

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh procesu vyhodnocení naměřených dat soubor  
různého rozsahu s využitím statistických nástroj**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. et Bc. Eliška Anna KUBIČKOVÁ**  
Osobní číslo: **E13N0048K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Návrh procesu vyhodnocení naměřených dat souborů různého rozsahu s využitím statistických nástrojů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Zásady pro vypracování:

1. Vyjádřete vztah technické diagnostiky a diagnostického systému s ohledem na možnosti hodnocení materiálů a energetických celků v elektrotechnice.
2. Vyjmenujte a stručně charakterizujte statistické metody, které je možno použít pro hodnocení technických dat.
3. Aplikujte nástroje statistické analýzy na soubory dat rozdílného rozsahu a charakteru.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Meloun, M., Militký, J.: Statistická analýza experimentálních dat, vyd. 2, uprav. rozš. Praha, ACADEMIA, 2004, ISBN 80-200-1254-0
2. Internetové informační zdroje, databáze ScienceDirect, IEEE

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Prosr, Ph.D.  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na vyhledání vhodných metod pro statistické zpracování souborů dat různých rozsahů. Konkrétně se práce zabývá detekcí záblesků simulovaných výbojů vysokého napětí. Práce obsahuje v první části přehled metod technické diagnostiky používaných v elektrotechnice, především v elektroenergetice, a stručný přehled metod statistické analýzy pro zpracování experimentálních dat. Druhá část je věnována technikám zpracování digitalizovaného obrazu, včetně matematického aparátu, a zejména pak zpracování obrazového záznamu simulovaného výboje vysokého napětí. V závěru jsou zhodnoceny testované metody a stanoveny cíle dalšího výzkumu.

## **Klíčová slova**

Technická měření, soubory dat, shluková analýza, zpracování obrazových dat, rozpoznávání obrazu, vysokonapěťové záblesky



## **Abstract**

The diploma thesis is aimed at searching for suitable methods for statistical processing of files of various sizes. Actually the work deals with detection of simulated high voltage lightnings. The work contains in its first part an overview of diagnostic methods, which are used in electrical engineering, especially in power engineering, and a brief overview of methods of statistical analysis for experimental data processing. The second part is aimed at digital image processing technics, including mathematical theory, and particularly processing of image record of simulated high voltage discharge. Conclusion contains the appraisal of tested methods and determination of aims of the future research.

## **Key words**

Technical measurement, data files, cluster analysis, processing of image data, image recognition, high voltage lightning

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.



.....  
podpis

V Praze dne 27.4.2016

Eliška Anna Kubišková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlu Prošovi, Ph.D. za rady a připomínky k práci a panu Ing. Baslovi za technickou podporu při používání licence softwaru MATLAB.

## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b><u>1. TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA V ELEKTROTECHNICE.....</u></b>	<b>2</b>
<b>1.1 DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Základní pojmy.....	2
1.1.2 Prvky diagnostického procesu.....	4
1.1.3 Diagnostika z hlediska provozu za řízení.....	4
1.1.4 Prognóza chování objektu .....	7
<b>1.2 DIAGNOSTICKÉ SIGNÁLY .....</b>	<b>9</b>
1.2.1 Základní pojmy.....	9
1.2.2 Mění vlastností izolačního systému .....	9
1.2.2.1 Mění absorpčních a resorpčních charakteristik .....	9
1.2.2.2 Mění ztrátového činitele a kapacity.....	11
1.2.2.3 Mění elektrické pevnosti .....	12
1.2.2.4 Detekce částečných výbojů .....	13
<b>1.3 STRUKTURÁLNÍ METODY V DIAGNOSTICE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY ELEKTRICKÝCH STROJŮ .....</b>	<b>18</b>
1.4.1 Zkoušení transformátorů .....	18
1.4.2 Diagnostika malých a středních točivých strojů .....	19
1.4.3 Diagnostika velkých točivých strojů .....	20
<b><u>2. STATISTICKÉ METODY PRO ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÝCH DAT .....</u></b>	<b>22</b>
<b>2.1 PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 STATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 STATISTICKÁ ANALÝZA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT .....</b>	<b>23</b>
<b><u>3. METODY DETEKCE VYSOKONAPĚTOVÝCH ZÁBLESKŮ</u></b>	<b>26</b>
<b><u>V OBRAZOVÉM ZÁZNAMU .....</u></b>	<b>26</b>
<b>3.1 ZPRACOVÁNÍ DIGITÁLNÍHO OBRAZOVÉHO ZÁZNAMU .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Předzpracování obrazu .....	26
3.1.2 Předzpracování obrazu při detekci vysokonapěťových záblesků .....	28
<b>3.2 FUNKCE POUŽITÉ PRO DETEKCI ZÁBLESKŮ .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Houghova transformace.....	29
3.2.2 Shluková analýza.....	31
3.2.3 Contour .....	34
3.2.4 Další možnosti v detekci záblesků .....	34
<b><u>4. VÝSLEDKY DETEKCE OBRAZOVÉHO ZÁZNAMU ZÁBLESKŮ .....</u></b>	<b>35</b>
<b>4.1 SIMULACE VYSOKONAPĚTOVÝCH ZÁBLESKŮ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH ...</b>	<b>35</b>
<b>4.2 ZPRACOVÁNÍ OBRAZOVÉHO ZÁZNAMU ZÁBLESKŮ .....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Zpracování fotografií.....	36

4.2.2 Zpracování videa ..... 46

**ZÁVĚR..... 49**

**LITERATURA ..... 51**

## Úvod

Pod pojmem „technické měření“ si běžně představíme nejspíšeinnost probíhající v laboratoři, na specializovaných přístrojích, za dodržení optimálních podmínek, abychom dosáhli co nej přesnějších výsledků. V praxi je však situace jiná, a přímé měření elektrických a jiných fyzikálních veličin se dostáváme do prostředí, které zdaleka neodpovídá ideálním laboratorním podmínkám. V některých případech lze přemístit zkoušené zařízení do laboratoře nebo zkušebny, ale jsou případy, kdy to není možné z hlediska rozměru a funkce zařízení – typický příklad jsou alternátory pro výrobu elektrické energie. Na druhou stranu provozní zkoušky jsou nezbytné z hlediska zjištění chování stroje nebo jiného zařízení za podmínek, v jakých bude skutečně pracovat, a zde provoz nemůže nahradit žádná laboratoř. Proto také rozlišujeme různé typy zkoušek z mnoha hledisek. Princip technických měření je ze své podstaty sledování odezvy zkoumaného objektu na vnější podněty – změny veličin působících do zařízení. Přitom rozlišujeme diagnostikovaný (zkoušený) objekt, diagnostický systém a vnější podmínky a faktory.

Technické měření je natolik složitý proces, do něhož vstupuje řada faktorů, že prakticky nikdy nezískáme naměřenou hodnotu, která by přesně odpovídala skutečné hodnotě sledované veličiny. Proto má naměřená hodnota vždy náhodný charakter, a výstupy měření jsou zpracovávány pomocí metod pravděpodobnosti a matematické statistiky. Zpracování výsledků měření se vzhledem k jeho složitosti vnuje celý vnitřní obor, nazývaný statistická analýza. V práci je proto uveden jen velmi stručný přehled metod statistické analýzy používaných při zpracování experimentálních dat.

Zpracování digitalizovaného obrazu patří mezi speciální techniky zpracování experimentálních dat. Ve své podstatě je však digitální obrazový záznam matice čísel a jako takový se také zpracovává metodami statistické analýzy. Náplní této práce je zpracování různých velikých souborů naměřených dat. Z hlediska digitalizovaného obrazu můžeme řešit velikost souboru dat ze dvou úhlů pohledu. Za malý soubor dat můžeme považovat několik jednotlivých snímků a za velký soubor video obsahující stovky snímků v několika sekundách záznamu. Potom je zde ještě vnitřní pohled, kdy jedna digitální fotografie o velikosti několika Mega Byte obsahuje stovky tisíc číselných hodnot, což je pro matematické zpracování i s využitím výpočetní techniky dosti velký soubor dat. Při zpracování obrazu se snažíme množství dat – hodnot obrazové matice – redukovat. Většina metod používaných při analýze obrazu také proto pracuje nad šedotónovým nebo binárním obrazem.

V úvodu bylo řečeno, že při technických měřeních sledujeme odezvu zkoušeného zařízení na změny vstupních veličin. Jednou z důležitých úloh v elektrotechnice a energetice je zkoumání elektrických výbojů na vedení vysokého napětí. Bylo by žádoucí, kdyby bylo možné detekovat výboj už v jeho počátku, ještě dříve než dojde k jeho plnému rozvinutí. Proto bylo konkrétním cílem výzkumu detekovat v obrazovém záznamu výboj od jeho prvního výskytu. V rámci práce byly testovány na malém souboru dat některé známé metody pro zpracování obrazu v kombinaci s novými technikami. Metoda s nejlepšími výsledky byla testována na datech z velkého souboru.

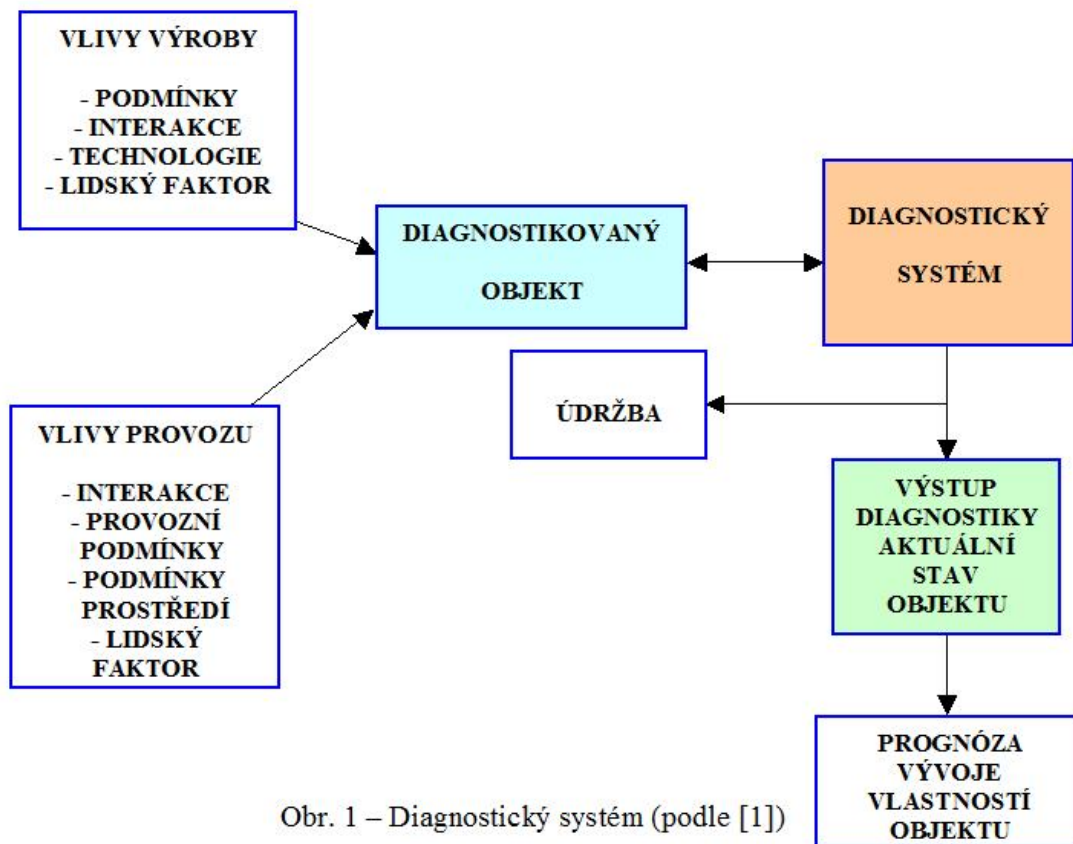
# 1. Technická diagnostika v elektrotechnice

Tato kapitola je v nována úvodu do technické diagnostiky se zaměřením na obor elektrotechniky. Nejprve pojednáme obecně o struktuře diagnostického systému a úkolech soustředěné diagnostiky. Zavedeme základní pojmy a rozdělení signálů a metod pro diagnostiku elektrotechnických zařízení. Zvláštní pozornost je v nována diagnostice elektrických výbojů, jejichž detekce v obrazovém záznamu je náplní této práce. Poslední část úvodní kapitoly je v nována diagnostice elektrotechnických celků, konkrétně transformátorů a elektrických točivých strojů.

## 1.1 Diagnostický systém

### 1.1.1 Základní pojmy

Při diagnostice rozlišujeme dva základní prvky: **diagnostikovaný objekt** a **diagnostický systém**. **Diagnostikovaný objekt** představuje předmět diagnostického zkoumání. Diagnostikovaný objekt již v procesu výroby přichází do kontaktu s vnějšími vlivy – technologiemi a podmínkami výroby. Během svojí životnosti je ovlivován provozními podmínkami a vlastnostmi prostředí. **Diagnostický systém** zachycuje **aktuální stav** diagnostikovaného objektu. Na základě zjištěných dat dává pokyny zařízením údržby a také vytváří prognózu další životnosti objektu. Na Obr. 1 je schéma diagnostiky elektrotechnického zařízení podle [1].



Obr. 1 – Diagnostický systém (podle [1])

- **Struktura** diagnostikovaného objektu může být:
  - **přístupná** – známe procesy probíhající v její struktuře
  - **nepřístupná** – známe pouze vstupy a výstupy
  
- **Stav** diagnostikovaného objektu může být:
  - **bezporuchový** – plní všechny funkce v plném rozsahu; výstupy jsou v požadovaných mezích
  - **poruchový** – neplní požadované funkce
  - **provozní** – zařízení plní některé funkce při zhoršených parametrech
  
- **Diagnostická veličina** je nositelem informace o technickém stavu diagnostikovaného objektu. Je to stochastická veličina, musíme uvažovat určitý rozptyl jejích hodnot. **Stavy** diagnostikovaného objektu jsou popsány **diagnostickými signály**. Diagnostický systém představuje množinu stavů na diagnostické signály.
  
