



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# NÁVRH A REALIZACE SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ ABLAČNÍ CELY

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE FOR ABLATION CELL CONTROL

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ota Sýkora

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Houška, Ph.D.

BRNO 2016



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	<b>Bc. Ota Sýkora</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce:	<b>Ing. Pavel Houška, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh a realizace software pro řízení ablační cely

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Laserová ablace se používá pro analýzu chemických vlastností vzorků. Hlavní části ablační cely jsou laser, manipulátor a detektor. Manipulátor polohuje vzorek vůči laserovému paprsku, který odpařuje část materiálu vzorku.

Práce řeší řízení polohování manipulátoru a vzájemnou synchronizaci manipulátoru, laseru a detektoru dle požadavků zadavatelů.

### Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se problematikou laserové ablace a požadavky zadavatele;
2. Proveďte oživení manipulátoru a realizujte software pro jeho ovládání;
3. Navrhněte řízení manipulátoru pomocí G-kódu;
4. Navrhněte editor pohybů včetně převodu do G-kódu;
5. Řešte problematiku synchronizace mezi manipulátorem, laserem a detektorem.

### Seznam literatury:

Peš, O.; Jungová, P.; Vyhnánek, R.; Vaculovič, T.; Kanický, V.; Preisler, J. "Off-Line Coupling of Capillary Electrophoresis to Substrate-Assisted Laser Desorption Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry." *Anal. Chem.*, 2008, 80, 8725-8732

Novotny, K.; Lutzký, F.; Galiová, M.; et al. „Double Pulse Laser Ablation and Plasma: Time Resolved Spectral Measurements“ *Chem. Listy*, 2008, 102, S1399-S1402

Konečná, M.; Novotný, K.; Křížková, Soňa; et al. „Identification of quantum dots labeled metallothionein by fast scanning laser-induced breakdown spectroscopy.“ *Spectroc. Acta Pt. B-Atom. Spectr.*, 2014, 101, 220-225

dokumentace LabVIEW [online] Dostupná na <http://www.ni.com>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Podstatou této diplomové práce je návrh a realizace aplikace pro řízení laserové ablace. V práci je popsán problém laserové ablace, hardwarová specifikace zařízení a požadavky, které má aplikace splňovat. Druhá polovina se zabývá návrhem a realizací samotného software ve vývojovém prostředí NI LabView.

## **ABSTRACT**

The essence of this diploma thesis is the design and implementation of software for laser ablation control. The paper describes laser ablation, hardware specifications of device and application requirements. The second part provides description of design and implementation of the actual application in NI LabView.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

laserová ablace, ablační cela, laser, krokový motor, asynchronní stavový automat

## **KEY WORDS**

laser ablation, ablation cell, laser, stepper motor, asynchronous state machine



## **PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího a s pomocí odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu.

V Brně dne 18. května 2016

.....  
Ota Sýkora

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SÝKORA, O. *Návrh a realizace software pro řízení ablační cely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 50 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za jeho čas, ochotu, trpělivost, cenné rady a podporu při tvorbě práce.



# OBSAH

<b>1.</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>Laserová ablace.....</b>	<b>15</b>
2.1	Soustava laserové ablace.....	15
2.2	Princip laserové ablace.....	16
2.3	Frakcionace .....	17
2.4	Ablační krátery.....	18
<b>3.</b>	<b>Popis Hardware zařízení.....</b>	<b>19</b>
3.1	Polohovací zařízení .....	20
3.2	Zařízení pro ovládání laseru.....	22
<b>4.</b>	<b>Přehled požadovaných funkcí.....</b>	<b>23</b>
4.1	Manuální režim .....	23
4.2	Automatický režim.....	23
4.2.1	Režim mapa .....	23
4.2.2	Režim rastr .....	24
4.2.3	Režim linie.....	25
<b>5.</b>	<b>Návrh aplikace pro řízení laserové ablace.....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>Tvorba aplikace pro řízení laserové ablace.....</b>	<b>29</b>
6.1	Zadávání vzorků.....	29
6.2	Řízení pohonů .....	31
6.3	Implementace automatického režimu .....	33
6.3.1	Vypočtení počátku trajektorie.....	34
6.3.2	Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Mapa.....	35
6.3.3	Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Rastr .....	36
6.3.4	Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Linie .....	38
6.4	Řízení laseru.....	38
6.5	Kamera .....	39
<b>7.</b>	<b>Prvky hlavního okna aplikace .....</b>	<b>41</b>
7.1	Zadávání vzorků.....	41
7.2	Volba a parametry pracovního režimu .....	42
7.3	Ovládání manuálního režimu .....	42
7.4	Ovládání automatického režimu .....	43
7.5	Obsluha kamery .....	43
7.6	Stavový řádek.....	44
7.7	Indikátor Busy a Laser .....	44
7.8	Ukončení aplikace.....	45

7.9	Konečná podoba hlavního okna .....	45
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>49</b>

## 1. ÚVOD

Laserová ablace se řadí mezi dominantní vzorkovací metody. Je součástí procesu analýzy chemického složení vzorků. Pro své výhody je velice oblíbená a používá se v mnoha oblastech. Soustava vykonávající laserovou ablaci se skládá z několika částí. Mezi hlavní prvky patří pulzní laser, ablační cela a polohovací zařízení. Na tuto soustavu pak obvykle navazuje zařízení, které je schopno uvolněný materiál vzorku v ablační cele analyzovat.

Cílem předložené diplomové práce je návrh a tvorba aplikace, která bude schopna soustavu zařízení laserové ablace řídit. Toto zařízení bylo kompletně dodáno zadavatelem - Ústavem chemie Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, který si jej opatřil již před započítím tvorby aplikace. Detekce laserem uvolněného oblaku obsahem práce není. Tuto část procesu si řeší zadavatel individuálně podle právě zvolené detekční metody, kterou k analýze používá.

Při tvorbě software je důležité akceptovat požadavky zadavatele. Kromě těchto požadavků by aplikace měla uživateli umožnit pohodlné zadávání potřebných parametrů a její ovládání by mělo být jednoduché a intuitivní. Důraz je kladen také na rychlost a spolehlivost celého systému a na transparentnost kódu.

Práce začíná úvodem, vymezením pojmu laserové ablace a stručnou rešerší popisující podstatu této problematiky, následuje popis hardwarové specifikace zařízení, pro které je aplikace vyvíjena. Požadavky zadavatele jsou shrnuty v samostatné kapitole. Návrhu aplikace a volbě vývojového prostředí se věnuje pátá kapitola. Tvorbou aplikace a popisem uživatelského prostředí se zabývá kapitola šest a sedm, které předcházejí závěru práce.

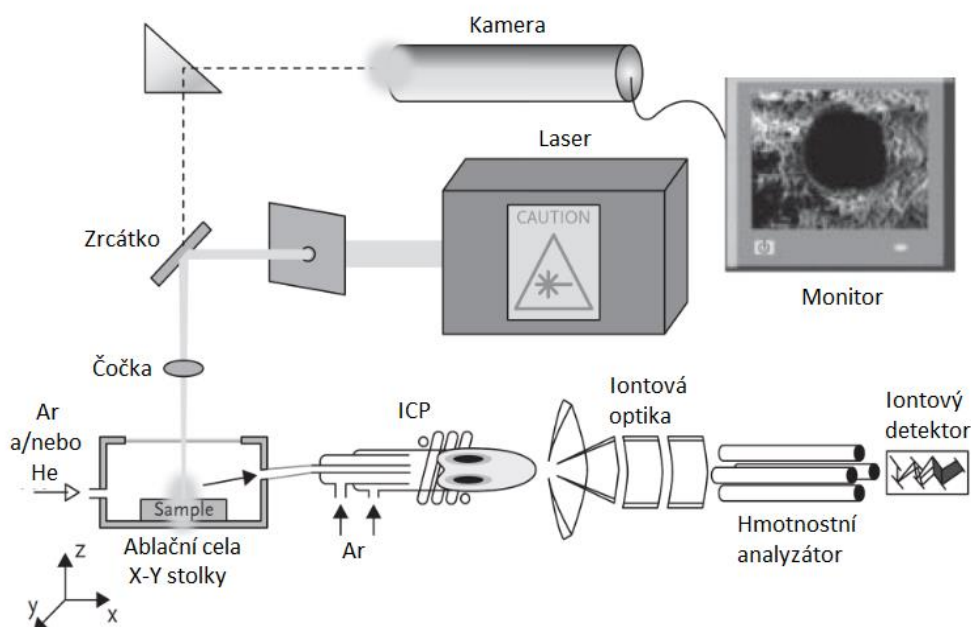


## 2. LASEROVÁ ABLACE

Laserovou ablaci (LA) poprvé představil Alan Gray v roce 1985 [1]. Jedná se o vzorkovací metodu, která se používá při přímé chemické analýze pevných vzorků. Skutečnost, že je možno LA aplikovat na jakékoliv pevné látky a vzorky podléhají jen minimální přípravě, řadí techniku mezi nejrozšířenější [2]. Je široce využívána například v oblasti geologie, biologie, archeologie, environmentální, jaderné, polovodičové a metalurgické [3]. Mezi její přednosti patří použitelnost za atmosférického tlaku, schopnost poskytnout rychlé výsledky jak v laboratoři, tak v terénu [4] a analyzovat prvky téměř nedestruktivně a s velmi nízkými limity detekce [5].

### 2.1 Soustava laserové ablace

Typické zařízení pro LA se skládá z laseru, čočky, ablační cely a polohovacího zařízení. Soustředěný laserový paprsek převede konečné množství vzorku umístěného v ablační cele do plynné fáze. Vzniklý aerosol je poté analyzován navazujícím zařízením, které se liší v závislosti na použité technologii [4]. Mezi často používané techniky analýzy patří laserová ablace s hmotnostní spektrometrií v indukčně vázaném plazmatu (LA-ICP-MS) znázorněná schématem na obrázku 2.1 a blíže popsána např. v [6] a spektrometrie laserem buzeného plazmatu (LIBS), kterou se zabývá např. [7]. Polohovací zařízení tvoří dvě pohyblivé osy X-Y, na nichž je umístěná ablační cela a celá tato soustava slouží k přesnému posuvu ablační cely spolu se vzorkem tak, aby laserový paprsek působil na požadovanou část vzorku.



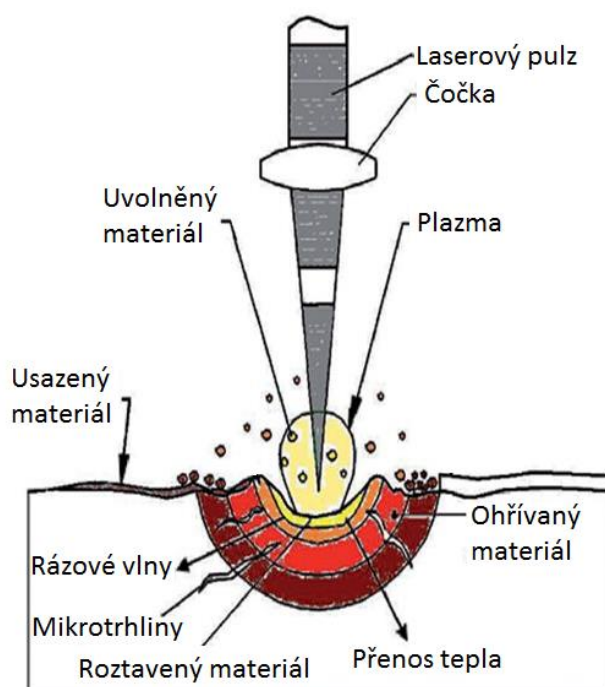
Obr. 2.1: Schéma LA-ICP-MS [8]

## 2.2 Princip laserové ablace

Laserová ablace pevného vzorku se skládá z několika stádií, při nichž dochází k uvolňování různých druhů odpařených produktů.

V počáteční fázi dochází k excitaci elektronů uvnitř vzorku na povrch, což je způsobeno fotoelektrickou a termickou emisí. Během této doby jsou elektrony přenášeny v důsledku řady rozptylových mechanismů. Dále dochází k tání vzorku, vypařování, ionizaci a formaci plazmového oblaku, který je tvořen složkami vzorku. Expandovaný oblak interagující s okolním plynem vytváří tlakovou vlnu způsobující další ionizaci okolního plynu. Uvolněné vysokotlaké plazma působí zpět do místa zásahu, čímž dochází k vyplavení roztaveného materiálu. Tento zpětný ráz může produkovat částice až o velikosti několik mikrometrů [2]. Výše popsany proces je znázorněn na obrázku 2.2.

