

*Studentská tvůrčí a odborná činnost*  
**STOČ 2011**

**SKENOVACÍ MIKROSKOPIE**

**Josef KUDĚLKA, Tomáš MARTÍNEK**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlínějak  
Fakulta aplikované informatiky  
Nad Stráněmi 4511  
760 05 Zlín

**5. května 2011**  
VŠB – Technická univerzita Ostrava

***Klíčová slova:*** Skenování mikroskopie, metrologie , servomotor, MatLab, Mathematica, kriminalistická balistická expertiza.

***Anotace:*** Tato práce navazuje na naše výsledky prezentované na STOČ 2010. Zabýváme se principy zobrazování morfologií povrchů a hlavně možností realizace měřící aparatury – skenovacího mikroskopu, jenž bude schopen zobrazovat povrch vzorků pomocí skenovacího hrotu.

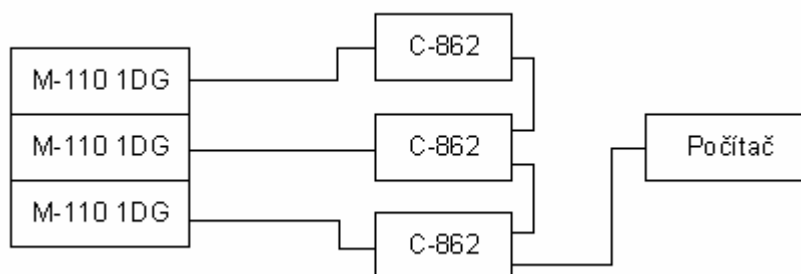
## Obsah

1.	Úvod do skenovací mikroskopie.....	4
1.1	Mercury M-110 1DG .....	4
1.2	Mercury C-862.....	5
2.	Řízení a sběr dat.....	5
3.	Skenování vybraných povrchových struktur .....	7
3.1	Vrchní část pětikoruny .....	7
3.2	Nula na jednorunové minci .....	9
3.3	Tlapa lva na dvoukorunové minci.....	11
4.	Zaměření na bezpečnostní technologie .....	13
5.	Piezoelektrická metoda .....	15
	Seznam použité literatury .....	17
	Seznam obrázků .....	18
	Seznam tabulek .....	19

## 1. Úvod do skenovací mikroskopie

Mikroskopie skenující sondou je soubor metod založených na přiblížení mechanické sondy k povrchu v kolmém směru. Sonda má při zkoumání buď přímý kontakt s povrchem nebo je v jeho těsné blízkosti.

Skenování povrchu lze zajistit buďto pohybem sondy nebo pohybem vzorku. Jako skenování sonda byl využit stacionární hrot, zatímco zkoumaný vzorek byl umístěn na pohyblivé soustavě tří servomotorů Mercury M-110 1 DG. Každý servomotor sloužil pro posuv v jedné z os X, Y a Z a byl řízen pomocí krokového ovladače Mercury C-862. Krokové ovladače byly propojeny přes rozhraní RS-232 s počítačem.



Obrázek 1.: Blokové schéma soustavy submikronových posuvů

### 1.1 Mercury M-110 1DG

Mercury M-110 je servomotor s velmi vysokým pohybovým rozlišením umožňující lineární pohyb v rozsahu 5mm. Na rozdíl od běžných motorů umožňuje nastavení přesné polohy osy. Výrobce garantuje rozlišovací schopnost 0,5  $\mu\text{m}$  ale minimální možný posuv je několikanásobně menší. Maximální rychlost je 1 mm/s. Výhodou je možnost kombinace několika M-110 a možnost pohybu ve více osách.



Obrázek 2.: Mercury M-110 1DG ve srovnání s 9 V baterií

## 1.2 Mercury C-862

Servomotory Mercury jsou ovládány přes krokové ovladače Mercury C-862. Tyto krokové ovladače slouží k flexibilnímu řízení pohybů servomotorů. Každý ovladač může ovládat pouze jeden motor. Tyto ovladače se dají vzájemně propojovat, čímž je umožněno ovládat až šestnáct servomotorů. Pohyb posuvů je realizován odesláním a přijímáním textových řetězců obsahujících identifikační a řídicí znaky přes port RS-232 mezi počítačem a krokovými ovladači C-862.



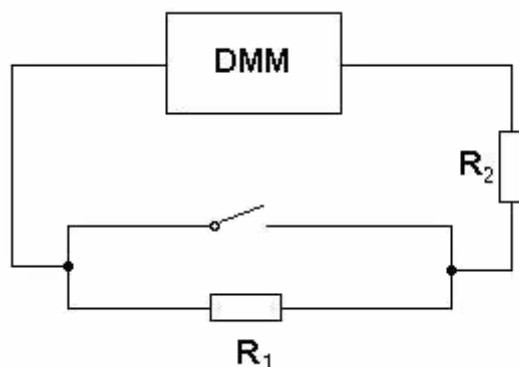
Obrázek 3.: Krokový ovladač Mercury C-862

## 2. Řízení a sběr dat

Společnost Physik Instrumente dodává program Mercury Motor Controller, s kterým můžeme snadno posílat příkazy dle manuálu a ovládat pomocí nich servomotory. Tento program ovšem není dostatečně flexibilní a nezprostředkovává zpětnou vazbu. Proto jsme vytvořili vlastní program ve vývojovém prostředí MatLab R2009b.