- Podmínky funkce diagnostického systému:
  - **instrumentální vybavení** ( měřidla, měřidla, převodníky)
  - **model** diagnostikovaného objektu simuluje provozní stavy. Modely mohou být fyzické nebo matematické (přenosové funkce a schémata). Rozlišujeme **bloková schémata**, která zobrazují funkční bloky, a **topologická schémata** zachycující vzájemné relace mezi prvky.  
**Tabulky poruch** zakreslují kontroly stavů a tyto stavy. Sestavuje se fyzikální model nebo algoritmus diagnózy.
  - **přístup k řešení** diagnostického problému. Rozlišujeme **strukturální přístup**, jenž zohledňuje vnitřní strukturu objektu, (přesnější výsledky, nákladnější řešení) nebo **fenomenologický přístup**, který popisuje pouze vstupy a výstupy, tj. reakce na diagnostický signál (jednodušší, poskytuje méně informace).
  - **způsob zkoušek** může být **destruktivní** (nákladnější, v těsné blízkosti materiálu) nebo **nedestruktivní** (vhodné i pro on-line diagnostiku)
  - volba přístupu **off-line** nebo **on-line**
  - **znalosti** a **zkušenosti** zajistí výběr vhodných pracovníků s dostatečnou kvalifikací a zkušeností
  - **volba postupu (metodologie)** zahrnuje optimalizaci procesu diagnostiky z ekonomického hlediska
  
- **Úroveň** diagnostického systému – může být **jednoúrovňová** nebo **víceúrovňová** diagnostika. Volba požadované úrovně závisí na složitosti, důležitosti a ekonomických možnostech.
- **Manuální diagnostika** – provádí operátor, přímě ovládá měřicí zařízení a zapisuje hodnoty.
- **Automatická diagnostika** – diagnostický proces je řízen technikem, který může zasahovat do programu, jenž řídí jednotlivé signály a jejich měření.
- **Diagnostika řízená počítačem** – diagnostický proces řídí program, který odečítá



a ukládá hodnoty.

### 1.1.2 Prvky diagnostického procesu

- **Příprava** – představuje vývoj metod pro všechny stupně diagnostiky – **vstupní kontrolu, výrobu – mezioperační zkoušky**
- **Analýza použitých technologií**
- **Laboratorní zkoušky** patří do přípravné fáze provozní etapy. Provádí se zkrácené zkoušky zvýšeným namáháním. Výsledky se nepodílejí na reálné podmínky.
- **Volba objektu diagnostiky.** Zkoumané zařízení představuje **sériový spolehlivostní** test. Vychází se z toho, který prvek systému (test) je nejcitlivější na vznik poruchy, a který by nejvíce ohrozil funkci zařízení z hlediska bezpečnosti a velkých škod. U elektrického zařízení je tímto prvkem **izolační systém**.
- **Volba metody** se provádí s ohledem na **vypovídací schopnost** jednotlivých metod. Dalším hlediskem pro volbu diagnostické metody je typ poruchy z hlediska jejího vzniku v provozu. Rozlišujeme poruchy **náhlé**, které obvykle vznikají z vnějších příčin a zjistí se postupným provedením diagnostického signálu do jednotlivých bloků až do odhalení místa poruchy, a poruchy **postupné**. Ty vznikají postupným opotřebením zařízení, které po určité době pracuje v **části n poruchovém stavu**. Tyto poruchy zjistíme sledováním parametrů a jejich porovnáním s obrazy jednotlivých stavů. Používá se **shluková analýza** a klasifikace pomocí míry vzdálenosti kritériální funkce od testů shluků nebo **Bayesovská klasifikace**, kdy se porovnává skutečný stav s výsledky pozorování.

### 1.1.3 Diagnostika z hlediska provozu zařízení

Z hlediska provozu zařízení rozlišujeme situaci, kdy je během diagnostiky **v provozu – on-line diagnostika – funkční** nebo **mimo provoz – off-line diagnostika – testovací**.

Obě metody lze popsat matematicky pomocí **prostorové funkce**  $(U, X_p, t)$ .

$$\text{Bezporuchový stav } Y = (U, X_p, t) \quad (1.1)$$

$$\text{Poruchový stav } Y_i = (U, X_p^i, t) \quad (1.2)$$

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  .... vektor výstupních funkcí

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  ... vektor vnitřních stavů zařízení

$U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  ... vektor vstupních proměnných

$X_p$  ... požadovaná hodnota vnitřních proměnných (stav diagnostikovaného objektu)

$t$  ... čas

$Y^i, X_p^i$  ... veličiny pro  $i$ -tý poruchový stav

**Výsledek díl í kontroly**

$$R_j^i = \{X_j\} \quad (1.3)$$

$$\text{Bezporuchový stav: } R^i = (k_j) \quad (1.4)$$

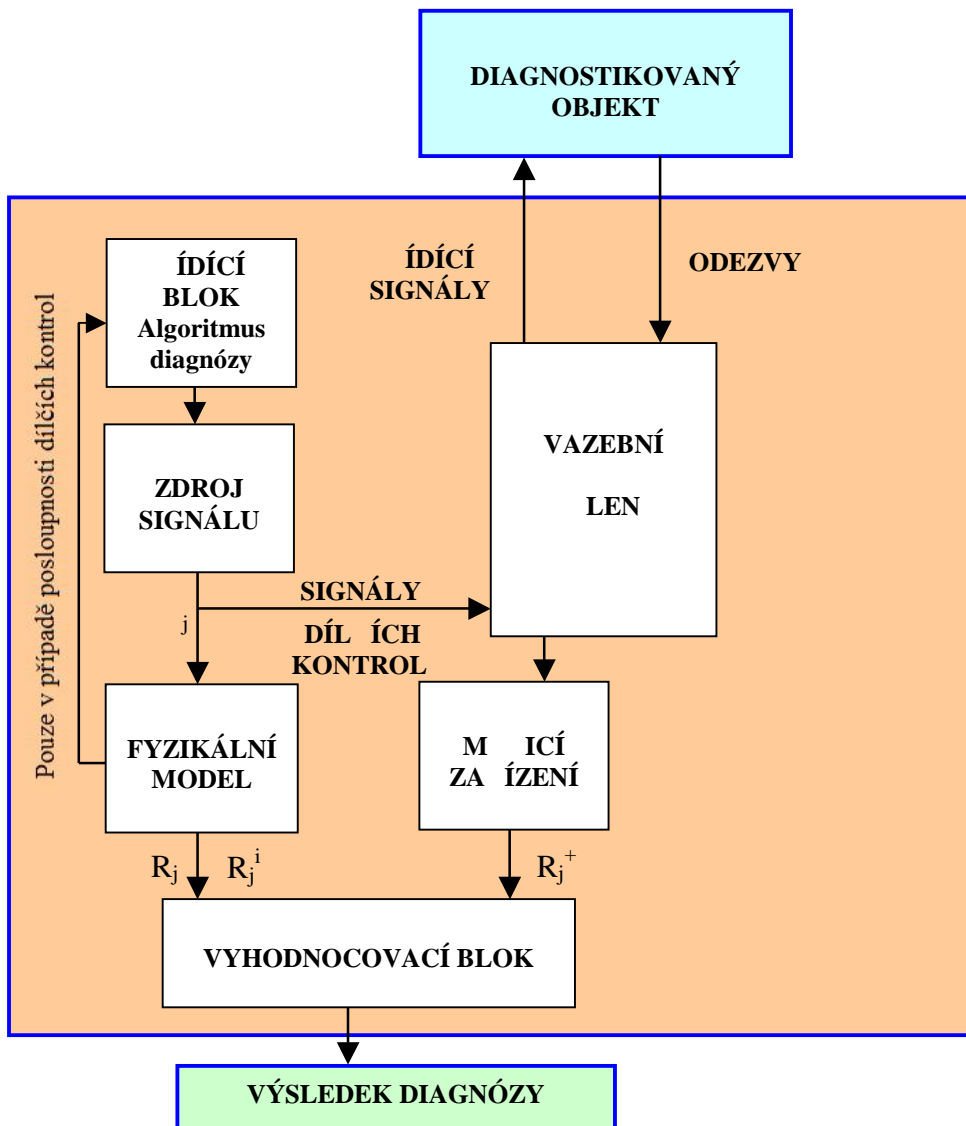
$$\text{Poruchový stav: } R_j^i = (k_j) \quad (1.5)$$

$k_j$  ... díl í kontrola z kontroly  $\mathbf{K} = (k_1, k_2, \dots, k_n)$

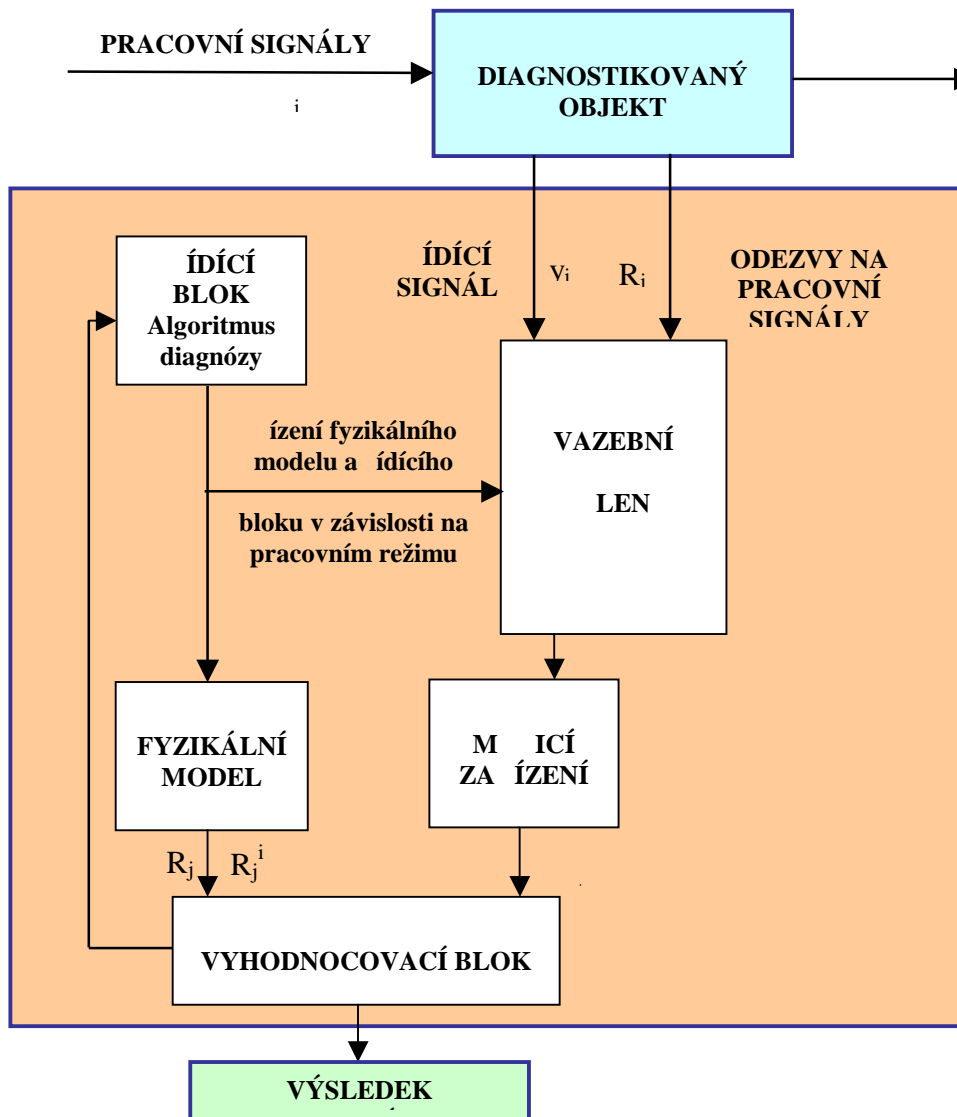
$\{X_j\}$  ... sestava měřicích bod

$j$  ... vliv porušení v kontrole  $k_j$  ... je určený sestavou vstupních proměnných  $U_j$  vase  $t$  spoáte ní hodnotou  $X_p$  a  $\{X_j\}$

Na Obr. 2 je schéma off-line diagnostiky, na Obr. 3 vidíme princip on-line diagnostiky.



Obr. 2 – Schéma testovací (off-line) diagnostiky podle [1]



Obr. 3 – Schéma funkční (on-line) diagnostiky (podle [1])

V případě **off-line** diagnostiky realizuje fyzikální model rovnici (1.4) nebo (1.5) podle toho, zda se jedná o bezporuchový nebo poruchový stav. Signály pro výpočet ve fyzikálním modelu generuje zdroj signálu. Signály dílčích kontrol jsou přes vazební člen zavedeny do diagnostikovaného systému, z něhož odcházejí odezvy přes vazební člen do měřicího zařízení. Vyhodnocovací blok porovnává vypočtené výsledky ve fyzikálním modelu se skutečnými výsledky dílčích kontrol  $R_j^+$ . Z tohoto porovnání vyplývá výsledek diagnózy zařízení.

Diagnóza v **on-line** režimu probíhá za plného provozu zkoumaného zařízení. Chybí zde blok zdroje signálu, protože jsou zpracovávány odezvy přímo na pracovní signály vstupující do diagnostikovaného objektu. Vyhodnocovací blok opět porovnává možné výsledky vystupující z fyzikálního modelu se skutečnými výsledky dílčích kontrol.

