



## **Zadání diplomové práce**

<b>Název:</b>	Webové rozhraní pro zpracování SPAMM tagovaných dat z magnetické rezonance
<b>Student:</b>	Bc. Tomáš Taro
<b>Vedoucí:</b>	Ing. Petr Pauš, Ph.D.
<b>Studijní program:</b>	Informatika
<b>Obor / specializace:</b>	Webové inženýrství
<b>Katedra:</b>	Katedra softwarového inženýrství
<b>Platnost zadání:</b>	do konce letního semestru 2022/2023

### **Pokyny pro vypracování**

Cílem práce je vytvoření webového rozhraní pro existující aplikaci, která provádí zpracování SPAMM tagovaných dat získaných pomocí magnetické rezonance (MR). Webové rozhraní by mělo umožnit nahrání dat typu DICOM, jejich zpracování a zobrazení v prohlížeči, zadání parametrů pro algoritmus SPAMM včetně interaktivní úpravy mřížky, spuštění algoritmu a následné zobrazení výsledků.

- 1) Analyzujte možnosti zpracování medicinských dat ve formátu DICOM pomocí webových technologií.
- 2) Analyzujte možnosti propojení webového rozhraní s existující aplikací.
- 3) Analyzujte vhodné frameworky pro tvorbu webového rozhraní.
- 4) Navrhněte prototyp webové aplikace pro zpracování SPAMM tagovaných dat z MR.
- 5) Prototyp implementujte.
- 6) Proveďte vhodné testování na reálných SPAMM tagovaných datech z MR.



Diplomová práca

# **WEBOVÉ ROZHRANIE PRE SPRACOVANIE SPAMM TAGOVANÝCH DÁT Z MAGNETICKEJ REZONANCIE**

**Bc. Tomáš Taro**

Fakulta informačních technologií  
Katedra softwarového inženýrství  
Vedúci: Ing. Petr Pauš, Ph.D.  
12. apríla 2023

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta informačních technologií

© 2023 Bc. Tomáš Taro. Všetky práva vyhrazené.

*Táto práca vznikla ako školské dielo na FIT ČVUT v Prahe. Práca je chránená medzinárodnými predpismi a zmluvami o autorskom práve a právach súvisiacich s autorským právom. Na jej využitie, s výnimkou bezplatných zákonných licencií, je nutný súhlas autora.*

Odkaz na túto prácu: Taro Tomáš. *Webové rozhranie pre spracovanie SPAMM tagovaných dát z magnetickej rezonancie*. Diplomová práca. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2023.

## Obsah

<b>Podakovanie</b>	<b>vi</b>
<b>Vyhlásenie</b>	<b>vii</b>
<b>Abstrakt</b>	<b>viii</b>
<b>Zoznam skratiek</b>	<b>ix</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Magnetická rezonancia</b>	<b>3</b>
2.1 Princíp magnetickej rezonancie . . . . .	3
2.2 SPAMM . . . . .	6
<b>3 Analýza súčasnej aplikácie</b>	<b>7</b>
3.1 Účel aplikácie . . . . .	7
3.2 Použité technológie . . . . .	7
3.2.1 Qt . . . . .	8
3.2.2 Qmake . . . . .	9
3.2.3 DICOM . . . . .	9
3.2.4 DCMTK . . . . .	10
3.2.5 OpenMP . . . . .	10
3.2.6 TNL . . . . .	10
3.3 Pomocné podprogramy . . . . .	11
3.4 Zostavenie aplikácie a jej spustenie . . . . .	12
3.5 Používateľské rozhranie . . . . .	14
<b>4 Analýza a návrh webovej aplikácie</b>	<b>19</b>
4.1 Analýza požiadaviek . . . . .	19
4.1.1 Funkčné požiadavky . . . . .	19
4.1.2 Nefunkčné požiadavky . . . . .	20
4.2 Používateľské role . . . . .	20
4.3 Prípady použitia . . . . .	21
4.3.1 UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii . . . . .	21
4.3.2 UC2 – Animácia snímkov . . . . .	22
4.3.3 UC3 – Vytvorenie mriežky . . . . .	22
4.3.4 UC4 – Úprava parametrov mriežky . . . . .	23
4.3.5 UC5 – Zadanie parametrov pre <b>grid-tracker</b> podprogram . . . . .	23

4.3.6	UC6 – Spustenie <b>grid-tracker</b> podprogramu a zobrazenie jeho výsledku . . . . .	23
4.4	Návrh architektúry webovej aplikácie . . . . .	24
4.5	Analýza prepojenia webového rozhrania so súčasnou aplikáciou . . . . .	24
4.5.1	C++ addons . . . . .	24
4.5.2	WebAssembly . . . . .	25
4.5.3	Výsledná voľba prepojenia . . . . .	25
4.6	Technológie pre vývoj webovej aplikácie . . . . .	26
4.6.1	HTML5 . . . . .	26
4.6.2	CSS 3 . . . . .	27
4.6.3	JavaScript . . . . .	27
4.6.4	Node.js . . . . .	27
4.6.5	Docker . . . . .	27
4.7	Analýza spracovania MR snímok vo webovej aplikácii . . . . .	28
4.7.1	Cornerstone Core . . . . .	28
4.7.2	Cornerstone WADO Image Loader . . . . .	28
4.7.3	Dicom Parser . . . . .	29
4.8	Analýza vykreslenia mriežky nad MR snímkami . . . . .	30
4.8.1	Cornerstone Tools . . . . .	30
4.9	Analýza frameworkov pre tvorbu webovej aplikácie . . . . .	31
4.9.1	Next.js . . . . .	31
4.9.2	Nuxt.js . . . . .	31
4.9.3	Výsledná voľba frameworku . . . . .	31
4.10	Návrh používateľského rozhrania . . . . .	31
4.11	Návrh prepojenia webového rozhrania so súčasnou aplikáciou . . . . .	31
4.11.1	Anonymizácia DICOM dát . . . . .	31
4.11.2	Komunikácia medzi serverom a klientom . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Implementácia</b>	<b>33</b>
5.1	Klientská časť . . . . .	33
5.1.1	Používateľské rozhranie . . . . .	33
5.1.2	Spracovanie DICOM dát . . . . .	33
5.1.3	Interaktívna úprava mriežky . . . . .	33
5.2	Serverová časť . . . . .	33
5.2.1	Výpočet umiestnenia mriežky . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Testovanie</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Zhodnotenie aplikácie a odporúčania pre jej ďalší vývoj</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>Záver</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>Nějaká příloha</b>	<b>41</b>
	<b>Obsah přiloženého média</b>	<b>45</b>

## Zoznam obrázkov

2.1	Voľný pohyb vodíkových jadier a ich zarovnanie v smere $\mathcal{B}_0$ . . . . .	4
2.2	Kolmá aplikácia RF impulzu $\mathcal{B}_{rf}$ na vodíkové jadrá . . . . .	4
2.3	Emitovanie FID signálu vodíkovými jadrami . . . . .	5
2.4	Tagovaný snímok myokardu pomocou techniky SPAMM . . . . .	6
2.5	Ukážka vyblednutia SPAMM mriežky . . . . .	6
3.1	Ukážka DICOM Viewer aplikácie po spustení . . . . .	15
3.2	Zobrazenie prvej snímky v DICOM Viewer aplikácii . . . . .	15
3.3	Zobrazenie obsahu kariet na pravom postrannom paneli . . . . .	16
4.1	Use case diagram . . . . .	21

## Zoznam tabuliek

## Zoznam výpisov kódu

*Chtěl bych poděkovat především sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur sagittis hendrerit ante. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Sed vel lectus. Donec odio tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Suspendisse sagittis ultrices augue.*



## Vyhlásenie

FILL IN ACCORDING TO THE INSTRUCTIONS. VYPLŇTE V SOULADU S PO-  
KYNY. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur sagittis  
hendrerit ante. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per  
inceptos hymenaeos. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Sed  
vel lectus. Donec odio tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Suspendisse sa-  
gittis ultrices augue. Donec ipsum massa, ullamcorper in, auctor et, scelerisque sed, est.  
In sem justo, commodo ut, suscipit at, pharetra vitae, orci. Pellentesque pretium lectus  
id turpis.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur sagittis hendrerit  
ante. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos  
hymenaeos. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Sed vel lectus.  
Donec odio tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Suspendisse sagittis ultrices  
augue. Donec ipsum massa, ullamcorper in, auctor et, scelerisque sed, est. In sem justo,  
commodo ut, suscipit at, pharetra vitae, orci. Pellentesque pretium lectus id turpis.

V Prahe dňa 12. apríla 2023

.....

## Abstrakt

Fill in abstract of this thesis in Czech language. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Sed vel lectus. Donec odio tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Suspendisse sagittis ultrices augue.

**Klíčová slova** enter, comma, separated, list, of, keywords, in, CZECH

## Abstract

Fill in abstract of this thesis in English language. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Sed vel lectus. Donec odio tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Suspendisse sagittis ultrices augue.

**Keywords** enter, comma, separated, list, of, keywords, in, ENGLISH

## Zoznam skratiek

API	Application Programming Interface
AR	Augmentovaná realita
CSS	Cascading Style Sheets
CT	Počítačová tomografia
ČVUT	České vysoké učení technické
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
FID	Free Induction Decay
FJFI	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
GCC	GNU Compiler Collection
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identifikátor
IDE	Integrated Development Environment
JS	JavaScript
MB	Megabajt
MR	Magnetická rezonancia
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
SPAMM	Spatial Modulation of Magnetization
TE	Time to Echo
TNL	Template Numerical Library
TR	Repetition Time
UI	User Interface
VM	Virtuálny počítač
VR	Virtuálna realita
W3C	World Wide Web konzorcium
WADO	Web Access to DICOM Objects
WWW	World Wide Web





Kapitola 1

Úvod



# Magnetická rezonancia

Magnetická rezonancia (MR) je jedna zo zobrazovacích techník, ktorá je používaná k zobrazeniu vnútorných orgánov tela. Na rozdiel od röntgenového žiarenia a počítačovej tomografie (CT), magnetická rezonancia nepoužíva ionizujúce žiarenie. Avšak medzi spoločné znaky týchto troch zobrazovacích techník patrí ich neinvazívnosť a bezbolestné vyšetrenie [1] (vlastný preklad).

Magnetická rezonancia sa používa najmä pri:

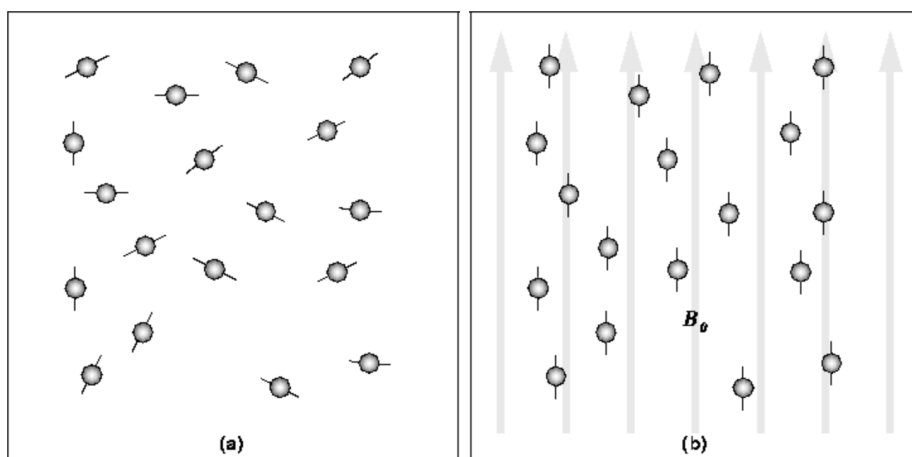
- podozrení na anomálie mozgu a miechy, nádory a cysty,
- poranení kĺbov a mäkkých tkanív,
- podozrení na srdcové problémy,
- rozličných ochoreniach pečene a iných brušných orgánov, atď. [2] (vlastný preklad).