U metody LIBS je pak uvolněný oblak analyzován měřením atomárních/iontových emisí v indukovaném plazmatu pomocí spektrometrie laserem buzeného plazmatu. U metody LA-ICP-MS je uvolněný materiál přenášen z ablační cely nosným plynem do ICP, kde probíhá sekundární excitace a ionizace materiálu [5]. Složení nosného plynu se může lišit v závislosti na použitém laseru. Převážně se však jedná o helium, argon nebo jejich směs. Ionty jsou detekovány pomocí hmotnostního spektrometru [9].

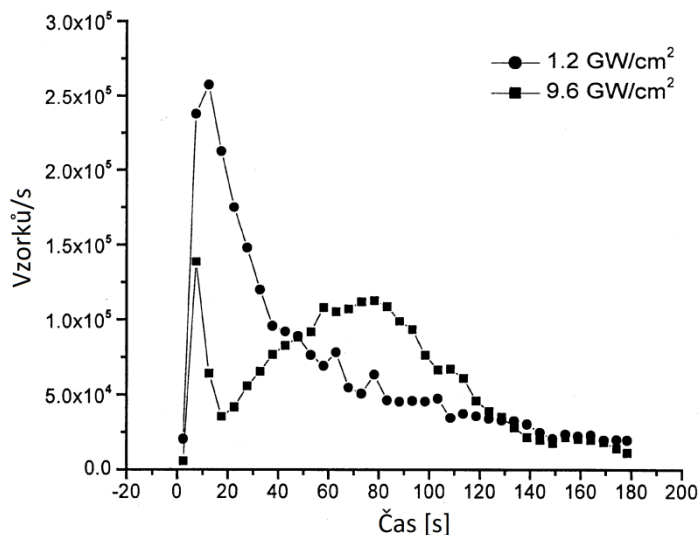


Obr. 2.2: Působení laserového paprsku na povrch vzorku [10]

Ablace nemusí nutně při každém pulzu produkovat stejné množství hmoty a různá může být i velikost uvolněných částic. Každý z těchto efektů ovlivňuje přesnost laserové



ablace [4]. V průběhu ablace se rozdíly mezi uvolněným materiálem prohlubují. Účinnost ablace je vyšší u prvních pulzů na neporušeném povrchu a postupně dochází k jejímu poklesu (obr. 2.3) [2].



Obr. 2.3: Intenzita signálu ICP-MS při opakované laserové ablaci s intenzitou ozáření 1.2 a 9.6 GW/cm<sup>2</sup> [2]

## 2.3 Frakcionace

Důležitým faktorem ovlivňujícím ablaci jsou vlastnosti laserového paprsku. Jedná se zejména o dobu trvání pulzu, energii a vlnovou délku. Intenzita ozáření (energie za jednotku času dopadající do daného prostoru) hraje dominantní roli při definování množství a chemického složení (frakcionaci) uvolněného aerosolu. Frakcionace je nežádoucí proces, při kterém je část směsi rozdělena na větší množství menších částic, které nemají stejné složení jako původní vzorek. Je to funkce ozáření, doby trvání pulzu a vlnové délky, přičemž právě vlnová délka má na frakcionaci vliv největší. Všeobecně platí, že čím kratší je vlnová délka, tím více je frakcionace redukována [4].

Změnu signálu během vytváření kráteru lze vyjádřit pomocí frakcionačního indexu:

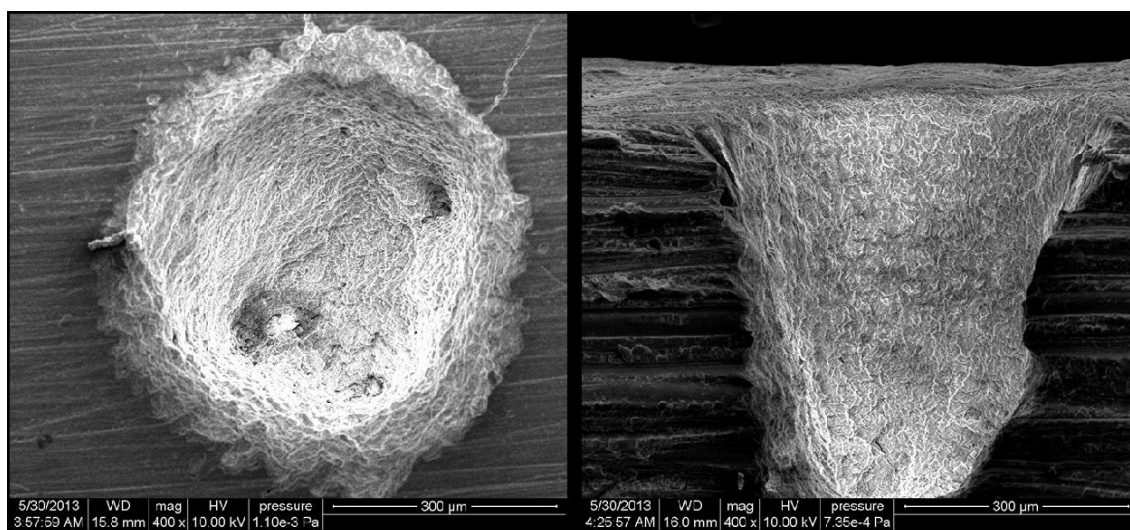
$$FI = \frac{(I_e/I_r)_{t_2}}{(I_e/I_r)_{t_1}}, \quad (1)$$

kde FI je frakcionační index,  $I_e$  intenzita prvku,  $I_r$  intenzita referenčního prvku,  $t_1$  první polovina ablačního signálu a  $t_2$  druhá polovina ablačního signálu [11].

## 2.4 Abláční krátery

Při interakci laserového paprsku s povrchem materiálu vznikají útvary, které se nazývají ablační krátery [12]. Morfologie a tvar ablačního kráteru je závislý na parametrech laseru, primárně na průměru paprsku na povrchu vzorku a na energii paprsku.

Se zvyšující se hloubkou kráterů klesá rychlost ablace (množství hmoty uvolněné za jednotku času) [2]. Hloubka a průměr kráteru má také vliv na frakcionaci. Mank ve své práci [13] měřením dokazuje, že frakcionace se začíná významně projevovat, pokud je poměr hloubky k průměru kráteru větší než šest.



Obr. 2.4: Abláční kráter v zubní tkáni po 15 pulzech Er:YAG laserovým paprskem o energii pulzu 70 mJ a průměru 200 µm [14]

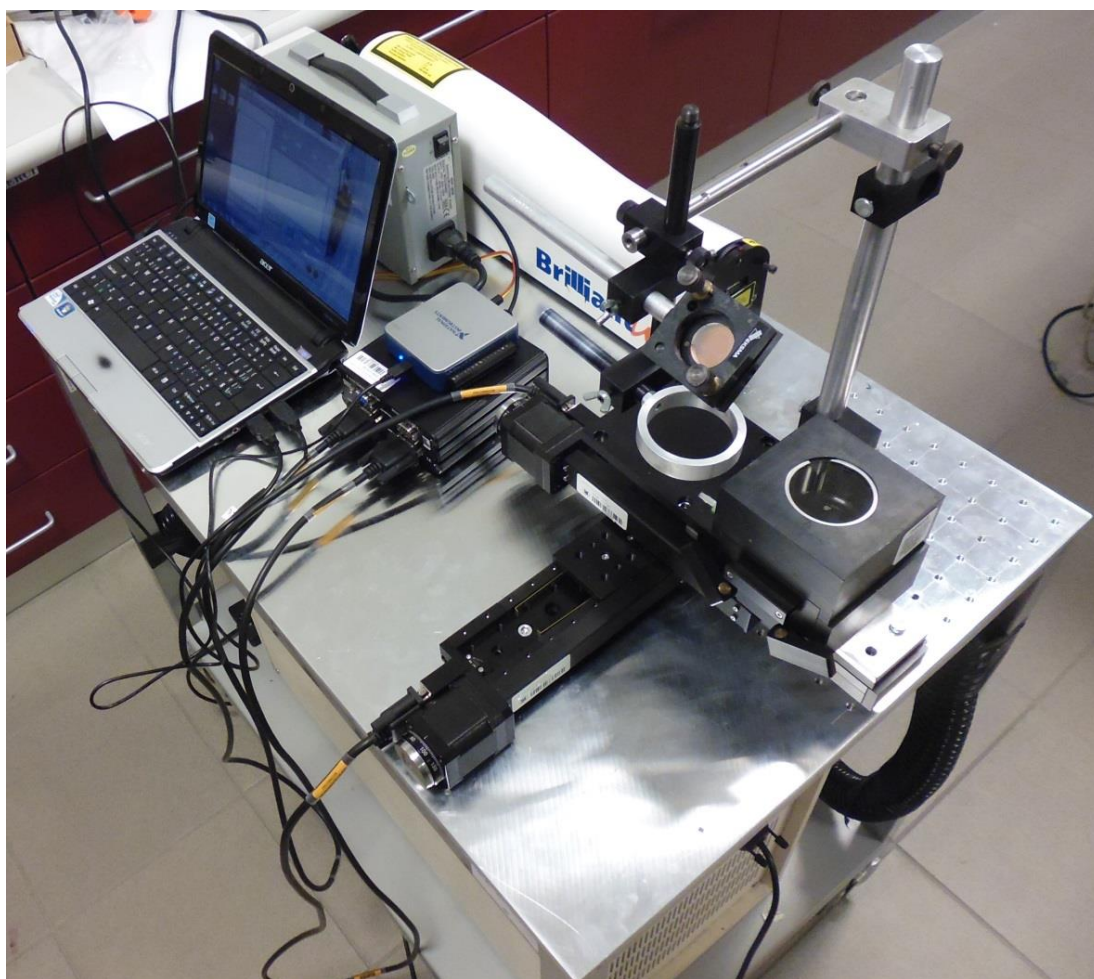
### 3. POPIS HARDWARE ZAŘÍZENÍ

Kompletní hardware pro laserový ablační systém byl poskytnut zadavatelem, který jej měl k dispozici již před započatím tvorby práce. Neexistovala tedy možnost volby hardware jiného.

Podoba soustavy, pro kterou vznikal řídicí software, jehož realizací se tato práce zabývá, je patrná z obrázku 3.1. Soustava je sestavena z jednotlivých komponent a umístěna na pojízdném stolku, čímž je zajištěna mobilita celého systému.

Jak je z fotografie patrné, komplet neobsahuje žádné detekční zařízení. Volba detektoru závisí na zvolené metodě analýzy a jeho napojení k soustavě laserové ablace provádí uživatel individuálně.

Součástí vyobrazené soustavy taktéž není kamera. Zadavatel totiž prozatím není zcela rozhodnut v otázce vhodného umístění, uchycení a volbě kamery.



*Obr. 3.1: Systém pro laserovou ablaci*

### 3.1 Polohovací zařízení

Pro polohování ablační cely ve směru osy X a Y slouží dvě lineární osy 8MT175-100 od litevské společnosti Standa (obr. 3.2). Stolky se skládají z krokového motoru, který otáčí pohybovým šroubem. Šroub je spřažen s vozíkem, čímž je zajištěn převod z rotačního pohybu na lineární. Měření polohy vozíku je zajištěno počítáním kroků motoru. Na obou koncích lineárního pojezdu jsou umístěny koncové spínače, které kromě použití jako bezpečnostní prvky slouží také k nastavení referenční polohy. Parametry lineární osy 8MT175-100 [15]:

– stoupání šroubu:	0,5 mm
– počet kroků na otáčku	200
– rozlišení na krok:	2,5 $\mu\text{m}$
– maximální rozlišení:	0,3125 $\mu\text{m}$
– maximální rychlost:	10 mm/s
– maximální zátěž v horizontálním směru:	8 kg
– maximální zátěž ve vertikálním směru:	3 kg



Obr. 3.2: Lineární osa s krokovým motorem 8MT175 [15]

Řízení os obstarává řídicí elektronika s označením 8SMC4-USB-B9-2 opět od firmy Standa (obr. 3.4). Jedná se o USB kontrolér, který ovládá jednu nebo dvě osy prostřednictvím výkonových desek (obr. 3.3). K propojení každé ovládací desky s polohovacím zařízením slouží 15 pinový D-SUB konektor umístěný na zadním panelu jednotky.