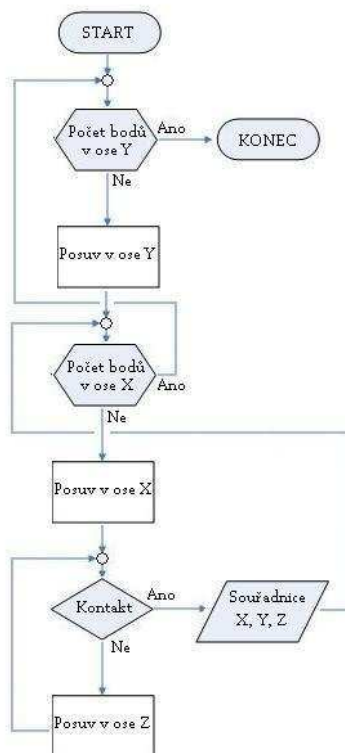
MatLab je programové prostředí a skriptovací jazyk pro vědeckotechnické numerické výpočty, návrhy algoritmů, analýzu, prezentaci dat a pro měření a zpracování signálu

Pro vyhodnocení kontaktu mezi hrotem a zkoumaným vzorkem jsme využili DMM Hewlett Packard 34401A ovládaný přes rozhraní GPIB.



Obrázek 4.: Měření odporu vedení

Znázorněný spínač byl realizován skenovacím hrotem a samotným vodivým vzorkem. Při poklesu hodnoty odporu vedení na velikost rezistoru  $R_2$  byl vyhodnocen kontakt.

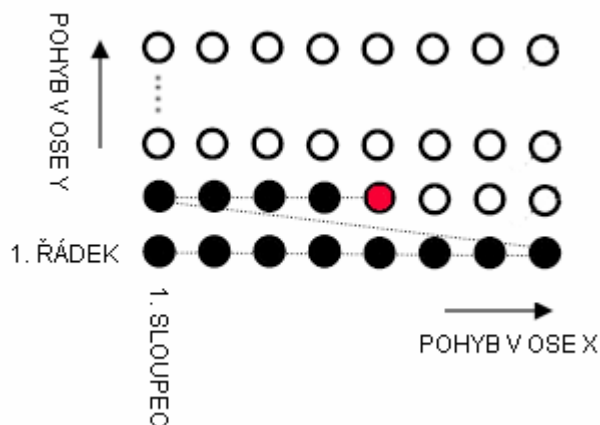


Obrázek 5.: Použitý skenovací algoritmus

Princip programu je velice jednoduchý. Jde v podstatě o tři provázané cyklické funkce. První zajišťuje pohyb po řádcích (osa X), druhá po sloupcích (osa Y) a třetí zajišťuje kontakt mezi skenovacím hrotem a vzorkem (osa Z).

Po vyhodnocení kontaktu program vypíše aktuální souřadnice ve formátu „{X,Y,Z},” na obrazovku kvůli pozdějšímu zpracování v programu Wolfram Mathematica 7.

Poté program pomocí servomotorů oddálí vzorek od hrotu a pokračuje na další bod v řádku rastru. Po dokončení všech bodů na řádku se vzorek přesune na jeho začátek a posune se do dalšího sloupce rastru.



Obrázek 6.: Skenovací rastr

Po dokončení všech bodů skenování se hrot opět oddálí od vzorku a měření je ukončeno.