Pred niektorými MR procedúrami sa pacientovi môže intravenózne podať kontrastná látka, ktorá zlepší kontrast a vzájomnú odlíšiteľnosť orgánov a mäkkých tkanív [3].

Bohužiaľ, existujú aj určité kontraindikácie, pri ktorých použitie MR pre daného človeka nie je možné. Jedným z kontraindikácií je implantovaný kardiostimulátor, v prípade že nie je kompatibilný s MR prístrojom. Všeobecne sa za kontraindikáciu považuje použitie akéhokoľvek magnetického materiálu v tele. Taktiež je MR vyšetrenie kontraindikované ženám v prvom trimestri tehotenstva [4].

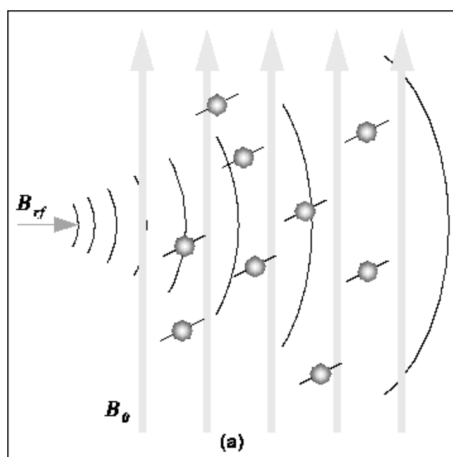
## 2.1 Princíp magnetickej rezonancie

Princípom magnetickej rezonancie je smerové magnetické pole (moment -  $\mathcal{B}_0$ ) spojené s pohybom voľných jadier vodíku v tele subjektu. Tieto jadrá majú charakteristický pohyb (spin) vytvárajúci malý magnetický moment s určitým smerom (ktorý je náhodný) a veľkosťou. Keď je subjekt umiestnený vo veľkom magnetickom poli (v tubuse MR prístroja), voľné vodíkové jadrá sa zarovnajú v smere  $\mathcal{B}_0$  (smer  $y$ ) a vytvoria magnetický moment  $\mathcal{M}$  paralelne k  $\mathcal{B}_0$ . Vodíkové jadrá začnú náhle prechádzať okolo smeru magnetického poľa ako gyroskopy – toto správanie sa nazýva Larmorova precesia [1] (vlastný preklad).



■ **Obr. 2.1** Na ľavom obrázku je možné vidieť voľný pohyb vodíkových jadier a na pravom ich zarovnanie v smere  $B_0$  [1].

Následne sa aplikuje rádiový impulz  $B_{rf}$  kolmo na  $B_0$ . Tento impulz rovnajúci sa frekvencii Larmorovej precesie spôsobí posun  $\mathcal{M}$  od  $B_0$  [1] (vlastný preklad).



■ **Obr. 2.2** Kolmá aplikácia RF impulzu  $B_{rf}$  na vodíkové jadrá [1].

Frekvenciu Larmorovej precesie (nazývaná ako Larmorova frekvencia), je definovaná nasledovne:

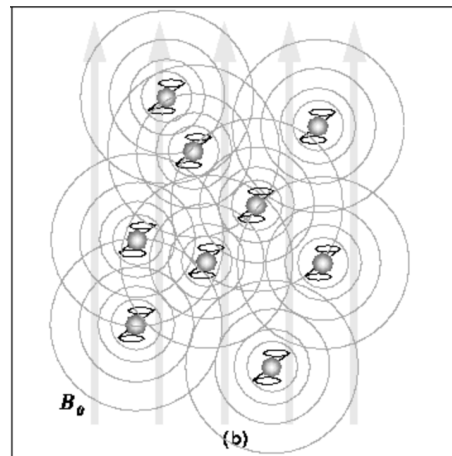
$$\omega_0 = -\gamma * B_0,$$

kde  $\gamma$  predstavuje gyromagnetický pomer a  $B_0$  intenzitu magnetického poľa. Gyromagnetický pomer je konštanta závislá na jadre danej častice. Pre vodík sa táto konštanta rovná 42.6 MHz/Tesla [1] (vlastný preklad).

Akonáhle prestane pôsobiť rádiový impulz  $B_{rf}$ , jadrá vodíka sa presunú naspäť tak, že ich  $\mathcal{M}$  je znovu paralelný s  $B_0$ . Tento návrat vodíkových jadier sa nazýva relaxácia. Počas nej jadrá strácajú energiu vysielaním ich vlastného rádiový signálu. Tento signál sa nazýva „voľný indukčný rozpad“ – z anglického Free Induction



Decay (FID). Ten sa zmeria vodivým poľom MR prístroja za účelom vyhotovenia 3D MR snímku v odtieňoch šedej [1] (vlastný preklad).



■ Obr. 2.3 Emitovanie FID signálu vodíkovými jadrami [1].

Avšak, na jeho vytvorenie musí byť FID signál enkódovaný pre každý rozmer pomocou frekvenčného a fázového kódovania. Kódovanie v axiálnom smere sa dosiahne pridaním gradientového magnetického poľa  $\mathcal{G}_y$  v smere  $B_0$  (v smere  $y$ ). Po pridaní  $\mathcal{G}_y$  sa hodnota Larmorovej frekvencie zmení lineárne v axiálnom smere, tzn. že pre konkrétny axiálny rez existuje konkrétna Larmorova frekvencia, ktorá sa aplikuje vyslaním rádiového impulzu  $\mathcal{B}_{rf}$ .  $\mathcal{G}_y$  sa potom odstráni a ďalší gradient,  $\mathcal{G}_x$ , sa aplikuje kolmo na  $\mathcal{G}_y$ . Výsledkom je, že rezonančné frekvencie jadier sa menia v smere  $x$  vďaka  $\mathcal{G}_x$  a majú fázovú variáciu v smere  $y$  v dôsledku predtým aplikovaného  $\mathcal{G}_y$ . Vzorky v smere  $x$  sú teda kódované frekvenciou a v smere  $y$  fázou. 2D inverzná Fourierova transformácia sa následne použije pre transformáciu vzoriek na snímku [1] (vlastný preklad).

Kontrast získanej snímky závisí od nasledujúcich dvoch parametrov:

- od času pozdĺžnej relaxácie - T1
- a od času priečnej relaxácie - T2.

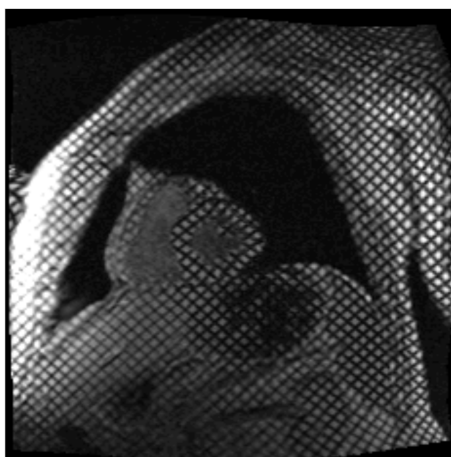
Čas T1 je čas potrebný pre jadrá vodíkov k ich relaxácii a čas T2 predstavuje čas za ktorý sa FID signál prechádzajúci cez dané tkanivo rozpadne. Oba časy závisia od daného typu látky nachádzajúcej sa v subjekte [1] (vlastný preklad).

Po získaní MR snímky sa impulz  $\mathcal{B}_{rf}$  opakuje vopred stanovenou rýchlosťou. Zmenou sekvencie impulzov ( $\mathcal{B}_{rf}$ ) sa vytvárajú rôzne typy snímok. Čas opakovania ( $TR$ ) je množstvo času medzi po sebe nasledujúcimi pulznými sekvenciami aplikovanými na rovnaký rez. Time to Echo ( $TE$ ) je čas medzi dodaním impulzu  $\mathcal{B}_{rf}$  a prijatím odozvy. Úpravou  $TR$  je možné meniť výsledný kontrast na snímke medzi rôznymi typmi tkanív [1] (vlastný preklad).

## 2.2 SPAMM

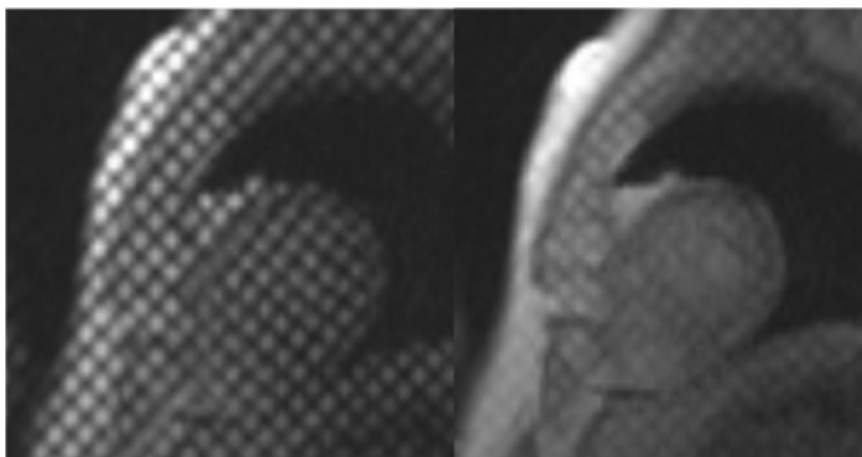
SPAMM – z anglického (SPAtial Modulation of Magnetization) → „priestorová modulácia magnetizácie“ – je technika používajúca rádiové frekvenčné saturačné impulzy pre umiestnenie mriežky na myokard, za cieľom sledovania jeho pohybu počas srdcového cyklu.

V súčasnej praxi sa SPAMM technika používa v situáciách, kde informácia o kontrakcii myokardu je kľúčová, ako napr. podozrenie na ischemickú chorobu srdca alebo abnormality týkajúce sa neprirodzeného pohybu steny myokardu [5] (vlastný preklad).



■ Obr. 2.4 Otagovaný snímok myokardu pomocou techniky SPAMM [5].

Nevýhodou použitia tejto techniky je skutočnosť, že táto mriežka sa stráca s blížiacim sa koncom srdcového cyklu. Samotné čiary mriežky sa pri konci systoly (časť srdcového cyklu, počas ktorej sa komory srdca sťahujú po naplnení krvou) môžu zlúčiť alebo úplne vyblednúť, čo sťažuje následnú analýzu pohybu srdca [5] (vlastný preklad).



■ Obr. 2.5 Ľavý obrázok zobrazuje začiatok systoly, pravý jej koniec.

Na importovaných snímkach je následne používateľom vytvorená mriežka, ktorej pa-

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvorenie webovej verzie súčasnej aplikácie vrátane

### 3.2.1 Qt

Súčasná aplikácia bola vyvinutá pomocou Qt – cross-platformového frameworku určeného pre vytváranie aplikácií najmä v jazyku C++. Aplikácie vyvinuté týmto frameworkom majú výhodu v tom, že sú spustiteľné na rôznych operačných systémoch s minimálnym počtom zmien v zdrojovom kóde [6] (vlastný preklad). V súčasnosti (od roku 2014) zastrešuje vývoj tohto frameworku spoločnosť The Qt Company.

Výsadou Qt frameworku je taktiež rozdelenie jeho funkcionality do jednotlivých modulov. Pri následom vytváraní aplikácie sa používajú len také moduly, ktoré sú v danej aplikácii potrebné [6] (vlastný preklad).

Existujúca aplikácia využíva tento framework vo verzii 5.15, ktorá sa vyznačuje tým, že je to verzia s dlhodobou podporou. Koniec podpory tejto verzie je naplánovaný na 26.5.2023. Najnovšia verzia Qt frameworku je momentálne verzia 6.4 a čo sa týka najnovšej verzie s dlhodobou podporou, tou je Qt vo verzii 6.2.

V súčasnej desktopovej aplikácii boli použité nasledovné moduly:

- Qt Core
- Qt Widgets
- Qt GUI
- Qt Test

Qt Core modul obsahuje najpoužívanejšie triedy ako napr. `QCoreApplication`, `QObject`, `QDebug` a iné. Nakoľko sú tieto triedy používané aj inými modulmi, je tento modul implicitne nalinkovaný Qt frameworkom pri budovaní aplikácie [7] (vlastný preklad).