Obr. 3.3: Ovládací deska [16]

Na zadním panelu se dále nacházejí dva 9 pinové konektory. Jeden umožňuje připojení joysticku, druhý konektor je synchronizační. Na předním panelu zařízení je umístěn konektor pro připojení napájení, dále USB konektor, přes který probíhá komunikace s počítačem, datový port a USB out, který slouží k vzájemnému propojení více řídicích jednotek. Kromě výše uvedených konektorů se zde vyskytují také tlačítka sloužící k manuálnímu ovládní os a LED indikátory signalizující stav os a stav jejich koncových spínačů. Specifikace ovládací jednotky 8SMC4-USB-B9-2 [16]:

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| – napájení:                          | 12 – 36 V   |
| – průměrný proud u krokového motoru: | do 3 A  |
| – průměrný proud u DC motoru         | do 6 A  |
| – napětí na motoru                   | 2 - 36 V  |
| – rozlišení:                         | celý krok, 1/2 , 1/4, 1/8,<br>1/16, 1/32, 1/64, 1/128,<br>1/256 kroku |
| – maximální rychlost:                | 35 000 kroků/s  |



Obr. 3.4: USB kontrolér 8SMC4-USB-B9-2 [16]

Zařízení je dodáváno s uživatelským grafickým rozhraním XiLab, které je kompatibilní s operačními systémy Windows, Linux a Mac OS. Dále výrobce poskytuje knihovnu s virtuálními nástroji (funkčními bloky) pro vývojové prostředí NI LabView.

### 3.2 Zařízení pro ovládání laseru

Součástí ablačního systému je laser francouzského výrobce Quantel - model Brilliant. K jeho ovládání byla použita USB DAQ karta s označením USB-6002 výrobce National Instruments (obr. 3.5). Karta se řadí mezi low-cost DAQ zařízení a disponuje následujícími parametry [17]:

- 8 analogových vstupů (rozlišení 16bit, 50 kS/s)
- 2 analogové výstupy (rozlišení 16bit, 5 kS/s/kanál)
- 13 digitálních I/O linek (maximálním napětí digitálního výstupu 3,6 V)
- 1 32-bit čítač



Obr. 3.5: DAQ karta NI USB-6002 [17]



## 4. PŘEHLED POŽADOVANÝCH FUNKCÍ

V kapitole jsou shrnuty požadavky zadavatele, které jsou kladeny na řídicí aplikaci laserové ablace, jejíž tvorbou se tato diplomová práce zabývá.

Aplikace má být schopna plně řídit proces laserové ablace v manuálním a automatickém režimu. Průběh procesu má být uživateli ilustrován pomocí kamery.

### 4.1 Manuální režim

V režimu manuálního ovládání je uživateli dovoleno plně dle potřeby řídit jednotlivé funkce zařízení. Uživatel si tedy může pomocí tlačítek sloužících k ovládání pojezdů najíždět na konkrétní souřadnice, manuálně spouštět laser na požadovanou opět uživatelsky definovanou dobu a je zde také dostupná možnost volby rychlosti pojezdu.

### 4.2 Automatický režim

Při automatickém ovládání je vykonáván některý z předdefinovaných režimů nad maticí spotů. Uživatel nejdříve zadá velikost matrice a rozestupy mezi jednotlivými spoty na ní. Souřadnice jednotlivých spotů jsou následně vygenerovány automaticky. Po spuštění automatického módu se postupně nad každým takhle zadaným spotem provede soubor činností odpovídajících zvolenému pracovnímu režimu. Během automatického režimu je kladen důraz na přesnost polohování ablační cely a spínání lampy laseru ve správných okamžicích, aby bylo vždy zajištěno působení laserového paprsku na požadovanou část vzorku. Pracovní režimy jsou požadovány tři – mapa, rastr a linie.

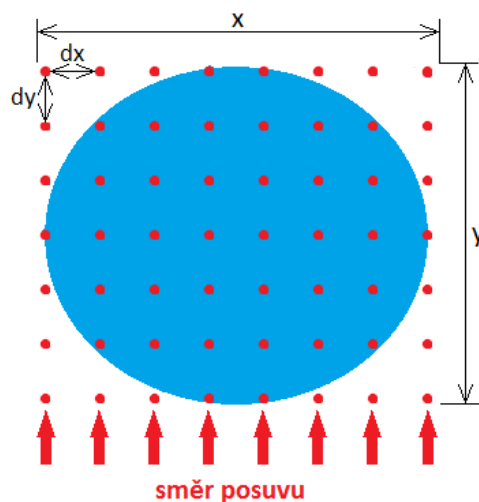
#### 4.2.1 Režim mapa

Při pracovním režimu mapa dojde k vytvoření mapy bodů nad vzorkem. Tyto body jsou rozloženy pravidelně podle zadaných rozestupů. Do každého tohoto bodu má být vystřelen stejný počet pulzů laserového paprsku.

Proces režimu započne polohováním ablační cely na první bod prvního vzorku. Zde dojde k zastavení posuvu. Po vystřelení n pulzů do aktuální pozice se ablační cely opět rozpožhybuje a přesune do následujícího bodu mapy. Tento proces je opakován pro každý bod každého vzorku matrice. Aby uživatel nemusel naměřené hodnoty bodů v každém druhém sloupci transformovat, je vyžadováno, aby směr posuvu byl u všech vzorků a u každého sloupce vygenerovaných bodů daného vzorku stejný (zesponu nahoru). Průběh režimu je znázorněn na obrázku 4.1.

Uživatelem definovatelné parametry režimu:

- rozměr vzorku x, y
- rozestup bodů dx, dy
- počet pulzů na bod



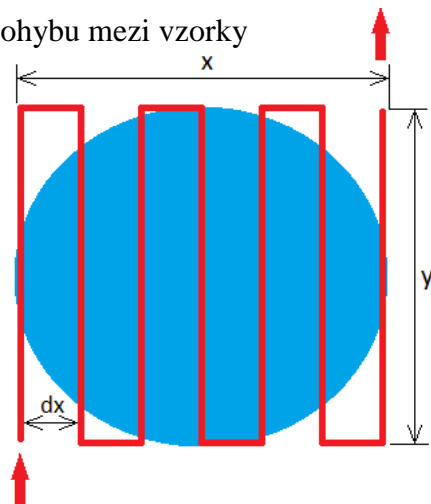
Obr. 4.1: Znárodnění zadávaných parametrů a průběhu režimu mapa

## 4.2.2 Režim rastr

Rastr je pracovní režim, při kterém se ablační cela posouvá kontinuálně po vygenerované trase. Trasa se skládá z několika uspořádaných cest vedoucích přes celou šířku vzorku. Po celou dobu pohybu vzorkem je spuštěn laser. Během přesuvu mezi vzorky laser aktivní není. Četnost pulzu na vzorek je dána rychlostí pohybu, počtem cest vzorkem a frekvencí laseru. Protože rychlost pohybu v rámci rastru vzorku je často velice pomalá, je zde z důvodu úspory pracovního času zavedena ještě rychlost druhá. S ní se pracuje při přesunu mezi jednotlivými vzorky matrice. Přehled parametrů a cestu vzorkem režimu rastr ilustruje obrázek 4.2.

Uživatелеm definovatelné parametry režimu:

- rozměr vzorku  $x$ ,  $y$
- rozestup cest  $dx$
- rychlost pohybu v rámci vzorku
- rychlost pohybu mezi vzorky



Obr. 4.2: Znárodnění zadávaných parametrů a průběhu režimu rastr

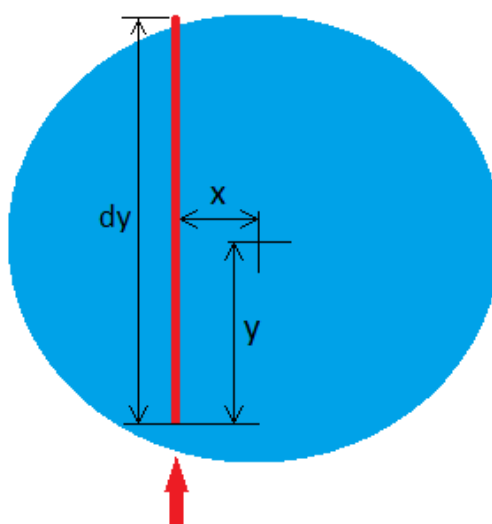


### 4.2.3 Režim linie

Při režimu linie se ablační cela stejně jako v případě rastru posouvá kontinuálně požadovanou rychlostí. I chování laseru je obdobné. Po dobu pohybu po linii je aktivní a vysílá paprsky o dané frekvenci. Po vykonání linie dojde k jeho vypnutí a k opětovnému spuštění dochází na počátku linie následující. Režim linie se skládá pouze z jediné cesty vzorkem (obr. 4.3). Z důvodu větší variability je na přání zadavatele kromě počátku linie měřeného od středu vzorku dovoleno volit i její libovolnou délku. Toho uživatel využívá v případě pravidelně umístěných vzorků, kdy pomocí jedné dlouhé linie dojde k přejezdu přes více spotů.

Uživatelé definovatelné parametry režimu:

- počátek linie  $x, y$
- délka linie  $dy$
- rychlost posuvu



Obr. 4.3: Znárodnění zadávaných parametrů a průběhu režimu linie

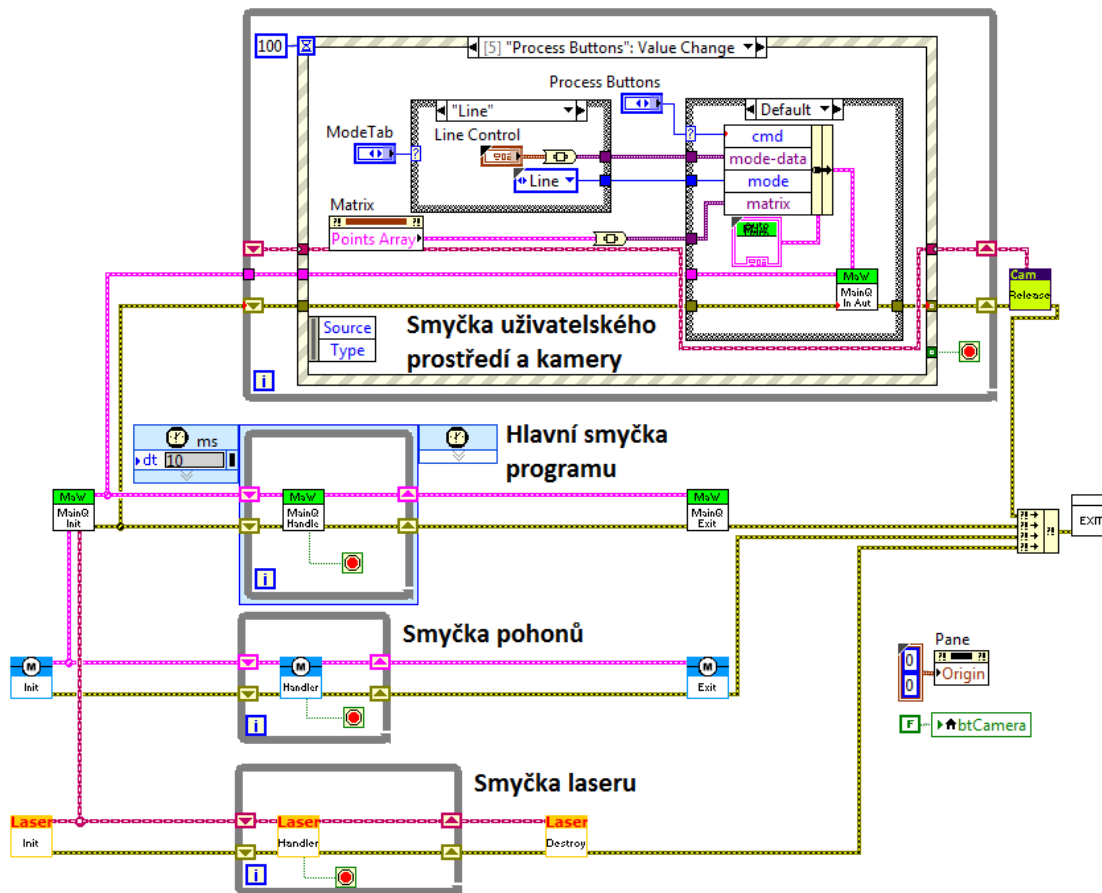


## 5. NÁVRH APLIKACE PRO ŘÍZENÍ LASEROVÉ ABLACE

Analýza parametrů aplikace a požadavků zadavatele přispěla k rozhodnutí o použití základní struktury z již hotové a v praxi ověřené aplikace pro nanášecí stolky. Software, který vznikl pro totožného zadavatele, je totiž rozložením a funkčním obsahem příbuzný naší potřebě, a bylo by tedy zbytečné vytvářet nové základy. Jeho tvorbou se zabýval Ertl a Kabourek ve svých závěrečných pracích [18], [19].

