ElasticBeanstalk, na ktorom je nasadený náš aplikačný server.

- konfigurácia zabezpečenia

Poslednou časťou konfigurácie služieb AWS je nastavenie bezpečnostných prvkov. Prvou časťou je nahrať citlivých prístupových údajov do prostredia SecretsManager, ktoré budú dostupné z aplikačného servera. Následne je potrebné obmedziť prístupy k aplikáciám a koncovým bodom prostredníctvom konfigurácie firewall nástrojov. Taktiež je potrebné vygenerovať prístupové údaje k jednotlivým prvkom infraštruktúry AWS, ktoré bude možné použiť v dodatočných vývojových nástrojoch, ako je napr. CLI deploy tool.

5.2.2 Aktualizácia aplikačného servera

Proces nahrávania nových verzií pre riadiaci API server je implementovaný vo vývojovom nástroji CLI deploy tool. Tento nástroj poskytuje jednoduché CLI rozhranie pre nahrávanie aktualizácií pre aplikačný server a ostatné prvky systému. Pri aktualizáciách aplikačného servera využíva proprietárny CLI nástroj s názvom awsebcli od AWS, ktorý umožňuje nahrávanie aktualizácií priamo do prostredia ElasticBeanstalk. Tento proces je vďaka použitiu vlastného nástroja obohatený o integráciu Github nástrojov a komunikáciu s aktuálne nasadeným serverom. Proces aktualizácie vyzerá nasledovne:

1. Výber modulu a prostredia na aktualizovanie

Vývojár zvolí modul ktorý si želá aktualizovať. Následne je možné taktiež zvoliť, či sa má aktualizácia nasadiť na produkčné alebo vývojové prostredie.

2. Zadanie správy pre správu verzií GIT

Prostredie vyžiada od vývojára sprievodnú správu, ktorá bude použitá ako správa git commitu. Ten bude vytvorený a zaslaný na git repozitár pomocou CLI nástroja git po úspešnej aktualizácii servera.

3. Notifikácia servera o prebiehajúcej údržbe

Program oznámi požiadavkou aktuálne nasadenému serveru, že sa na ňom bude vykonávať údržba. Server sa presunie do stavu údržby, čo znamená že bude prichádzajúce požiadavky (okrem nástroja na údržbu) odmietať so stavovým kódom údržby systému.

4. Úprava konfiguračných súborov EB

Na základe zadaných parametrov vývojára a vhodného prostredia EB, program nastaví korektné konfiguračné súbory určené pre zvolené prostredie.

Tento krok zabezpečí korektné vykonanie aktualizácie, nakoľko tieto súbory používa v procese aktualizácie program `awsebcli`.

5. Nahratie aktualizácie cez `awsebcli`

V tomto kroku nástroj `CLI deploy tool` spustí vykonávanie samotnej aktualizácie aplikačného servera prostredníctvom nástroja `awsebcli`. Ten vytvorí aktualizáčny balíček a nahrá ho na prostredie `ElasticBeanstalk`.

6. Notifikácia servera o ukončení údržby

Po úspešnom ukončení aktualizácie je zaslaná požiadavka na práve nasadený aplikačný server, ktorý zmení ukončí stav údržby a začne prijímať požiadavky v normálnom režime.

6 Vyhodnotenie

Problematika, ktorá je hlavnou náplňou tejto práce je pomerne rozsiahla a nie je možné ju spracovať a vyhodnotiť prostredníctvom definovania jedného cieľa. Obsah práce bol preto štrukturovaný tak, aby odzrkadlil jednotlivé súčasti a čiastkové ciele, vyplývajúce zo zadania práce. Prostredníctvom fragmentácie práce na jednotlivé čiastkové ciele, bolo možné detailne spracovať jednotlivé súčasti práce, ktoré viedli k samotnému návrhu a implementácii riešenia.

6.1 Zistenia z analýzy problematiky

Nevyhnutnou súčasťou spracovania riešenia pre zadanie tejto práce bolo zoznámenie sa s problematikou. V úvodnej časti sme sa venovali samotnej oblasti dermatológie, kde sme analyzovali postupy a nástroje využívané pri procese diagnostiky kožných lézií. Okrem využitia verejne dostupnej literatúry a zdrojov sme sa pri tejto analýze opierali aj o konzultácie s výskumným tímom CVTI SR a UPJŠ. Táto spolupráca nám priniesla odborný pohľad na skúmanú problematiku, a zároveň doplnila naše chápanie diagnostického procesu prostredníctvom skúseností z reálneho ambulantného prostredia.

Analýza procesu diagnostiky v oblasti dermatológie ukázala, že primárnymi prostriedkami pri diagnostike kožných lézií sú pre lekára nástroje vo forme dermatoskopov. Tieto zariadenia prešli v posledných rokoch rozsiahlymi vylepšeniami, avšak v drvivej väčšine prípadov chýbala integrácia týchto diagnostických nástrojov s ambulantnými IS. Rovnakým problémom disponujú aj integrácie strojového učenia, ktorým napriek skvelým výsledkom pri určovaní stavu kožných lézií chýba podpora pre automatizáciu ďalšieho použitia výsledkov v diagnostickom procese. Táto potreba sa neskôr prejavila v návrhovej časti práce, pričom túto voľbu podporil aj tím lekárov ktorý na projekte spolupracoval. Okrem používaných nástrojov sme spracovali aj existujúce štandardy procesu samotnej diagnostiky počas ošetrenia v ambulantnom prostredí. Výsledky tejto analýzy sa prejavili

pri návrhu procesu, ktorý integruje do diagnostickej činnosti navrhnutý systém.