Qt Widgets modul poskytuje UI elementy, ktoré sú určené pre vytváranie používateľského rozhrania. Tieto elementy môžu zobrazovať rozličné dáta, prijímať vstup z klávesnice, byť štylizované a zoskupované do rozličných usporiadaní [8] (vlastný preklad). Existujúca aplikácia používa z modulu napr. triedu `QMainWindow`, ktorá je zodpovedná za vykreslenie aplikačného okna a taktiež triedu `QGraphicsScene`, ktorá je zodpovedná za vykreslenie snímkov z magnetickej rezonancie v DICOM formáte.

Qt GUI modul obsahuje triedy určené pre zobrazovanie aplikačného okna a iného grafického obsahu s následnou obsluhou udalostí. Taktiež obsahuje triedy, ktoré sú zodpovedné za zobrazovanie 2D grafiky, fontov a typografie [9] (vlastný preklad). Súčasná aplikácia z tohto modulu používa napr. triedu `QImage`, ktorá obsahuje metódy pre priamy prístup k pixelom snímkov a ich manipuláciu.

Qt Test modul poskytuje rozličné triedy pre jednotkové testovanie Qt aplikácií a príslušných knižníc [10] (vlastný preklad) – v súčasnej aplikácii bol tento modul využitý pri testovaní grafického používateľského rozhrania a funkcionalít súčasnej aplikácie, ako napr. testovanie zmien v nastaveniach vykreslenej mriežky na obrázku z magnetickej rezonancie.

### 3.2.2 Qmake

Pre zjednodušenie písania Makefilov, ktoré definujú, ako má byť program skompilovaný, bol použitý nástroj Qmake. Tento nástroj pochádza taktiež z dielne The Qt Company. Qmake umožňuje vývojárom definovať vytváranie rozličných Makefilov pre daný program pomocou syntaxu definovaného programom Qmake [11] (vlastný preklad). Výsledkom tohto procesu je súbor s príponou `.pro` obsahujúci inštrukcie, ako daný Makefile vytvoriť. Následne sa pomocou príkazu `qmake` s argumentom cesty k `.pro` súboru vytvorí `Makefile` súbor, pomocou ktorého je možné daný program skompilovať, čoho výsledkom je spustiteľný súbor aplikácie.

Pre súčasnú aplikáciu sa daný súbor volá `Cameo.pro` a nachádza sa v adresári `dicomViewer`.

### 3.2.3 DICOM

V súčasnosti sú snímky získané pomocou zobrazovacích techník v medicíne zväčša ukladané v archivačnom a komunikačnom systéme snímkov. Tento systém ukladá nielen snímkové dáta ale aj iné relevantné dáta k týmto snímkam podľa štandardu známom ako DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [12] (vlastný preklad). Ten je medzinárodným štandardom pre komunikáciu a manažment informácií o medicínskych obrazových a k nim príslušných dátach. Definuje, ako majú byť takéto dáta spracovávané, ukladané, tlačené a prenášané medzi zariadeniami podporujúcimi príjem týchto dát [13] (vlastný preklad).

Začiatok vývoja DICOM štandardu sa datuje k prelomu 80. a 90. rokov 20. storočia, kedy započala spolupráca medzi American College of Radiology a National Electrical Manufacturers Association. NEMA taktiež vlastní autorské práva k tomuto štandardu. Momentálne sa DICOM skladá z 22 nezávislých častí, z ktorých avšak nie všetky musia byť implementované daným zariadením podporujúcim tento štandard [14] (vlastný preklad).

Pre účely spracovania snímkových dát, DICOM štandard vo svojej 10. časti definuje dátovú štruktúru (formát) súboru, do ktorého sa tieto dáta ukladajú. Dátová štruktúra súboru, ktorý spĺňa podmienky 10. časti tohto štandardu, býva značená ako „DICOM Part 10“ súbor, inak známy ako DICOM súbor [12] (vlastný preklad).

Štruktúra tohto (binárneho) súboru je nasledovná – prvých 128 bajtov býva zväčša prázdnych (vyplnených 0). Ďalšie 4 bajty obsahujú uložený refazec „DICM“. Na základe týchto bajtov sa dá určiť, či sa jedná alebo nejedná o DICOM súbor. Ďalej nasleduje hlavička, ktorá je rozdelená na viacero skupín zoskupujúcich súvisiace atribúty. Konkrétne atribúty sa adresujú tagom - ten sa skladá z 8 čísiel v hexadecimálnom formáte. Prvé 4 čísla reprezentujú skupinu, v ktorej sa daný atribút nachádza a posledné 4 čísla jednoznačne identifikujú konkrétny atribút v skupine [12] (vlastný preklad).

Ako príklad bude uvedené získanie informácie o pacientovom veku - všetky informácie o pacientovi sa nachádzajú v skupine 0010. Pacientov vek v tejto skupine sa nachádza na pozícii 1010, tým pádom výsledný tag pod ktorým nájdeme vek pacienta je (0010, 1010). Ku každému tagu je jednoznačne priradená reprezentácia jej hodnoty, ktorý určuje dátový typ, formát a dĺžku hodnoty daného atribútu [12] (vlastný preklad).

Po hlavičke nasleduje skupina 7FE0, ktorá už obsahuje dáta o samotných obrazových

pixeloch [12] (vlastný preklad). Typ kódovania týchto dát určuje Transfer Syntax – ten udáva, akým spôsobom sú obrazové pixely zakódované. Transfer Syntax obsahuje taktiež informáciu, v akom poradí bajtov sú informácie zakódované (Little Endian vs Big Endian) a aká kompresia obrazových dát bola použitá [15] (vlastný preklad).

### 3.2.4 DCMTK

DCMTK je knižnica, ktorá implementujú veľkú časť DICOM štandardu v jazykoch C a C++. Úlohou tejto knižnice je okrem iného skúmanie, vytváranie a konverzia DICOM súborov, manipulácia s pamäťovými médiami a odosielanie, resp. prijímanie obrazových súborov cez internetové pripojenie. Za jej vývojom stojí nemecká firma OFFIS, ktorá túto knižnicu vyvíja nepretržite už od roku 1993. V súčasnosti sa používa v nemocniciach a rôznych spoločnostiach po celom svete, kde predstavuje softvérový základ pri rozličných výskumných projektoch, prototypoch a komerčných produktoch nevynímajúc [16] (vlastný preklad).

Súčasná aplikácia je kompatibilná s najnovšou verziou tejto knižnice, ktorou je verzia 3.6.7. DCMTK knižnica je v tejto aplikácii použitá pre získanie informácií z hlavičiek DICOM súborov, ako napr:

- údaje o pacientovi,
- údaje o snímku a
- údaje o sérii snímkov.

### 3.2.5 OpenMP

OpenMP poskytuje rozhranie pre programovanie aplikácií (tzv. API), vďaka ktorému je možné vytvárať C, C++ a Fortran aplikácie využívajúce viac vlákien nad zdieľanou pamäťou. Vývoj OpenMP v súčasnosti zastrešuje OpenMP Architecture Review Board. OpenMP funguje na báze direktív, pomocou ktorých sa jednotlivé časti programu dajú paralelizovať viacerými spôsobmi – a to paralelizáciou prevádzania jednotlivých úloh (tzv. funkčný paralelizmus – vhodný pre paralelizáciu rekurzívnych algoritmov, kde úloha = volanie funkcie) alebo paralelizáciou dátovo nezávislých for loop iterácií (tu sa jedná o tzv. iteračný dátový paralelizmus) [17].

Existujúca aplikácia využíva direktívy OpenMP pre paralelizáciu výpočetne náročnejších algoritmov. Súčasná verzia OpenMP, verzia 5.2, je plne kompatibilná s aktuálnym zdrojovým kódom aplikácie.

### 3.2.6 TNL

Template Numerical Library je numerická knižnica, ktorá poskytuje rozličné dátové štruktúry, ktoré uľahčujú prácu s pamäťou a vývoj efektívnych numerických riešičov. Táto knižnica je implementovaná pomocou C++ s cieľom poskytnúť flexibilné a užívateľsky prívetivé rozhranie. TNL poskytuje natívnu podporu pre moderné hardwarové

architektúry ako sú viacjadrové CPU, GPU a distribuované systémy, ktoré je možné spravovať cez jednotné rozhranie [18].

Vývoj TNL knižnice od jej počiatku riadi Tomáš Oberhuber z Katedry matematiky na FJFI ČVUT v spolupráci s Jakubom Klinkovským a Alešom Wodeckim.

V súčasnej aplikácii sú z TNL knižnice použité kolekcie ako napr. `String` pre manipuláciu s reťazcami a `Containers::Array`, `Containers::Vector`, `Containers::StaticVector`, `Containers::MultiVector`, čo sú šablóny pre reprezentáciu n-dimenzionálnych polí, ktoré abstrahujú manažment dát a exekúciu bežných operácií na rozličných hardvérových architektúrach.

Aplikácia z TNL knižnice taktiež používa `Solvers::ODE::Merson` – jedná sa o Runge-Kutta-Merson metódu štvrtého rádu s adaptívnym výberom časového kroku, pomocou ktorej vieme získať približné riešenie diferenciálnych rovníc.

Bohužiaľ, súčasná aplikácia nie je kompatibilná s najnovšími zdrojovými kódmi TNL knižnice – pre nájdenie posledného „dobrého stavu“ knižnice, t.j. stavu za ktorého bolo možné aplikáciu skompilovať, bol využitý nástroj `git bisect`. Tento nástroj našiel ako posledný „dobrý stav“ knižnice z 13.5.2021. Pri využití TNL knižnice zostavenej po tomto dátume nebolo možné súčasnú aplikáciu skompilovať.

### 3.3 Pomocné podprogramy

Súčasná aplikácia obsahuje a využíva nasledujúce 3 podprogramy:

- `grid-tracker`
- `local-variance`
- `graph-cuts`

`grid-tracker` C++ podprogram určený pre sledovanie pohybu myokardu pomocou detekcie SPAMM mriežky z DICOM snímku a mriežky vytvorenej používateľom. Mriežku vytvorenú používateľom sa snaží zarovnať so SPAMM mriežkou pre každú snímku zo sekvencie snímok. Výstupom sú upravené koordináty bodov mriežky vytvorenej používateľom – tie sa následne aplikujú namiesto doterajšej mriežky, čoho výsledkom je zobrazenie mriežky s upravenými koordinátami bodov.

Vstupom tohto programu sú nasledujúce parametre:

- `inputImageFileNames` – vektor reťazcov reprezentujúce cesty k súborom multivektorov (definované TNL knižnicou), ktoré obsahujú enkódované DICOM snímky,
- `inputGridFileNames` – vektor reťazcov reprezentujúce cesty k súborom používateľom definovaných mriežok uložených ako TNL textový multivektor,
- `outputGridFileNames` (nepovinné) – vektor reťazcov reprezentujúce cesty k súborom spracovaných mriežok, ktoré budú uložené ako textový TNL multivektor,
- `curvatureCoefficient` – závislosť vývoja mriežky od zakrivenia, vyššie číslo znamená vyššiu závislosť,

- `forceCoefficient` – závislosť mriežky od gradientu obrazu, vyššie číslo znamená vyššiu závislosť,
- a `stopTime` – časový interval algoritmickeho výpočtu.

Pre daný výpočet `grid-tracker` využíva technológie TNL a OpenMP.

Jeho výstupom sú predchádzajúce používateľom definované mriežky v textovom TNL multivectore upravené algoritmom tak, aby mriežky zodpovedali mriežkam definovanými SPAMM metódou.

Nasledujúce dva C++ podprogramy nie sú dôležité pre túto diplomovú prácu, avšak pre úplnosť je ich účel vysvetlený.

Úlohou `local-variance` podprogramu je aplikovanie filtra lokálnej variancie pre danú snímku za účelom neskoršej lepšej segmentácie srdcových komôr. Tento filter je implementovaný pomocou jednoduchého rozptylového filtra, ktorý vypočíta priemernú intenzitu pixelov vo štvorcovom okolí každého pixelu a túto hodnotu dosadí do výberového rozptylu, ktorý sa bude rovnať novej hodnote intenzity pixelu [19].