Jedná se o aplikaci vytvořenou v grafickém vývojovém prostředí NI LabView. Architektura programu vychází ze struktury asynchronního stavového automatu. Tato koncepce je založená na generování stavů, které řídí chování aplikace. Každému stavu odpovídá specifické chování a jejich generování je zapříčiněno událostmi. Vzniklé stavy jsou zapisovány do fronty stavů, čímž je ošetřena správná posloupnost jejich provádění. Hlavní smyčka programu tyto stavy z fronty vyčítá a přiřazuje dále do front stavů jednotlivých vláken. Každé vlákno obsluhuje nějaký hardware a běží ve své vlastní smyčce. Hlavní struktura aplikace má tedy podobu několika paralelních smyček, což má příznivý vliv na chod a stabilitu aplikace. V těchto smyčkách jsou stavy postupně odebírány z front a dochází k provádění činností, které daným stavům náleží. Stavy jsou v aplikaci definovány jako datový typ výčet [18].

Pro tvorbu software pro řízení laserové ablace, jehož vývojem se tato diplomová práce zabývá, bylo tedy využito stejně jako v případě aplikace pro nanášecí stolky grafického programovacího prostředí LabView. Hlavní struktura aplikace je tvořena několika paralelními smyčkami (obr. 5.1), které vykonávají činnosti v závislosti na generovaných stavech. Bližší popis tvorby software je obsahem následující kapitoly.



Obr. 5.1: Struktura software pro řízení laserové ablace

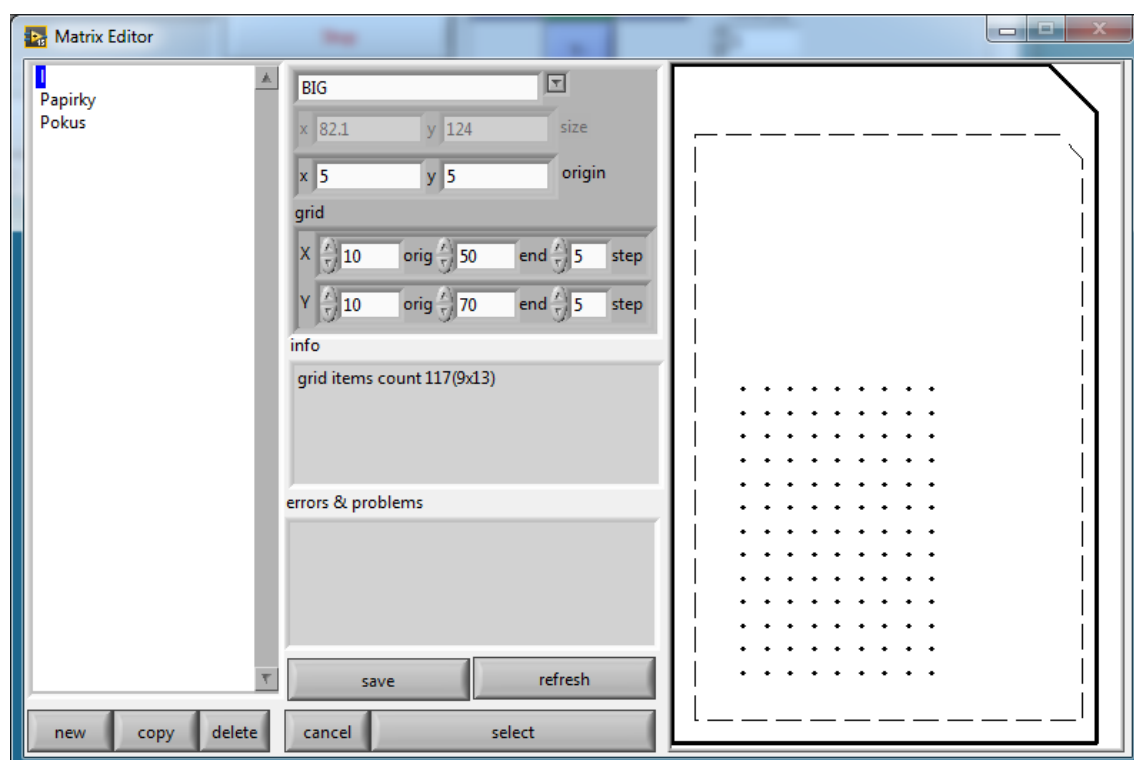
## 6. TVORBA APLIKACE PRO ŘÍZENÍ LASEROVÉ ABLACE

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, aplikace je postavena na základu software pro nanášecí stolky. Pro tuto aplikaci bylo nutné realizovat nové knihovny pro řízení pohonů, ovládání laseru a knihovny pro ablaci zahrnující implementaci požadovaných režimů, generování jejich trajektorií do souřadnic G-kódu a další změny popsané níže v kapitole.

### 6.1 Zadávání vzorků

Automatický režim se vykonává pro vzorek nebo skupinu vzorků zadaných uživatelem. K tomu slouží skupina algoritmů plně splňujících zadavateli požadavky převzatých a blíže popsaných v pracích [18], [19]. Výhodou použití stejného způsobu zadávání je zaručená kompatibilita aplikací. To znamená, že v aplikaci pro laserovou ablaci stačí pouze načíst konkrétní rastr vzorků vytvořený v aplikaci pro nanášecí stolky, kde byl dříve rastr definován a vzorky na právě ablovanou nosnou desku nanášeny.

Pro definici vlastního rozložení spotů na matici slouží samostatné okno (obr. 6.1).

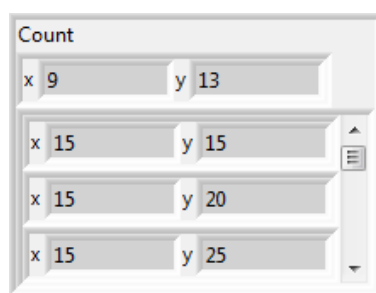


Obr. 6.1: Menu pro definici rastru vzorků

V něm může uživatel nastavovat několik parametrů. Je zde umožněno volit mezi předdefinovanými tvary nosné desky nebo zadat rozměry desky vlastní. Dále uživatel pomocí souřadnic levého spodního rohu desky nastavuje její umístění v pracovním prostoru lineárních os. Definice rastru rozložení spotů se provádí pomocí dvou bodů. První bod má souřadnice prvního vzorku rastru - vzorek v levém spodním rohu. Druhý bod nese souřadnice posledního vzorku rastru - vzorek v pravém horním rohu. K vypočtení rastru spotů je ještě třeba zadat rozestupy mezi vzorky v ose X a Y - dx, dy. Pro hodnoty zadaných parametrů se následně vypočtou polohy jednotlivých prvků a vykreslí do pravé poloviny okna. Jelikož vzorek ve skutečnosti není pouze jeden bod, ale zabírá na desce nějakou oblast, jsou zde vypočtené body uvažovány jako jejich středy. V oblasti info se vyskytuje výpis počtu vzorků a jejich rozložení, oblast errors & problems slouží k informování uživatele o výskytu chyb a problémů.

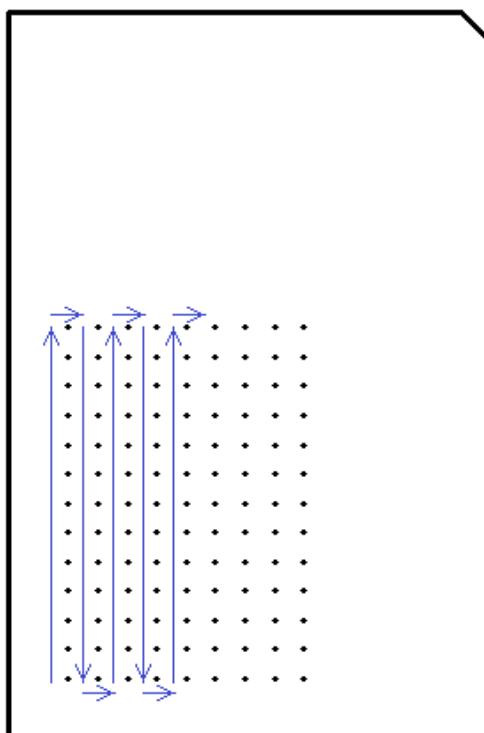
Dále lze v tomto menu načítat, mazat nebo kopírovat již dříve definovaný rast (např. v aplikaci pro nanášecí stolky) a nově definované rastry ukládat.

Po stisknutí tlačítka select je vytvořený rast aplikaci předáván formou clusteru definovaného jako typ Points Array (obr. 6.2), jehož obsah tvoří definovaný typ Point s počty vzorků v jednom řádku osy X a sloupci Y a dále pole Pointů, ve kterém jsou uvedeny absolutní souřadnice všech vzorků.



Obr. 6.2: Prvek Points Array obsahující souřadnice vzorků rastru

Pořadí, v němž jsou spoty vyčítány k ablaci, je určeno pohybem po rastru, který má charakter tzv. „hada“ (obr. 6.3). Tímto způsobem je minimalizována délka dráhy pohybu mezi vzorky.



Obr. 6.3: Způsob pohybu po vzorcích

## 6.2 Řízení pohonů

I přesto, že je aplikace nanášecích stolků postavena na hardware stejného výrobce, jako aplikace pro laserovou ablaci, bylo nutné všechny funkce pracující s pojezdovými stolky přepracovat.

Pro ovládání pojezdů laserové ablace byl totiž zvolen USB kontrolér novější řady používající jinou knihovnu instrukcí. Tento kontrolér je schopen akceptovat instrukce knihovny staršího modelu pomocí výrobcem poskytované sady knihoven, která zaručuje kompatibilitu mezi těmito zařízeními. Tohle však platí pouze v případě, není-li aplikace vytvořena pomocí LabView, ale například tehdy dodávaného vývojového prostředí společnosti Standa – SMCView. Jestliže však aplikace vzniká v prostředí LabView je nutné použít stávající dodávanou knihovnu libximc. Knihovna obsahuje velké množství subvi sloužících k obsluze a zjednodušení práce s motory a existuje přímo určená verze pro vývojové prostředí LabView.

V řešené aplikaci je z výše uvedené knihovny použito jen nutné množství bloků. Jejich přehled a popis funkce je uveden v následujících řádcích.

**close\_device** - Slouží k uvolnění otevřeného zařízení. Parametrem funkce je identifikátor zařízení.

**command\_home** - Vstupním parametrem je identifikátor zařízení. Příkaz slouží k přesunu vozíku na počátek jeho dráhy. Kladný směr pohybu je doprava. Vozík

se přemísťuje rychlostí FastHome do krajní polohy. V okamžiku, kdy dojde k sepnutí koncového spínače, obrátí se směr pohybu vozíku a ten se rychlostí SlowHome přesune na počáteční pozici HomeDelta. Parametry FastHome, SlowHome a HomeDelta mají v naší aplikaci defaultní hodnoty.

**command\_move** - Funkce slouží k přesunu vozíku na určenou pozici. Vstupním parametrem je identifikátor zařízení, které má pohyb vykonávat a požadovaná pozice.

**command\_wait\_for\_stop** - Funkce čeká na ukončení pohybu. Vstupuje do ní identifikátor zařízení a interval s jakým se má kontrola o zastavení motorů opakovat. K opakování kontroly dochází tak dlouho, dokud není pohyb ukončen.

**command\_zero** - Aktuální poloze, ve které se pojezd nachází, přiřadí hodnotu 0. Vstupním argumentem je identifikátor zařízení.

**find\_controllers\_2** - Jedná se o subvi, které slouží k nalezení dostupných zařízení. Jsou v něm obsaženy funkce **enumerate\_devices**, **get\_device\_count**, **get\_device\_name** a **free\_enumerate\_devices**. Výstupem se subvi je pole obsahující jména nalezených zařízení.

**get\_device\_information** - Funkce vrací informace o zařízení.

**get\_move\_settings** - Slouží ke zjištění stávajícího nastavení pohybových parametrů zařízení. Výstupním parametrem je struktura, která obsahuje rychlost pojezdu, zrychlení, zpomalení a další.