6.2 Zistenia zo spracovaných požiadaviek

Vytýčené ciele práce bolo pred návrhom a implementáciou podložiť aj konkrétnymi požiadavkami od koncových používateľov, vedeckej komunity a samotného zákazníka. V rámci samostatnej sekcie boli sústredené zozbierané požiadavky, ktoré boli rozdelené na dodatočné čiastkové ciele patriace pod doménovú a technickú problematiku. Tieto požiadavky boli získané z viacerých zdrojov. Hlavným zdrojom bolo zadanie samotného projektu ERIDOK, ktoré špecifikovalo hlavné ciele zamýšľaného riešenia. Dodatočné požiadavky boli získané v spolupráci s partnermi projektu prostredníctvom stretnutí a rozhovorov rozoberajúcich problematiku. Z týchto rozhovorov boli následne do práce spísané detailné znenia týchto špecifikácií a požiadaviek. Jednotlivé požiadavky boli následne analyzované a pretavené do hrubého návrhu riešenia. Hlavným výstupom z tejto analýzy bola segmentácia finálneho riešenia na 3 časti: snímacia diagnostická hlavica, riadiaca jednotka lasera a vzdialený API server. Na základe spracovaných požiadaviek bola vytvorená špecifikácia týchto súčastí, ktorá opisovala ich očakávané funkcionality, čím bol načrtnutý základný spôsob riešenia zadaného problému. Spracované požiadavky mali následne priamy vplyv na návrh a implementáciu konkrétnych funkcionalít riešenia.

6.3 Vyhodnotenie návrhu riešenia

Po spracovaní požiadaviek bolo možné definovať spôsob, akým sme sa rozhodli špecifikovaný problém vyriešiť. Pri procese návrhu sme sa opierali o detailnú špecifikáciu. Hlavným zámerom pri návrhu bolo pripraviť základy pre komplexnú infraštruktúru SW prvkov, ktorá umožní splnenie vytýčených cieľov. Zároveň sme v tejto časti ponúkli možnosti riešenia jednotlivých požiadaviek, ktoré sa opierali o vybranú skupinu technológií. Vzniknutý návrh riešenia je možné rozdeliť na 2 časti: návrh pre fyzické zariadenia a návrh serverovej infraštruktúry.

6.3.1 Zariadenie diagnostickej hlavice

Pri vytváraní riešenia pre samotné HW zariadenia sme sa zamerali na konkrétne možnosti pri implementácii SW prvkov pre diagnostickú hlavicu a riadiacu jednotku lasera. Návrh riešenia problematiky diagnostickej hlavice a jej SW riadenia sa odvíjalo hlavne od HW špecifikácie, ktorá bola vytvorená technickým tímom

MM Medical. Riadiacou hlavicou sa má stať zariadenie pištoľového tvaru, ktoré má byť bezdrôtového charakteru. Toto zariadenie má dokázať vytvárať diagnostické snímky kožných lézií, pričom má poskytovať základné ovládacie prvky vo forme tlačidiel a LCD displeja. Funkcionalita zariadenia je podmienená komunikáciou s riadiacou jednotkou lasera, ktorá sa má stať jeho nadriadeným zariadením. Navrhnuté SW riešenie pozostáva z riadiaceho skriptu, ktorý ovláda všetky dostupné funkcionality. Najkomplexnejším riešením sa v tomto prípade stalo samotné vytváranie diagnostických fotografií, ktoré bolo potrebné navrhnuť s ohľadom na rýchlosť ale aj kvalitu jeho spracovania. Pri návrhu sme priniesli inovatívne riešenie, ktoré využíva vlastnosti HW vybavenia a možností SW implementácie. Druhou výraznou prekážkou bolo riešenie pre bezdrôtovú komunikáciu a jej bezpečnosť, ktorý sme vyriešili procesom párovania s hlavným zariadením a následným definovaním websocketového komunikačného protokolu pre možnosti dynamickej komunikácie.

6.3.2 Zariadenie riadiacej jednotky lasera

Zložitejším prvkom HW vybavenia finálneho riešenia je riadiaca jednotka lasera. Podľa požiadaviek sa malo jednať o zariadenie integrované v tele laserového prístroja, ktoré má poskytovať hlavné používateľské rozhranie pre používateľa a sprostredkovať komunikáciu so snímacou hlavicou, laserovým zariadením a vzdialeným API serverom. V návrhovej časti tohto zariadenia sme sa venovali hlavne súčastiam, ktoré sprostredkujú komunikáciu s laserom a komunikáciu s diagnostickou hlavicou. Hlavnou problematikou tohto zariadenia, ktorá bola v tejto práci spracovaná bolo rozdelenie funkcionalít do 2 oddelených častí: používateľské rozhranie a spracovanie HW funkcionalít. Časť návrhu riešenia s používateľským rozhraním nebola spracovaná do hĺbky, nakoľko táto časť systému bude spracovaná v neskoršej fáze projektu. Venovali sme sa však problematike párovania so snímacou hlavicou a riadením funkcionalít lasera. Proces párovania snímacej hlavice, ktorý umožní ich následnú komunikáciu sme vyriešili prostredníctvom fyzického dokovacieho konektora na zariadení, ktorý umožní autorizáciu zariadenia a ich následné spojenie cez bezdrôtovú sieť. V prípade návrhu komunikácie s laserovým zariadením sme postupovali v úzkej spolupráci s technickým tímom MM Medical, ktorý vytvoril riadenie lasera prostredníctvom riadiaceho čipu. V našom riešení sme navrhli komunikáciu s týmto zariadením prostredníctvom samostatného procesu, pričom sme definovali spôsob komunikácie a tvar jednotlivých správ. Procesy určené na komunikáciu a ovládanie HW prvkov bude možné v neskoršej fáze projektu používať z riadiaceho programu riadiacej jednotky la-

sera, ktorý má byť implementovaný za pomoci frameworku JavaFX.