Podprogram `graph-cuts` slúži pre segmentáciu srdcových komôr, ktorá vychádza z predpokladu, že hranica medzi objektom a jeho pozadím sa nachádza v miestach nekonzistencie susedných pixelov snímky. Implementovaná metóda, ktorá dosiahla dobré výsledky bola metóda grafových rezov, kombinujúca Fordov-Fulkersonovým algoritmom s Preflow-Push algoritmom [19].

### 3.4 Zostavenie aplikácie a jej spustenie

Pre potrebu popísania používateľského rozhrania je najprv žiaduce dosiahnuť zostavenie existujúcej aplikácie a jej následné spustenie. Po počiatočnej analýze zdrojového kódu, v ktorom bolo zistené, že aplikácia bola vyvíjaná pre Linuxové prostredie, bol vo virtuálnom prostredí nainštalovaný operačný systém Ubuntu 22.10.

Pre zostavenie súčasnej aplikácie bude potrebné nainštalovať Qt framework spolu s nástrojmi Qmake, nakoľko ich architektúra súčasnej aplikácie vyžaduje.

Pre inštaláciu Qmake nástroja je potrebné nainštalovať balíček `qt5-default`. Ten obsahuje nie len nástroj `qmake` ale aj aplikáciu Qt Creator.

Qt Creator je aplikácia, ktorá poskytuje prostredie pre integrovaný vývoj aplikácií postavených nad Qt frameworkom. Pomocou tejto aplikácie je možné vyvíjať, testovať, zostavovať, spúšťať a debugovať aplikácie postavené na tomto frameworku. Táto aplikácia bude neskôr využitá pre neskorší debugging súčasnej aplikácie.

Okrem balíčku `qt5-default` je taktiež potrebné nainštalovať balíčky `cmake` a `build-essential`, čo sú balíčky poskytujúce ďalšie nástroje potrebné pre úspešné zostavenie aplikácie. Tieto balíčky v niektorých prípadoch už môžu byť súčasťou použitej linuxovej distribúcie, čo ale neplatilo v prípade použitia Ubuntu 22.10 ako operačného systému.

Pretože súčasná aplikácia využíva DCMTK knižnicu, ako bolo popísané v sekcii 3.2.4, je tiež nutné nainštalovať nasledujúce balíčky: `dcmtk` a `libdcmtk-dev`.

Prvý z uvedených balíčkov nainštaluje samotnú DCMTK knižnicu, druhý obsahuje knižnice a hlavičkové súbory pre vývoj aplikácií používajúce túto knižnicu. Nakoľko v `Dicom.pro` súbore (ktorý je určený pre výsledné zostavenie aplikácie) sa nachádzajú



cesty ku knižniciam z balíčku `libdcmctk-dev`, je aj tento balíček nutný nainštalovať pre neskoršie korektné spustenie súčasnej aplikácie.

Keďže `grid-tracker` podprogram obsahuje OpenMP direktívy pre paralelizáciu výpočetných algoritmov, je potrebné nainštalovať OpenMP prostredníctvom balíčku `libomp-dev`. TNL knižnica bude taktiež benefitovať z inštalácie tohto balíčka, nakoľko sama využíva OpenMP pre paralelizáciu algoritmov, čo znamená, že sa tento balíček nainštaluje ešte pred samotnou inštaláciou TNL knižnice.

Dalej je potrebné nainštalovať samotnú TNL knižnicu – pre jej inštaláciu bude potrebné stiahnuť zdrojové kódy buď formou zabaleného zdrojového kódu v .zip balíčku, alebo naklonovaním repozitára pomocou programu `git`. Keďže aplikácia je nekompatibilná s najnovšou verziou TNL knižnice, je potrebné stiahnuť alebo naklonovať repozitár so zdrojovými kódmi do dátumu 13.5.2021 (viď 3.2.6).

Nakoľko je nutné samotnú knižnicu zo zdrojových kódov zostaviť, je nevyhnutné mať nainštalovaný kompilátor podporovaný samotnou knižnicou. Medzi podporované kompilátory sa radí GCC kompilátor vo verzii 8.0 a vyššie alebo Clang vo verzii 7.0 a vyššie. Prvý z nich je možné nainštalovať pomocou balíčku `gcc` a druhý pomocou balíčku `clang`.

Následne je potrebné exekúovať inštalačný skript `install`, ktorého účelom je nakonfigurovanie TNL knižnice a jej zostavenia. Pred exekúovaním samotného inštalačného skriptu `install` je potrebné zistiť, či sú nainštalované balíčky `doxygen`, `matplotlib` a `graphviz`. Tieto balíčky sa využívajú pri generovaní dokumentácie počas exekúcie `install` skriptu (pri defaultnej inštalácii). Ak sa niektorý z daných balíčkov nenachádza v systéme, je potrebné ho doinštalovať.

Po nainštalovaní všetkých potrebných balíčkov nastal čas pre zostavenie TNL knižnice spustením `install` skriptu. Po jeho ukončení sa hlavičkové súbory TNL knižnice budú nachádzať v priečinku `/usr/lib/aarch64-linux-gnu`. Názov posledného priečinku sa môže líšiť, nakoľko je závislý na architektúre CPU, na ktorom sa TNL knižnice zostavuje. V tomto prípade bola knižnica zostavovaná na systéme Ubuntu 22.10 bežiacom nad CPU s architektúrou Aarch64 (Apple M1 Pro CPU).

Ďalším krokom pre úspešné zostavenie aplikácie je definovanie cesty k hlavičkovým súborom TNL knižnice v samotnom `Cameo.pro` súbore, určenom pre zostavenie aplikácie pomocou programu `qmake`. Po otvorení súboru `Cameo.pro` je teda potrebné nastaviť hodnotu premennej `DCMTK_LIBS` – v tomto prípade ju bolo potrebné nastaviť na `/usr/lib/aarch64-linux-gnu` a následne daný súbor uložiť.

Po prevedení všetkých predchádzajúcich krokov je možné spustiť nástroj `qmake` pomocou krokov popísaných v sekcii 3.2.2. Jeho výsledkom bude `Makefile` súbor, ktorý definuje kroky, ako zostaviť súčasnú aplikáciu. V tomto momente je už možné súčasnú aplikáciu skompilovať pomocou spustenia príkazu `make install`.

Po skompilovaní aplikácie sa v rovnakom priečinku objaví spustiteľný súbor `Cameo`, ktorému je potrebné nastaviť práva pre spustenie príkazom `chmod +x Cameo`. Následne je možné spustiť aplikáciu príkazom `./Cameo`.

### 3.5 Používateľské rozhranie

Po úspešnom spustení aplikácie sa používateľovi zobrazí hlavné okno aplikácie. V aplikáčnom okne sa taktiež zobrazí menu s nasledovnými možnosťami:

#### 1. File

- a. Open – otvorí systémové okno pre výber priečinku s DICOM snímkami, ktoré sa majú importovať do aplikácie
- b. Save Image
  - i. Save View – uloží pohľad na aktuálnu snímku vo zvolenom formáte
  - ii. Save Scene – uloží scénu vo zvolenom formáte
  - iii. Save Area of Interes [sic] – uloží plochu záujmu vo zvolenom formáte
- c. Save all selected
  - i. Save View – uloží pohľad vybraných snímky vo zvolenom formáte
  - ii. Save Scene – uloží scénu vybraných snímkov vo zvolenom formáte
  - iii. Save Area of Interes [sic] – uloží plochu záujmu vybraných snímkov vo zvolenom formáte
- d. Exit – ukončí aplikáciu

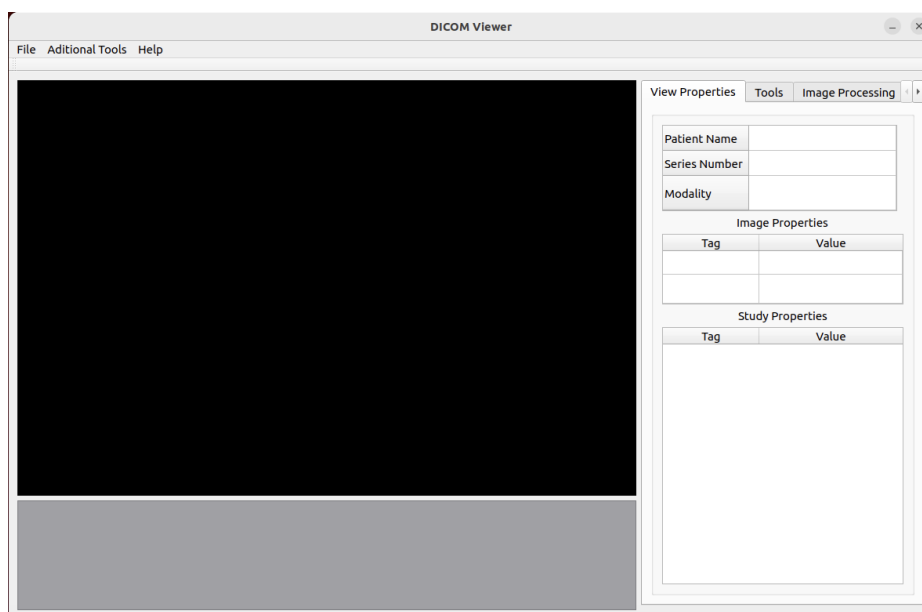
#### 2. Aditonal [sic] Tools

- a. Grid Tools – otvorí ľavý postranný panel aplikácie s nastavením mriežky
- b. Lvf Tools – otvorí ľavý postranný panel aplikácie s nastavením filtru lokálnej variácie
- c. Graph Cuts Tools – otvorí ľavý postranný panel aplikácie s nastavením grafových rezov

#### 3. Help

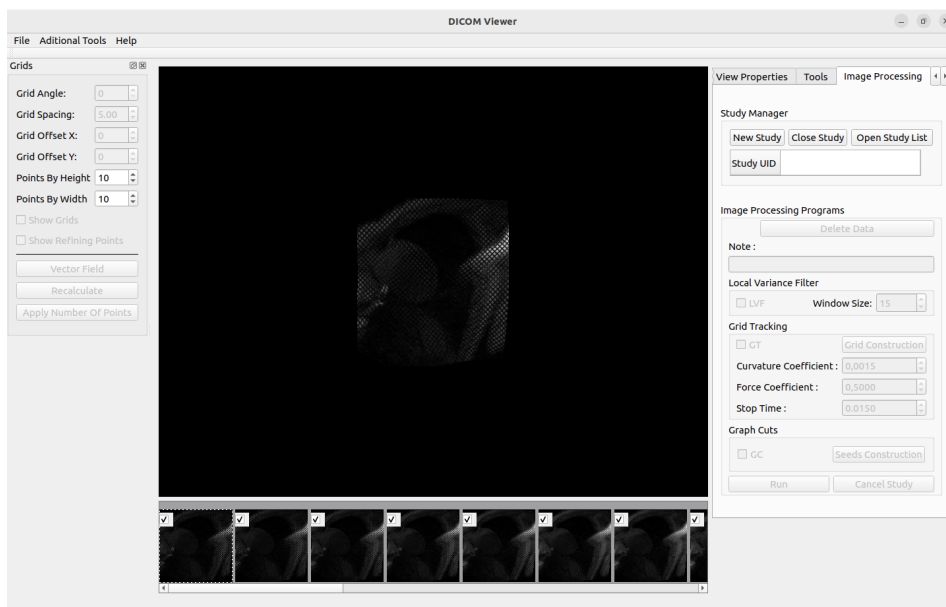
- a. About – zobrazí informácie o DICOM Viewer aplikácii

Po spustení sa aplikácia nachádza v stave, v ktorom nie je možné s ňou interagovať – inými slovami, je najprv potrebné do aplikácie importovať snímky v DICOM formáte, ako je ukázané na nasledujúcom obrázku.