### 3. Skenování vybraných povrchových struktur

#### 3.1 Vrchní část pětikoruny

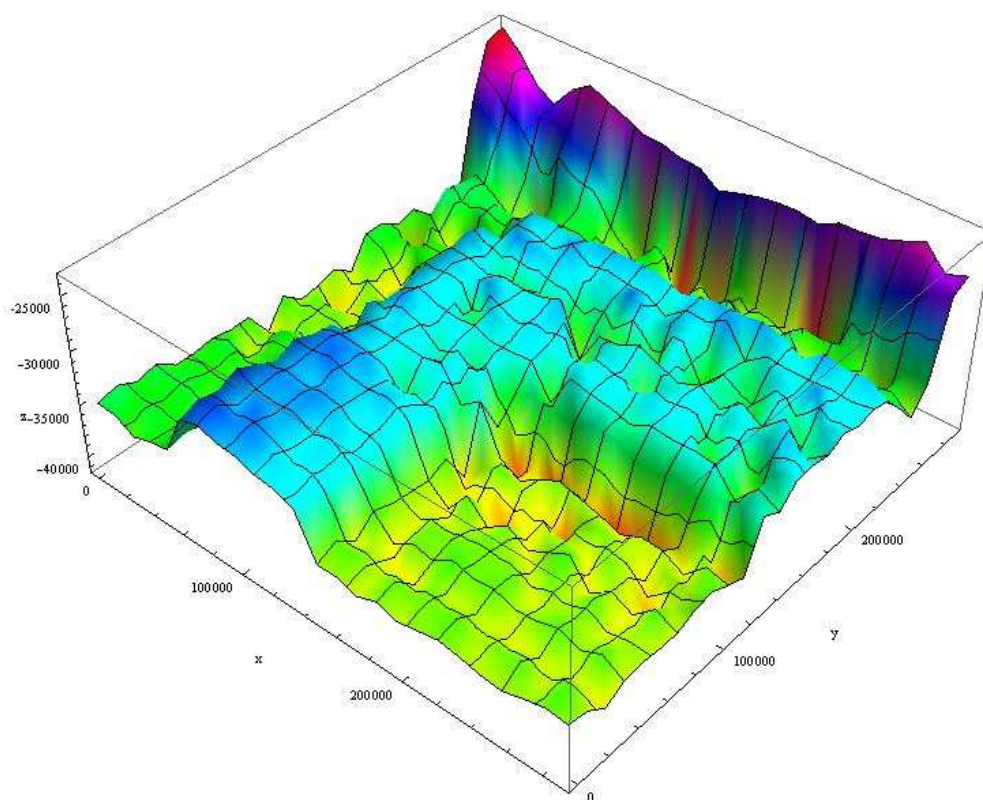
První měření sloužilo převážně k ověření funkčnosti měřicí soustavy a algoritmu. Měření bylo provedeno s následujícími parametry:



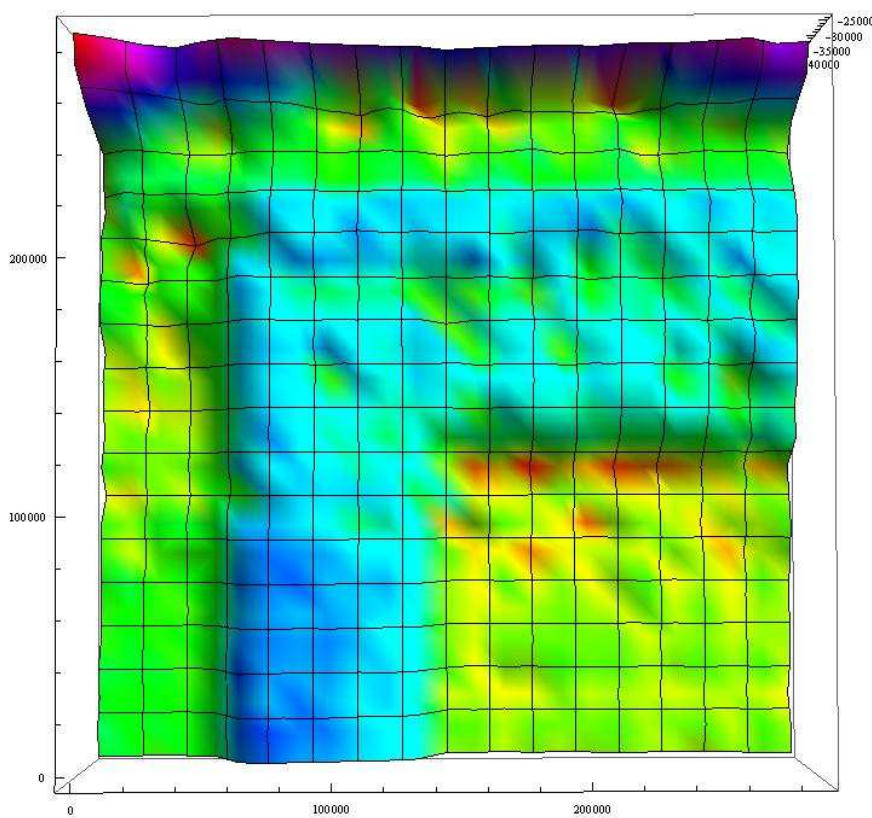
Obrázek 7.: Mince 5 Kč se znázorněnou oblastí skenování

<b>Velikost kroku rastru</b>	12000 countů = 240 $\mu\text{m}$
<b>Přibližovací krok</b>	150 countů = 3 $\mu\text{m}$
<b>Velikost rastru</b>	25x25 bodů
<b>Doba měření</b>	20 hodin