### 1.1.4 Prognóza chování objektu

**Prognóza** se zabývá předpovědí vývoje dalšího chování diagnostikovaného objektu v závislosti na znalosti jeho předchozího stavu a vývoje parametrů v čase. Skládá se ze dvou etap:

1. **Sběr údajů** – sleduje se vývoj parametrů objektu, probíhá jejich zpracování a vyhodnocení
2. **Zpracování předpovědi** – volba metody prognózy podle sledovaného trendu

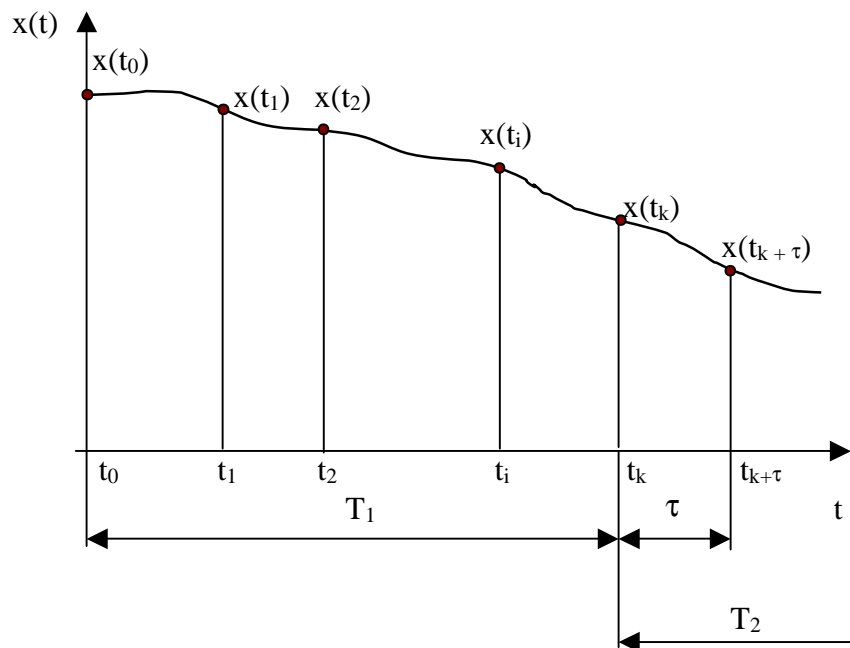
**Důvodem prognózy** je stanovit ze znalosti přítomného stavu objektu v čase dobu, kdy může zásahem (opravou) předjít poruše.

Matematicky může stav soustavy popsat pomocí stavových parametrů všech jejích podsystémů, které odpovídají časovým okamžikům  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Ze znalosti stavu v okamžiku  $t_k$  lze stanovit prognózu stavu v okamžiku  $t_{k+1}$ .

Dále uvažujeme funkci průceschopnosti diagnostikovaného objektu vyjádřenou pomocí jednoho parametru  $x$ . Potom prognóza změny stavu soustavy je dána předpovědí změny funkce:

$$x(t) = f(t) \quad (1.6)$$

Na Obr. 4 je znázorněna funkce podle (1.6).



Obr. 4 – časová závislost sledovaného parametru (podle [1])

Na Obr. 4 vidíme, že sledovaná funkce  $x(t)$  nabývá v intervalu  $T_1$  vasech  $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_i < \dots < t_k$  hodnoty  $x(t_0), x(t_1), \dots, x(t_i), \dots, x(t_k)$ . Z těchto známých hodnot je třeba odpovědět hodnoty  $x(t_{k+1}), x(t_{k+2}), \dots, x(t_{k+j}), \dots, x(t_{k+m})$  proasy  $t_{k+1} < t_{k+2} < \dots < t_{k+j} < \dots < t_{k+m}$  z intervalu  $T_2$ .

Pravděpodobnost, že funkce  $x(t)$  nepřesáhne po nabytí hodnot z intervalu  $T_2$  dovolené hodnoty se vypočítá podle vztahu:

$$P(x) \{ |x(t_{k+m}) - x_{nom}(t)| < DOV \} \quad (1.7)$$

Pravděpodobnost vypočteme jako integrál hustoty pravděpodobnosti:

$$P[ x_{nom} < x(t_{k+m}) < x_{nom} + DOV ] = \int_{x_{nom}}^{x_{nom} + DOV} f[x(t)] dt \quad (1.8)$$

$x(t_{k+m}) \dots$  hodnoty sledovaného parametru v intervalu  $T_2$  v okamžicích  $t_{k+m}$

$x_{nom}(t) \dots$  nominální hodnota parametru

$DOV \dots$  povolená odchylka hodnoty  $x(t)$  v oblasti  $T_2$

Popsaný **statistický způsob prognózy** stav využívá znalosti statistických parametrů stavů a pochodových stavů v **ase**.

Předpokládáme dosažení **kritické hodnoty** sledovaného parametru:

$$t_k + \tau = [x_i^{kr} - x(t_k)] / x_i' \quad (1.9)$$

$x_i^{kr} \dots$  kritická hodnota parametru

$$x_i' = [x_i(t_k) - x_i(t_{k-1})] / (t_k - t_{k-1}) \dots \text{smrnice} \quad (1.10)$$

$$x_i(t_k + \tau) = x_i(t_k) + x_i' \tau \quad (1.11)$$

$\tau \dots$  následný časový interval

## 1.2 Diagnostické signály

### 1.2.1 Základní pojmy

**Diagnostický signál** představuje informaci o chování sledovaného objektu a změny jeho vlastností **bez nutnosti demontáže**. Sleduje se, zda se provozní parametry pohybují v tolerančních mezích.

Druhy signálů pro diagnostiku – způsobů dělení:

- **Stacionární** – stacionární hodnoty jsou vase konstantní a nezávislé na měření
- **Nestacionární** – stacionární hodnoty se mění s časem
- **Deterministické** – určené přesně definovanou funkcí; je známá následující hodnota vase
- **Náhodné** – popisují se statistickými veličinami

Přístupy k diagnostice objektu:

- **Fenomenologický** – sleduje reakce měřeného objektu na přiložený signál; levnější, jednodušší, větší rozptýlení naměřených hodnot
- **Strukturální** – sleduje dělení uvnitř sledovaného objektu; nákladnější, přesnější informace

**Objektivita diagnostiky** znamená, že je třeba zkoumat sledovaný objekt více metodami, které se vybírají tak, aby poskytly úplné a objektivní informace při zohlednění minimálních nákladů.

Diagnostické šetření obsahuje následující kroky:

- výběr sledovaných vlastností
- výběr diagnostických metod
- příprava zkušebních vzorků
- vlastní diagnostika – měření sledovaných vlastností
- vyhodnocení výsledků

### 1.2.2 Měření vlastností izolačního systému

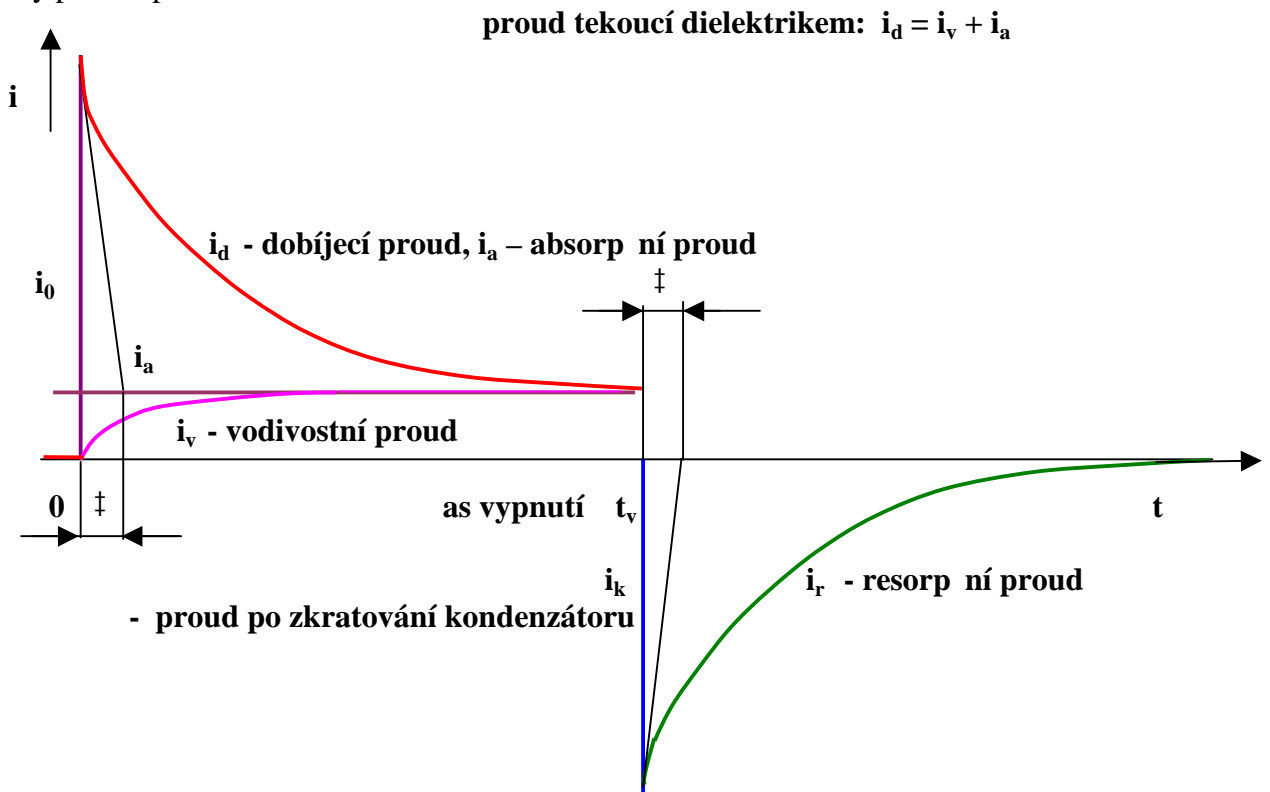
Stav **izolačního systému** podává zásadní informaci o stavu elektrického zařízení. **Životnost a spolehlivost izolačního systému** ovlivňuje podstatným způsobem **životnost a spolehlivost celého zařízení**. Proto se v další části této kapitoly budeme vnovat měření veličin podávajících informaci právě o stavu izolačního systému.

#### 1.2.2.1 Měření absorpčních a resorpčních charakteristik

Důležitým zdrojem informací o stavu parametrů **izolačního systému** jsou **absorpční a resorpční křivky**. Na Obr. 5 je vidět absorpční a resorpční charakteristiku dielektrika.

Z těchto charakteristik lze vyčíst informace o dějích probíhajících v dielektriku po **přiložení stejnosměrného napětí**. Více o dějích v dielektriku lze najít například ve [2]. Údaje, které se měří při sledování absorpčních a resorpčních kivek, jsou především **izolační odpor**  $R_{iz}$ , jenž měříme Ohmovou metodou, tj. jako poměr přivedeného napětí a proudu protékajícího v určitém čase po připojení napětí, a **polarizační index**, který se stanovuje jako poměr absorpčního proudu v určitých časových okamžicích po přiložení napětí na vzorek (více o polarizačních indexech je ve [2]). Dalším zkoumaným parametrem je **resorpční proud** pro metodu **redukovaných resorpčních kivek** (viz [1]). K analýze parametrů absorpčních a resorpčních kivek také používáme analytickou nebo numerickou integraci plochy pod křivkou.

časový průběh proudu



Obr. 5 – Absorpční a resorpční kivky

Další metody měření izolačního odporu, které se používají v diagnostice izolačních systémů elektrických točivých strojů :

- **Poměrná odchylka izolačního proudu od Ohmova zákona** – stanovuje se odchylka průběhu charakteristiky  $I_{izol} = f(U)$  od průběhu odpovídajícímu Ohmovu zákonu
- **Dynamická časová konstanta**  $\tau = R_0 \cdot C/Y$  (1.12)

$R_0 \cdot C$  ... časová konstanta stroje  
 $Y$  ... odchylka od Ohmova zákona

Problémy při provozním měření odporu:

- přístroje musí být schopny měřit malé proudy; odpor je řádu  $10^{12}$  až  $10^{16} \Omega$
- je třeba eliminovat uzemněním a zkratováním vzorků povrchový náboj, který může zkreslit výsledky měření
- při měření prováděných za provozu (profylaktická měření) musí měřicí přístroje obsahovat jistič a ochranná zapojení vestavných zdrojů

Uvedená měření se používají pro stanovení izolačního odporu elektrických točivých strojů a prvků elektrických rozvodných sítí. Změněné (zobrazené) hodnoty jsou:

- izolační odpor
- skutečné měřicí napětí
- svodový proud měřenou izolací
- kapacitní měřicí zatížení
- časová konstanta vybíjení

### 1.2.2.2 Měření ztrátového faktoru a kapacity

Pro měření dielektrických ztrát se v provozních podmínkách používají komplexní jednotky obsahující potencionální zřízení. Zásady pro správné měření **ztrátového faktoru** jsou:

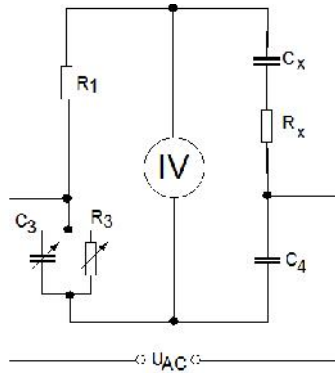
- měříme  $\tan \delta$  a  $V_r$  v závislosti na napětí, teplotě a frekvenci
- nejvýznamnější je závislost na frekvenci, proto podle frekvence volíme měřicí metodu

Metody měření:

- **Schering v mstku** je vidět na Obr. 6, kde jsou uvedené podmínky vyvážení odporové a kapacitní dekády
- **Automatický mstek pro měření dielektrických ztrát** nemusí být zcela vyvážený, protože měří fázový úhel mezi dílčími napětími na nízkonapěťových impedancích. Z fázového úhlu mezi napětími na nízkonapěťových kapacitách se určí ztrátový faktor  $\tan \delta$ . Napětí jsou digitalizována a signály se přenáší optickými kabely do počítače ke zpracování pomocí FFT. Použití odporů a kapacitorů v nízkonapěťové části mstku zesílí měření a umožní eliminaci chyb rozptylovými (příčnými) kapacitami.

**Kapacita** vinutí elektrických strojů je ukazatelem stavu vinutí. Měření kapacity je založeno na faktu, že při změnách vlastností vinutí se liší kapacity pro různé **frekvence** a **teploty**. Například pro měření vlhkosti izolace transformátorů se používají přístroje, které umožní měření transformátoru ponořeného do oleje i bez oleje.





$$C_X = C_4 \frac{R_3}{R_1}$$

$$R_X = R_1 \frac{C_3}{C_4}$$

Obr. 6 – Schering v m steck

### 1.2.2.3 Měření elektrické pevnosti

**Elektrická pevnost** je nejvýznamnější parametr, který se měří při zkoušení elektrických izolací a elektroizolačních materiálů. Na základě hodnoty elektrické pevnosti se navrhuje izolací systém elektrických zařízení.