■ Obr. 3.1 Ukážka DICOM Viewer aplikácie po spustení

To sa docieľi pomocou zvolenia možnosti *File* → *Open* z aplikačného menu. Následne sa otvorí systémové okno pre výber priečinka s DICOM snímkami, ktoré sa majú zobraziť v aplikácii. Bohužiaľ, nie je možné zvoliť snímky jednotlivito z priečinku, čo zapríčiní načítanie všetkých snímok z daného priečinku do aplikácie. Po zvolení priečinku sa zobrazí prvý snímok v aplikácii. Po výbere ľubovolnej možnosti, ktoré ponúka *Additional* [sic] *Tools* menu, sa taktiež zobrazí ľavý postranný panel v aplikácii, ako je možné vidieť na snímke aplikácie nižšie. V tomto prípade bola zvolená možnosť „Grid Tools“.

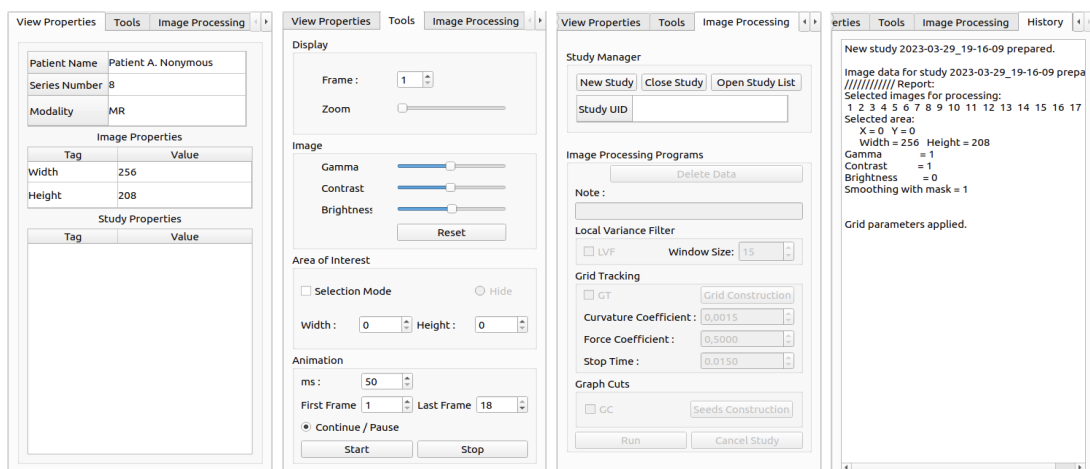


■ Obr. 3.2 Zobrazenie prvej snímky v DICOM Viewer aplikácii

Po zobrazení ľavého postranného panelu sa odhalí celková štruktúra používateľského rozhrania aplikácie. Tú môžeme rozdeliť na ľavý a pravý postranný panel, medzi ktorými sa nachádza čierna plocha zobrazujúca vybranú snímku. Pod touto snímku sú zobrazené náhľady všetkých snímkov.

Obsahom čiernej plochy, ktorá je dominantná v zobrazení aplikácie, je aktuálne vybraná DICOM snímka. Nad ňou môže byť tiež vykreslená používateľom definovaná mriežka. Náhľady všetkých snímkov, ktoré sa zobrazujú pod aktuálne vybranou snímku, obsahujú taktiež zaškrŕavacie políčko. Toto políčko reprezentuje možnosť, či má byť daný snímok spracovaný v rámci daných 3 podprogramoch.

Obsah pravého postranného panelu je rozdelený na nasledovné karty: „View Properties“, „Tools“, „Image Processing“ a „History“.



■ Obr. 3.3 Zobrazenie obsahu kariet na pravom postrannom paneli

„View Properties“ karta nie je interaktívna – zobrazuje informácie ako meno subjektu so zobrazenou snímku, číslo série a modalitu snímkov. Taktiež je zobrazená výška a šírka aktuálne zobrazeného snímku.

Narozdiel od predchádzajúcej karty, „Tools“ karta obsahuje interaktívne prvky, ako napr. zobrazenie a zmena indexu zobrazeného snímku, či slider pre priblíženie snímku. Samotnému snímku je možné tiež zmeniť kontrast, jas a gammu pomocou sliderov. Nasleduje sekcia pre nastavenie oblasti záujmu, pri ktorej je možné nastaviť jej zobrazenie alebo zmeniť jej výšku/šírku – oblasť záujmu je na základe týchto nastavení vykreslená nad snímku. Keďže aplikácia podporuje prehrávanie snímkov ako animáciu, aplikácia ponúka nastavenie jej rýchlosti v milisekundách (čo predstavuje čas, ktorý ubehne zobrazením jednej snímky), nastavenie počiatočnej snímky, od ktorej sa animácia spustí, a poslednej snímky, po ktorú animácia bude spustená. Okrem nastavenia parametrov animácie nesmú chýbať tlačidlá pre samotné spustenie a zastavenie animácie.

Na ďalšej karte „Image Processing“ sa nachádzajú tlačidlá ovládajúce manažéra štúdií. Tento „manažér“ zoskupuje rôzne štúdie, pod ktorými sa ukladajú rôzne parametre aplikácie. Po kliknutí na tlačidlo „Open Study List“ sa zobrazí nové okno so všetkými štúdiami a ich parametrami. Pre interakciu s ostatnými poliami na tejto karte je potrebné najprv vytvoriť novú štúdiu kliknutím na tlačidlo „New Study“.

Štúdiu je tiež možné ukončiť zvolením tlačidla „Close Study“. Každá štúdia je reprezentovaná jedinečným ID, ktoré sa skladá z dátumu a času jej vytvorenia. Vytvorením novej štúdie sa aktivujú polia „Image Processing Programs“ sekcie. Táto sekcia ponúka tri hlavné začiarkavacie políčka – prvé reprezentuje spustenie aplikovania filtra lokálnej variancie. Druhé z nich reprezentuje spustenie algoritmu pre zarovnanie vygenerovanej mriežky s mriežkou myokardu vytvorenou pomocou SPAMM techniky a tretie spustenie algoritmu segmentácie srdečných komôr pomocou grafových rezov. Zaškrtnutím daného políčka a kliknutím na tlačidlo „Run“ sa algoritmus príslušný danému políčku spustí. Pre „Grid Tracking“ algoritmus je v tejto sekcii možné definovať tri parametre, a to „Curvature Coefficient“, „Force Coefficient“ a „Stop Time“ (viď 3.3).

Účelom poslednej karty „History“ je výpis rozličných záznamov pre informovanie používateľa o prebiehajúcich krokoch aplikácie.

Obsah ľavého postranného panelu sa mení v závislosti na zvolenej možnosti z menu Additional [sic] Tools. Momentálne sa zobrazuje obsah ľavého panelu po zvolení možnosti „Grid Tools“. V paneli je možné nájsť nasledujúce nastavenia:

- Grid Angle – nastavuje uhol mriežky,
- Grid Spacing – nastavuje rozpätie jednotlivých bodov,
- Grid Offset X –  $x$  pozícia od ľavého horného bodu,
- Grid Offset Y – invertovaná  $y$  pozícia od ľavého horného bodu,
- Points by Height – udáva počet bodov na úsečku mriežky na výšku,
- Points By Width – udáva počet bodov na úsečku na šírku,
- Show Grids – indikuje, či má byť zobrazená mriežka,
- Show Refining Points – indikuje, či majú byť zobrazené body, ktoré upresňujú pozíciu mriežky,
- Vector Field – spočíta rozdiel v pohybe mriežky medzi predchádzajúcou a aktuálnou snímku,
- Recalculate – odošle dáta `grid-tracker` podprogramu pre opätovné zarovnanie mriežky voči SPAMM mriežke,
- a Apply Number of Points – uloží mriežku ako textový TNL multivektor.

Ostatné dve možnosti z menu „Additional [sic] Tools“ nie je potrebné pre účely tejto práce popisovať.



# Analýza a návrh webovej aplikácie

popísať, čo sa tu bude rozoberať

## 4.1 Analýza požiadaviek

Táto sekcia sa venuje analýze požiadaviek, ktoré sa delia na dve hlavné kategórie. Týmito kategóriami sú funkčné a nefunkčné požiadavky. Na základe realizovania týchto požiadaviek bude možné implementovať novú webovú aplikáciu pre potrebu analýzy srdcového myokardu.

### 4.1.1 Funkčné požiadavky

Funkčné požiadavky sú požiadavky vymedzujúce rozsah funkcionality, ktorá by mala byť v danej aplikácii implementovaná.

#### 4.1.1.1 FR1 – Spracovanie a zobrazenie MR snímkov

Do aplikácie by malo byť možné importovať snímky z magnetickej rezonancie vo formáte DICOM a tieto snímky taktiež zobraziť.

#### 4.1.1.2 FR2 – Animácia MR snímkov

Aplikácia by mala umožniť animovať importované snímky pre jednoduchšiu analýzu pohybu myokardu. Parametre animácie ako jej rýchlosť a výber fotky, od/do ktorej snímky má animácia prebiehať by mali byť upraviteľné, napr. pomocou číselného vstupu.

#### 4.1.1.3 FR3 – Zobrazenie a interaktívna úprava mriežky

Implementovaná aplikácia by mala vedieť zobraziť mriežku nad snímkou z MR, ktorá by sa mala dať vygenerovať tlačidlom v používateľskom rozhraní. Mriežka by taktiež mala byť interaktívna, t.j. polohu jej bodov by malo byť možné interaktívne upravovať, najlepšie pomocou potiahnutím bodu myšou. Parametre mriežky (3.5) by sa taktiež mali dať upraviť podľa želania používateľa a ich zmena by mala byť ihneď viditeľná.

#### 4.1.1.4 FR4 – Zadanie parametrov pre grid-tracker podprogram

Pre korektné spustenie **grid-tracker** podprogramu pre zarovnanie mriežky je nutné to-muto podprogramu podsunúť rozličné parametre. Tieto parametre by sa mali dať definovať v aplikácii pre ich neskoršie použitie v tomto podprograme. Výpis týchto parametrov je možné nájsť v 3.3.

#### 4.1.1.5 FR5 – Spustenie grid-tracker podprogramu a zobrazenie jeho výsledkov

Aplikácia by mala umožniť spustiť **grid-tracker** podprogram, ktorý zarovná mriežku definovanú používateľom s mriežkou, ktorá bola vygenerovaná pomocou techniky SPAMM. Po jej zarovnaní by mala byť aplikácia schopná vykresliť upravenú mriežku.

### 4.1.2 Nefunkčné požiadavky

Požiadavky tohto typu síce nevymedzujú rozsah funkcionality danej aplikácie, avšak umožňujú určiť isté obmedzenia pre novú aplikáciu, ako napr. dôraz na podobu výslednej architektúry aplikácie.

#### 4.1.2.1 NF1 – Webová aplikácia

Prvou nefunkčnou požiadavkou je vytvorenie webovej aplikácie, ktorá by mala byť prístupná zo všetkých moderných webových prehliadačov. Pre lekárov výber tejto architektúry zjednoduší jej prístupnosť, nakoľko k takejto aplikácii bude možné pristupovať z rôznych zariadení a platforiem bez nutnosti inštalácie aplikácie a jej následnej podpory na týchto zariadeniach.

#### 4.1.2.2 NF2 – Používateľské rozhranie

Pre interakciu s aplikáciou je nutné navrhnuť a implementovať používateľské rozhranie, pomocou ktorého lekári budú môcť s aplikáciou interagovať. Lekári by preferovali používateľské rozhranie podobné iným aplikáciám z tejto oblasti.

#### 4.1.2.3 NF3 – Ochrana pred únikom dát o pacientovi

Práca s osobnými dátami by mala byť do maximálnej možnej miere naprieč aplikáciou minimalizovaná, aby sa predišlo únikom citlivých údajov o pacientovi. Týka sa to najmä práce s DICOM súbormi, nakoľko tie obsahujú citlivé dáta o pacientovi.