Tabulka 1.: Parametry měření pro minci 5 Kč



Obrázek 8.: Vizualizace skenované oblasti



Obrázek 9.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled



### 3.2 Nula na jednokorunové minci

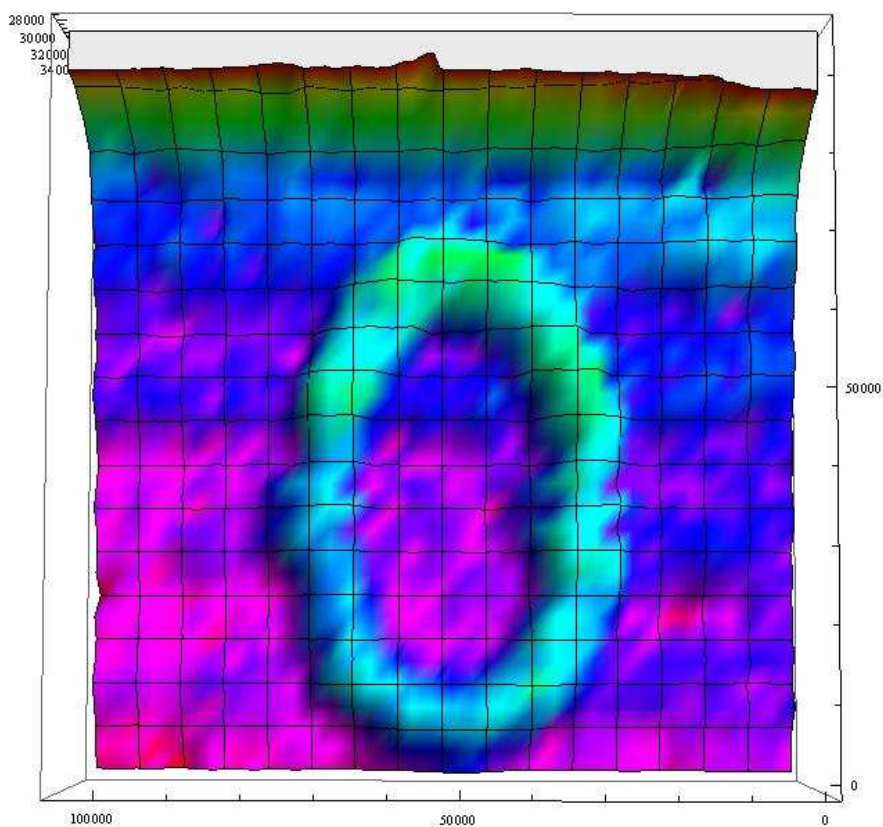
Při dalších měřeních jsme zjišťovali rozlišovací schopnost celé aparatury.



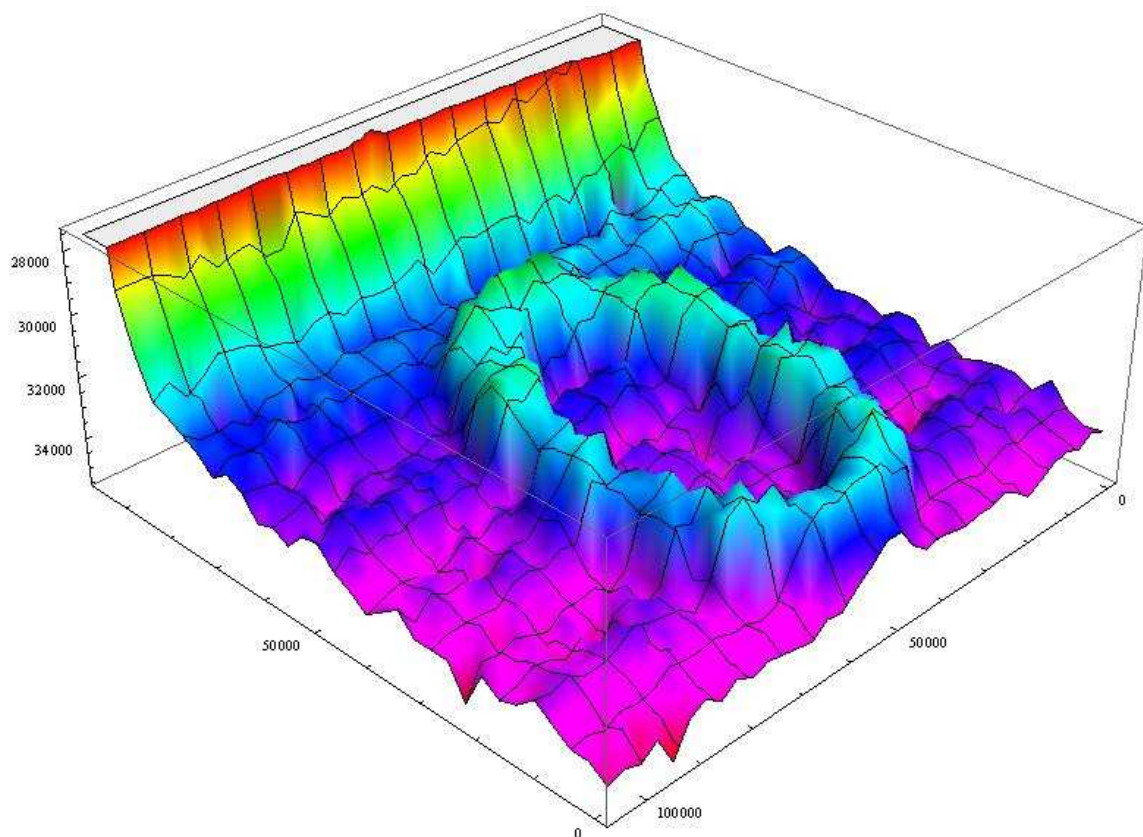
Obrázek 10.: Mince 1 Kč se znázorněnou oblastí skenování