6.3.3 Serverová infraštruktúra

Hlavným prvkom, ktorý prepája funkcionality jednotlivých zariadení a je centrom infraštruktúry pre tento systém je serverová infraštruktúra. V našom prípade sme sa rozhodli pre funkciu API servera použiť webovú aplikáciu vytvorenú pomocou web frameworku Django. Samotná aplikácia si okrem konkrétnych funkcionalít vyžaduje aj infraštruktúru a prostredie, v ktorom bude môcť operovať. Pre účely zabezpečenia potrebných súčastí našej webovej infraštruktúry sme použili služby AWS. Pre našu implementáciu sme navrhli použitie služieb, ktoré nám umožnia nasadiť samotnú webovú aplikáciu spolu s databázovým serverom do produkčného a vývojového prostredia, nakonfigurovať smerovanie požiadaviek, registráciu a použitie domény a pod.. Vďaka rozsiahlej ponuke služieb a dokumentácie je možné v prípade potreby tieto služby upravovať a rozširovať podľa vzniknutých požiadaviek či zmien. Použitie AWS infraštruktúry nám tak tiež umožní automatizovane dynamicky zvyšovať systémové zdroje, v prípade zvýšeného množstva požiadaviek či záťaže. Samotná webová aplikácia musí poskytovať API pre zariadenia systému ERIDOK, API pre IS PZS, spojenie s databázou a prípravu na prepojenie so systémom strojového učenia. API pre zariadenia systému ERIDOK je navrhnuté s inšpiráciou od tradičného REST prístupu, a sú prístupné pomocou websocket komunikácie. Databázový model je vytvorený tak, aby odrážal funkcionality, ktoré ma systém podporovať. API je preto upravené tak, že je vďaka operáciám nad modelmi možné uskutočniť väčšinu funkcionalít bez manuálnych metód pre spracovanie týchto požiadaviek. Poslednou zaujímavosťou API tohto servera je samotná serializácia a deserializácia údajov, ktoré umožňuje odosielanie, resp. prijímanie zložených a vnorených objektov pomocou vlastnej rekurzívnej implementácie. Tento prístup obmedzí počet potrebných požiadaviek, a umožní plynulejšiu implementáciu klientskej strany API.

6.4 Komplikácie pri procese vývoja

Pri návrhu a implementácii sme sa stretli s niekoľkými komplikáciami, ktoré sa podpísali na množstve modulov a funkcionalít, ktoré sa v čase písania práce podarilo naimplementovať vo forme prototypu. Medzi komplikácie ktoré zasiahli proces návrhu a vývoja projektu patrí:

- dostupnosť HW súčastí na trhu,

V čase písania práce, konkrétne pri tvorbe HW prototypov zariadení sa vo svete prejavil nedostatok polovodičov a výrobkov, resp. súčastí ktoré ich používajú. Táto skutočnosť výrazne ovplyvnila rýchlosť dodania súčiastok potrebných pre tvorbu fyzických prototypov, čo sa odrazilo na oneskorení vytvorenia fyzických prototypov zariadení. Problém s dodaním týchto dielov zároveň obmedzil vývoj SW súčastí, ktoré nebolo možné testovať na skutočnom HW a experimentálne tak upravovať tento SW podľa potreby. Táto situácia sa najvýraznejšie prejavila pri návrhu a implementácii riešenia pre riadiacu jednotku lasera, kde sa podarilo implementovať len malú časť navrhnutých súčastí tohto modulu.

- organizačné komplikácie projektu,
Projekt ERIDOK bol zároveň spolu-financovaný prostredníctvom Európskeho fondu regionálneho rozvoja. V rámci organizácie samotného projektu však došlo k viacerým organizačným problémom, ktoré ovplyvnili proces výskumu ale najmä vývoja finálnych zariadení. Okrem vynútených personálnych zmien obsadenia projektu bol proces vývoja výrazne narušený komplikáciami s dodaním konštrukčných, elektronických a iných komponentov, ktoré mali byť získané pomocou verejného obstarávania v rámci spomínaného projektu. Medzi týmito komponentami mali byť okrem kancelárskeho vybavenia najmä elektronické a mechanické komponenty vrátane mikropočítačov, ktoré bolo potrebné pre komplikácie s priebehom VO zaobstarať dodatočne a vo výrazne menšom množstve.
- vplyv pandémie COVID-19.
Výskumná a inovačná časť projektu ERIDOK začala práve v čase, keď bol svet výrazne ovplyvnený pandemiou COVID-19. Hlavným obmedzením ktoré táto situácia priniesla, bolo obmedzené množstvo stretnutí s partnermi projektu a koncovými používateľmi, čo z viacerých pohľadov skomplikovalo proces výskumu a vývoja navrhovaných zariadení. S touto situáciou sme sa vysporiadali pravidelnými online stretnutiami, ktoré však napriek výraznému úsiliu nedokázali plne nahradiť osobné stretnutia a prezentáciu fyzických prototypov či návrhov zariadení.