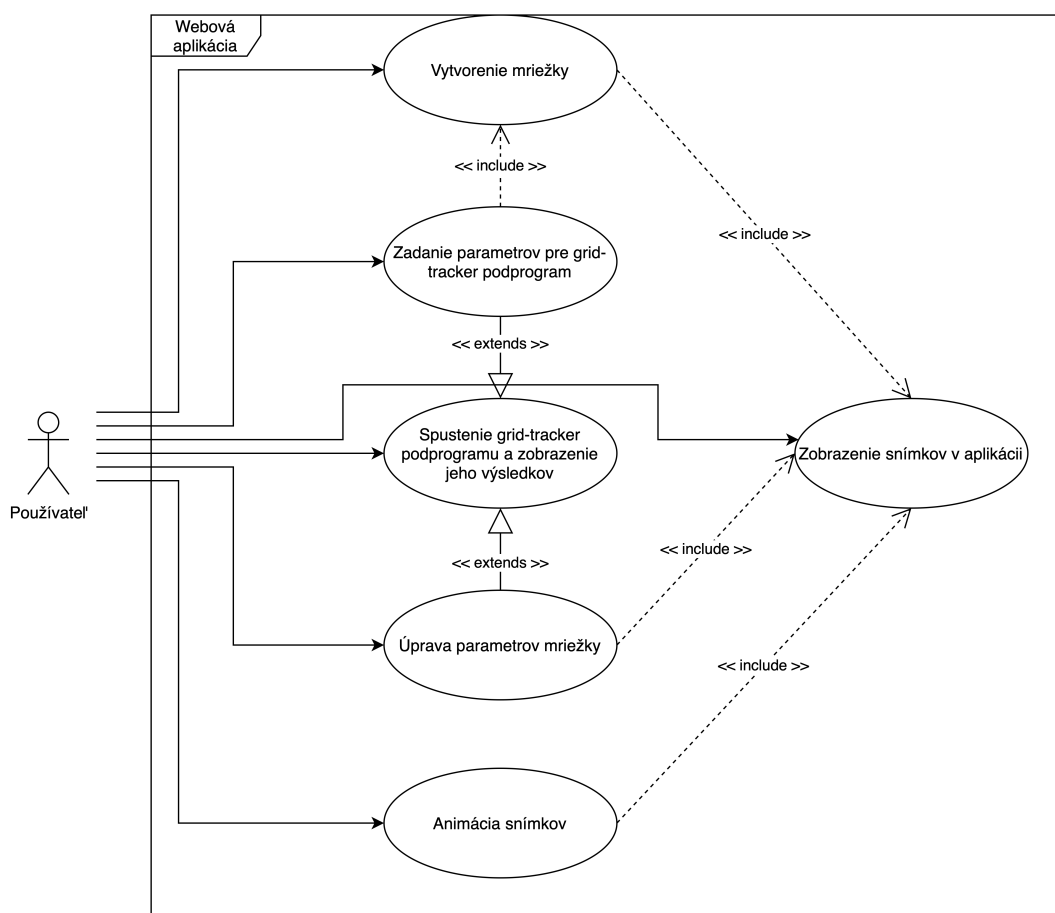
## 4.2 Používateľské role

V aplikácii sa bude nachádzať len aktér – používateľ, rovnako ako v súčasnej aplikácii. Tomuto aktérovi by mala teda byť aplikácia sprístupnená bez rôznych funkčných obmedzení.



### 4.3 Prípady použitia

Nasledujúce prípady použitia reprezentujú rôzne činnosti, ktoré môže používateľ s aplikáciou vykonávať. Tieto prípady použitia sú popísané pomocou scenárov, ktoré taktiež vychádzajú z funkčných požiadaviek kladených na novú aplikáciu. Pre lepšiu predstavu sú prípady použitia taktiež znázornené graficky pomocou Use Case diagramu nižšie.



■ Obr. 4.1 Use case diagram

#### 4.3.1 UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii

Zobrazenie snímkov magnetickej rezonancie v DICOM formáte je jedným z esenciálnych funkčných požiadaviek – „FR1 – Spracovanie a zobrazenie MR snímkov“. Nasledovný scenár túto požiadavku realizuje.

##### Scenár:

1. Používateľ klikne na jedno z tlačidiel pre import DICOM snímkov do aplikácie.
2. Prehliadač zobrazí systémové okno, v ktorom si používateľ vyberie snímky, ktoré by chcel mať zobrazené v aplikácii.

3. Následne potvrdí import želaných snímkov kliknutím na tlačidlo „Otvoriť“.
4. Aplikácia automaticky vykreslí prvý importovaný snímok a taktiež zobrazí náhľady ostatných importovaných snímkov.
5. V prípade, že sa medzi zvolenými snímkami nachádza súbor, ktorý nekorešponduje so štruktúrou DICOM súboru, aplikácia zobrazí notifikáciu o neúspešnom zobrazení snímky.

#### 4.3.2 UC2 – Animácia snímkov

Následovný scenár realizuje funkciu prehrania série snímkov ako animáciu, ako bolo popísané vo funkčnej požiadavke „FR2 – Animácia MR snímkov“. Okrem iného taktiež zahŕňa prípad „UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii“.

##### Scenár:

1. UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii.
2. Kliknutím na tlačidlo reprezentujúce štart animácie sa spustí animácia importovaných snímkov.
3. Kliknutím na tlačidlo reprezentujúce koniec animácie sa animácia skončí.

##### Alternatívny scenár:

2. Používateľ si nastaví rýchlosť animácie, index snímku, od ktorého má animácia začínať alebo index snímku, ktorým má animácia končiť.
3. Kliknutím na tlačidlo reprezentujúce štart animácie sa spustí animácia importovaných snímkov.
4. Kliknutím na tlačidlo reprezentujúce koniec animácie sa animácia skončí.

#### 4.3.3 UC3 – Vytvorenie mriežky

Vytvorenie mriežky nad snímkou z MR je potrebné pre účely analýzy pohybu myokardu. Nasledujúci scenár čiastočne realizuje túto funkčnú požiadavku definovanú v 4.1.1.3. Taktiež zahŕňa prípad použitia „UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii“.

##### Scenár:

1. UC1 – Zobrazenie snímkov v aplikácii.
2. Používateľ klikne na tlačidlo „Create grid“.
3. Aplikácia zobrazí výzvu pre kliknutie na oblasť snímky, kde má byť mriežka vytvorená.
4. Používateľ klikne na oblasť snímky, kde chce vytvoriť mriežku.
5. Aplikácia vygeneruje mriežku s predvolenými nastaveniami a zobrazí ju.

#### 4.3.4 UC4 – Úprava parametrov mriežky

Medzi prípady použitia patrí aj úprava parametrov mriežky určenej pre analýzu pohybu srdcového svalu. Nakoľko je najprv potrebné mať mriežku pred jej úpravou vytvorenú, zahŕňa nasledovný scenár aj jej vytvorenie. Ten taktiež čiastočne realizuje funkčnú požiadavku „FR3 – Zobrazenie a interaktívna úprava mriežky“.

##### Scenár:

1. UC3 – Vytvorenie mriežky.
2. Používateľ upraví jeden alebo viacero parametrov uvedených v 3.5.
3. Aplikácia následne automaticky vykreslí mriežku na základe upravených parametrov.

#### 4.3.5 UC5 – Zadanie parametrov pre **grid-tracker** podprogram

Pre spustenie algoritmu zodpovedného pre posun mriežky vytvorenej používateľom voči mriežke vygenerovanej SPAMM technikou je potrebné tomuto algoritmu poslať tri parametre definované v 3.5. Nasledujúci scenár tento prípad použitia realizuje spolu s funkčnou požiadavkou – „FR4 – Zadanie parametrov pre **grid-tracker** podprogram“.

##### Scenár:

1. UC1 – Zobrazenie snímok v aplikácii.
2. Používateľ zadá číselné hodnoty parametrov „Curvature coefficient“, „Force coefficient“ a „Stop time“.

#### 4.3.6 UC6 – Spustenie **grid-tracker** podprogramu a zobrazenie jeho výsledku

Spustenie samotného podprogramu a zobrazenie jeho výsledku (súradnice bodov mriežok) vyžaduje nielen mať importované DICOM snímky v aplikácii, ale aj vytvorenie mriežky s upravenými parametrami a zadanými parametrami pre **grid-tracker** podprogram. To je dôvodom, prečo tento scenár použitia zahŕňa prípady „UC1 – Zobrazenie snímok v aplikácii“, „UC3 – Vytvorenie mriežky“, „UC4 – Úprava parametrov mriežky“ a „UC5 – Zadanie parametrov pre **grid-tracker** podprogram“. Samotný scenár realizuje funkčnú požiadavku „FR5 – Spustenie **grid-tracker** podprogramu a zobrazenie jeho výsledkov“.

##### Scenár:

1. UC1 – Zobrazenie snímok v aplikácii.
2. UC3 – Vytvorenie mriežky.
3. UC4 – Úprava parametrov mriežky.

4. UC5 – Zadanie parametrov pre **grid-tracker** podprogram.
5. Používateľ kliknutím na tlačidlo „Compute“ spustí výpočet pomocou **grid-tracker** podprogramu.
6. Po dokončení výpočtu aplikácia zobrazí mriežky upravené horeuvedeným podprogramom.

#### 4.4 Návrh architektúry webovej aplikácie

Medzi prvými krokmi pred vývojom samotnej webovej aplikácie patrí analýza všetkých prípustných možností architektúry navrhovanej webovej aplikácie. V tomto prípade návrh architektúry závisí najmä na prepojení webového rozhrania so súčasnou aplikáciou, a preto je potrebné najprv zanalyzovať všetky dostupné možnosti tohto prepojenia. Po zvolení vhodnej architektúry webovej aplikácie bude možné pokračovať s analýzou použitých technológií, na ktorých bude webová aplikácia postavená, cez analýzu spracovania. Nad zvolenou architektúrou bude možné ďalej nad ktorou analýza možností a návrhu architektúry aplikácie, ktorá bud

dokončiť

#### 4.5 Analýza prepojenia webového rozhrania so súčasnou aplikáciou

Otázkou zostáva, akým spôsobom sa bude integrovať výpočetný podprogram **grid-tracker** do tejto aplikácie.

dokončiť

Existujú dve možnosti, ako môže daná integrácia prebehnúť. Prvou možnosťou je využitie tzv. C++ addons. Druhou možnosťou sa naskytuje využiť relatívne novú technológiu – WebAssembly. Obe technológie budú v nasledujúcich podsekcích vysvetlené a porovnané. Na základe porovnania bude vybraná výsledná technológia, pomocou ktorej sa bude **grid-tracker** podprogram integrovať.

##### 4.5.1 C++ addons

C++ addons je technológia, ktorá poskytuje rozhranie medzi C/C++ knižnicami a JavaScriptom. Táto technológia je implementovaná v rámci Node.js, čo je behové prostredie JavaScriptu, ktoré bude popísané v samostatnej sekcii. C++ addons umožňuje pristupovať k natívnym API operačného systému či pomáha integrovať C/C++ knižnice tretích strán pre ich priame použitie v Node.js. Doporučeným spôsobom písania takýchto addonov je pomocou využitia technológie Node-API. Výhodou Node-API je jej nemennosť, čo zaručuje použitie skompilovaného addonu v rôznych verziách Node.js bez prekompilovania samotného addonu. Pre písanie modulov v C++ je ale potrebné použiť modul **node-addon-api**, nakoľko ten obsahuje hlavičkové súbory v C++, ktoré zjednodušujú používanie Node-API založenom na jazyku C.

Nástrojom pre zostavenie takéhoto modulu je **node-gyp**. Ten používa **binding.gyp** súbor, ktorý špecifikuje konfigurácie zostavení. Táto konfigurácia zahŕňa okrem iného aj cestu k zdrojovým .cpp a .h súborom. Tie musia byť pred samotným zostavením upravené tak, aby používali Node-API rozhranie.

Pred samotným zostavením je potrebné vygenerovať Makefile pre použitý operačný systém pomocou príkazu `node-gyp configure`. Pre samotné zostavenie addonu je následne potrebné exekúovať príkaz `node-gyp build`. Ten skompiluje želané súbory do jediného súboru s príponou `.node`. Ten je následne možné importovať ako JavaScript modul do iného JavaScript modulu. Po importovaní daného modulu je možné volať jeho metódy rovnakým spôsobom ako iné JS metódy.