**get\_position** - Zjistí aktuální polohu zařízení v krocích. Vstupním parametrem je identifikátor zařízení. Na výstupu funkce vrací pozici.

**get\_serial\_number** - Vrací sériové číslo zařízení, jehož identifikátor je uveden jako vstupní parametr.

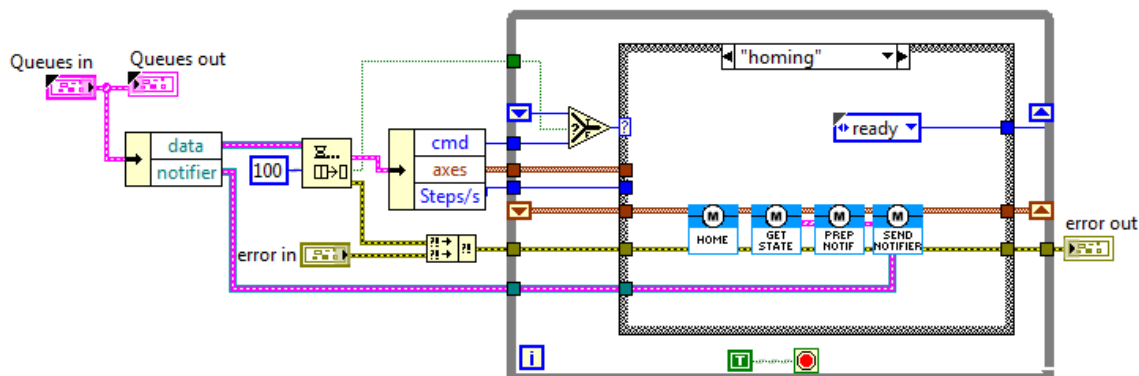
**get\_status** - Funkce, která pro zařízení, jehož identifikátor je vstupním parametrem, vrací status. Je to struktura, v níž je uložen aktuální stav zařízení, aktuální rychlost a další užitečné informace o aktuálním stavu.

**set\_move\_settings** - Slouží ke změně nastavení vlastností pohybu. Vstupním parametrem je identifikátor zařízení, pro které vlastnosti pohybu měníme a struktura obsahující požadovanou rychlost, akceleraci, deceleraci a další parametry pohybu.

O řízení pohonů a vykonávání stavů určených pohonům se v aplikaci stará samostatná smyčka, v níž je umístěno subvi Handle Commnads. Jeho hlavním úkolem je inicializace lineárních os, pohyb os na požadovanou pozici, „homování“ a nastavení výchozí pozice (obr. 6.4), přenastavení rychlosti pohybu a řádné uvolnění os při



ukončení aplikace. Polohování lineárních os je v aplikaci prováděno vždy pomocí absolutních pozic. Relativní polohování použito není.



Obr. 6.4: Subvi Handler smyčky pohonů a jeho kód události „homing“

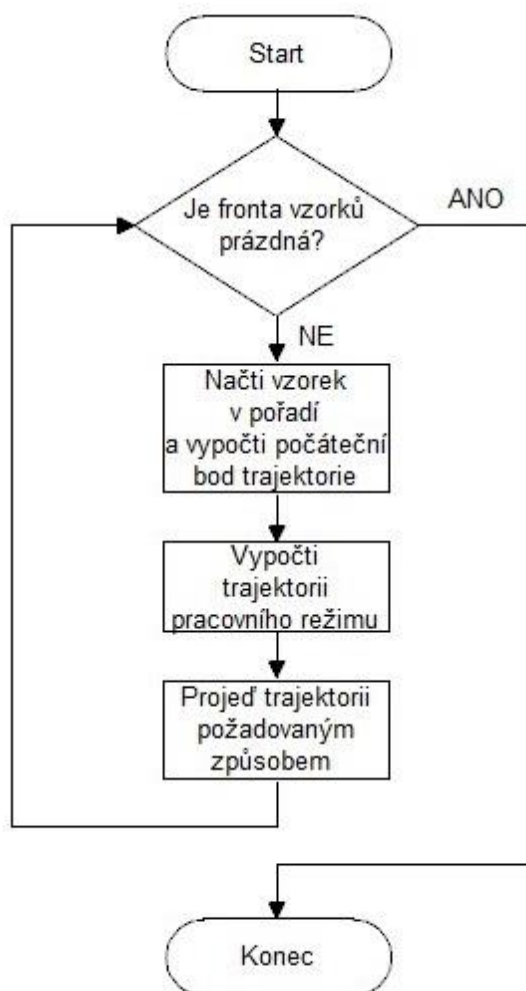
### 6.3 Implementace automatického režimu

Zvolený pracovní režim automatického módu je vždy prováděn nad vzorkem nebo skupinou vzorků zadaných uživatelem. Způsob jejich zadávání byl popsán v kapitole 6.1. Jedinou výjimkou je provedení pracovního režimu při požadavku Single. V tomto případě je pracovní režim proveden pro vzorek, jehož souřadnice jsou určeny aktuální pozicí stolků.

Řízení pracovních režimů je doménou subvi Mode Automat, které se nachází v hlavní smyčce programu. Subvi je tvořeno smyčkou, od níž je vnořena struktura Case. Ta přepíná mezi čtyřmi stavy - None (Default), Map, Raster a Line. Tím je zaručeno provádění kódu zvoleného pracovního režimu.

Obsahem jednotlivých stavů je opět další struktura Case. Zde jsou již implementovány kódy všech stavů, které mohou v případě provádění zvoleného pracovního režimu nastat (např. přejezd na požadovanou pozici, spuštění laseru, vypnutí laseru, přenastavení rychlosti posuvu, čekání na ukončení posuvu a další). Kromě části kódu vykonávajícího činnost příslušícímu danému stavu se v kódu všech stavů vyskytuje i část rozhodovací. Jejím úkolem je na základě dostupných pomocných a stavových proměnných vždy jednoznačně a bezchybně rozhodnout o tom, který ze stavů bude následovat. Tento způsob zajišťuje správné zvolení potřebné posloupnosti činností vedoucích k úspěšnému provedení režimu.

Posloupnost hlavních činností, které jsou při vykonávání režimu prováděny, znázorňuje vývojový diagram na obrázku 6.5.



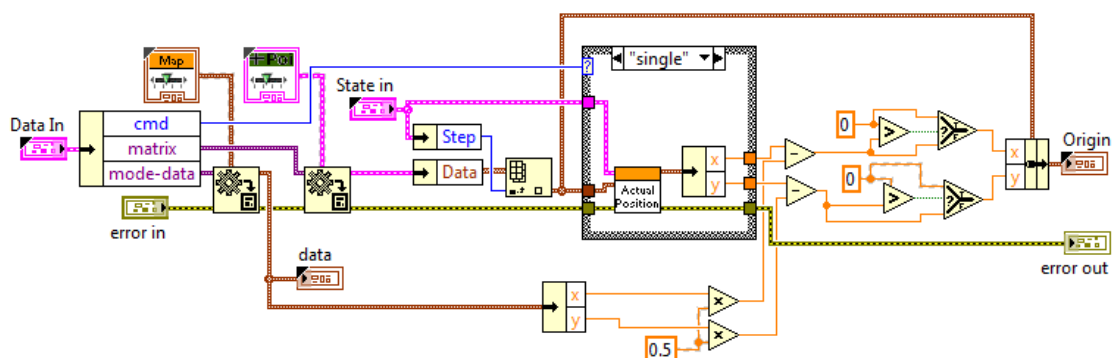
Obr. 6.5: Vývojový diagram posloupnosti činností vykonávaných automatickým režimem

### 6.3.1 Vypočtení počátku trajektorie

Aby bylo možné pracovní režim provést, je potřeba zjistit dráhu charakteristickou pro daný režim (viz kapitola 4.2), kterou budou lineární stolky opisovat. Vypočtení trajektorie je v aplikaci realizováno postupně pro každý spot samostatně (viz vývojový diagram 6.5). Vypočtená dráha má charakter G-kódu. Jedná se o posloupnost absolutních souřadnic bodů dráhy, kterými mají stolky projet. Posloupnost je programově reprezentována typem Points Array.

Jelikož jsou vzorky zadány souřadnicemi jejich středů, provádí se před samotným vypočtením trajektorie ještě vypočtení jejího počátku. K tomu jsou určeny subvi Init Origin (obr. 6.6). V případě režimů mapa a rastr jsou tato subvi velice podobná. Nejdříve se načtou souřadnice vzorku, který je v pořadí a z parametrů pracovního režimu se zjistí uživatelem zadaná velikost vzorku. Hodnoty velikostí vzorku v osách X a Y se vynásobí 0,5 a odečtou od souřadnic středu. Posledním krokem je potom kontrola nezápornosti vypočtených souřadnic a jejich předání subvi Gen

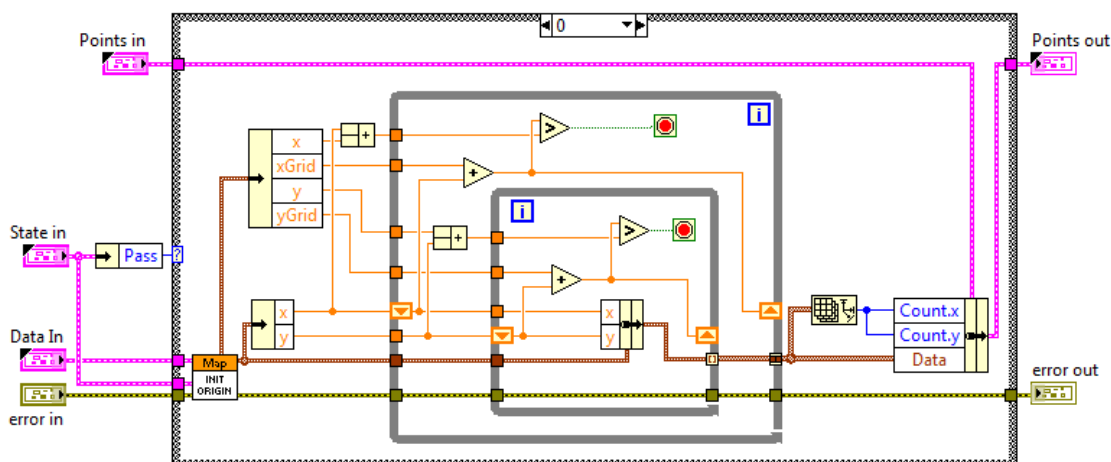
Trajectory v prvku Origin typu Point. Režim Linie neuvažuje velikost vzorku. Specifikace počátku trajektorie je zde určena posunutím od středu vzorku. Směr posunutí udává znaménko. Toto posunutí je přičteno k souřadnicím středů a opět dochází ke kontrole nezápornosti. Jestliže uživatel místo automatického režimu vyvolal událost Single, je za střed vzorku považována aktuální pozice lineárních os, nikoliv bod z definovaného rastru vzorků.