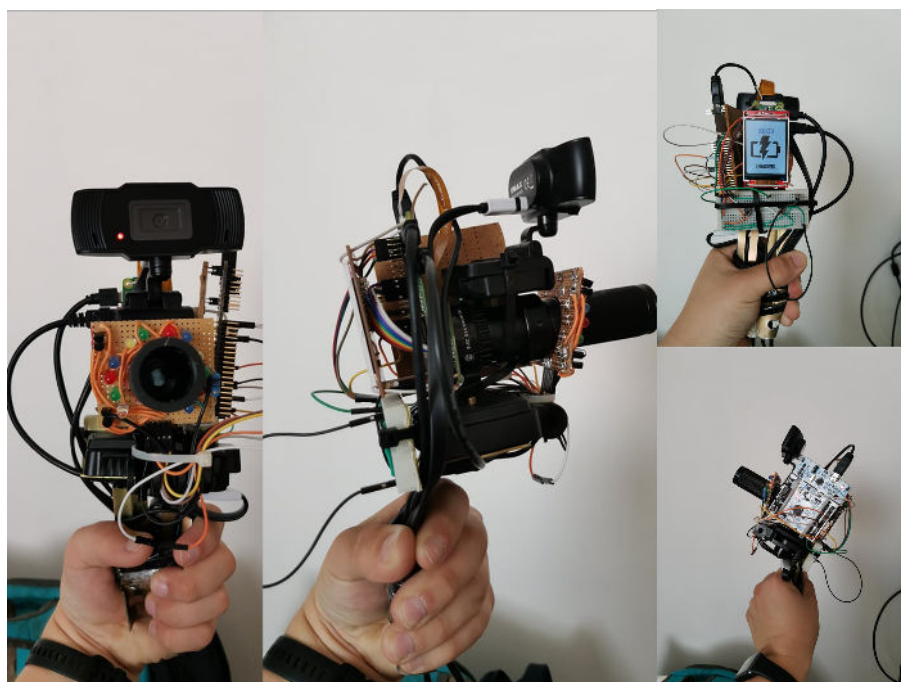
6.5 Hodnotenie prínosov a implementácie riešenia

Pre omeškanie návrhu výroby prototypov a z vyššie uvedených dôvodov, nebola dokončená implementácia pre všetky plánované prvky systému. Napriek tomu

sa nám v rámci tejto práce podarilo implementovať najdôležitejšie súčasti systému a jeho modulov. V tejto časti zhodnotíme vytvorené riešenia modulov, ktoré zodpovedajú za najdôležitejšie požiadavky vyplývajúce zo špecifikácie.

6.5.1 Prototyp snímačej hlavice

Napriek problémom s dodávkami dielov pre vytvorenie HW prototypov pre zariadenia, sa nám pre účely testovania SW funkcionalít podarilo vytvoriť jednoduchý industriálny prototyp zariadenia snímačej hlavice. Tento prototyp bol použitý pre experimentálne testovanie funkcionalít a samotného vytvárania diagnostických snímok. Prototyp sa skladá z jednoduchej konštrukcie, na ktorú sú provizórnym spôsobom pripevnené potrebné súčasti. Na telo tohto prototypu je pripevnený riadiaci počítač RaspberryPi Zero W, 2.2"LCD displej, primitívne riadiace prvky vo forme tlačidiel, kabeláž pre simuláciu dokovacieho konektora a napájanie, jednoduchá optická aparátúra s kamerou RaspberryPi HQ Camera a osvetľovacia aparátúra s vývojovou riadiacou doskou STM32 (Obr.6.1).



Obr. 6.1: Posledná iterácia funkčného prototypu snímačej hlavice

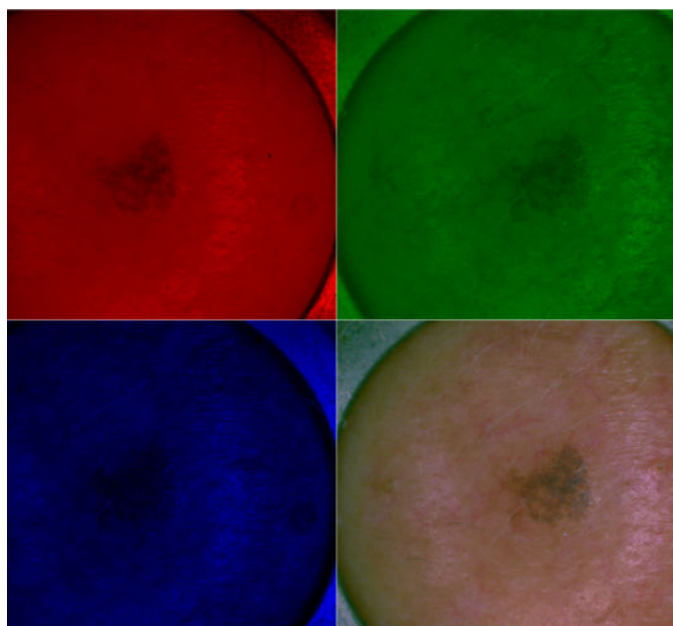
6.5.2 Diagnostické snímky

Pravdepodobne najkľúčovejšou súčasťou systému pre diagnostiku je samotný proces vytvárania diagnostických snímok. Napriek viacerým prekážkam a prísnyim požiadavkám na tento proces, sa nám použitím inovatívneho prístupu podarilo

implementovať tento proces a docieľiť želané výsledky. Implementácia snímania diagnostických záznamov dokáže vytvoriť požadované diagnostické snímky s rôznym nasvietením konzistentne a v požadovanej kvalite. Experimentálnym testovaním sme potvrdili splnenie požiadaviek na tento proces, ktorý dokáže vytvoriť štvoricu diagnostických snímkov s rozlíšením 1920x1080 pixelov, pričom pri každej z nich je prítomné rozdielne osvetlenie. Celý proces vytvorenia snímkov trvá v priemere 0.251s (Tab. 6.1), čo uspokojuje požiadavku na dostatočne rýchle vyhotovenie týchto snímkov. Vzorka použitá pre meranie sa skladala z 200 meraní procesu vytvorenia 4 fotografií. Vyhotovené snímky preukazujú schopnosť vytvorenia týchto fotografií s presným a konzistentným časovaním a osvetlením (Obr.6.2). Tieto snímky boli vyhotovené posledným prototypom snímacej hlavice (Obr.6.1).