### 4.5.2 WebAssembly

WebAssembly je nový typ jazyku, ktorý je možné exekúovať vo všetkých moderných webových prehliadačoch. Jeho hlavnou výsadou je zvýšenie rýchlosti exekúovania kódu oproti JavaScriptu blížiaci sa k skoro natívnej exekúcii kódu naprogramovaného v jazykoch C, C++ alebo Rust a iné. Je navrhnutý tak, aby mohol fungovať spoločne s JavaScriptom.

Webová platforma sa dá rozdeliť na dve časti:

- VM, pomocou ktorej sa exekuuje kód webovej aplikácie a
- webové API, ktoré je poskytnuté vývojárom pre kontrolu rozličných funkcionalít webového prehliadača, resp. funkcionality daného zariadenia.

Historicky, VM umožňovala načítať len kód napísaný v JavaScripte. Avšak postupom času sa ukázalo, že JS nie je určený pre aplikácie, ktoré potrebujú dosahovať väčší výpočetný výkon, ako sú napr. 3D hry, VR/AR, editácia videa či obrázkov a iné.

WebAssembly bol navrhnutý tak, aby tieto problémy vyriešil a priniesol prostriedky pre vývoj takýchto aplikácií.

Pomocou WebAssembly JS API je možné načítať WebAssembly moduly – čo sú moduly v binárnom formáte – do JavaScript aplikácie a zdieľať s touto aplikáciou funkcionality poskytované týmito modulmi.

Možnosti, ako daný modul vytvoriť, je viacero:

- portovať C/C++ aplikáciu pomocou technológie Emscripten,
- písať vo WebAssembly priamo,
- napísať aplikáciu v inom jazyku a kompilovať ju pomocou kompilátora podporujúci WebAssembly výstup, alebo
- použiť AssemblyScript, ktorý je podobný TypeScript jazyku a dá sa priamo skompilovať do WebAssembly.

Nakoľko sa v tomto prípade jedná o C++ aplikáciu – konkrétne `grid-tracker` podprogram – bude bližšie analyzovaná prvá možnosť z dostupných možností.

WebAssembly je

### 4.5.3 Výsledná voľba prepojenia

## 4.6 Technológie pre vývoj webovej aplikácie

Po analýze, ako sa budú spracovávať MR snímky vo webovej aplikácii, vykreslovať mriežka nad týmito snímkami a návrhu prepojenia webového rozhrania s **grid-tracker** aplikáciou, je potrebné popísať všetky technológie, ktoré budú použité pri vývoji webovej aplikácie.

### 4.6.1 HTML5

HTML – z anglického HyperText Markup Language – je značkovací jazyk, používaný pre definovanie významu a štruktúry webového dokumentu. Ten pozostáva zo série značiek (elementov) a k nim príslušných atribútov, pomocou ktorých je možné daný obsah anotovať a významovo ho definovať. Týmto spôsobom je možné vytvoriť nadpisy, odstavce textu, číselné i nečíselné zoznamy, či importovať obrázky alebo sprostredkovať audio/video, atď. Takto štruktúrovaný obsah definovaný pomocou jazyka HTML je možné zobraziť v ľubovoľnom webovom prehliadači podporujúcom tento jazyk. Webový prehliadač takýto dokument sparsuje a na základe použitých značiek vykreslí. Každá značka má definovaný predvolený štýl zobrazenia, ktorý sa môže líšiť od prehliadača k prehliadaču.

Nižšie je uvedená základná štruktúra HTML5 webového dokumentu:

```
<!doctype html5>
<html>
  <head></head>
  <body>
    <p>Hello world!</p>
  </body>
</html>
```

Značka `<!doctype>` definuje verziu použitého HTML dokumentu, čo je v tomto prípade HTML5. Ďalej nasleduje značka `<html>`, ktorej úloha je zoskupiť elementy `<head>` a `<body>`. V elemente `<head>` sa zvyčajne nachádzajú metadáta ako názov dokumentu, špecifikácia ďalších zdrojov pre načítanie v dokumente a iné. Na druhú stranu, element `<body>` zoskupuje obsah dokumentu, ktorý je zobrazený prehliadačom.

Prvá verzia tohto jazyka – HTML 1.0 – bola definovaná v roku 1993 samotným vynálezcom WWW, Timom Berners-Leeom, iba 4 roky po jeho uvedení. Momentálne najnovšou verziou HTML jazyka je tzv. HTML5 Living Standard, ktorá priniesla viacero nových značiek definovaných v HTML štandarde, ako napr. značku `<audio>` pre prehrávanie audia, `<video>` pre prehrávanie videa, či `<picture>`, ktorá je určená pre definovanie viacerých zdrojov pre zobrazený obrázok. Okrem samotných značiek, HTML5 štandard taktiež poskytuje niekoľko API, ktoré sú implementované v samotných webových prehliadačoch. Pomocou týchto API je možné napr. geolokalizovať používateľa (HTML5 Geolocation API) alebo vykreslovať grafiku použitím HTML5 Canvas API, a iné.

Mimochodom, Cornerstone Core knižnica používa práve HTML5 Canvas API pre vykresľovanie DICOM snímok z magnetickej rezonancie.

### 4.6.2 CSS 3

CSS – z anglického Cascading Style Sheets – je jazyk popisujúci vzhľad použitých HTML5 elementov vo webovom dokumente. Tento jazyk definuje súbor pravidiel, ktoré môžu byť aplikované na jednotlivé elementy webového dokumentu, na základe ktorých sa mení vzhľad pravidlami ovplyvnených elementov.

Samotné pravidlo sa skladá zo selektora, ktorý definuje rozsah elementov, ktoré budú ovplyvnené. Nasleduje zoznam vlastností s ich hodnotami, ktoré majú byť aplikované na samotný selektor. Týmto spôsobom je možné definovať vzhľad nie len jedného, ale aj viacerých elementov vo webovom dokumente pomocou jedného pravidla.

Nižšie je uvedený príklad pravidla, ktoré mení farbu textu vo všetkých elementoch `p` (p definuje odstavec textu) na červenú:

```
p {  
    color: red;  
}
```

Zoskupené pravidlá sa väčšinou ukladajú do samostatného súboru s príponou `.css`. Tento súbor je následne nalinkovaný do HTML5 dokumentu pomocou značky `link`, ktorú prehliadač pri parsovaní dokumentu prečíta a následne aplikuje.

Definovanie samotného selektora môže byť pre dané pravidlo sofistikovanejšie než ako bolo ukázané v príklade vyššie. Element môže byť špecifikovaný na základe jeho rôznych atribútov, ako ID, zoznam tried, či hodnotou jeho atribútu, atď.

Čo sa týka samotných verzí jazyka CSS, u CSS sa nepoužívajú verzie ale tzv. levely. Prvým levelom bol CSS Level 1, ktorý sa stal odporúčanou špecifikáciou W3C konzorcia o 3 roky neskôr ako HTML 1.0, v decembri 1996. Tento level bol základom pre nasledujúce levely tohto jazyka. V súčasnosti najnovší level CSS jazyka je CSS Level 3, v ktorom sa narozdiel od predchádzajúcich levelov jednotlivé časti jazyka delia na moduly, z ktorých každý môže mať level vyšší než samotná špecifikácia. Z tohto dôvodu sa taktiež rozhodlo, že samotný level CSS jazyka sa už nebude zvyšovať.

### 4.6.3 JavaScript

JavaScript je skriptovací programovací jazyk a tretou základnou technológiou pre vývoj webových stránok a aplikácií, spolu s HTML a CSS. Používa sa pre implementovanie funkcionality, kde kombinácia HTML a CSS nie je pre daný účel vhodná, ako napr. dynamická interakcia používateľa s webovou stránkou/aplikáciou, riešenie rôznych výpočetných úloh, odosielanie dát na server a prijímanie odpovede, a iné.

#### 4.6.3.1 Typescript

#### 4.6.4 Node.js

#### 4.6.5 Docker

## 4.7 Analýza spracovania MR snímkov vo webovej aplikácii

Spracovávanie importovaných MR snímkov by v aplikácii malo prebiehať najmä na strane klienta, v tomto prípade v samotnom webovom prehliadači. Takto zvolený prístup zabráni prípadnému útočníkovi preniknúť k snímkom a dátam o pacientoch, ktoré by v opačnom prípade museli byť uchovávané na strane servera. Z uvedeného vyplýva, že pre implementáciu aplikácie bude potrebné nájsť JavaScript knižnicu resp. knižnice, ktoré sú schopné spracovať DICOM súbory v prehliadači.

Pod pojmom „spracovať“ je myslené: čítanie hlavičky DICOM súborov, zobrazenie snímkov nachádzajúcich sa v týchto súboroch, či tieto snímky modifikovať. Medzi ďalšie požiadavky kladené na takúto knižnicu patrí jej aktívny vývoj, dostupná dokumentácia a taktiež použiteľnosť knižnice pre produkčné nasadenie. Je možné, že neexistuje daná knižnica spĺňajúca všetky požiadavky, ktoré sú na ňu kladené. V takom prípade by mal byť nájdený mix knižníc, ktoré spolu tieto podmienky spĺňajú.

Bohužiaľ, všetky požiadavky kladené na hľadanú knižnicu nespĺňa ani jedna nájdená knižnica, ale výber viacero knižníc, kde každá z nich implementuje určitú časť požiadaviek a dokopy podmienky kladené na knižnicu vyššie, spĺňajú.

Jedná sa o nasledovné knižnice:

- Cornerstone Core,
- Cornerstone WADO Image Loader a
- Dicom Parser.

### 4.7.1 Cornerstone Core

Cornerstone Core je knižnica, ktorá má za úlohu zjednodušiť proces vývoja komplexnejších webových aplikácií, ktoré majú za úlohu zobrazovať snímky akéhokoľvek formátu, vrátane bežných medicínskych snímkových formátov. Taktiež poskytuje API, pomocou ktorého je možné zobrazovať DICOM snímky a meniť ich vlastnosti, ako napr. zvýšiť alebo znížiť jas, priblížiť snímku alebo ju oddialiť, a iné. Táto knižnica neimplementuje samotné importovanie DICOM súborov a ich spracovanie. Túto funkcionality deleguje na tzv. ImageLoaders. Tie po spracovaní DICOM súborov posunú DICOM dáta cez spoločné rozhranie Cornerstone Core knižnici, ktorá ich nakoniec vykreslí. Cieľom tohto prístupu Cornerstone Core knižnice je jej dôraz na minimalizmus a poskytnutie flexibility pri spracovávaní rôznych typov obrazových dát.

V súčasnosti sa pripravuje nová „Cornerstone Core“ knižnica, ktorej názov sa zmení na „Cornerstone3D“. Keďže je táto knižnica momentálne v beta verzii a stabilná verzia tejto knižnice ešte nebola vydaná, vývoj aplikácie bude postavený na doterajšej Cornerstone Core knižnici.

### 4.7.2 Cornerstone WADO Image Loader

Cornerstone WADO Image Loader je tzv. ImageLoader, ktorý je zodpovedný za načítanie a spracovanie DICOM súborov. Táto knižnica podporuje nie len načítanie DICOM súborov cez HTTP protokol, ale aj z lokálneho súborového systému pomocou File API implementovaného webovými prehliadačmi. Po načítaní DICOM súborov je ich parsovanie



prenechané knižnici Dicom Parser. Nakoľko sa veľkosť týchto súborov môže pohybovať v rádoch megabajtov (MB), samotné parsovanie súborov beží tiež pomocou webovej technológie zvanej Web Workers. Pre začiatok priblížim technológiu Web Workers a následne knižnicu Dicom Parser.