<b>Velikost kroku rastru</b>	3000 countů = 60 $\mu\text{m}$
<b>Přibližovací krok</b>	100 countů = 2 $\mu\text{m}$
<b>Velikost rastru</b>	36x36 bodů
<b>Doba měření</b>	40 hodin

Tabulka 2.: Parametry měření pro minci 1 Kč



Obrázek 11.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled



Obrázek 12.: Vizualizace skenované oblasti

### 3.3 Tlapa lva na dvoukorunové minci

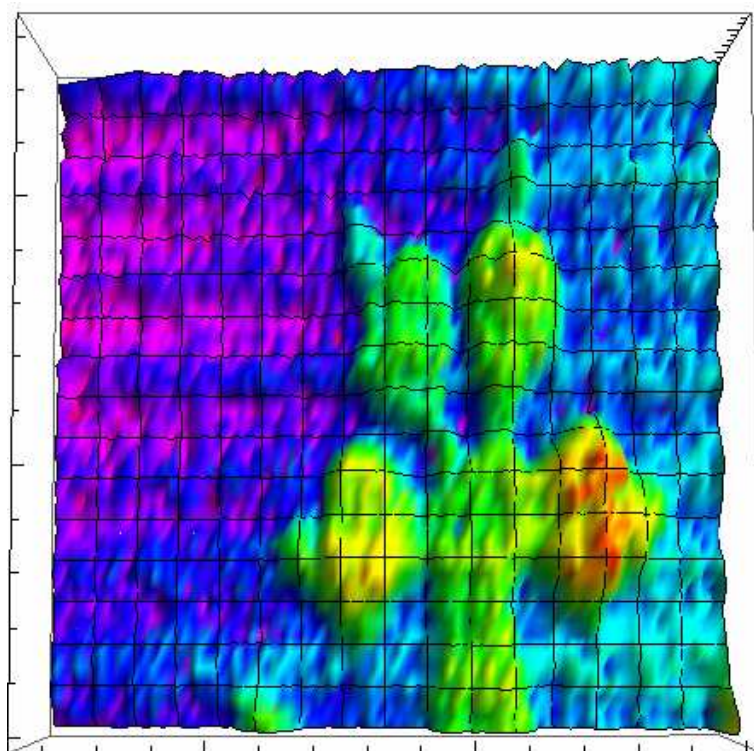


Obrázek 13.: Mince 2 Kč se znázorněnou oblastí skenování

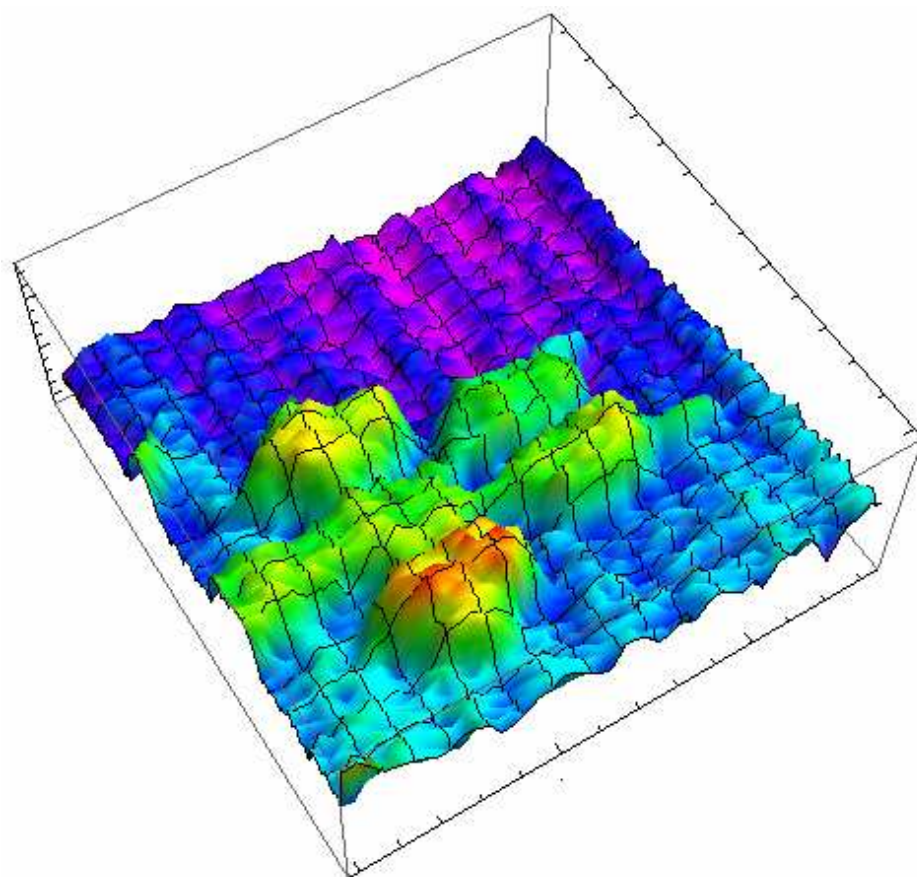
<b>Velikost kroku rastru</b>	3000 countů = 60 $\mu\text{m}$
<b>Přibližovací krok</b>	100 countů = 2 $\mu\text{m}$
<b>Velikost rastru</b>	45x90 bodů
<b>Doba měření</b>	50 hodin