Proces	Min(s)	Max(s)	Std(s)	Avg(s)
Vytvorenie 4 snímkov	0.219	0.286	0.018	0.251

Tabuľka 6.1: Hodnoty z meraní procesu zhotovovania diagnostických snímkov



Obr. 6.2: Príklad vytvorených diagnostických snímkov

6.5.3 Ovládanie lasera

Ďalšou dôležitou požadovanou funkcionalitou systému bolo ovládanie prvkov lasera, resp. konfigurácia jeho súčastí pred ošetrením. Tento proces bol implementovaný pomocou separátneho riadiaceho procesu v jazyku Python. Ten vy-

tvoril sériový komunikačný kanál, a po spojení s riadiacim čipom lasera umožnil zadávaním preddefinovaných príkazov konfigurovať dostupné prvky lasera. Pre túto funkcionality ešte neexistuje používateľské rozhranie, ale experimentálnym testovaním sme overili funkcionality ovládania prvkov lasera prostredníctvom procesu na riadiacej jednotke lasera. Pri meraní sme vykonali 200 príkazov pre každý typ príkazu. Z výsledkov meraní vyplýva, že vykonanie príkazov vieme uskutočniť na úrovni milisekúnd (Tab. 6.2).

Proces	Min(ms)	Max(ms)	Std(ms)	Avg(ms)
Konfiguračný príkaz	10	18	1	17
Stavový príkaz	10	18	1	18
Nerozoznaný príkaz	10	15	3	10
Poškodená správa (nesprávny hash)	8	15	3	11

Tabuľka 6.2: Hodnoty z meraní procesu riadenia laserového zariadenia

6.5.4 Párovanie snímacej hlavice

Z dôvodu bezdrôtového charakteru snímacej hlavice, vyvstali pri jej návrhu a implementácii viaceré prekážky. Okrem samotného procesu komunikácie bolo potrebné zabezpečiť spôsob nadviazania zabezpečeného spojenia medzi samotnou hlavicom a riadiacou jednotkou lasera. V našej implementácii sme tento problém vyriešili za pomoci Python procesov na oboch zariadeniach. Tieto programy riadili proces párovania týchto zariadení prostredníctvom spojenia cez dokovaciu stanicu. Bezpečnou autorizáciou a výmenou informácií potrebných na pripojenie umožnil riadiaci program riadiacej jednotky lasera pripojenie snímacej hlavice na súkromnú a zabezpečenú bezdrôtovú sieť, prostredníctvom ktorej by mala komunikácia prebiehať. Experimentálnym testovaním sme potvrdili funkčnosť tohto procesu. Merali sme trvanie procesu párovania snímacej hlavice, vrátane jeho jednotlivých častí. Celkovo sme uskutočnili 200 samostatných pokusov, pričom proces v priemere trval od počiatku po úspešné nadviazanie bezdrôtového spojenia 3.862s. Od začiatku párovania po získanie samotných údajov k Wi-Fi sieti však prebehlo v priemere len 1.391s, čo značí že v meraniach sa odrazila variabilita trvania pripojenia na sieť (Tab. 6.3). Samotný proces párovania, teda získanie údajov a vytvorenia siete je dostatočne rýchly.

Proces	Min(s)	Max(s)	Std(s)	Avg(s)
Handshake	0.537	0.755	0.023	0.610
Spustenie AP	0.5	2.156	0.133	0.755
Získanie údajov k AP	1.201	2.709	0.130	1.391
Pripojenie k AP	0.477	4.501	0.583	1.931
Celý proces	1.837	7.210	0.353	3.862

Tabuľka 6.3: Hodnoty z meraní procesov párovania snímačnej hlavice

6.5.5 Autorizačný modul riadiacej jednotky lasera

V rámci SW laserovej jednotky sa taktiež podarilo implementovať prijímanie používateľského vstupu prostredníctvom autorizačnej karty. Pokynom z riadiaceho skriptu je možné spustiť sledovanie priložených objektov k čítačke RFID kariet, ktorá po úspešnom zaregistrovaní a prečítaní priloženej karty zašle do riadiaceho systému asynchrónnu odpoveď vo forme notifikačnej požiadavky.

6.5.6 Infraštruktúra servera

Okrem základných funkcionalít zariadení sa nám podarilo implementovať aj súčasti serverovej časti systému ERIDOK. Infraštruktúra vo forme konfigurácie a nasadenia systému na prostredie AWS bola v čase písania práce plne funkčná a pripravená na použitie v produkčnom aj vývojovom prostredí. Samotná webová aplikácia je nasadená vo vývojovom prostredí pomocou služby ElasticBeanstalk, a je dostupná na EC2 inštancii na adrese eridok.eu. Súčasťou implementácie je aj smerovanie jednotlivých požiadaviek a nasadenie databázového servera. Samotná webová aplikácia vytvorená pomocou frameworku Django, obsahuje základné funkcionality pre rozšírenie implementácie API pre zariadenia a API pre IS PZS. Navrhnutý databázový model je nasadený na databázovom serveri pomocou služby Amazon RDS, pričom sú tieto modely integrované do webovej aplikácie Django. Taktiež je pripravená základná infraštruktúra pre websocketovú komunikáciu, spolu so základnými funkcionalitami API pre zariadenia systému ERIDOK. V naimplementovanej webovej aplikácii sa taktiež nachádza navrhnutý systém serializácie modelov a doplnkové nástroje na správu aplikačného servera.