Rozlišujeme z hlediska elektrické pevnosti:

- **preraz** – výboj zcela přemostí izolaci a napětí klesá k nule. Projevuje se v pevných dielektrikách. Jeho důsledky jsou nevratné, dojde k trvalému poškození izolace.
- **preraz** – vzniká v kapalných a plyných dielektrikách. Po snížení napětí se parametry vrátí do původního stavu a dielektrikum plní dál svoji izolační funkci.

#### Druhy zkoušek elektrické pevnosti

- **Zkouška výdržným stejnosměrným napětím** – postupně se zvyšuje přiložené napětí až na hodnotu zkušební napětí, které se musí udržet po předepsanou dobu. Po dobu přiložení napětí nesmí dojít k prerazu (prerazu).
- **Zkouška prerazným (prerazným) stejnosměrným napětím** – napětí se zvyšuje až do dosažení prerazu nebo prerazu na zkoušeném objektu.
- **Zkouška zaručeného prerazného (prerazného) stejnosměrného napětí** – zvyšuje se přiložené napětí až do prerazu (prerazu). Zjišťuje se, jestli prerazné (prerazné) napětí nepřesáhlo zaručené prerazné (prerazné) napětí při určeném přiložení napětí.
- **Zkouška výdržným střídavým napětím** – používá se zkušební napětí o přibližném kmitočtu (45 až 65 Hz). Postupně se zvyšuje přiložené napětí až na zkušební, které se musí udržet po předepsanou dobu. Po dobu přiložení napětí nesmí dojít k prerazu (prerazu).

- **Zkouška p eskokovým (pr razným) st ídavým nap tí** – p íložené nap tí se zvyšuje až do p eskoku (pr razu).
- **Zkouška zaru eného p eskokového (pr razného) st ídavého nap tí** – postupn se zvyšuje zkušební nap tí do p eskoku (pr razu). Toto nap tí nesmí být pro spln ní zkoušky vyšší než zaru ené p eskokové (pr razné) nap tí.
- **Zkouška atmosférickým impulzním nap tí** – **zkouška výdržným nap tí** – provád jí se ty i typy zkoušek podle druhu izolace – obnovující se a neobnovující se.

#### 1.2.2.4 Detekce áste ných výboj

áste né výboje ovliv ují **životnost dielektrik**, a tedy **izola ních systém** elektrických za ízení zásadním zp sobem. Proto jim i v této práci v nujeme zvýšenou pozornost. Druhým d vodem je, že sledování výbojové innosti, konkrétn obrazového záznamu simulovaného výboje na vysokém nap tí, je aplikací, jejíž ešení je cílem daného výzkumu.

**áste ný výboj** je elektrický výboj, který p emos uje izolaci mezi místy s r zným potenciálem, a to pouze **áste n**. Vzniká obvykle koncentrací elektrického namáhání v ur ítém míst í izolace. Tyto výboje jsou velmi krátké (mén ež  $1\mu\text{s}$ ). P ítom podstatn ovliv ují spolehlivost a životnost elektrických za ízení – jejich izola ních systém , na které p sobí elektrickými, chemickými, erozivními a tepelnými vlivy.

Podle místa výskytu se rozlišují áste né výboje:

- **vn jší** – výboje v plynech v okolí elektrod malých polom r nebo velkých zak ívení (doutnavý, korónový výboj)
- **vnit ní** – výboje v plynech obklopených kapalným nebo pevným dielektrikem (dutinky)
- **povrchové** – v okolí elektrod na rozhraní kapalného a pevného dielektrika (vinutí drážek to ívých stroj , pr chodky)

Podle umíst ní na k ívce napájecího nap tí – fázový úhel áste ného výboje – se rozlišuje patnáct druh áste ných výboj , které jsou za azené do skupin A až O, a liší se výskytem v r zných materiálech a konstrukcích izolace. Speciálním p ípadem je **rušení**, což nejsou vlastní výboje, ale jsou to vn jší vlivy, na které reaguje m ící obvod. Pat í sem nap íklad vyšší harmonické generované magnetickým nasycením jader transformátor .

**Veli iny sledované u áste ných výboj** se rozlišují na:

- **Veli iny vztažené k jednotlivým impulz m**
- **zdánlivý náboj impulzu áste ného výboje** je takový náboj, p í jehož mžikovém p ívedení na svorky zkoušeného objektu se krátkodob zm ní nap tí mezi elektrodami na hodnotu, na jakou by se zm nilo p í áste ném výboji
- **etnost impulz** je st ední hodnota po tu proudových impulz vyvolaných výbojovou inností za ur ítý asový interval

- **Veli iny integrované** jsou odvozené od základních veličin v sumárních charakteristikách za určitý časový interval. Náleží mezi ně:
  - **střední proud** – součet absolutních hodnot zdánlivých nábojů za určitý časový interval dělený délkou tohoto intervalu
  - **součinný náboj** – součet hodnot zdánlivých nábojů za určitý časový interval
  - **střední kvadratický součet** – součet druhých mocnin zdánlivých nábojů za určitý časový interval dělený délkou daného intervalu
  - **výkon** – střední hodnota výkonu impulzních výbojů provedeného mezi svorky zkoušeného objektu po dobu výbojové činnosti
- **Napětí vztahovaná k číselným výbojům**
  - **zkoušební napětí** – takové napětí, během něhož by nemohl testovaný objekt vykazovat výboje překračující předepsanou hodnotu
  - **zapalovací napětí** – nejnižší hodnota testovacího napětí, při níž dojde k zachycení stabilních výbojů za předpokladu, že je testovací napětí plynule zvyšované z poměrně nízké hodnoty do okamžiku existence výboje
  - **zhasací napětí** – napětí, při němž už nejde použitým obvodem zjistit stabilní výbojovou činnost za předpokladu, že je testovací napětí plynule snižované do okamžiku, kdy již výboje nelze detekovat (když ustávají výboje překračující určitou předepsanou hodnotu)

## **Působení vnitřních výbojů na materiály**

Na nehomogenitách uvnitř dielektrika se hromadí kladné a záporné ionty, které vytvářejí vnitřní elektrické pole. Podle velikosti nahromaděného náboje na stěně dutinky se zapalují a zhasí výboje. Vznik těchto vnitřních výbojů byl popsán modely, které modelují působení napětí v dutince dielektrika.

Podrobný popis těchto modelů přesahuje rozsah této práce. Lze je najít v [1].

Výboje působí chemickými a fyzikálními vlivy na izolanty, které mají za následek zhoršení elektrických vlastností materiálu. Tyto děje vznikají především na nehomogenitách v dielektriku. Jedná se o dva základní mechanismy:

- bombardování stěny dutiny nabitými částicemi
- chemické reakce vlivem vlhkosti

Vlivem výbojů zůstávají v dielektriku pevné produkty, které způsobují další nehomogenity na stěně. Chemické účinky vlhkosti vytvářejí vodivé cesty, které snižují izolační účinky dielektrika. Citlivější na účinky výbojů jsou organické materiály na bázi polyethylenu, anorganické, například slída, porcelán apod. jsou odolnější při delším působení výbojů. Bombardování stěny dutiny způsobuje erozi materiálu, která vede ke zvětšování dutiny a postupně až k prasknutí dielektrika. Při vzniku **oblouku** v dielektriku se za ním vytvoří vodivá cesta, která může způsobit elektrický prasknutí a postup oblouku dielektrikem. **Tepelné účinky** mohou způsobit tepelné prasknutí.

Šíření vodivé cesty dielektrikem vlivem výbojů je modelováno pomocí **elektrického stromku**. Vynáší se do grafu závislost odporu a vztah stromku na čas. Stromek je obvykle modelován hrotem jehly a uzemněné elektrody zalité v epoxidové pryskyřici.

Rozlišují se tři fáze růstu stroměku:

- **1. fáze** – po úteku růstu stroměku, který lze detekovat pouze velmi citlivou technikou
- **2. fáze** – vytvoření první větve stroměku, z níž rostou další větve směrem k uzemněné elektrodě. Fáze končí, když stroměk dosáhne uzemněné elektrody. Tyto větve jsou zpravidla slabým nábojem a nevedou k poruše.
- **3. fáze** – stroměk se vrtí a rozšiřují se vodivé kanálky na větší šířku než je 10 $\mu$ m. Tato fáze vede k poruše dielektrika.

## Metody detekce ústečných výbojů

**Elektrické metody detekce** jsou založené na měření proudových impulzů vzniklých při ústečném výboji. Dělí se na **příčné** a **nepříčné**.

- **Příčné elektrické metody**
  - **globální galvanická metoda** – měření pomocí měřicí impedance (RLC) – na svorkách měřicí impedance se objeví napěťová odezva vyvolaná vyrovnávacím proudem, který je způsobený výbojem v dutince
- **Nepříčné elektrické metody**
  - **metoda induktivně vázané sondy** – zjišťuje se elektromagnetické pole, které doprovází ústečný výboj. Cívka sondy představuje sekundární transformátoru, v němž se indukují proudy, protékající vinutím, na němž je umístěna sonda. (Vinutí je primárem tohoto transformátoru.)
  - **metoda diferenciální elektromagnetické sondy** – na koncích testované tyče satorového vinutí jsou umístěny sériově spojené induktivní snímače. Podle toho, jestli se jedná o rušení nebo dobíjecí impulz se proudy sondami buď vyruší nebo se součtují.
  - **kapacitní drážková sonda** – sonda je vložena do drážek vinutí statoru již při výrobě. Detekuje vysokofrekvenční elektromagnetické impulzy způsobené ústečnými výboji v drážkách elektrického stroje. Používá se přímo za provozu stroje.
  - **koaxiální kapacitní snímač** – pro měření kabelových koncovek a v zapouzdřených rozvodnách. V době měření se musí přerušit silový obvod.
  - **LEMKE sonda** – kapacitní nebo induktivní sonda zapojená na vstup diferenciálního zesilovače. Dochází k širokopásmovému zesílení impulzů ústečných výbojů. Výstup je zobrazen na osciloskopu.
  - **induktivní snímač** – umístěn v bodu pracovního uzemnění měřicího obvodu. Chrání obvody před porušením při poruše izolace. Používají se dva typy: **toroidní** a **lineární**. Ve středu toroidního snímače je umístěn vodič zemního spojení, který představuje primár; sekundár vytváří vodič navinutý na toroidní cívkou s jádrem z magneticky měkkého materiálu. Lineární toroid se umísťuje do elektromagnetického pole vyzařovaného signálu ve směru intenzity magnetického pole a magnetické indukce.

## Neelektrické měřicí metody

- **akustická detekce** vychází z toho, že každý elektrický výboj je provázen akustickým efektem způsobeným šířením zvukových vln. Pro detekci akustických projevů výboje se používají mikrofony nebo rezonátory. Při měření zvukových emisí lze postupovat dvěma způsoby [1]; hledání místa s nejsilnějším signálem (pomocí jediné sondy) nebo rozmístění více sond v kombinaci se zpracováním výsledků naměřených dat pomocí SW (např. on-line měření ústředních výbojů v transformátorech [1]).
- **optická detekce** se provádí buď nepřímým pozorováním nebo pořízením obrazového záznamu (ve viditelném spektru) nebo pomocí speciálních metod pro záznam výboje v ultrafialovém a infračerveném spektru (speciální kamery se selektivními filtry, termovizní kamery) [1].
- **chemická detekce** využívá toho, že výboj provází chemické reakce, jejichž produkty je možné detekovat v kapalinovém nebo plyném médiu, jako jsou olejové náplně transformátorů. Z diagnostických metod se používá plynová chromatografie a detekce ozónu v chladicím médiu.
- **detekce obsahu plynů** – v izolacích systémů transformátorů se zjišťuje přítomnost vodíku, metanu, ethylenu, acetyleny a propylenu. Podle druhu plynu lze stanovit typ ústředního výboje.
- **detekce ozónu v chladicím vzduchu** se provádí pomocí indikačního roztoku (kolorimetrická metoda), jodidu draselného (elektrochemická metoda) a pomocí ultrafialového absorpčního analyzátoru (fotometrická metoda).

### 1.3 Strukturální metody v diagnostice elektrických zařízení

V kapitole 1.1.1 bylo provedeno rozdělení metod diagnostiky z hlediska přístupu ke zkoumanému zařízení. **Strukturální metody** jsou náročnější na použité přístroje i znalosti personálu, (a tím nákladnější), nicméně tyto nevýhody jsou kompenzovány možností získat cenné poznatky o průběhu vlivu provozních podmínek na vnitřní strukturu zařízení, což umožňuje vybírat optimální materiály zajišťující dlouhou životnost a spolehlivost strojů a dalších elektrotechnických celků.

Kapitola 1.2.2 byla věnována měření parametrů izolacích systémů jako zásadní části elektrického zařízení z hlediska jeho životnosti a spolehlivosti. Na tomto místě se budeme v nově dostupném měření sledovat vlivy, které mají degradaci úinky **stárnutí** na elektrické zařízení a jeho izolacích systémů.

Elektrotechnické zařízení je při svém provozu vystaveno vlivům prostředí jako je teplota, vlhkost vzduchu, přítomnost záření a chemických činidel, které způsobují nevratné chemické reakce v makromolekulárních látkách, označované jako **stárnutí materiálu**. Dalším nepříznivým vlivem působícím na elektrické zařízení je provozní namáhání, které lze rozdělit do třech hlavních skupin: na **elektrické**, **mechanické** a **tepelné**. **Elektrické namáhání** je charakterizováno velikostí intenzity elektrického pole, sleduje se **kritická intenzita**, při níž dojde k prasknutí pevného izolantu nebo k přeskoku v kapalině nebo plynu. **Mechanické namáhání** reprezentují v elektrotechnice vibrace a rázové úinky zkratového proudu. **Tepelné namáhání** může být způsobeno vlastním provozem – vznik dielektrických ztrát nebo působením teploty okolí. Uvedené vlivy způsobují procesy v izolacích materiálech, jež se podle typu reakce nazývají:

- **pomalé oxidační** – vznikající chemické reakce vytvářejí kyselé skupiny v izolantech, jejichž produkty způsobují zvýšení vodivosti a ztrátového faktoru, což způsobuje snížení mechanické pevnosti materiálu
- **okyselení a tvrdnutí** – vázání kyslíku v polymeru způsobuje snížení pevnosti v tahu a ohybu
- **depolymerace** – rozpad makromolekul
- **elektrolytické reakce**

a další.