Tabulka 3.: Parametry měření pro minci 2 Kč





Obrázek 14.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled



Obrázek 15.: Vizualizace skenované oblasti

#### 4. Zaměření na bezpečnostní technologie

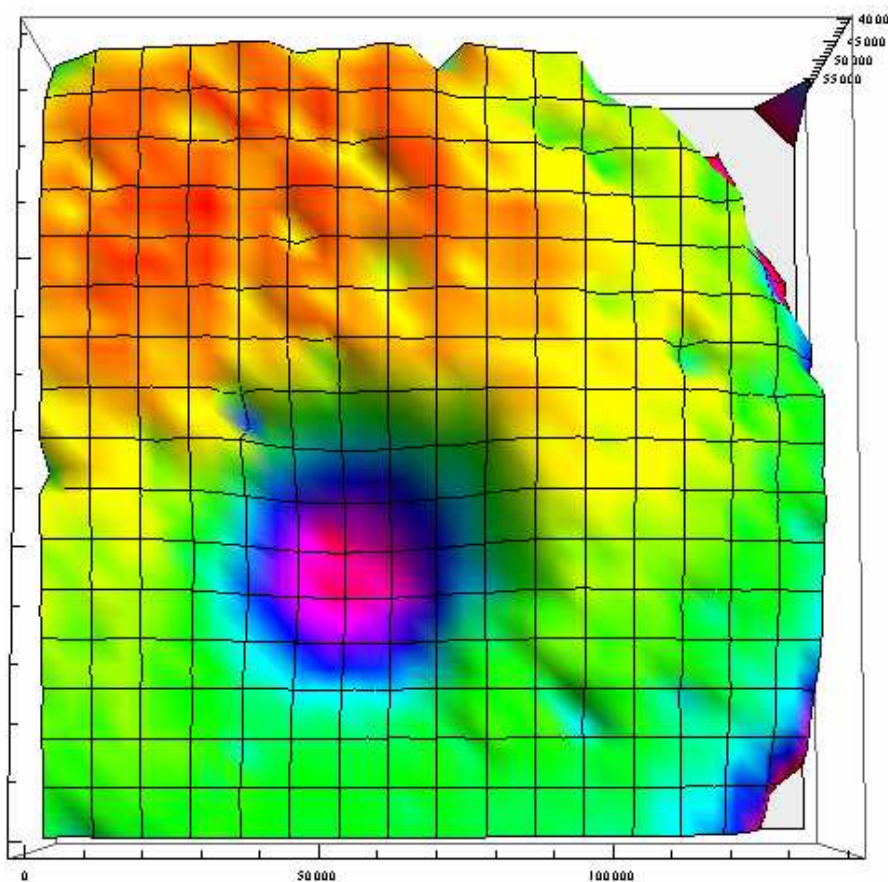
Prezentované metody mohou najít uplatnění v jakékoliv analyticko-bezpečnostní aplikaci. Příkladem může být kriminalistická balistická expertiza.

Kriminalistická balistika se zabývá mechanismem výstřelu, pohybem střely v hlavní zbraně, dráhou střely při letu na cíl a účinky střely v cíli. Objekty zkoumání kriminalistické balistiky jsou střelné zbraně, jejichž pomocí lze dopravit střelu na cíl. Druhou skupinu tvoří střelivo všech druhů a jeho jednotlivé části, především vystřelené střely a nábojnice. Třetí skupinu tvoří předměty zasažené střelou a povýstřelové zplodiny. Mezi základní otázky patří ztotožnění zbraně, kterou na místě události pachatel použil ke střelbě - individuální identifikace, založená na axiomu, že součástky zbraně, které jsou při výstřelu v kontaktu se střelou a nábojnicí, zanechávají na jejich povrchu markanty, které jsou jednoznačným odrazem mikronerovnosti kontaktovaného povrchu.