Kľúčovým prvkom v serverovej aplikácii je samotná obsluha požiadaviek, ktorá bude v hlavnom režime prebiehať cez zabezpečený websocketový kanál. Pre ilustráciu efektivity tohto riešenia, sme sa rozhodli uskutočniť experiment, pri kto-

rom pomocou sekvenčného spracovania požiadaviek ukážeme, ako výrazne sa prejavuje pri vyššom počte požiadaviek výhoda ich spracovanie cez websocket. V rámci testovania sme vykonali spolu 40,000 požiadaviek, ktoré boli na server zasielané v 100 iteráciách po 200 požiadaviek pre každý protokol. Z výsledkov je jasné, že priemerne je spracovanie 200 požiadaviek v rade cez websocket viac ako 10-krát rýchlejšie ako pri použití HTTPS požiadaviek (Tab. 6.4).

Protokol	Min(s)	Max(s)	Std(s)	Avg(s)
HTTPS	69.077	96.283	5.349	78.831
WSS	8.235	10.858	0.294	8.634

Tabuľka 6.4: Porovnanie rýchlosti spracovania 200 sekvenčných požiadaviek

Pri spracovaní meraní do výsledkov sme taktiež identifikovali rozdiely v rýchlosti spracovania na úrovni jednotlivých požiadaviek. Nakoľko sa pri HTTPS požiadavkách musí vykonať autorizácia pri každej požiadavke, je v priemere jej spracovanie takmer 11-krát pomalšie ako v prípade websocketov (Tab. 6.5). Tieto hodnoty sa opierajú o 20,000 vykonaných požiadaviek na každý z protokolov.

Protokol	Min(s)	Max(s)	Std(s)	Avg(s)
HTTPS	0.327	2.897	0.173	0.439
WSS	0.0002	0.259	0.009	0.0403

Tabuľka 6.5: Porovnanie rýchlosti spracovania 1 požiadavky

6.6 Spätná väzba

Napriek neúplnosti návrhu a implementácie riešenia z dôvodu neustáleho vývoja a výskumu v rámci projektu, sme počas vývoja a iterácie prototypov získavali cennú spätnú väzbu od všetkých zúčastnených tímov spolupracujúcich na projekte ERIDOK. Pripomienky a doplnené požiadavky, ktoré boli prednesené včas, boli priamo integrované do časti špecifikácie požiadaviek a samotného návrhu systému. Dodatočná spätná väzba bude zaradená do ďalších iterácií návrhov a prototypov projektu.

6.6.1 Lekárska komunita

Získanie spätnej väzby od lekárov, ktorý sa v konečnom dôsledku stanú koncovými používateľmi je v úvodných fázach projektu veľmi dôležité. Je však náročné túto spätnú razbu uviesť v nominálnych hodnotách či určiť správne meradlo ich spokojnosti. Dôležitými však boli pripomienky, ktoré sme obdržali pri prezentácií jednotlivých prototypov a návrhu samotného procesu diagnostiky. Tím lekárov spolupracujúci na projekte uviedol nasledujúce pripomienky:

- zjednodušiť navrhnutý proces diagnostiky,
- umožniť použitie prístroja bez diagnostických prvkov,
- umožniť diagnostiku bez vytvárania záznamov.

6.6.2 Výskumný tím CVTI

Počas celého trvania vývoja sme úzko spolupracovali s výskumným tímom CVTI SR. Väčšina požiadaviek a pripomienok k systému boli smerované k zlepšeniu kvality diagnostických výstupov a úprave konštrukčnej stránky prototypov. V priebehu vývoja sme tomuto tímu poskytli HW a SW prototypy pre účely dodatočného experimentálneho testovania. Tento tím uviedol tieto pripomienky:

- zvýšenie kvality vytvorených snímok,
- možnosť konfigurovať konkrétne vlastnosti osvetlenia,
- možnosť použiť dvojicu kamerových senzorov.

6.6.3 Technický tím MM Medical

Proces návrhu a implementácie SW riešenia pre zariadenia systému ERIDOK prebiehal v súčinnosti s technickým tímom vývoja MM Medical. Jednotlivé požiadavky vyplývali z vlastností použitého HW a jeho periférií. Zo spoločného experimentálneho testovania prototypov vyplynuli nasledovné pripomienky:

- zvážiť použitie alternatívnych mikropočítačov pre účely riadiaceho počítača snímacej hlavice,
- zvážiť zmenu programovacieho jazyka snímacej hlavice na C/C++.

6.6.4 Vedenie spoločnosti MM Medical

Požiadavky zo strany vedenia spoločnosti MM Medical ako zákazníka projektu, boli primárne zamerané na kvalitu vyhotovenia SW a HW prvkov. Okrem toho sa taktiež sústredili na komerčné vlastnosti produktu. V súčasnosti vzišli z ich strany tieto požiadavky:

- zníženie výrobných nákladov,
- modularita riešenia pre ďalšie použitie,
- zvýšenie efektívnosti procesu diagnostiky z pohľadu lekára,
- zníženie nákladov na serverovú infraštruktúru systému.