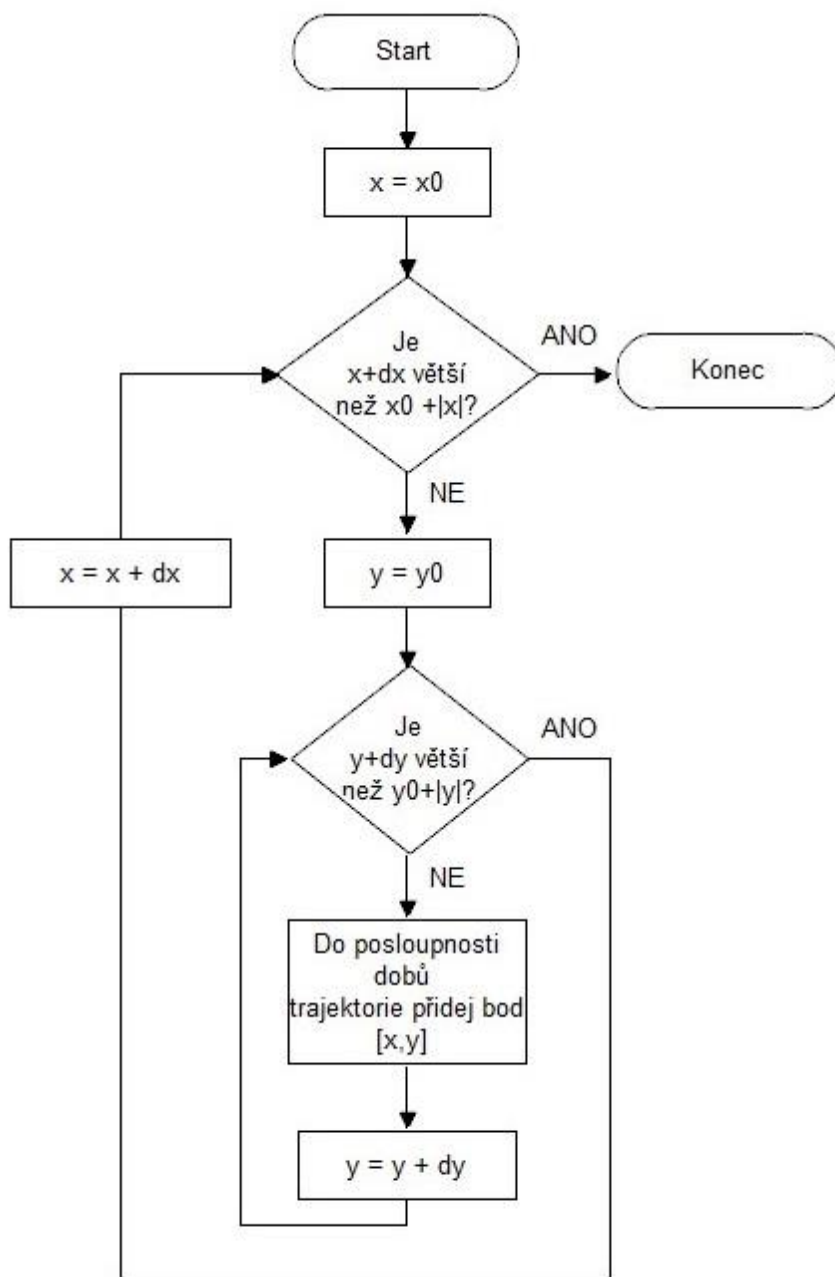
Obr. 6.6: Subvi Init Origin pracovního režimu mapa

### 6.3.2 Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Mapa

Režim mapa spočívá v přejíždění na definované body vzorku, do kterých jsou opakovaně vysílány laserové paprsky (viz kapitola 4.2.1). K vypočtení souřadnic jednotlivých bodů slouží algoritmus obsahující dvě smyčky While obsažený v subvi Gen Trajecotry (obr. 6.7). První smyčka vypočítává hodnoty souřadnice X, druhá do ní vnořená smyčka slouží k výpočtu souřadnice Y. Vývojový diagram algoritmu je vyobrazen na obrázku 6.8, kde je  $x$  a  $y$  aktuální souřadnice,  $x_0$  a  $y_0$  počáteční pozice trajektorie,  $dx$  a  $dy$  rozestup bodů,  $|x|$  a  $|y|$  velikosti vzorku.



Obr. 6.7: Subvi k vypočtení trajektorie pracovního režimu Mapa

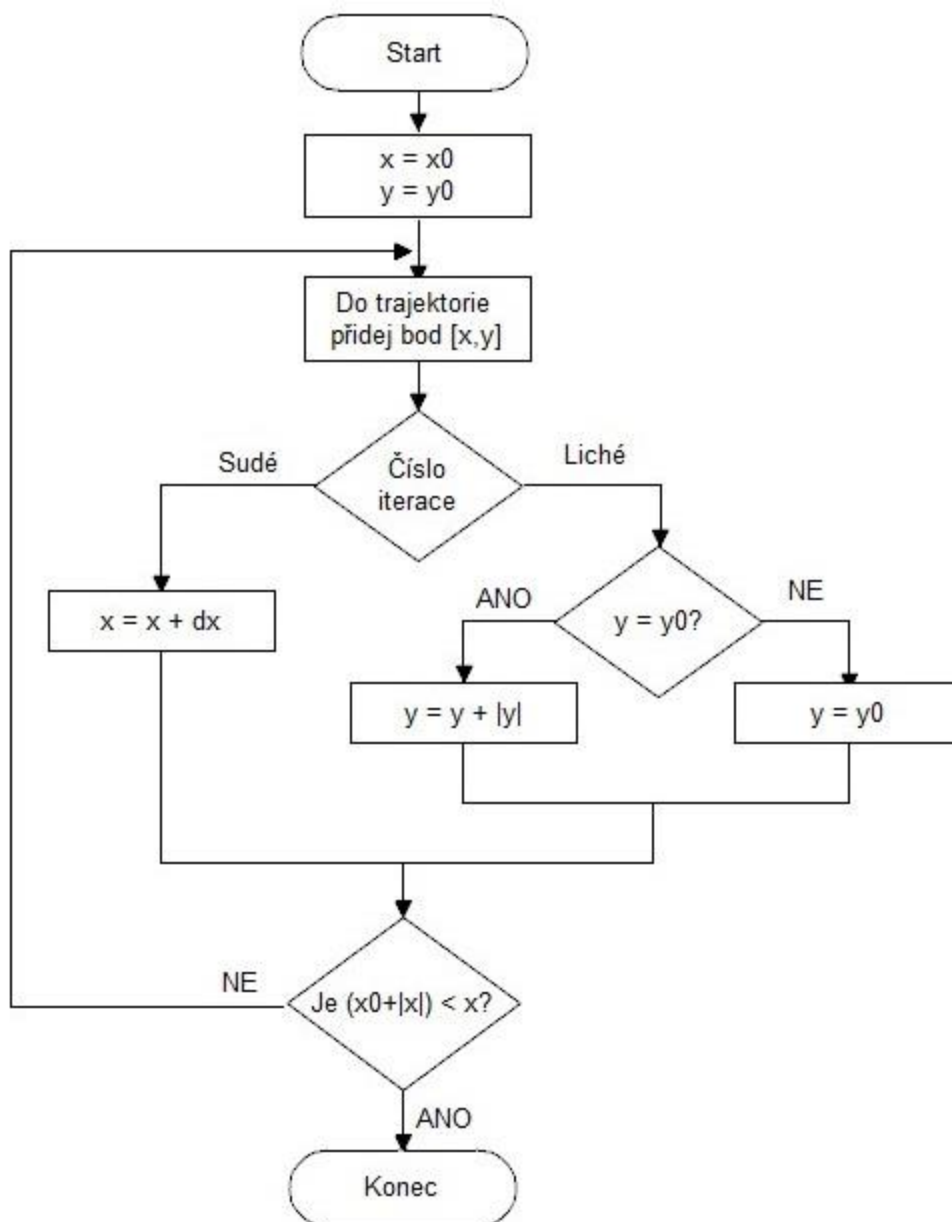


Obr. 6.8: Vývojový diagram algoritmu pro výpočet dráhy režimu Mapa

### 6.3.3 Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Rastr

Dráha režimu rastr má podobu tzv. „hada“ (viz kapitola 4.2.2). Algoritmus pro výpočet trajektorie tvoří jedna smyčka a do ní vnořené podmínky. Na základě rozhodnutí prvního podmíněného příkazu se rozhoduje o tom, která ze souřadnic se bude měnit. V případě výběru souřadnice X dochází k navýšení její hodnoty o hodnotu rozestupu cest vzorkem. Jestliže má být měněná souřadnice Y, provede se druhá podmínka určující novou hodnotu souřadnice. Tento postup získání dráhy režimu rastr blíže

znázorňuje vývojový diagram algoritmu na obrázku 6.9, kde je  $x_0$  a  $y_0$  počáteční pozice trajektorie,  $dx$  rozestup cest vzorkem,  $|x|$  a  $|y|$  velikosti vzorku. Algoritmus je implementován v subvi Gen Trajectory umístěném v knihovně režimu rastr. Příklad posloupnosti souřadnic získaných výpočtem trajektorie je uveden na obrázku 6.10.



Obr. 6.9: Vývojový diagram algoritmu pro výpočet dráhy režimu Rastr

Points out	
Count	
x 6	y 6
x 14.5	y 14.5
x 14.5	y 15.5
x 15	y 15.5
x 15	y 14.5
x 15.5	y 14.5
x 15.5	y 15.5

Obr. 6.10: Posloupnost bodů trajektorie pracovního režimu rastr pro vzorek se středem o souřadnicích [15, 15], velikosti vzorku 1 x 1 mm a rozestupem cest 0,5 mm

### 6.3.4 Algoritmus výpočtu trajektorie režimu Linie

Trajektorie režimu linie je tvořena jedinou cestou vzorkem ve směru osy Y (viz kapitola 4.2.3). To znamená, že pro určení dráhy režimu plně postačují dva body - počáteční bod cesty a bod koncový. Pro vypočtení trajektorie tedy slouží jednoduchý algoritmus obsažený v subvi Gen Trajectory knihovny Linie, který jako první bod trajektorie zvolí předem vypočtený počátek. Druhým bodem pak je bod o souřadnicích  $[x, y + dy]$ , kde  $x$  a  $y$  jsou souřadnice počátečního bodu a hodnota  $dy$  je délku požadované linie.

## 6.4 Řízení laseru

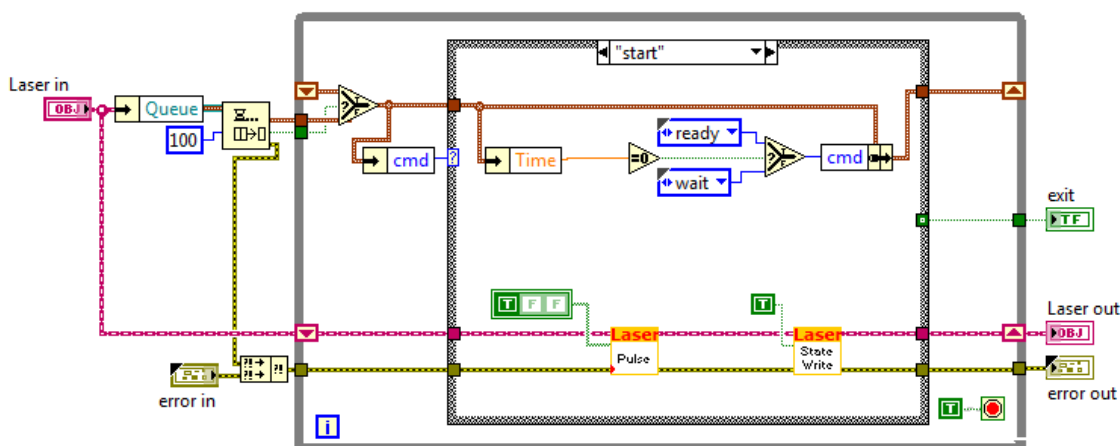
Laser je ústřední prvek laserové ablace, který přeměňuje pevný vzorek na analyzovaný aerosol. Řešená soustava obsahuje pulzní laser výrobce Quantel. Problematika jeho řízení byla zadavatelem stále otevřená. Proto bylo po vzájemné dohodě rozhodnuto o implementování dočasného řešení.

Toto řešení spočívá v ovládní laseru pomocí jednoho kanálu DAQ zařízení USB 6002. Pokud je na kanálu naměřeno napětí odpovídající logické jedničce, laser běží a naopak. Jako kanál obsluhující tuto činnost byl zvolen digitální výstup karty s označením P0.0. Laser má v tom případě řízení pevně nastavenou frekvenci vysílání paprsků. Pokud tedy například uživatel nastaví laser na 10 Hz a potřebuje do daného bodu vyslat deset paprsků, nastaví v aplikaci dobu spuštění laseru na 1 sekundu.

Řízení laseru v aplikaci má na starost samostatná smyčka. Laser je zde implementován jako objekt. K vytvoření instance laseru dojde ihned po spuštění aplikace. Klíčovým prvkem třídy Laser je subvi Handler (obr. 6.11). V něm jsou obsaženy reakce na vyvolané události, které laseru přísluší (spuštění laseru, vypnutí

laseru, spuštění laseru na definovanou dobu a další). Ke zničení instance laseru dochází pomocí subvi Destroy při ukončování aplikace.

Synchronizaci pojezdů s laserem zajišťuje hlavní smyčka programu, která řídí chod celé aplikace. Předává příkazy jednotlivým smyčkám, které vedou k provedení požadovaných činností odpovídajících právě prováděnému režimu a stavu, ve kterém se proces nachází.