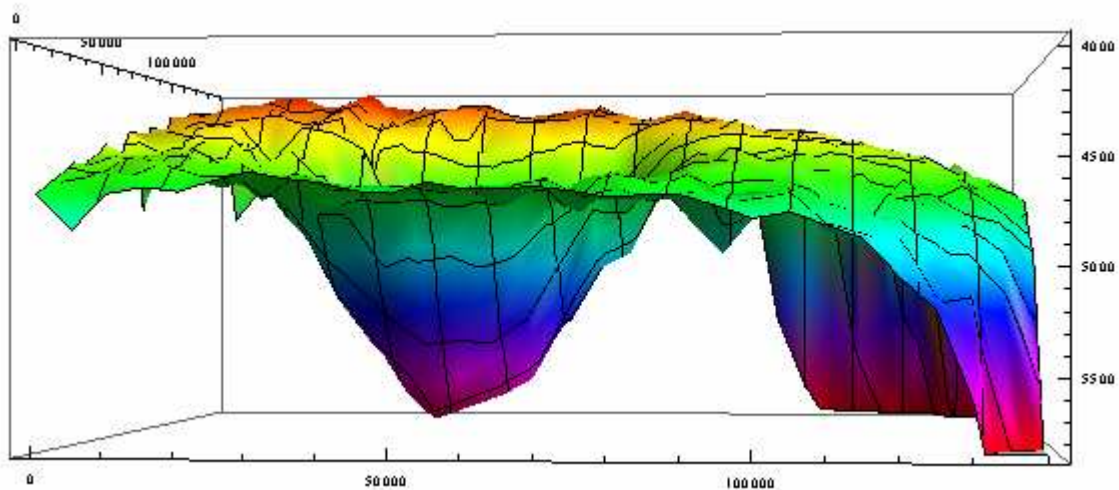
Pro názornou ukázkou bylo provedeno měření vystřelené nábojnice ráže 9x19 mm se středovým zápalem (vzor 48).



Obrázek 16.: Nábojnice ráže 9x19 mm



Obrázek 17.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled

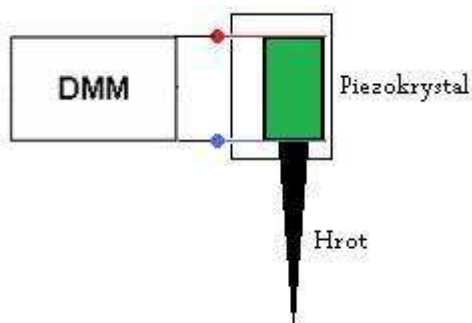


Obrázek 18.: Vizualizace skenované oblasti – profil



## 5. Piezoelektrická metoda

Nevýhodou výše uvedené metody je omezení skenování pouze na vodivé struktury. Proto jsme se inspirovali v audiotechnice využili jsme gramofonovou krystalovou přenosku.



Obrázek 19.: Piezoelektrická metoda skenování

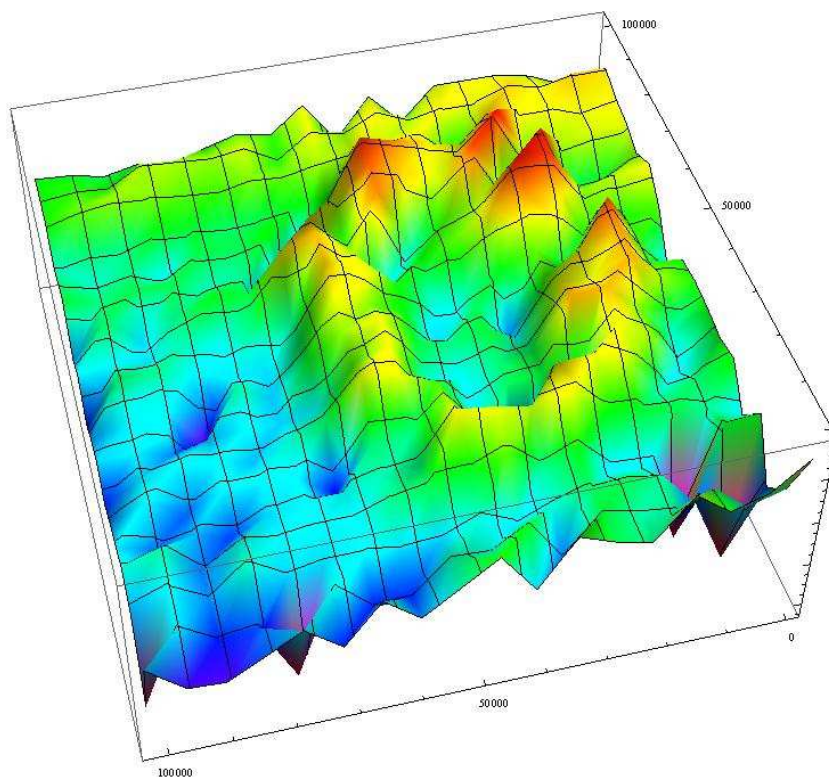
Z důvodu srovnání obou metod jsme si jako vzorek vybrali opět jednokorunovou minci.