Dále je uveden stručný pohled strukturálních metod používaných v elektrotechnické diagnostice a jejich rozdělení podle měřené fyzikální veličiny. Podrobný popis metod, jejich použití, konstrukční uspořádání a průběh zkoušek lze najít v mnohé literatuře, například [1]. Strukturální metody dělíme na:

- metody založené na **měření hmotnosti**
  - **termogravimetrie (TG – Thermogravimetry)** – měří se hmotnost látky jako funkce teploty
  - **chromatografie** – diagnostické techniky založené na separaci látek mezi dvěma fázemi
    - **plynová chromatografie**
    - **gelová permeační chromatografie**
- metody založené na **měření energie**
  - **diferenční termická analýza (DTA – Differential Thermal Analysis)** – měření rozdílu teploty mezi zkoumanou látkou a teplotním standardem
  - **diferenční skenovací kalorimetrie (DSC – Differential Scanning Calorimetry)** – měří se rozdíl mezi energií vstupující do zkoumané látky a teplotně inertního standardu jako funkce teploty
- metody založené na **měření mechanických vlastností**
  - **termomechanická analýza (TMA – Thermomechanical Analysis)** – měří se deformace vzorku jako funkce teploty
  - **dynamická mechanická analýza (DMA – Dynamic Mechanical Analysis)** – zkoumá se viskoelastické chování materiálu zatíženého oscilující sondou jako funkce teploty
- metody založené na **jiných principech**
  - **infračervená spektroskopie (IR – Infrared Spectroscopy)** – měří spektrum látek, zjišťuje se struktura a složení
  - **rentgenová fluorescenční spektroskopie (XRF)** je základem řady metod zkoumajících složení látek na základě měření spektra. Patří mezi ně například:
    - **elektronová mikroanalýza**
    - **metoda PIXE (Proton Induced X-Ray Emission)**
    - **rentgenová absorpční spektroskopie**
    - **rentgenová difrakce**
  - **metody pro on-line diagnostiku**, například měření **koncentrace ozónu a peroxidů v chladícím vzduchu**

## 1.4 Možnosti diagnostiky elektrických stroj

Elektrické stroje nepředstavují jen gigantická zařízení na výrobu gigawatt elektřiny, ale v různých podobách jsou všude kolem nás. Nacházíme je ve výrobních provozech, v logistice, v dopravě, v opravárnách, v kancelářích, v domácnostech, a dokonce i v zábavních podnicích. Jako je velký rozsah využití a výkon elektrických strojů, tak je i jejich diagnostika velmi obsáhlá v dnešní disciplíně.

Kapitola v nově vydané diagnostice elektrických strojů proto obsahuje jen velmi stručný výčet metod používaných v diagnostice transformátorů a elektrických točivých strojů. Podrobný popis praktických zkoušek s příslušnou teorií najdeme například v [1].

### 1.4.1 Zkoušení transformátor

Transformátory patří mezi základní prvky elektrické přenosové a distribuční soustavy. Jsou to spolehlivé stroje s vysokou účinností. Na transformátorech se provádějí všechny druhy zkoušek z hlediska provozu, tj. on-line a off-line diagnostika, zkoušky výrobní a provozní, vstupní kontrola a mezioperační zkoušky (typové, kusové, zvláštní). Během životnosti stroje dochází ke stárnutí materiálu, opotřebení vlivem provozu a provozních podmínek. U transformátorů je nejvyšší pozornost věnována **izolaci vinutí**. Z dalších částí to je **vinutí, proužky a přepínače**.

Na transformátorech se provádí následující měření a kontroly:

- měření izolačního odporu
- měření odporu vinutí za studena stejnosměrným proudem
- měření proudů napětí naprázdno na všech odbočkách
- kontrola natočení fází
- zkouška přiloženým napětím z cizího zdroje
- zkouška indukovaným napětím
- měření ztrát naprázdno a proudu naprázdno
- měření charakteristiky naprázdno
- měření ztrát nakrátko a napětí nakrátko
- oteplovací zkouška
- zkouška elektrické pevnosti izolace atmosférickým impulzem
- měření ztrátového činitele a kapacity vinutí
- zkratová zkouška
- měření nulové složky reaktance
- měření hluku
- zkouška přepínače a odboček
- zkouška elektrické pevnosti izolace spínacími impulzy
- měření ústečných výbojů
- měření ochrany rádiového příjmu před rušením
- zkoušky pro transformátory s olejovou náplní
  - \* zkouška průrazného napětí oleje
  - \* měření obsahu vody v oleji transformátor se jmenovitým napětím 110kV a vyšším
  - \* měření  $t_{gU}$ ,  $R_0$  a  $V_r$  transformátor se jmenovitým výkonem 110kV a vyšším

### 1.4.2 Diagnostika malých a středních točivých strojů

Malé a střední stroje s výkony v řádu stovek kilowatt, nejvýše do 1MW (trakční motory) představují 90% elektrických točivých strojů [1]. Z hlediska etapy výroby a provozu stroje se provádí následující zkoušky:

- vstupní kontrola materiálu
- mezioperační výrobní kontroly
- typové zkoušky a kusové zkoušky kompletních strojů
- výstupní kontrola
- výchozí revize při uvádění stroje do provozu
- periodické kontroly
- on-line diagnostika
- zkoušky při provozních potížích, poruše a havárii
- zkoušky po opravě

Jednotlivé typy výše jmenovaných zkoušek z hlediska zkoušené části stroje, měřené funkce a veličiny se dále dle následovně (jedná se o základní pohled; popis provedení zkoušek a schémata diagnostiky synchronního, asynchronního a stejnosměrného stroje lze najít v [1]).

- Mezioperační zkoušky **mechanické** – kontrola správné konstrukce, rozměrů a kompletnosti stroje
- Mezioperační zkoušky **elektrické** se provádí na:
  - sbírném ústrojí – zkouška při položeném napětím
  - statoru – zkoušky závitů, závitové izolace, měření  $\text{tg } \delta$
  - komutátoru – zkouška při položeném napětím mezi lamelami
  - rotoru – zkoušky závitů a závitové izolace

Kusové zkoušky jsou zkoušky každého vyrobeného stroje. Kusovým zkouškám jsou podrobeny konstrukční prvky:

- vinutí
- sbírací ústrojí, kartáče
- komutátor
- ložiska

Dále se provádí zkoušky, měření a kontroly:

- kompletnosti
- chodu stroje
- záběhu ložisek a kartáčů
- izolačního odporu
- teploty stroje
- oteplovací zkouška
- nastavení otáček zóny
- provedení otáčkových charakteristik
- komutační zkoušky
- zkoušky závitů
- zkoušky zvýšenými otáčkami
- zkoušky obvodového házení
- měření izolačního odporu



Detailní pohled zkoušek a jejich provedení je uveden v [1].

**Profylaktické zkoušky** se provádí na specializovaných pracovištích, kam se stroje převážejí. Profylaktické zkoušky se obvykle provádí před a po opravách strojů a patří mezi ně:

- čistění stroje
- prohlídka a kontrola mechanických částí
- elektrické zkoušky – stídatvé a stejnosměrné
- rázová zkouška
- kontrola chodu stroje
- kontrola ohmických odporů tepelných senzorů
- teplotní stárnutí
- odhalení chemických změn

#### Speciální zkoušky

- vodní test
- vibrodiagnostika
- zkoušky strojů namáhaných pulzním napětím

### 1.4.3 Diagnostika velkých točivých strojů

Diagnostika velkých točivých strojů (obvykle zařízení na výrobu elektrické energie – alternátory) je specifická v tom, že nelze stroj převážet do laboratoře, ale musí ke stroji přijíždět speciální mobilní měřicí pracoviště. Dále je uveden stručný pohled základních typů zkoušek. Podrobný výčet prováděných zkoušek a detailní popis jejich provedení lze najít v literatuře, například [1].

- **Profylaktické** zkoušky zahrnují velkou a malou diagnostiku a doplňková měření
- **Měření v režimu off-line** zahrnuje diagnostiku a kontroly veličin:
  - vizuální kontrola statorového vinutí
  - izolační odpor statorového vinutí
  - izolační odpor rotorového vinutí
  - napávací závislost izolačního odporu na stejnosměrném napětí
  - ztrátový koeficient  $\tan \delta$ , kapacita a časová konstanta statorového vinutí
  - ústečné výboje statorového vinutí – měření galvanickou metodou, akustickou sondou, diferenciální elektromagnetickou sondou, induktivně vázanou sondou
  - zkouška statorového vinutí stídatvým napětím 50 Hz
  - zkouška rotorového vinutí stídatvým napětím 50 Hz
  - zkouška statorového vinutí stejnosměrným napětím
  - zkouška statorového vinutí napětím velmi nízkého kmitočtu
  - zkouška závitové izolace statorového vinutí proudovými impulzy
  - zkouška závitové izolace rotorového vinutí s vyniklými póly
- **Strukturální analýza** – viz kapitola 1.3
- **Měření v režimu on-line**
  - detekce ozónu fotometrickou a kolorimetrickou metodou
  - detekce přímé síly v chladícím vodíku turboalternátoru
  - frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole
  - analýza rozbohového proudu
  - měření hluku

- on-line monitoring ústředních výboj
- vibrace el vinutí
- sledování vzduchové mezery
- tribodiagnostika

## 2. Statistické metody pro zpracování technických dat

Při technických měřeních nezískáme skutečnou hodnotu měřené veličiny, protože každé měření je zatíženo chybou. Původ vzniku chyb je v měřicích přístrojích, metod měření, lidském faktoru. Z uvedeného důvodu je výsledek měření **náhodná veličina**. Veličiny náhodné povahy můžeme zpracovat metodami **statistické analýzy**. V této kapitole uvedeme stručný přehled metod statistické analýzy, které se používají při zpracování dat z technických měření.

### 2.1 Průzkumová analýza jednorozměrných dat

V prvním přiblížení můžeme rozlišit naměřená data na **jednorozměrná** a **vícerozměrná**. Před vlastním statistickým zpracováním obou skupin dat se provádí **průzkumová analýza**, která představuje předzpracování naměřených dat sloužící k výběru vhodné metody. Podstata statistického zpracování hodnot spočívá v **nalezení zákonitostí chování souboru dat na základě chování výběru**. Proto je nalezení reprezentativního vzorku dat zcela zásadní pro správnou interpretaci výsledků. Při zpracování **jednorozměrných** dat, kdy není dobře známé rozdělení souboru, který má být **konečný** nebo **nekonečný**, se vybírá **jeden znak**. Uvažuje se **náhodný charakter** naměřených dat. Metody statistické analýzy dávají správné výsledky pouze v případě, kdy jsou splněny určité předpoklady. V případě jejich nesplnění nelze použít dále popsané metody statistické analýzy dat a řešení je mnohem složitější [4].

Základní vlastnosti, které musí splňovat náhodná veličina při použití klasických metod statistické analýzy:

- Jednotlivé prvky výběru jsou **vzájemně nezávislé**
- Výběr je **homogenní** – všechny prvky pocházejí ze stejného rozdělení pravděpodobnosti s konstantním rozptylem
- Výběr splňuje **normální rozdělení pravděpodobnosti**
- Všechny prvky souboru mají **stejnou pravděpodobnost** zařazení do výběru

Při průzkumové analýze je cílem odhalení zvláštností statistického chování a nalezení vybočujících prvků ze souboru dat. Používají se zejména především grafické metody, které jsou založené na **poádkové statistice**, což jsou vzestupně seřazené prvky výběru:  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ . V literatuře [4] je popsána konstrukce a použití celkem dvaceti grafů používaných v průzkumové analýze.

V případě, že se během průzkumové analýzy zjistí velké odlišnosti naměřených dat od normálního rozdělení, provádí se **transformace dat** pomocí technik:

- stabilizace rozptylu – hledání transformace s konstantním rozptylem
- zesymetření rozdělení výběru
- normalizace – přiblížení k normálnímu rozdělení

Po aplikaci metod statistické analýzy na transformovaná data je třeba provést **zpětnou transformaci**, protože je třeba zjistit statistické charakteristiky pro původní proměnné.

## 2.2 Statistická analýza jednorozměrných dat

Při zpracování se rozlišuje **velikost souboru** naměřených dat. Rozdíl spočívá v tom, že soubory v širším rozsahu dat se nejdrůve rozdělují do **tříd**, které se podrobují dále vlastní statistické analýze. Předzpracovaná data pomocí průzkumové analýzy a případně roztrídění jsou dále vyhodnocena některou z následujících metod. Matematické odvození, konstrukce a použití metod přesahuje rozsah této práce, a lze ho najít v literatuře, například [4] nebo [5].

Metody statistické analýzy jednorozměrných dat:

- **Bodové odhady** parametrů polohy, rozptýlení a tvaru. Patří mezi ně metody nejmenších čtverců, momentů, maximální věrohodnosti. Nevýhodou bodových odhadů je, že mají pouze lokální význam a ze statistického hlediska nevypovídají o rozložení parametru v intervalu.
- **Intervalové odhady** parametrů polohy a rozptýlení odstraňují nevýhodu bodových odhadů, protože hledají interval, ve kterém se nachází skutečná hodnota parametru se zadanou pravděpodobností.

Literatura [4] a [5] dále uvádí příklady bodových a intervalových odhadů pro různé typy rozdělění spojité a diskrétní náhodné veličiny, protože předpoklad normálního rozdělění náhodné veličiny není vždy splněn.