6.7 Vylepšenia, plán ďalšieho vývoja

Hlavným cieľom pre ďalšie obdobie vývoja a výskumu je dôkladne analyzovať navrhnuté riešenie a časti jeho implementácie. Taktiež sa chceme zamerať na vzniknuté požiadavky vyplývajúce s pokračujúcim výskumom partnerov projektu a prípravu produktov na komerčnú fázu. Zároveň je samozrejmosťou doplniť implementáciu o chýbajúce prvky, ktoré sa v čase písania práce nepodarilo ukončiť. Primárne sa chceme pri implementácii zamerať na nasledujúce časti systému:

- používateľské rozhranie riadiacej jednotky lasera,
- integrácia modelu strojového učenia,
- optimalizácia procesu diagnostiky z pohľadu SW riadenia,
- optimalizácia procesu snímania diagnostických fotografií,
- aktualizácia a úprava databázového modelu,
- doplnenie funkcionálít API pre zariadenia,
- doplnenie funkcionálít API pre IS PZS,
- vytvorenie webového rozhrania pre PZS,
- testovanie použitia jazyka C++/micropython,
- vytvorenie pokročilých prototypov snímacej hlavice.

7 Záver

Podstatou zadania a cieľov práce bolo špecifikovať, navrhnuť a implementovať prvky softvérovej infraštruktúry systému na diagnostiku kožných lézií. Špecifikácia a vlastnosti tohto systému sa okrem analýzy diagnostických postupov riadia aj cieľmi projektu ERIDOK. Tento projekt je zastrešený spoločnosťou MM Medical s.r.o., ktorá v spolupráci s výskumnými partnermi z CVTI SR a UPJŠ podieľajú na jeho realizácii. Jedná sa o vylepšenie postupov pri diagnostike kožných lézií a ich automatizáciu a integráciu do ambulantných IS.

Prvým krokom pri riešení špecifikovaných cieľov bolo získanie prehľadu v oblasti diagnostiky kožných lézií. Po zoznámení sa s procesmi v dermatologickej ambulancii sme sa zamerali na prostriedky a nástroje používané ošetrovateľom pri určovaní diagnóz a sledovaní kožných výrastkov. Sústredili sme sa hlavne na nástroje používané pri dermatoskopii. Získali sme dôležité informácie o dermatoskopoch, ktoré sú hlavným nástrojom lekára pri diagnostike znamienok. Taktiež sme v tejto časti spracovali aktuálne postupy a algoritmy používané pri určovaní samotnej diagnózy. Nakoľko má systém vo finálnej podobe využívať strojové učenie, zoznámili sme sa s používanými postupmi a systémami, ktoré integrujú tieto funkcionality. Napokon sme spracovali existujúce datasety používané v implementáciách využívajúcich klasifikáciu modelmi strojového učenia.

Okrem verejných zdrojov a analýzy problematiky diagnostiky kožných lézií, sme pri návrhu riešenia využili spoluprácu na projekte ERIDOK. Vďaka množstvu stretnutí sa nám podarilo získať dôležitú spätnú väzbu, ktorá bola následne spracovaná do špecifikácie požiadaviek. Tieto informácie sme získali od výskumných partnerov na základe ich návrhov úpravy diagnostického procesu. Taktiež sme spolupracovali s výskumným tímom lekárov, ktorý nám poskytol vzácne postrehy a pripomienky zo skutočného ambulantného prostredia. Prostredníctvom detailne špecifikovaných doménových a technických požiadaviek sme sa dopracovali k definovaniu konkrétnych modulov systému: bezdrôtová diagnostická hlavica, ria-

diaca jednotka lasera a vzdialený API server.

Následne sme vybrali technológie pre ich implementáciu a navrhli sprostredkovanie požadovaných funkcionalít. Pri návrhu sme postupovali od abstrakcie konceptu systému po návrh jednotlivých modulov získaných pri spracovaní požiadaviek. Systém má fungovať na báze distribuovaných zariadení vo forme laserov a diagnostických hlavíc, ktorých činnosť bude monitorovať vzdialený API server. Diagnostická hlavica bude mať za úlohu vytvárať diagnostické snímky, a bude slúžiť ako vylepšený nástroj pre náhradu tradičných dermatoskopov. Toto zariadenie bude bezdrôtovo komunikovať s riadiacou jednotkou lasera. Tá bude ovládať a konfigurovať činnosť laserového aparátu a poskytovať používateľské rozhranie pre diagnostický proces. Riadiace jednotky distribuovaných laserov sa budú pripájať na vzdialený API server, ktorý bude akceptovať požiadavky a poskytovať potrebné údaje pre zariadenia. Server bude komunikovať s databázou a modulom strojového učenia.

Jednotlivé súčasti systému boli implementované formou prototypov, nakoľko vývoj týchto zariadení stále prebieha pod záštitou projektu ERIDOK. Moduly, ktoré sa podarilo naimplementovať sme následne experimentálne otestovali. Navrhnutými testami sme potvrdili efektívnosť vybraných technológií a zároveň ich stabilitu a funkčnosť. Experiment vykonaný na prototypy snímacej hlavice potvrdil, že vyhotovovanie diagnostických snímok s požadovanými parametrami sme uskutočnili vo vyhovujúcom čase s postačujúcou kvalitou. Taktiež sme ukázali funkcionálnosť párovania tejto hlavice k riadiacej jednotke lasera, pre získanie zabezpečeného komunikačného kanálu. V tomto module sme taktiež experimentálne potvrdili možnosť programovo riadiť funkcie lasera. Poslednou časťou experimentov bola prezentácia rýchlosti spracovania požiadaviek na API server. Tie potvrdili vhodnosť použitia a správnosť implementácie websocketového spracovania požiadaviek. Výsledky týchto testov nám potvrdili rýchlosť a správnosť spracovania jednotlivých požiadaviek zadefinovaných v analytickej časti a cieľoch projektu.