Obr. 6.11: Subvi Handler třídy Laser

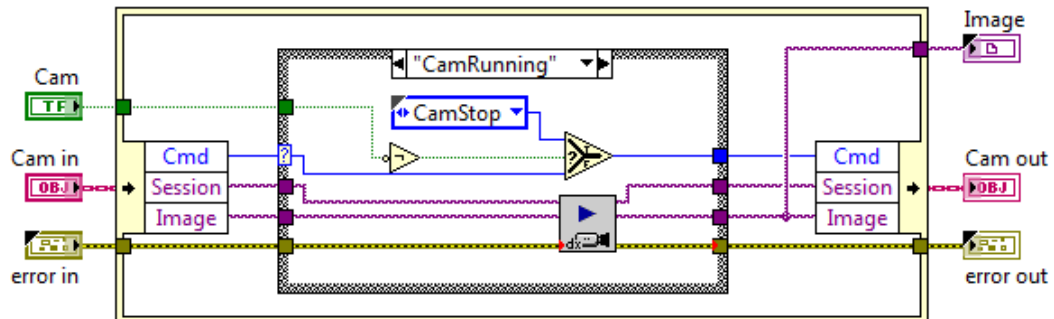
## 6.5 Kamera

Software používá kameru za účelem vizuálního informování obsluhy zařízení o aktuálním stavu procesu vykonávané laserové ablace. Uživatel může pomocí kamery nebo digitálního mikroskopu připojeného přes USB proces ablace lépe pozorovat a kontrolovat.

Pro obsluhu kamery byla v původní aplikaci vytvořena samostatná smyčka. Tato programová část však byla přepracována podle aktuálnějšího trendu programování. Nové řešení je založeno na objektově orientovaném programování. Dále byly veškeré programové části spojené s kamerou přesunuty do Event Structure reagující na uživateli podněty umístěné ve smyčce programu obsluhující uživatelské prostředí.

Kamera je tedy objekt, jehož instance je vytvořena po zapnutí kamery uživatelem v rozhraní aplikace. Vytvoření instance je úkolem subvi Create. K zániku instance dochází, pokud obsluha kameru prostřednictvím uživatelského prostředí vypne nebo dojde k úplnému ukončení aplikace. Zrušení instance objektu kamery provádí subvi Release. Samotný kód programu, který se stará v závislosti na stavu kamery o překreslování obrazu, je obsažen v subvi Handler (obr. 6.12). Toto subvi je obsahem události Timeout. K překreslení obrazu v okně aplikace tedy dochází v případě zapnuté kamery při každém uplynutí zadaného intervalu. V tomto případě je interval nastaven na 100 ms.

Všechna výše uvedená subvi obsahují bloky pro práci s obrázky, které jsou součástí doplňku NI Vision Acquisition Software. Tento doplněk po instalaci aplikace na uživatelův počítač v případě použití USB zařízení vyžaduje licenci.



Obr. 6.12: Subvi Handler obsluhující kameru

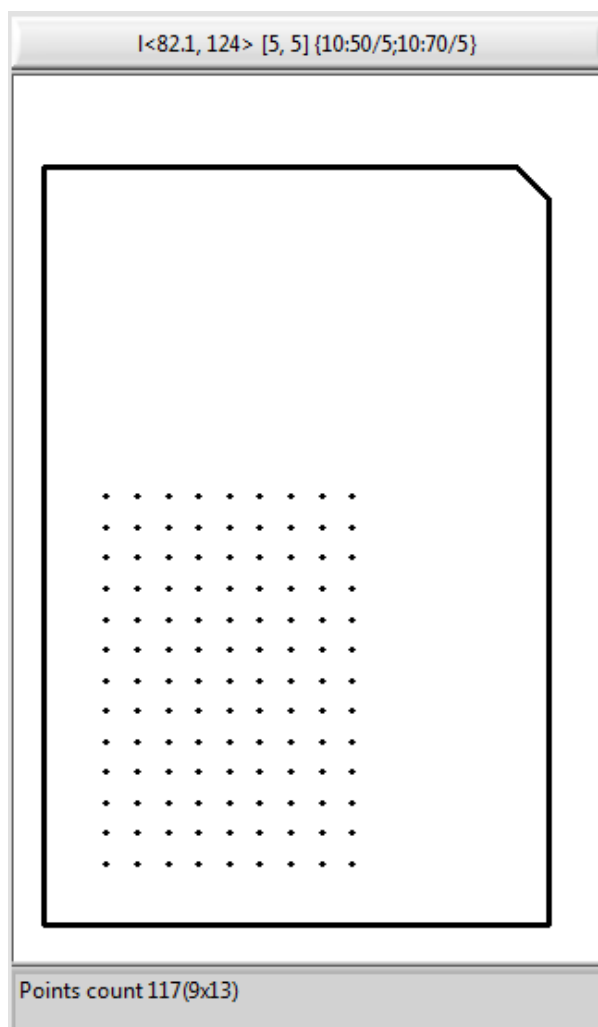


## 7. PRVKY HLAVNÍHO OKNA APLIKACE

V podkapitole je rozebrána funkčnost jednotlivých prvků, ze kterých se skládá hlavní okno aplikace.

### 7.1 Zadávání vzorků

K zadání rozmístění vzorků na matici slouží XControl, který se skládá ze tří prvků (obr. 7.1). Ve vrchní části sekce se nachází tlačítko, pomocí něhož dochází k zobrazení okna definice rozmístění prvků (popsáno dříve v kapitole 6.1). V tlačítku je navíc uveden rozměr aktuální nosné desky, souřadnice jejího umístění v prostoru a rozmezí souřadnic a rozestup, se kterým jsou vzorky na desce rozmístěny. Pod tlačítkem se nachází oblast vykreslující zadané uspořádání spotů. Posledním prvkem tohoto XControlu je stavový řádek. Do něj je vypisován celkový počet spotů a jejich uspořádání.

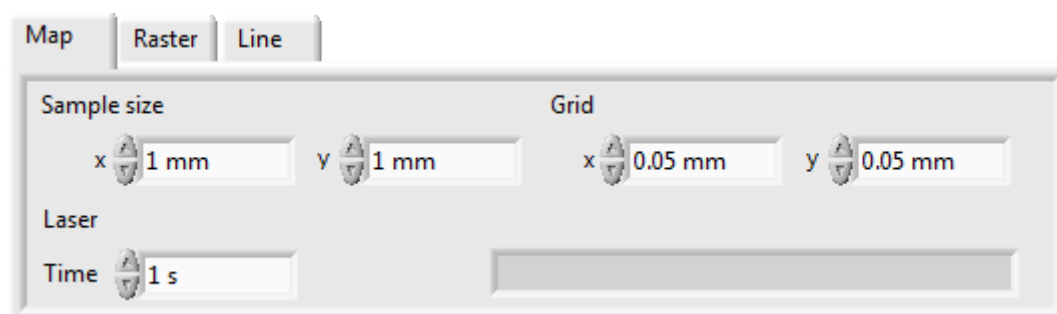


Obr. 7.1: XControl sloužící k zadávání umístění spotů

## 7.2 Volba a parametry pracovního režimu

Tato oblast je řešena pomocí prvku Tab control. Každý pracovní režim je zde zastoupen jednou záložkou (obr. 7.2). V záložce je potom umístěn cluster daného pracovního režimu, který obsahuje potřebný počet prvků typu Numeric control sloužících k parametrizaci režimu. Význam jednotlivých parametrů je popsán v kapitole číslo 4.

U pracovního režimu mapa a rastr se zde ještě navíc vyskytuje i prvek typu String control reprezentující stavový řádek. Pomocí něj je uživatel upozorněn v případě zadání nekorektních hodnot parametrů.

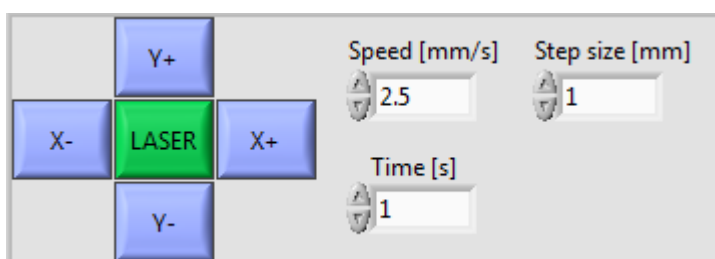


Obr. 7.2: Oblast výběru a parametrizace pracovních režimů

## 7.3 Ovládání manuálního režimu

Manuální režim dovoluje uživateli pohybovat dle potřeby s lineárními osami ve všech směrech požadovanou rychlostí a spouštět laser. K tomu slouží panel tlačítek a numerických kontrolů. Panel manuálního ovládání je softwarově reprezentován jako XControl. Výhodou tohoto prvku je rychlost a schopnost zachytávat jednotlivé události (např. stisk tlačítka, změnu hodnoty kontrolu a další).

Rozložení a obsah panelu je patrný z obrázku 7.3. K pohybu osy X a Y slouží tlačítka X+, X-, Y+ a Y-. S každým stiskem jednoho z tlačítek se stolky přesunou požadovaným směrem s rychlostí zadanou v poli Speed o vzdálenost, jejíž hodnotu určuje políčko Step size. Laser se spouští pomocí zeleného tlačítka Laser. Dobu, po kterou laser po stisku tlačítka běží, určuje pole Time.



Obr. 7.3: Panel manuálního ovládání

## 7.4 Ovládání automatického režimu

V automatickém režimu je pro zadané spoty prováděn jeden z pracovních režimů. Ovládání je opět realizováno pomocí skupiny tlačítek seskupených v XControlu (obr. 7.4). Funkce jednotlivých tlačítek jsou následující:

**Homing** - Slouží k přemístění vozíku do počáteční polohy dráhy lineární osy. Po dokončení přesunu všech os dojde k vynulování jejich pozic.

**Origin** - Po stisku tlačítka dojde k vypočtení souřadnic bodu, ze kterého režim startuje. Následně se na tyto souřadnice přesunou osy.

**Start** - Vyvolá událost vedoucí ke spuštění zvoleného pracovního režimu.

**Single** - Provede vybraný pracovní režim pro vzorek, jehož střed je určen aktuální polohou vozíku.

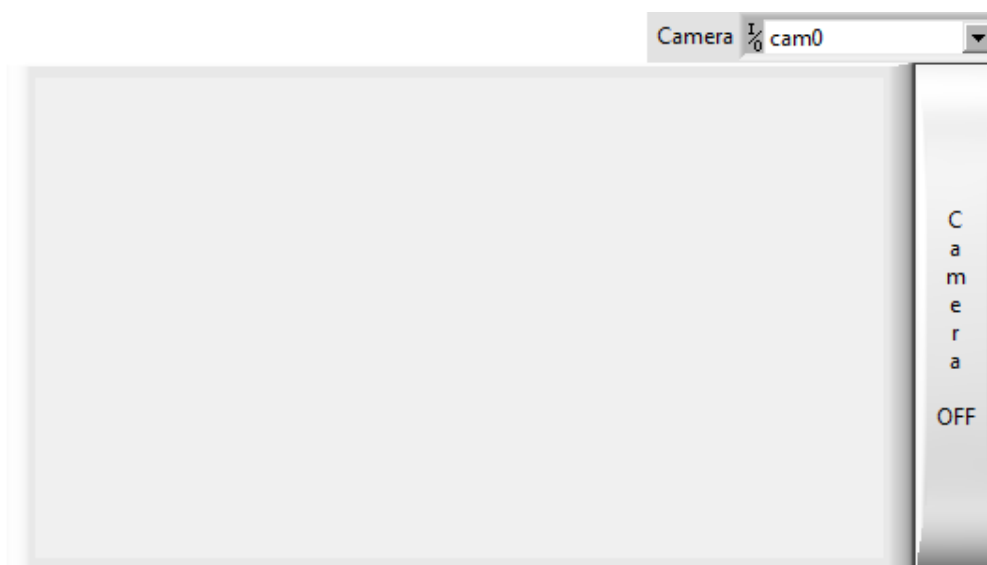
**Stop** - Slouží k přerušení prováděného automatického režimu.



Obr. 7.4: XControl k ovládání automatického režimu

## 7.5 Obsluha kamery

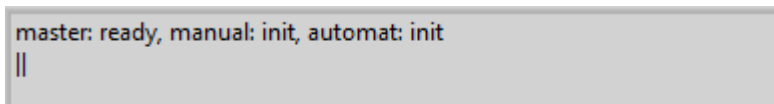
Pro obsluhu kamery se v hlavním okně aplikace vyskytují tři prvky. Jedná se o oblast, do které je promítán kamerou zaznamenaný obraz, dále tlačítko umožňující spuštění a ukončení přenosu obrazu a posledním prvkem je control sloužící k výběru jedné z dostupných kamer připojených k počítači. Podobu všech prvků znázorňuje obrázek 7.5.