## 2.3 Statistická analýza vícerozměrných dat

Zpracování digitalizovaného obrazu představuje v praxi zpracování dvourozměrných nebo třírozměrných dat. Předvodní surová obrazová data tvoří matici, jejíž každý prvek je vektor hodnot barev [R, G, B]. Po převedení do šedotónové nebo binární podoby (viz kap. 3.1) se jedná o matici čísel vyjadřujících hodnotu jasů. Pro zpracování obrazových dat lze proto využít metody statistické analýzy vícerozměrných dat, které pracují s daty ve tvaru matice ( $m \times n$ ). Metodami zpracování obrazových dat se zabývá kapitola 3. Přehled uvedený v této kapitole slouží k informaci o existenci metod používaných ve statistické analýze vícerozměrných dat a o jejich základních vlastnostech. Všechny popsané metody jsou založené na náročné matematické aparátě, který nelze v práci tohoto rozsahu uvádět. Některé výpočetní vztahy jsou uvedeny v kapitole 3, v rámci metod pro zpracování obrazu. Zde je také popsána metoda shlukové analýzy, jež byla využita při zpracování obrazového záznamu vysokonapětových záblesků, a některé funkce softwaru MATLAB, které byly využity při zpracování dat. Detailní popis vyjmenovaných metod, jejich matematické vyjádření a příklady z praxe lze najít v literatuře, například [4] a [5].

Stejně jako u jednorozměrných dat se provádí předzpracování metodami **průzkumové analýzy**, kdy je cílem zjistit vybojující hodnoty, nehomogenity, odchylky od normality (normálního rozdělění). Používané techniky jsou *zobecněné rozptylové diagramy* a *symbolové grafy*.

Metody statistické analýzy vícerozměrných dat lze rozdělit podle vyšetřované vlastnosti souboru zkoumaných dat, (přehled – detaily a matematický popis je uveden v [4]), na následující techniky:

- **Určení struktury ve znacích a objektech**
  - **Analýza hlavních komponent (PCA)** – hlavní komponenty jsou nové proměnné, které se získají lineární kombinací původních proměnných. Jsou seřazeny podle rozptylu (míra variability dat). První hlavní komponenta popisuje největší část rozptylu původních dat, druhá hlavní komponenta největší část rozptylu, který není obsažen v první hlavní komponentě. Jinak řečeno první hlavní komponenta má ze všech ostatních největší rozptyl. Metoda se používá pro snížení počtu sledovaných znaků. Výhodou hlavních komponent je jejich nekorelovanost (neobsahují vzájemné vnitřní vazby). Používá se také v průzkumné analýze dat ke snížení rozměrnosti dat a sledování pouze nejdůležitějších vlastností.
  - **Faktorová analýza (FA)** se zabývá hledáním vnitřních vazeb (korelací) mezi daty. Faktory jsou nové (skryté) proměnné, kterými lze vysvětlit další znaky, čímž dojde ke snížení celkového počtu sledovaných znaků.
  - **Kanonická korelační analýza (CCA)** – hledají se lineární kombinace znaků s největší korelací. Používá se také ke snižování dimenze dat.
- **Klasifikace objektů**
  - **Diskriminační analýza (DA)** – porovnáním znaků se objekty zařazují do skupin, jež jsou charakterizovány jednotlivými znaky, tzv. diskriminátory. Podle toho, v jakých parametrech se liší (normální) rozdíl mezi skupinami se dále rozlišuje **lineární** a **kvadratická** diskriminační analýza (LDA a QDA). Vlastností DA je, že každý objekt je přiřazen do některé třídy. Cílem je rozdíl mezi všemi objekty do třídy.
  - **Logistická regrese (LR)** se používá k určení pravděpodobnosti výskytu určitého jevu na základě tzv. vysvětlujících proměnných. Dále se rozlišuje:
    - ❖ Binární logistická regrese – závisle proměnná nabývá pouze dvou hodnot
    - ❖ Ordinální logistická regrese – závisle proměnná nabývá nejméně tří hodnot
    - ❖ Nominální logistická regrese – závisle proměnná nabývá více než tří úrovních stavů
  - **Shluková analýza (CLU)** – viz kapitola 3.2.2
  - **Mapování objektů vícerozměrným škálováním (MDS)** – vytváří se mapa objektů (rovinný graf) na základě subjektivního nebo objektivního hodnocení těchto objektů. Mapa se konstruuje na základě matice blízkosti (proximity matrix), kde vzdálenost mezi objekty představuje jejich podobnost. Přitom je třeba vzít v úvahu, že subjektivní znaky (pozorované chování) nemusí souhlasit s objektivními znaky (měřitelné údaje).
  - **Korespondenční analýza (CA)** je grafické znázornění vnitřních závislostí v tabulce četností (tzv. kontingenční tabulka). Výhodou je přímé znázornění sledovaného jevu (bez nutnosti číselného vyjádření) a možnost zobrazení vztahů nejen mezi závisle a nezávisle proměnnou (řádky a sloupce), ale také vztahu mezi kategoriemi (řádky nebo sloupce).

- **Analýza rozptylu (ANOVA)** – metoda, která se používá pro posouzení významnosti zdrojů rozdílnosti dat. Testují se hypotézy o významnosti jednotlivých zdrojů variability.
  - Jednofaktorová – testují podle jednoho faktoru
    - ❖ Modely s pevnými efekty
    - ❖ Modely s náhodnými efekty
  - Dvoufaktorová – experimenty na dvou úrovních podle dvou faktorů
    - ❖ Modely s pevnými efekty
    - ❖ Modely se smíšenými efekty
    - ❖ Modely s náhodnými efekty
- **Lineární regresní modely** – výstupem je závislost výstupní veličiny na kombinaci nastavených hodnot vstupní veličiny. Používá se metoda nejmenších čtverců pro stanovení základních statistických charakteristik a Student v t-test pro zjištění významnosti jednotlivých parametrů.
- **Korelace** pracuje s daty, která tvoří náhodný výběr z rozdělení náhodného vektoru, přičemž se předem nerozlišují vstupní a výstupní proměnné. Všechny náhodné složky jsou naměřené a nelze je v průběhu měření ovlivnit. Korelace znamená nalezení vztahu mezi složkami vstupního náhodného vektoru získaného z naměřených dat.
- **Nelineární regresní modely** – metoda spoívá v nalezení modelu na základě vstupních hodnot. Výsledkem je kalibrace modelu, ověření teoretického modelu nebo empirický model.
- **Interpolace a aproximace** je založena na náhradě dané funkce jinou funkcí, která je lineární kombinací elementárních funkcí. Interpolace je speciální případ aproximace, kdy musí aproximující i aproximovaná funkce splňovat určité matematické podmínky. V praxi se interpolace využívá pro náhradu složitějších funkcí, numerickou derivaci a integraci, kreslení grafů a zespojití tabelárních hodnot.

### 3. Metody detekce vysokonapřevých záblesk v obrazovém záznamu

Tato část textu je věnována informacím o zpracování digitalizovaného obrazu, a to na základní úrovni (předzpracování obrazu) i na pokročilé úrovni (rozpoznávání obrazu). Dále budou představeny techniky, které byly využity v případě detekce poškození záblesku při simulovaném vysokonapřevém výboji.

#### 3.1 Zpracování digitálního obrazového záznamu

Zpracování digitalizovaného obrazu je poměrně nový v dnešním oboru, který se stále rozvíjí spolu se zdokonalováním digitálních přístrojů pro digitalizování obrazového záznamu, tj. digitálních fotoaparátů a videokamer. Metody zpracování digitalizovaného obrazu se v zásadě rozdělují na dvě hlavní skupiny: *low-level processing* a *high-level processing*. První skupina představuje **předzpracování obrazu**. Tyto metody zahrnují barevné, geometrické a prostorové transformace, filtry pro odstranění šumu, hranové detektory, ostření. Druhá skupina metod, která se také označuje jako *computer vision* (počítačové vidění) představuje techniky, které se snaží napodobit kognitivní procesy probíhající v mozku. Prakticky se jedná o **rozpoznávání obrazu**. Patří sem detekce objektů v obraze, rozpoznávání obrazu na základě učení (učící se systémy a klasifikátory), rekonstrukce 3D scény z 2D obrazu a další techniky využívající aparaturu podobnosti a matematické statistiky. Tyto úlohy patří do oblasti kybernetiky a umělé inteligence. Podrobnější informace o problematice analýzy obrazu, včetně příkladů lze najít v literatuře [23], [24].

##### 3.1.1 Předzpracování obrazu

Tato kapitola uvádí stručný pohled základních technik předzpracování obrazu. Podrobnější informace jsou uvedené zpracovány v předcházejících pracích [14], [15], [17].

Předzpracování obrazu reprezentuje zpracování obrazových dat na nejnižší úrovni abstrakce. Obrazová data jsou často poškozena vlivem nedokonalostí techniky a působením okolních podmínek (osvětlení) při digitalizování záznamu, ztrátou informací při kompresi dat, vnesením nežádoucích vedlejších informací (šum). Cílem těchto technik je zlepšení obrazu odstraněním jmenovaných nedokonalostí. Upravený obrazový záznam se použije při dalším procesu zpracování na vyšší úrovni. Techniky předzpracování obrazu se obvykle rozdělují podle velikosti okolí obrazového bodu, s nímž se pracuje.

**Bodové jasové transformace** lze rozdělit do dvou skupin: *jasové korekce*, které mění jas pixelu v závislosti na jeho pozici v obraze a *šedotónové transformace*, které na poloze bodu v obraze nezávisí. Podstata transformace spoívá v převedení bodu do nové jasové škály.

**Geometrické transformace** se používají pro odstranění geometrických deformací obrazu, které mohou vzniknout například při zpracování dvou snímků téhož objektu. Nejdůležitější geometrické transformace jsou: rotace, zmačkání a zkosení. Popisují je následující vztahy:

- **Rotace o úhel** :

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta + y \sin \theta, \\y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta, \\J &= 1.\end{aligned}\quad (3.1)$$

- **Změna měřítka:**

$$\begin{aligned}x' &= ax, \\y' &= by, \\J &= ab.\end{aligned}\quad (3.2)$$

- **Skosení (zešikmení) o úhel** :

$$\begin{aligned}x' &= x + y \tan \theta, \\y' &= y, \\J &= 1.\end{aligned}\quad (3.3)$$

J – Jakobián matice transformace zobrazení

### Lokální předzpracování

Lokální předzpracování spoívá ve změně jasů v malém okolí bodu vstupního obrazu na nový jas výstupního obrazu. Do této skupiny patří **vyhlazování obrazu (filtrace)** a **gradientní operátory**, též nazývané hranové detektory, protože se používají k nalezení hran v obraze. Z hlediska obrazové matice dat sledují prudkou změnu jasů.

**Filtrace** má několik variant. Nejzákladnější je **průměrování**, které představuje nejjednodušší *lineární filtrace*. V rámci jednoho obrazu se používá průměrná hodnota v okolí daného obrazového bodu, a tato hodnota se použije jako nová hodnota bodu transformovaného obrazu. Funkce využívající průměrování obvykle nabízejí možnost volby velikosti okolí bodu, zejména se používá průměrný jas.

Nejznámější *nelineární filtrace* je **filtrace mediánem**. Podobně jako u předchozí metody se nahrazuje hodnota jasů ve sledovaném bodě novou hodnotou jasů, která se vypočítá jako medián hodnot v nejbližším okolí.

**Hranové detektory** jsou operátory založené na derivaci nebo konvoluci matice 3 x 3. Používají se pro detekci tenkých linií v obraze. Různé typy hranových detektorů jsou popsány v kapitole 3.1.2.

**Segmentace obrazu** slouží k rozdělení obrazu na části s podobnými vlastnostmi. Používané metody segmentace jsou:

- prahování (thresholding)
- hranově orientovaná segmentace (edge-based segmentation)
- místně orientovaná segmentace (region-based segmentation)

**Prahování** je založené na algoritmu, který převede všechny jasů v obraze na 1 nebo 0 podle toho, jestli hodnota jasů v daném bodě překročí zadaný práh:

$$g(i, j) = 1 \text{ pro } f(i, j) \geq T, \quad g(i, j) = 0 \text{ pro } f(i, j) < T, \quad T - \text{práh} \quad (3.4)$$

Takto upravený obraz lze dále zpracovávat metodami, které pracují nad binárními daty.



**Hranově orientovaná segmentace** je založená na rozdělení obrazu na segmenty na základě hran nalezených pomocí hranových operátorů.

**Místně orientovaná segmentace** spoívá ve spojování (**region merging**) nebo rozdělování (**region splitting**) oblastí surových obrazových dat, kde každý jednotlivý pixel představuje samostatnou oblast.

### 3.1.2 Předzpracování obrazu při detekci vysokonapětových záblesků

V této kapitole budou popsány konkrétní metody předzpracování obrazu, které byly využity při řešení úlohy detekce záblesku v obrazovém záznamu. Ke zpracování obrazových dat byl využit software MATLAB, speciálně jeho část Image Processing Toolbox, jenž obsahuje funkce navržené pro konkrétní metody. Výsledky použití popsaných funkcí obsahuje kapitola 4.

**Radonova transformace** je matematická metoda realizující projekci předem tu popsaného funkcí  $f(x,y)$  do určitých směrů. Geometricky si můžeme metodu představit jako svazek přímek procházející zkoumaným objektem, kdy se každá přímka z prostoru předem tu zobrazí na bod v Radonově prostoru. Výpočet se provede pomocí integrálu funkce  $f(x,y)$  podle vztahu (3.5) a (3.6).

$$R(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy', \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Uvedený výpočet se nazývá **přímá Radonova transformace**. Opakem postupem lze získat prostorový obraz předem tu promítnutého do dvourozměrné projekce. Tato technika **zpětná Radonova transformace** se používá v počítačové tomografii. V daném případě byla použita přímá transformace. Geometrická interpretace a další informace, včetně historie Radonovy transformace, jsou uvedeny v textech [15] a [18]. MATLAB obsahuje funkci `radon`, která byla použita v tomto případě.

**Transformace vzdálenosti** (distance transform), kterou obsahuje funkce `bwdist`, spoívá v určení vzdálenosti mezi obrazovými body podle různých metrik. Každému pixelu je přiřazena hodnota, která představuje vzdálenost od nejbližšího nenulového bodu. Pracuje na binárním obraze. Defaultně spoívá funkce `bwdist` vzdálenost mezi body  $x_{ij}$ ,  $x_{sj}$  podle Eukleidovské metriky:

$$E(x_i, x_s) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{sj})^2} \quad (3.7)$$

**Entropie** je statistická funkce, která se používá pro zvýraznění textury obrazu. Spoívá se z histogramu obrazu podle vztahu:

$$- \sum p_j \cdot \log_2(p_j), \quad (3.8)$$

kde  $p$  je výstup funkce `imhist` pro výpočet histogramu.