Kvôli komplikáciám pri vývoji a organizačným problémom v rámci projektu ERIDOK, boli implementácie jednotlivých modulov nekompletné. V rámci implementácie sa nepodarilo ukončiť konkrétnu realizáciu celého diagnostického procesu. Medzi chýbajúce moduly patrí taktiež používateľské rozhrania riadiacej jednotky lasera a API pre IS PZS. V čase písania práce taktiež ešte neexistovala implementácia strojového učenia, a tak v projekte nie je realizovaná jeho integrácia a

použitie. Na implementácii chýbajúcich súčastí sa bude pracovať v pokračujúcich fázach projektu ERIDOK.

Z vyhodnotenia práce vyplynulo, že systém je pripravený pre detailnú implementáciu konkrétnych funkcionalít. Navrhnuté a vytvorené prostriedky poskytujú komplexnú infraštruktúru v oblasti komunikácie a práce s perifériami, ktorými je možné docieľiť finálnu podobu systému. V spolupráci s partnermi projektu budeme v ďalších častiach projektu pracovať na finalizácii špecifikácie a implementácie týchto funkcionalít. Taktiež sa v blízkej dobe uskutoční testovanie priemyselného prototypu lasera a snímacej hlavice, ktoré nám prinesie ďalšiu vzácnu spätnú väzbu od lekárskeho personálu a výskumných tímov.

Literatúra

1. MM MEDICAL S.R.O. *Žiadosť o poskytnutie nenávratného finančného príspevku*. Košice, 2020. Podaná žiadosť s popisom zámeru projektu ERIDOK. (neuverejnené).
2. MURÁROVÁ, Z. Dermatoskopia malígneho melanómu. *Dermatologická prax*. 2016. Dostupné tiež z: <https://www.solen.sk/storage/file/article/00bbbe390aaca0787fba8b685dd914cd.pdf>.
3. SINIKUMPU, S-P.; JOKELAINEN, J.; HAARALA, A.K.; KERÄNEN, M-H.; KEINÄNEN-KIUKAANNIEMI, S.; HUILAJA, L. The High Prevalence of Skin Diseases in Adults Aged 70 and Older. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2020, roč. 68, č. 11, s. 2565–2571. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1111/jgs.16706>.
4. GEWIRTZMAN, A.J.; SAURAT, Jean-Hilaire; BRAUN, R.P. An evaluation of dermoscopy fluid and application techniques. *The British journal of dermatology*. 2003, roč. 149. Dostupné z DOI: [10.1046/j.1365-2133.2003.05366.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2133.2003.05366.x).
5. WARD, W.H.; LAMBRETON, F.; GOEL, N.; YU, J.Q.; FARMA, J.M. *Clinical Presentation and Staging of Melanoma*. Codon Publications, 2017. Dostupné z DOI: [10.15586/codon.cutaneousemelanoma.2017.ch6](https://doi.org/10.15586/codon.cutaneousemelanoma.2017.ch6).
6. HC MARBELLA. *ABCDE Melanoma* [online] [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.hcmarbella.com/en/abcde-melanoma/>.
7. FLACHBART, N. *Frakčný a chirurgický laser CO2 s integrovaným odsávaním spa-lín - Technická správa*. Košice, 2022. Pracovný dokument projektu ERIDOK (in print).
8. VECSEROVA, D. *Vyšetrenie znamienka tradičným dermatoskopom* [online] [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.dermacenter.sk/sk/osetrenia/znamienka> So súhlasom autora a spoločnosti.

9. DERMATOP S.R.O. *Digitálny dermatoskop* [online] [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.dermatop.sk/pristrojove-vybavenie/47-digitalny-dermatoskop> So súhlasom autora a spoločnosti.
10. HAENSSLE, H.A. et al. *Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists*. Elsevier BV, 2018. Č. 8. Dostupné z DOI: [10.1093/annonc/ndy166](https://doi.org/10.1093/annonc/ndy166).
11. BALOGHOVÁ, J. a kol. *Identifikácia zdrojov dostupných informácií a obrazových dát k problematike identifikácie kožných lézií*. Košice, 2021. Správa z čiastkovej úlohy č.1 (in print).
12. BIROŠ, M. *Diagnostická hlavica systému ERIDOK - Technická správa*. Košice, 2022. Pracovný dokument projektu ERIDOK (in print).
13. CHORVÁT, D. *Blackbox osvetlenie v3: Prezentácia*. 2022. Pracovný dokument projektu ERIDOK.
14. GALARRAGA, F. *How to Deploy Django Channels 2.x on AWS Elastic Beanstalk*. Dostupné tiež z: <https://medium.com/@elspanishgeek/how-to-deploy-django-channels-2-x-on-aws-elastic-beanstalk-8621771d4ff0>.

Zoznam skratiek

API Application Programming Interface.

AWS Amazon Web Services.

CVTI SR Centrum vedecko-technických informácií SR.

DRY Don't Repeat Yourself!.

ERIDOK Eliminácia rizika dopadov koherentného žiarenia pri dermatologických zákrokoch.

GPIO General-purpose input/output.

IS Informačný systém.

OS Operačný systém.

PZS Poskytovateľ zdravotnej starostlivosti.

REST Representational state transfer.

UPJŠ Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach.

WSS WebSocket Secure.

Zoznam príloh

Príloha A Technická Dokumentácia

Príloha B CD médium - záverečná práca a technická príručka v elektronickej podobe, zdrojový kód implementácie