#### 4.7.2.1 Web Workers

JavaScript je v prehliadači implementovaný ako jednovláknový jazyk využívajúci jedno hlavné vlákno a exekúcia skriptov tohto jazyka prebieha zvyčajne v tomto vlákne. Výpočetne náročné úlohy by avšak mohli vyústiť do zablokovania tohto vlákna, ktoré sa prejavuje nereagovaním prehliadača na rozličné používateľské akcie alebo nevykreslovaním aktualizácií na webovej stránke. Dôvodom zablokovania hlavného vlákna by v tomto prípade bolo využitie všetkých dostupných prostriedkov prioritne pre danú výpočetne náročnú úlohu.

Web Workers technológia je štandardom, ktorý je implementovaný a poskytovaný webovými prehliadačmi umožňujúci exekúciu takýchto úloh, ktoré by inak pri dlhšom spracovávaní mohli dané hlavné vlákno zablokovať. Pomocou Web Workers je možné predísť zablokovaniu hlavného vlákna jednoduchým vytvorením nového pracovného vlákna pomocou konštruktu `new Worker(url)`, kde `url` je adresa skriptu, ktorý má bežať v novom pracovnom vlákne. Takéto pracovné vlákno môže exekúovať JS skript bez zablokovania hlavného vlákna, keďže je od neho nezávislé.

pridaj citáciu

#### 4.7.3 Dicom Parser

Dicom Parser je knižnica implementujúca parsovanie všetkých známych validných DICOM súborov. Knižnica je navrhnutá pre beh vo všetkých moderných HTML5 prehliadačoch a k svojej funkčnosti nezávisí na iných knižniciach. Dicom Parser poskytuje globálny objekt `dicomParser`, ktorý obsahuje viacero metód, z ktorých je najzaujímavejšia metóda `parseDicom`. Argumentom tejto metódy je `Uint8Array` pole obsahujúce nespracovaný (raw) obsah DICOM súboru. Výsledkom volania tejto metódy spolu s `Uint8Array` polom je `DataSet` objekt obsahujúci vyparovaný obsah DICOM súboru.

Alternatívou Dicom Parser knižnice by mohla byť knižnica `dcm.js`, avšak vývoj tejto knižnice nie je stále dokončený (nebola zatiaľ vydaná jej stabilná verzia) a sami vývojári varujú pred použitím tejto knižnice v produkčnom prostredí.

pridaj citáciu

Pre zhrnutie informácií v tejto sekcii – knižnica Cornerstone WADO Image Loader využíva Web Workers pre vytvorenie nových pracovných vlákien, ktorých úloha je parsovanie DICOM súborov pomocou metódy `parseDicom` objektu `dicomParser` pochádzajúceho z Dicom Parser knižnice uvedenej vyššie. Metódou vrátený `DataSet` objekt je následne poslaný knižnici Cornerstone Core, ktorá sa postará o vykreslenie vyparovaného DICOM snímku z tohto objektu.

Následujúca sekcia sa bude zaoberať analýzou a návrhom, ako vykresliť mriežku na zobrazenú DICOM snímku pomocou knižnice Cornerstone Tools.

## 4.8 Analýza vykreslenia mriežky nad MR snímkami

Kedže bude nie len potrebné MR snímky zobrazovať, ale aj nad týmito snímkami vykresľovať používateľom generovanú mriežku (ako bolo uvedené vo funkčnej požiadavke 4.1.1.3), je nutné nájsť knižnicu, ktorá vykresľovanie takejto mriežky nad určitou oblasťou MR snímky podporuje.

### 4.8.1 Cornerstone Tools

Tou knižnicou je Cornerstone Tools knižnica, ktorá asistuje nie len pri vytváraní rôznych anotácií pre DICOM snímky načítané pomocou Cornerstone Core, ale aj pri ich segmentácii či rôznych meraní. Táto knižnica ponúka široký počet nástrojov, ktoré môžu dané snímky modifikovať alebo nad týmito snímkami vykresľovať rôzne informácie či lomené čiary. Prednosťou tejto knižnice je API, pomocou ktorého je možné vytvárať nové nástroje, manažovať ich, či importovať/exportovať ich stav. Pre využitie tejto knižnice je potrebná nie len Cornerstone Core knižnica, nakoľko je s ňou úzko previazaná, ale aj knižnica `Hammer.js` a Cornerstone Math.

Cornerstone Tools využíva Cornerstone Core knižnicu pre reagovanie na rôzne eventy, ktoré Cornerstone Core knižnica emituje. Na základe týchto eventov môžu nástroje Cornerstone Tools knižnice meniť svoj stav. `Hammer.js` knižnica implementuje podporu rozhrania založeného na dotyku namiesto myši. Túto knižnicu je potrebné importovať bez ohľadu na to, či sa plánujú využívať gestá na báze dotyku alebo nie, nakoľko niektoré nástroje sú od tejto knižnice závislé. Cornerstone Math, ako už názov napovedá, poskytuje rôzne matematické operácie prevažne týkajúce sa vektorovej matematiky. Niektoré nástroje z Cornerstone Tools knižnice ju používajú napr. pre výpočet vzdialenosti medzi rôznymi bodmi.

Nakoľko Cornerstone Tools neobsahuje mriežku ako nástroj, ktorý vie knižnica zobraziť a s ňou ďalej pracovať, bude nutné túto mriežku od základov implementovať. Implementácia tejto mriežky môže využívať API poskytované samotnou knižnicou, pomocou ktorej by bolo možné danú mriežku implementovať bez zásahu do samotnej knižnice alebo bude nutné danú mriežku naprogramovať priamo do tejto knižnice.

Obe možnosti implementácie majú svoje výhody a nevýhody. Pri implementácii mriežky pomocou dedikovaného API by nebolo potrebné udržiavať vlastnú kópiu Cornerstone Tools knižnice. V tomto prípade by pre využitie rôznych funkcií implementovaných v samotnej knižnici bolo možné vyžadovanú funkcionality importovať pomocou metódy `importInternal(moduleName)`. Nevýhodou tohto spôsobu je nedostatočná flexibilita spojená s nemožnosťou importovania všetkej funkcionality, ktorá by mohla byť pri vývoji potrebná. Ďalším negatívom zvolenia tohto spôsobu by bola nemožnosť upravenia akéhokoľvek kódu v Cornerstone Tools knižnici. Na druhú stranu, ak by mala byť mriežka implementovaná priamo v Cornerstone Tools knižnici, odpadol by problém s importovaním teoreticky potrebnej funkcionality, nakoľko by sa dal importovať akýkoľvek modul knižnice priamo pomocou JS konštruktu `import`, bez nutnosti využitia `importInternal` metódy. Nakoľko v tomto momente nie je jasné, či bude výsledná implementácia mriežky potrebovať zmenu niektorého zo súborov Cornerstone Tools knižnice, je vhodnejšie začať implementovať mriežku priamo v knižnici. Keď bude implementácia tejto mriežky dokončená, bude nutné posúdiť, či je možné celú funkcionality mriežky

migrovať do riešenia využívajúceho iba dedikované API pre svoju funkcionálnosť.

Ako pri Cornerstone Core, tak aj Cornerstone Tools knižnica bude mať čoskoro svojho nástupcu, knižnicu Cornerstone Tools v2, ktorá bude určená pre Cornerstone3D. Táto nová knižnica je momentálne v aktívnom vývoji a jej stabilná verzia ako v prípade Cornerstone3D nebola stále vydaná. To je dôvodom, prečo bude pri implementácii aplikácie použitá doterajšia verzia Cornerstone Tools knižnice.

pridať link pomocou poznámky pod čiarou, v implementácii zhodnotiť že to nie je možné, nakoľko boli potrebné zmeny v samotných súboroch cornerstone tools

## 4.9 Analýza frameworkov pre tvorbu webovej aplikácie

### 4.9.1 Next.js

### 4.9.2 Nuxt.js

### 4.9.3 Výsledná voľba frameworku

## 4.10 Návrh používateľského rozhrania

pridať wireframe

## 4.11 Návrh prepojenia webového rozhrania so súčasnou aplikáciou

### 4.11.1 Anonymizácia DICOM dát

### 4.11.2 Komunikácia medzi serverom a klientom

pridať diagram komunikácie



# Implementácia

## 5.1 Klientská část

### 5.1.1 Používateľské rozhranie

### 5.1.2 Spracovanie DICOM dát

### 5.1.3 Interaktívna úprava mriežky

## 5.2 Serverová část

### 5.2.1 Výpočet umiestnenia mriežky



# ■ ■ Kapitola 6

## Testovanie





## Zhodnotenie aplikácie a odporúčania pre jej ďalší vývoj





## Kapitola 8

# Záver



[illegible]

# Nějaká příloha

Sem přijde to, co nepatří do hlavní části.



# Bibliografia

1. MACKIEWICH, Blair. *Intracranial Boundary Detection and Radio Frequency Correction in Magnetic Resonance Images*. 1995. Diplomová práce. Simon Fraser University. [cit. 2023-03-27].
2. LAM, Peter. *What to know about MRI scans* [online]. 2018. [cit. 2023-03-24].
3. MAZÁNKOVÁ, Jitka. *Kontrastní látky a jejich nežádoucí účinky*. 2011. Dostupné tiež z: <https://is.muni.cz/th/rsk3f/>. Bakalárska práca. Masarykova univerzita, Lekárska fakulta. [cit. 2023-03-24].
4. JÍRALOVÁ, Tereza. *MR - nové trendy a význam v moderní diagnostice* [online]. 2021. Dostupné tiež z: <http://wstag.jcu.cz/StagPortletsJSR168/CleanUrl?urlid=prohlizeni-prace-search&studentSearchPrijmeni=j%C3%ADralov%C3%A1>. [cit. 2023-03-24].
5. *Myocardial tagging/SPAMM - Questions and Answers in MRI* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-03-24].
6. *About Qt* [online]. 2022. Dostupné tiež z: [https://wiki.qt.io/About\\_Qt](https://wiki.qt.io/About_Qt). [cit. 2023-03-29].
7. *Qt Core 5.15.13* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://doc.qt.io/qt-5/qtcore-index.html>. [cit. 2023-03-29].
8. *Qt Widgets 5.15.13* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://doc.qt.io/qt-5/qtwidgets-index.html>. [cit. 2023-03-29].
9. *Qt GUI 5.15.13* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://doc.qt.io/qt-5/qtgui-index.html>. [cit. 2023-03-29].
10. *Qt Test 5.15.13* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://doc.qt.io/qt-5/qttest-index.html>. [cit. 2023-03-29].
11. *qmake Manual* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://doc.qt.io/qt-5/qmake-manual.html>. [cit. 2023-03-29].
12. VARMA, Dandu Ravi. Managing DICOM images: Tips and tricks for the radiologist. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2012, roč. 22, č. 01, s. 4–13.
13. *DICOM Library - About DICOM format* [online]. 2023. Dostupné tiež z: <https://www.dicomlibrary.com/dicom/>. [cit. 2023-03-29].

14. *History* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://www.dicomstandard.org/history>. [cit. 2023-03-29].
15. *Transfer Syntax* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://www.dicomlibrary.com/dicom/transfer-syntax/>. [cit. 2023-03-29].
16. *DCMTK - dicom.offis.de* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://dicom.offis.de/dcmtk.php.en>. [cit. 2023-03-29].
17. DANIEL LANGR Ivan Šimeček, Pavel Tvrdlík. *Úvod do OpenMP*. 2023. Dostupné tiež z: <https://courses.fit.cvut.cz/NI-PDP/media/lectures/NI-PDP-Prednaska02-OpenMP.pdf>. [cit. 2023-03-30].
18. *Homepage - TNL - Template Numerical Library* [online]. [B.r.]. Dostupné tiež z: <https://tnl-project.org>. [cit. 2023-03-29].
19. KAFKA, Bc. Jiří. *Vývoj aplikace pro analýzu pohybu srdečních komor*. 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. [cit. 2023-04-02].



# Obsah přiloženého média

	readme.txt.....	stručný popis obsahu média
	exe.....	adresář se spustitelnou formou implementace
	src	
	impl.....	zdrojové kódy implementace
	thesis.....	zdrojová forma práce ve formátu L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X
	text.....	text práce
	thesis.pdf.....	text práce ve formátu PDF