Obr. 7.5: Prvky obsluhující kameru

## 7.6 Stavový řádek

Stavový řádek slouží k informování uživatele o aktuálním stavu aplikace. Je implementován pomocí třířádkového prvku String indicator (obr. 7.6). V prvním řádku je vypsan aktuální stav aplikace jako celku, aktuální stav manuálního režimu a stav automatického režimu. Prostřední řádek zobrazuje aktuální polohu os. Do posledního řádku jsou vypisovány případné chyby, které v průběhu běhu aplikace nastaly.



Obr. 7.6: Stavový řádek aplikace

## 7.7 Indikátor Busy a Laser

Za cílem dalšího zlepšení vizuální komunikace aplikace s uživatelem byly do hlavního okna aplikace umístěny dva indikátory. Reprezentovány jsou prvky Round LED (obr. 7.7). Indikátor Busy se rozsvítí, jestliže je aplikace nějakým způsobem zaneprázdněná, tj. jestliže jsou motory v pohybu nebo vykonávají nějakou jinou operaci (např. změnu rychlosti) nebo jestliže se pracuje s laserem. Druhým indikátorem je indikátor Laser. Ten reaguje pouze na stav laseru a svítí, pokud je laser aktivní.

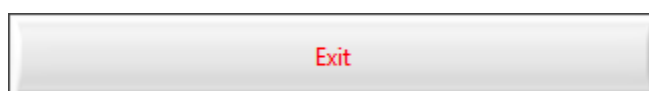


Obr. 7.7: Indikátor Busy a Laser

## 7.8 Ukončení aplikace

Bezpečné ukončení aplikace je možné provést dvěma způsoby. Prvním z nich je použití tlačítka Exit (obr. 7.8). Po jeho stisknutí nejdříve dojde k uvolnění všech zařízení a až poté se aplikace uzavře. Tím je zajištěno, že při opakovaném spuštění aplikace nedojde ke kolizím při inicializaci zařízení.

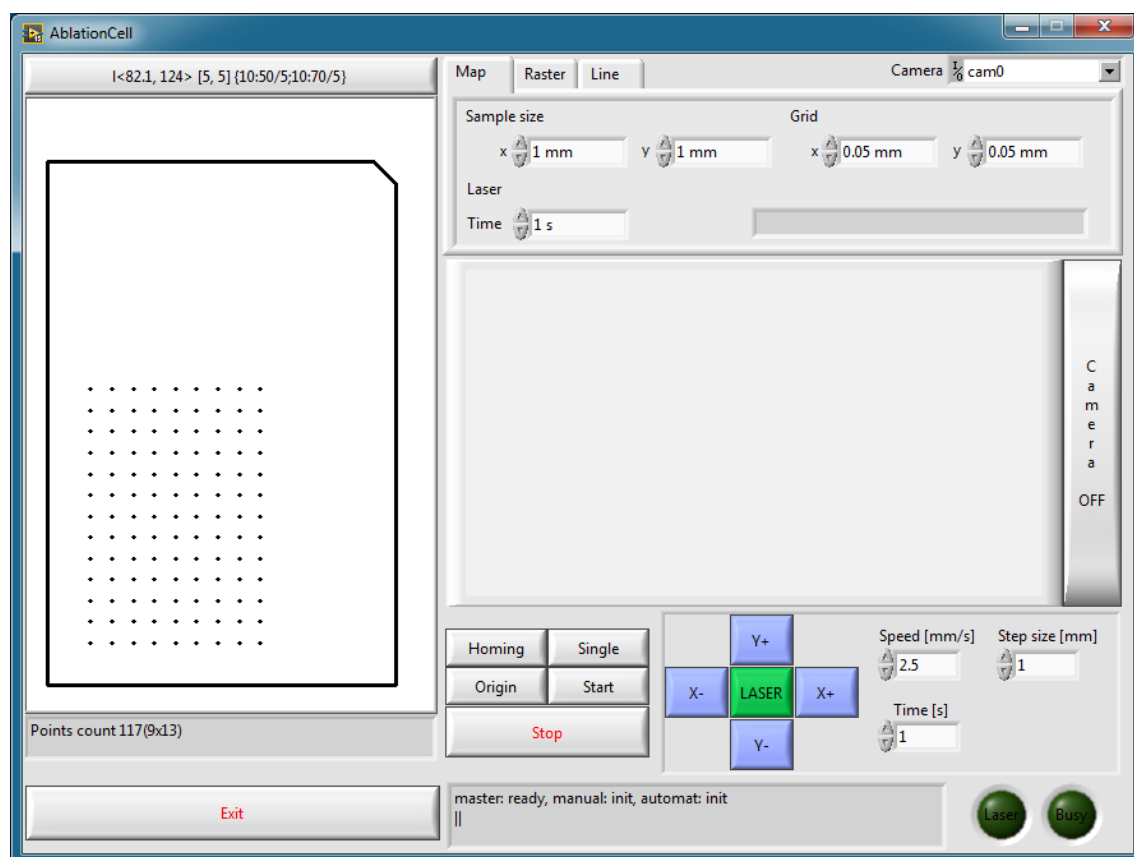
Program lze také ukončit křížkem v liště okna aplikace. Při tomto způsobu ukončení aplikace zachytí filtr Panel Close a provede stejné činnosti jako v případě uzavření tlačítkem Exit.



Obr. 7.8: Tlačítko pro ukončení aplikace

## 7.9 Konečná podoba hlavního okna

Výše uvedené prvky byly sestaveny s důrazem na maximální využití prostoru. Důsledkem byl vznik hlavního okna aplikace znázorněného na obrázku 7.9.



Obr. 7.9: Výsledné rozložení hlavního okna aplikace



## 8. ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámení se s problematikou laserové ablace, oživení manipulačního zařízení, které posouvá ablační celu a návrh a realizace software pro řízení procesu laserové ablace.

První část práce se věnuje samotné laserové ablaci. Stručná rešerše obsahuje představení metody, popis soustavy laserové ablace, základní princip procesu, popis nežádoucího jevu, ke kterému v průběhu ablace dochází a je zde také popsán vznik ablačních kráterů jako důsledek působení laseru na povrch vzorku.

Výběr vhodného hardwarového složení soustavy laserové ablace pro vyvíjený software nebyl umožněn. Bylo nutné se omezit na zařízení dodané zadavatelem, který jej měl připraven již předem. Jednalo se o polohovací zařízení litevského výrobce Standa a low-cost DAQ kartu společnosti NI, která byla využita k ovládní laseru.

Struktura vytvořené aplikace byla po zvážení požadavků převzata z aplikace nanášecích stolků, která v minulosti vznikala pro stejného zákazníka. Tímto rozhodnutím bylo dáno i prostředí, v němž byla aplikace vyvíjena. Jednalo se o grafické vývojové prostředí NI LabView. Software funguje na principu stavového automatu, který je založen na provádění činností vyvolávaných událostmi. Do aplikace byly implementovány požadované režimy ovládní a pracovní módy, jejichž provádění probíhá plně automaticky. Trajektorie, kterou má ablační cela v případě zvoleného automatického režimu opisovat, je generována programem a předkládána k provedení ve formě posloupnosti absolutních souřadnic připomínajících G-kód.

Ohledně způsobu ovládní a hardwarového propojení laseru s DAQ kartou neměl zadavatel jasnou představu. Proto bylo rozhodnuto o implementaci dočasného řešení. Jeho popisem se zabývá část kapitoly 6. Synchronizaci mezi ovládním laseru a řízením pojezdů ablační cely obstarává hlavní smyčka programu. Stav procesu ablace je uživateli umožněno sledovat pomocí USB kamery.

Zařízení je tedy nyní schopno generovat a projíždět trajektorie všech požadovaných režimů, informovat uživatele o aktuálním stavu a spouštět laser v požadovaných okamžicích. Hardwarové připojení laseru však není stále realizováno, proto nebylo možné provést zkušební experimenty ablace a v práci jejich výsledky prezentovat.

Do budoucna je nutné dořešit ovládní laseru. Bylo by také vhodné implementovat možnost zadávání vzorků pomocí kamery, což by v některých případech značně usnadnilo práci obsluhy zařízení.





## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GRAY, A.L.: *Analyst*. 1985, 110, 551-556.
- [2] BORRISOV, O.V.; MAO, X.; RUSSO, R.E. *Effects of crater development on fractionation and signal intensity during laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*. *Spectrochimica Acta Part B*, 2000, 55, 1693-1704.
- [3] CHEN, Z. *Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS): Past, present and future*. Cambridge: Harvard University, Department of Earth and Planetary Science. 2 s.
- [4] RUSSO, R.E.; MAO, X.L.; LI, C.; GONZALEZ, J. *Laser assisted plasma spectrochemistry: laser ablation*. *Journal of Analytical Spectrometry*, 2004, 19, 1084-1089.
- [5] PEŠ, O.; JUNGOVÁ, P.; VYHNÁNEK, R.; VACULOVIČ, T.; KANICKÝ, V.; PREISLER, J. *Off-line Coupling of Capillary Electrophoresis to Substrate-Assisted Laser Desorption Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. *Anal. Chem.*, 2008, 80(22), 8725-8732.
- [6] ALEXANDER, M.L.; SMITH, M.R.; HARTMAN, J.S.; MENDOZA, A.; KOPPENAL, D.W. *Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*. *Applied Surface Science*, 1998, 127-129, 255-261.
- [7] KAISER, J.; NOVOTNÝ, K.; MARTIN, M.Z.; HRDLIČKA, A.; MALINA, R.; HARTL, M.; ADAM, V.; KIZEK, R. *Trace elemental analysis by laser-induced breakdown spectroscopy - Biological applications*. *Surface Science Reports*, 2012, 67, 233-243.
- [8] *Laser Ablation ICP-mass spectrometry (LA-ICP-MS)* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.analchem.ugent.be/ams\\_onderzoek\\_solid/](http://www.analchem.ugent.be/ams_onderzoek_solid/)
- [9] GÜNTHER, D.; HEINRICH, Ch.A. *Comparison of the ablation behaviour of 266nm Nd:YAG and 193nm ArF excimer lasers for LA-ICP-MS analysis*. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 1999, 14, 1369-1374.
- [10] *Využití laserové ablace ve spojení s ICP spektrometrií*. Studijní materiály předmětu PřF:C7080, [online], 2010. [cit. 2016-05-02] Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2014/C7080/um/>

- [11] TREJOS, T.; CASTRO, W.; ALMIRALL, J.R. *Elemental analysis of glass and paint materials by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) for forensic application*. Miami: Florida International University, Department of Chemistry and Biochemistry and International Forensic Research Institute, 2006. 256 s.
- [12] MOŽNÁ, V. *Studium laserové ablace ocelí ve spojení s ICP-OES a ICP-MS*. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, 2006. 91 s.
- [13] MANK, A.J.G.; MASON, P.R.D. *A critical assessment of laser ablation ICP-MS as an analytical tool for depth analysis in silica-based glass samples*. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 1999, 14, 1143-1153.
- [14] JINGWEI, Y.; WANG, L.; WU, X.; CHENG, T.; HAIHE, J. *High peak power Q-switched Er:YAG laser with two polarizers and its ablation performance for hard dental tissues*. Optics Express, 2014, 22(13), 15686-15696.
- [15] STANDA. *8MT175 - Motorized Linear Stages* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [http://www.standa.lt/products/catalog/motorised\\_positioners?item=60&prod=motorized\\_linear\\_stages](http://www.standa.lt/products/catalog/motorised_positioners?item=60&prod=motorized_linear_stages)
- [16] STANDA. *8SMC4-USB User manual* [online]. 2016, [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [http://files.ximc.ru/8SMC4-USB\\_User\\_manual\\_Eng.pdf](http://files.ximc.ru/8SMC4-USB_User_manual_Eng.pdf)
- [17] NATIONAL INSTRUMENTS. *Usb-6002* [online]. 2016, [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/212384>
- [18] ERTL, L. *Software pro řízení hmotnostního spektrometru a nanášecího zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2001. 54s.
- [19] KABOUREK, A. *Řízení nanášecích stolků pro hmotnostní spektrometry*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 39s.