V daném případě byla použita funkce `entropyfilt`, která počítá entropii v  $9 \times 9$  okolí daného bodu. Používá se pro šedotónový obraz.

**Matice konektivity (spojené komponenty)** ukazuje konektivitu (spojitost) v obraze. MATLAB poskytuje pro její realizaci funkci `bwconncomp`, kterou lze použít na binární obraz. Používá se v kombinaci s funkcí pro zviditelnění spojených oblastí, v tomto případě byla použita funkce `labelmatrix`.

**Hranové detektory** byly obecně popsány v kap. 3.1.1. Zde jsou uvedeny všechny typy detektorů, které byly využity při zpracování daného úkolu. Funkce hranových detektorů pracují tak, že vyhledávají místa v obraze, kde dochází k rychlé změně intenzity jasu. V takových místech se nacházejí rozhraní světlejších a tmavších ploch, která obvykle indikují obrysy jednotlivých objektů. Neplatí to však vždy, proto se prakticky všechny známé hranové operátory potýkají s problémem falešných detekcí. Dále jsou vyjmenované funkce Image Processing Toolbox využívající jednotlivé typy detektorů.

**Canny** – hledá lokální maximum gradientu jasu v obraze. Počítá derivaci Gaussova filtru a používá prahování dvěma prahy – pro slabší a silnější hrany. Díky tomu produkuje méně šumu (falešných detekcí) než ostatní filtry.

**Prewitt, Roberts** a **Sobel** jsou operátory založené na počítání konvoluce matice obrazu s maticí  $3 \times 3$ , která se nazývá *konvoluční jádro*. Detektory se vzájemně liší použitým konvolučním jádrem. **log** (Laplace) je detektor, který vyhledává průchody nulou po filtraci laplasovským nebo gausovským filtrem.

**zerocross** počítá průchody nulou. Všechny detektory byly využity při zpracování obrazového záznamu vysokonapíťových záblesků. Diskuse a ukázky výsledků jsou v kapitole 4.

## 3.2 Funkce použité pro detekci záblesků

Tato kapitola popisuje tři funkce, dvě standardní a jednu nově navrženou, které byly testovány při vyhledávání záblesku, zejména jeho první fáze, ve fotografickém záznamu nebo videozáznamu pořízeném při laboratorní simulaci vysokonapíťových výbojů.

### 3.2.1 Houghova transformace

Houghova transformace pochází z počátku 60. let, původně šlo o metodu určenou pro detekci přímek v digitálním obraze. Detaily jejího vzniku a vývoje jsou popsány v [9] a [11]. Později byla technika rozšířena na detekci dalších křivek, které lze popsat analyticky [7], [8]. V současnosti je již známo využití pro detekci objektů libovolných tvarů [6]. V daném případě byla použita základní varianta Houghovy transformace pro detekci přímek. Přímku procházející dvěma body  $A = (x_1, y_1)$ ,  $B = (x_2, y_2)$ , můžeme popsat rovnicemi:

$$y_1 = ax_1 + b \quad (3.9)$$

$$y_2 = ax_2 + b \quad (3.10)$$

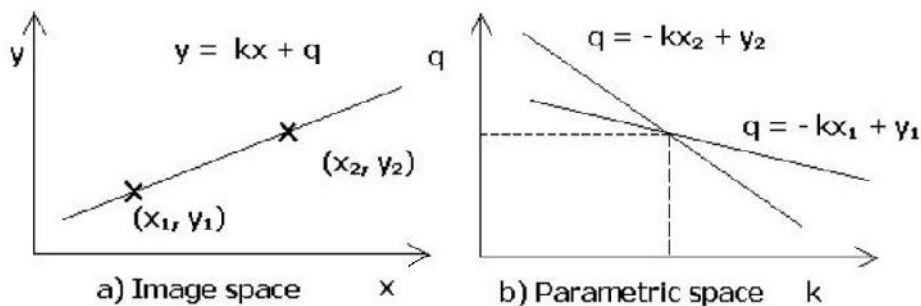
kde  $a, b$  jsou parametry.

Rovnice převedeme do parametrického prostoru:

$$b = -ax_1 + y_1 \quad (3.11)$$

$$b = -ax_2 + y_2 \quad (3.12)$$

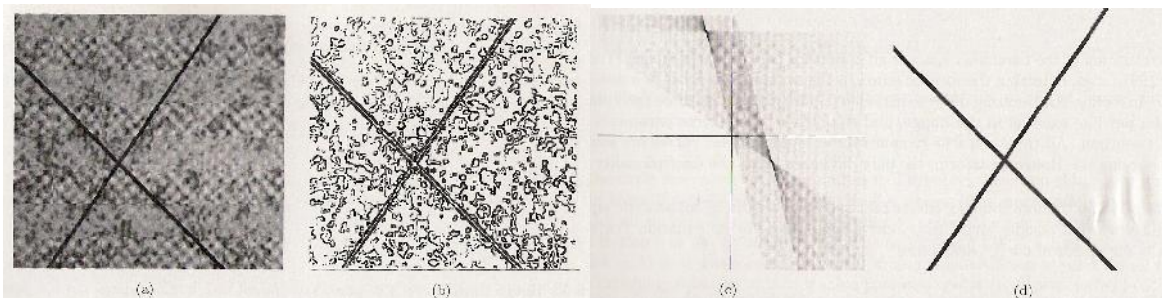
Přímky dané rovnicemi (3.9) a (3.10) v kartézském souřadném systému jsou popsány rovnicemi (3.11.) a (3.12) v parametrickém prostoru. Společný bod daných přímek v parametrickém prostoru reprezentuje přímku, která v obrazovém prostoru (originálním obraze) prochází body A a B. Houghova transformace je iterativní metoda, kdy v jednotlivých krocích jsou všechny přímky a části přímek nacházející se ve zkoumaném obraze transformovány do bodů v parametrickém prostoru. Obr. 7 ukazuje transformaci přímky z obrazového do parametrického prostoru. V průběhu procesu jsou postupně všechny obrazové body transformovány do parametrického prostoru, který je rozdělen na buňky, v nichž se akumulují body příslušící přímekám z obrazového prostoru. (Proto se také parametrický prostor nazývá *akumulátor*). Na konci procesu je vyhodnocen obsah buněk, a pokud některá buňka obsahuje více bodů, je to ukazatel toho, že tyto body náležejí jedné přímce. Na Obr. 8 je příklad akumulátoru.



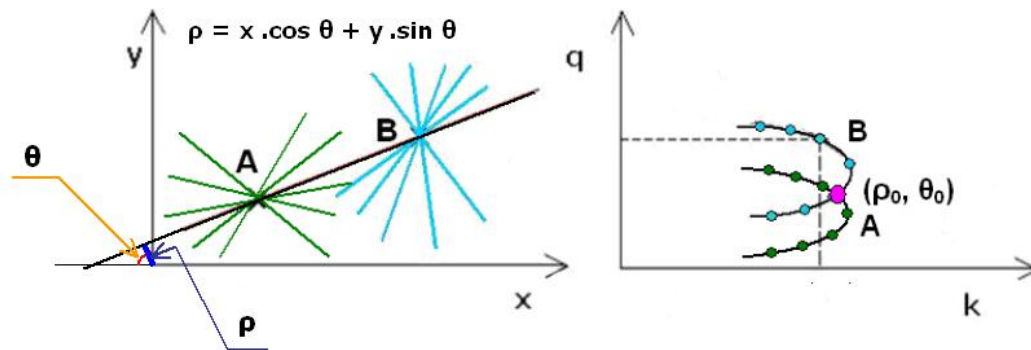
Obr. 7 – Přímka v obrazovém a parametrickém prostoru podle [23]

a \ b	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Obr. 8 – Akumulátor



Obr. 9 – Proces Houghovy transformace a) Originální snímek, b) Detekované hrany, c) Parametrický prostor, d) Detekované přímky (převzato z [23])



Obr. 10 – Vlastnosti Houghovy transformace

Obr. 10 ukazuje vlastnosti Houghovy transformace, které jsou následující:

- 1) Přímka s parametry  $\rho$  a  $\theta$  v obrazovém prostoru je transformována do jediného bodu v parametrickém prostoru.
- 2) Všechny přímky procházející jedním bodem jsou transformovány do bodů, které leží na spojitě křivce v parametrickém prostoru. V případě nekonečna přímek, by křivka byla uzavřená.
- 3) Systémy přímek procházejících body ležícími na jedné přímce jsou transformovány do bodů ležících na křivkách, které se protínají v jednom bodě. Tento bod určuje parametry  $\rho_0$  a  $\theta_0$  rovnice 3.13., bod  $(\rho_0, \theta_0)$  v Obr. 10.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (3.13)$$

Po naplnění akumulátoru a vyhodnocení obsahu buněk je tedy možné odečíst souřadnice  $(\rho_0, \theta_0)$  bodu, jimiž prochází v dané množině přímek. Tyto souřadnice již určují hledanou přímku.

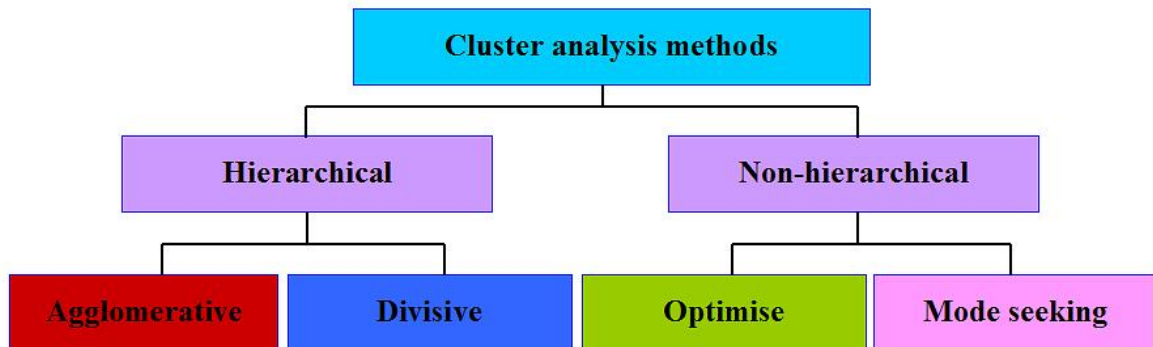
Houghova transformace je v počítačovém vidění velmi rozšířená a vzniklo mnoho jejích modifikací. Zásadní nevýhoda této metody spoívá v její časové náročnosti. Používá se proto předzpracování – prahování, hranové detektory, Radonova transformace. Tyto metody zužují problém vyhledávání přímek jen v určitých směrech (Radonova transformace) nebo jen od určitého jasů (prahování).

### 3.2.2 Shluková analýza

**Shluková analýza** je statistická metoda, která je velmi často využívána pro segmentaci obrazu. Shlukové analýze jsou věnovány celé monografie, například [21]. Proto na tomto místě budou uvedeny jen nejdůležitější informace.

Metody shlukové analýzy (*cluster analysis* nebo *clustering*) se rozdělují podle různých hledisek. Přitom je třeba podotknout, že terminologie ani systém dělení metod není jednotný, stejně jako různé autoři uvádějí různé definice. Podrobněji se problematice věnuje

práce [19], kde je uveden přehled různých definic a dělení metod shlukové analýzy. Na Obr. 11 je příklad takového dělení. Toto dělení je také nejjednodušší a nejastější.

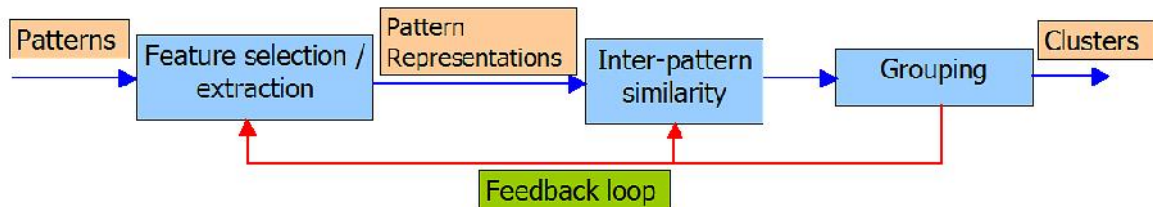


Obr. 11 – Dělení metod shlukové analýzy podle [21] (převzato z [19])

Proces shlukové analýzy se skládá z několika kroků :

1. Stanovení vzorů a popis vlastností
2. Definice vzdálenosti
3. Vlastní shlukování
4. Abstrahování dat (pokud se provádí)
5. Zhodnocení výsledků

Na Obr. 12 je schéma shlukování vidět názorně.



Obr. 12 – Princip shlukové analýzy (převzato z [19])

Dále bude uvedena definice shlukování a používaných metrik. Z jednotlivých metod budou popsány dvě, které byly využity při studiu záblesků, a to hierarchická aglomerativní metoda **single linkage** a hierarchická divizivní metoda **k-means**. Další metody, včetně jejich programování, jsou podrobně popsány v literatuře jako je například [21] a [22], přehledný souhrn informací lze také najít v práci [19].

**Definice:** Nechť  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  je množina prvků. Nechť  $D$  je koeficient odlišnosti. Potom **shluk** je podmnožina  $A$  množiny  $D$ , která splňuje následující nerovnost:

$$\max D(x_i, x_j) < \min D(x_k, x_l), \text{ kde } x_i, x_j, x_l \in A, x_k \notin A. \quad (3.14)$$

Van Rijsbergenova  $L_1$  podmínka: Jestliže  $n$  je počet objektů, které chceme rozdělit do  $c$  shluků, potom musí splňovat podmínku nerovnosti:

$$1 \leq c \leq n. \quad (3.15)$$

Nechť  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_c\}$  je množina shluků  $S_i \subseteq X$  pro  $i = 1, 2, \dots, c$ , a  $n_i$  je počet objektů ve

shluku  $S_i$ . Potom

$$\bigcup_{i=1}^c S_i = \mathbf{X}; \quad \sum_{i=1}^c n_i = n; \quad S_i \cap S_j = \{0\} \text{ pro } i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, c. \quad (3.16)$$

**Shlukování** je proces, který dělí množinu  $\mathbf{X}$  do shluků. Výsledek shlukování je injektivní zobrazení  $\mathbf{X} \rightarrow S$ . Počet shluků může být stanoven před začátkem shlukování nebo v průběhu v závislosti na definovaných podmínkách.