Obrázek 20.: Mince 1 Kč se znázorněnou oblastí skenování

<b>Velikost kroku rastru</b>	7000 countů = 140 $\mu\text{m}$
<b>Přibližovací krok</b>	100 countů = 2 $\mu\text{m}$
<b>Velikost rastru</b>	17x17 bodů
<b>Doba měření</b>	10 hodin

Tabulka 4.: Parametry měření piezoelektrickou metodou



Obrázek 21.: Vizualizace skenované oblasti

S touto metodou zatím nedosahujeme tak přesných výsledků jako s metodou předešlou. Pracujeme na jejím zdokonalení.



## Seznam použité literatury

- [1] MARTÍNEK, Tomáš. *Impedanční skenovací mikroskopie*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Universita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky.
- [2] KUDĚLKA, Josef. *Metrologické zabezpečení mikronových a submikronových posuvů*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Universita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky.
- [3] KUDĚLKA, Josef; MARTÍNEK, Tomáš. *Studium a vytváření struktur v submikrometrové oblasti*. Studentská tvůrčí a odborná činnost. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2010. s. 14.
- [4] MACHALA, Libor, et al. *Mikroskopie skenující sondou* [online]. Olomouc : Univerzita Palackého Olomouc, 2003 [cit. 2011-02-23]. Dostupné z WWW: <<http://atmilab.upol.cz/mss/>>.
- [5] *Theory and Simulation of SPM* [online]. [200?] [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://invsee.asu.edu/nmodules/spmmod/>>.
- [6] KUBÍNEK, Roman. *Rastrovací sondová mikroskopie* [online]. [s.l.] : Katedra experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty v Olomouci, 2000 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <[http://exfyz.upol.cz/bf/predn/exp\\_met1/rsm/](http://exfyz.upol.cz/bf/predn/exp_met1/rsm/)>.
- [7] *MP 41E User Manual : M-110, M-111, M-112 Micro Translation Stages*. 3.1.2. Karlsruhe : Physik Instrumente , 2004. 19 s.
- [8] *MS 74E User Manual : Mercury C-862, Networkable Single-Axis DC-Motor Controller*. 8.41. Karlsruhe : Physik Instrumente , 2004. 59 s.
- [9] *PZ 99E User Manual : E-664 Position Servo Controller*. 1.0.4. Karlsruhe : Physik Instrumente , 2003. 19 s.
- [10] When Semiconductors Go Nano [online]. 2003 [cit. 2011-03-22]. Science & Technology. Dostupné z WWW: <<https://www.llnl.gov/str/November03/vanBuuren.html>>.
- [11] *P-611.3 NanoCube® XYZ Piezo Stage* [online]. [s.l.] : Physik Instrumente, 2009 [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <[http://www.physikinstrumente.com/en/pdf/P611\\_3\\_Datasheet.pdf](http://www.physikinstrumente.com/en/pdf/P611_3_Datasheet.pdf)>.
- [12] *MP41E M-11x Micro-translation stage User Manual*. 4.0.0. Karlsruhe : Physik Instrumente, 2011. 48 s.
- [13] *MS 74E User Manual C-862 Mercury DC-Motor Controller*. 8.4.3. Karlsruhe : Physik Instrumente, 2005. 86 s.
- [14] *XYZ-stage* [online]. 2011 [cit. 2011-03-24]. XYZ Stages, XY, Multi-Axis and 6-Axis Stages. Dostupné z WWW: <<http://www.xyz-stage.com/>>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1.: Blokové schéma soustavy submikronových posuvů.....	4
Obrázek 2.: Mercury M-110 1DG ve srovnání s 9 V baterií.....	4
Obrázek 3.: Krokový ovladač Mercury C-862.....	5
Obrázek 4.: Měření odporu vedení.....	5
Obrázek 5.: Použitý skenovací algoritmus.....	6
Obrázek 6.: Skenování rastr .....	6
Obrázek 7.: Mince 5 Kč se znázorněnou oblastí skenování.....	7
Obrázek 8.: Vizualizace skenované oblasti.....	8
Obrázek 9.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled.....	8
Obrázek 10.: Mince 1 Kč se znázorněnou oblastí skenování.....	9
Obrázek 11.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled.....	10
Obrázek 12.: Vizualizace skenované oblasti .....	10
Obrázek 13.: Mince 2 Kč se znázorněnou oblastí skenování .....	11
Obrázek 14.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled.....	12
Obrázek 15.: Vizualizace skenované oblasti.....	12
Obrázek 16.: Nábojnice ráže 9x19 mm.....	13
Obrázek 17.: Vizualizace skenované oblasti – horní pohled.....	14
Obrázek 18.: Vizualizace skenované oblasti – profil .....	14
Obrázek 19.: Piezoelektrická metoda skenování.....	15
Obrázek 20.: Mince 1 Kč se znázorněnou oblastí skenování.....	15
Obrázek 21.: Vizualizace skenované oblasti .....	16

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1.: Parametry měření pro minci 5 Kč .....	7
Tabulka 2.: Parametry měření pro minci 1 Kč .....	9
Tabulka 3.: Parametry měření pro minci 2 Kč .....	11
Tabulka 4.: Parametry měření piezoelektrickou metodou.....	15