Ve shlukové analýze je zásadní pojem metriky.

**Definice: Metrika** je funkce ... definovaná na množině  $\mathbf{R}_m \times \mathbf{R}_m$ , která pro každou dvojici bodů  $x_r$  a  $x_s$  splňuje podmínky:

$$\left. \begin{aligned} \dots(x_r, x_s) &= \dots(x_s, x_r) \\ x_r \neq x_s &\implies \dots(x_r, x_s) > 0 \\ x_r = x_s &\implies \dots(x_r, x_s) = 0 \\ \dots(x_r, x_s) &\geq \frac{1}{2} (\dots(x_r, x_h) + \dots(x_h, x_s)) \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

Nejnámější je Eukleidovská metrika podle vztahu (3.7). Přehled dalších metrik je v [19].

Dále jsou popsány metody single linkage a k-means. Definice ostatních metod lze najít v literatuře, přehledně v práci [19].

### Single linkage

Metoda je také označována jako *metoda nejbližšího souseda* na rozdíl od techniky complete linkage, která je *metoda nejvzdálenějšího souseda*.

**Definice:** Nechť  $D$  je koeficient odlišnosti,  $A, B$  jsou shluky,  $C_k$  je dekompozice,  $A, B \in C_k, x_i \in A, x_j \in B$ . Potom

$$D_{SL}(A, B) = \min \{D(x_i, x_j)\} \quad (3.18)$$

je **vzdálenost** mezi shluky  $A$  a  $B$ .

Metoda single linkage má tzv. *efekt zřetězení (chaining effect)*. Při shlukování dochází k tomu, že objekty ve stejné vzdálenosti od pevných shluků jsou připojovány k těmto shlukům. Na konci procesu zůstane jediný dlouhý shluk.

### K-means

Tato metoda je založená na minimalizaci určitého kritéria, které je využito pro dekompozici dat matice  $\mathbf{X}$  do daného počtu shluků. Nejpoužívanější kritérium kvality dekompozice je stopa matice, vztah (3.19).

$$W = \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_h} (x_{hi} - \bar{x}_h)(x_{hi} - \bar{x}_h)^T, \quad (3.19)$$

$k$  je počet shluků,  $n_h$  je počet objektů v  $h$ -tém shluku,  $x_{hi}$  je  $i$ -tý objekt v  $h$ -tém shluku a  $\bar{x}_h$  je vektor průměru  $h$ -tého shluku.

MATLAB obsahuje řadu funkcí pro výpočty metodami shlukové analýzy. V daném případě byla využita funkce `clusterdata`. V literatuře [22] je uvedena řada příkladů použití těchto metod, včetně předzpracování. V kapitole 4 je ukázáno využití shlukové analýzy v detekci záblesků.

### 3.2.3 Contour

Jedná se o jednoduchou funkci, která byla navržena pro detekci záblesků tak, aby byla vhodná i pro nalezení zejména jen jednoho obrazového bodu, což bylo například nalezení počátku záblesku. Jedná se v podstatě o hranový detektor pracující v malém okolí bodu. Funkce byla použita samostatně v několika modifikacích i v kombinaci s dalšími metodami. Výsledky využití s ukázkami jsou podrobně popsány v kapitole 4.

### 3.2.4 Další možnosti v detekci záblesků

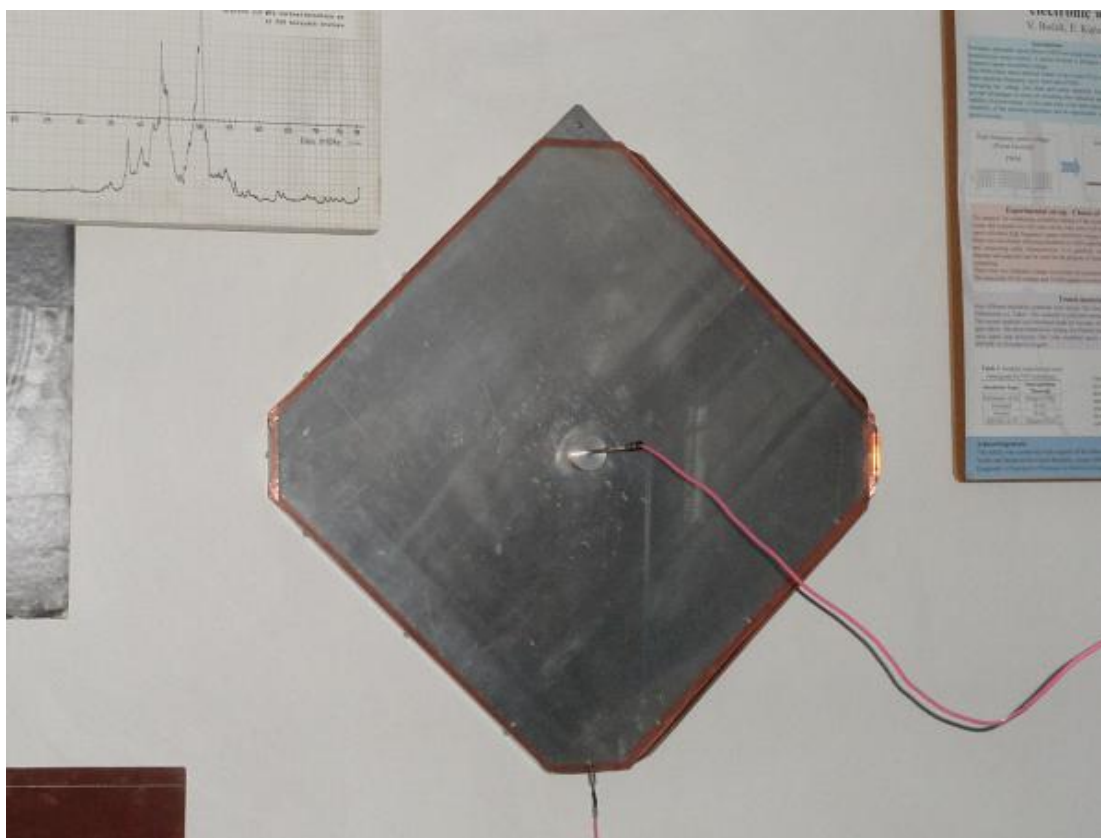
Výše popsané funkce pro zpracování obrazu byly použity v různých kombinacích s cílem dosažení co nejlepšího výsledku a i co nejvyšší efektivity využití výpočetní techniky. Z dosud nejmenovaných funkcí byla ještě testována funkce **vector**, opět v kombinaci s využitím dalších metod. Jedná se o funkci, která vychází z předpokladu, že záblesk se liší především vyšším jasnem než okolí, a proto hledá nejdelší souvislý vektor nejvyššího jasu nalezeného v obraze. Použití a výsledky jsou popsány v kapitole 4.

## 4. Výsledky detekce obrazového záznamu záblesk

### 4.1 Simulace vysokonapětových záblesk v laboratorních podmínkách

Zpracovávané obrazové záznamy byly pořízeny v laboratorních katedry Technologií a měření Elektrotechnické fakulty Západočeské univerzity v Plzni. Uspořádání pokusu je vidět na Obr. 13 a 14. Při pokusu byly generovány výboje z vysokonapětového zdroje s parametry: zdroj střídavého napětí 200 kV High Volt; SM 4 control module; LM 30 Power module. Zdroj obsahuje speciální elektrodový systém pro zaznamenání výbojové aktivity. Elektroda je umístěna uprostřed kovové desky (Obr. 13). Z fyzikálního hlediska se jedná o výboj hrotové elektrody proti desce. Cílem pokusu bylo zaznamenání výboje technikou pro pořízení digitálního obrazového záznamu a následná analýza tohoto obrazového záznamu za účelem sledování průběhu výboje od jeho počátku.

V laboratorii byly pořízeny fotografie a videa se záznamy výbojové aktivity pomocí přístrojů: Pro snímání videa byla použita kamera Panasonic HDC-SD900, rozlišení videa 1920 x1080 bodů. Fotografie byly vytvořeny digitálním fotoaparátem Canon EOS 400D. Dále bylo možné vyčíst z EXIFu snímku následující parametry fotografování: Doba expozice: 1s; Clona: 5,0; Ohnisková vzdálenost: 170mm; Ohnisková vzdálenost (EQ35mm): 272mm; ISO: 200; Vyrovnání bílé: Automatické; Režim expozice: Ruční; Blesk: Ne.



Obr. 13 – Uspořádání pokusu pro simulaci záblesk





Obr. 14 – VN zdroj pro generaci výboj

## 4.2 Zpracování obrazového záznamu záblesk

Celkem bylo pro zpracování k dispozici 10 fotografií a 3 videozáznamy. Tyto soubory byly zpracovány s ohledem na velikosti soubor – malý soubor fotografií a velký soubor, který představoval videozáznam. Každé video bylo rozloženo na jednotlivé snímky. Všechny testované techniky pro zpracování a analýzu obrazu byly podrobně testovány na souboru fotografií. Měření a výpočetné metody byly také zkušeny na souboru videozáznamů, avšak vzhledem k velikosti soubor – po dekompozici videa vznikly 3 soubory obsahující okolo 400 obrázků – nebylo možné testovat celý soubor, protože rozsah přesáhl výpočetní možnosti SW, zejména nastaly problémy v Jav. Z výzkumného hlediska by ani nebylo účelné sledovat celý záznam, protože v části videa zachycuje již dobře vizuálně pozorovatelný rozvinutý výboj. Proto bylo z videozáznamu vybráno jen několik desítek snímků pocházejících z okolí poátku výbojové aktivity. Celý soubor videa je vhodné zpracovat metodou optického toku, která je přímo zabudovaná v softwaru MATLAB, avšak během této práce nebyl k dispozici příslušný toolbox, na který nebyla licence. Proto byla také otázka zpracování videozáznamu během této práce řešena jen v malém rozsahu, a zůstává otevřená pro další výzkum.

### 4.2.1 Zpracování fotografií

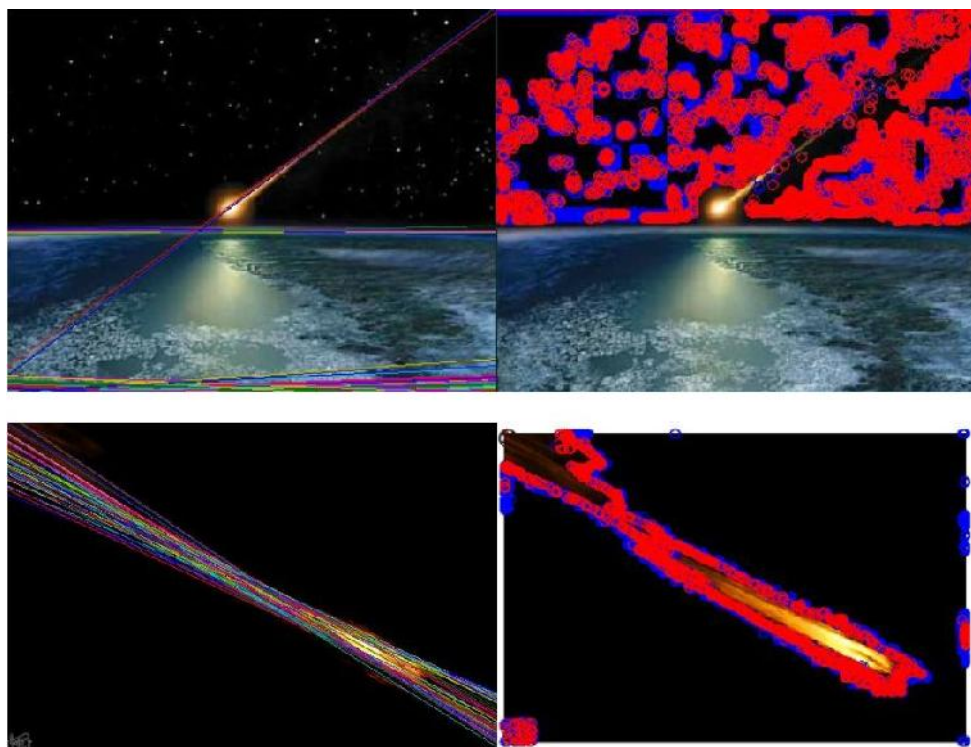
Fotografie, s nimiž se dalo pracovat téměř bez problémů, (některé metody však také přesáhly paměťovou kapacitu počítače), zejména výpočetních možností SW), byly podrobeny detailní analýze s cílem najít takovou metodu, která dokáže zaznamenat

záblesk co nejdříve po startu výboje. Použité techniky zpracování a předzpracování obrazu byly teoreticky popsány v kap. 3. Dále budou předvedeny ukázky jejich využití při analýze fotografií záblesků. Funkce použité pro testování byly naprogramované v editoru SW MATLAB v jazyku MATLABu s využitím funkcí procesoru Image Processing Toolbox popsaných v kapitole 3. Celý soubor výsledků testování snímků a výpis použitých funkcí jsou k dispozici v přílohách.

Techniky zpracování obrazu popsány v kapitole 3.2.1 a 3.2.2 byly v minulosti použity pro detekci meteorů v astronomických obrazových datech [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], a [26]. V prvním přiblížení se jedná o podobnou úlohu, protože vně záblesky se podobají meteorům, ale liší se jejich charakterem a za druhé představují, stejně jako meteory, místa v obraze se zvýšeným jasnem. Proto byly pro detekci vně záblesků nejprve testovány metody, které byly úspěšně využity při rozpoznávání meteorů, a to Houghova transformace a shluková analýza, především metoda single linkage. Na Obr. 15 až 20 jsou ukázky využití metody Houghovy transformace a shlukové analýzy v detekci meteorů.

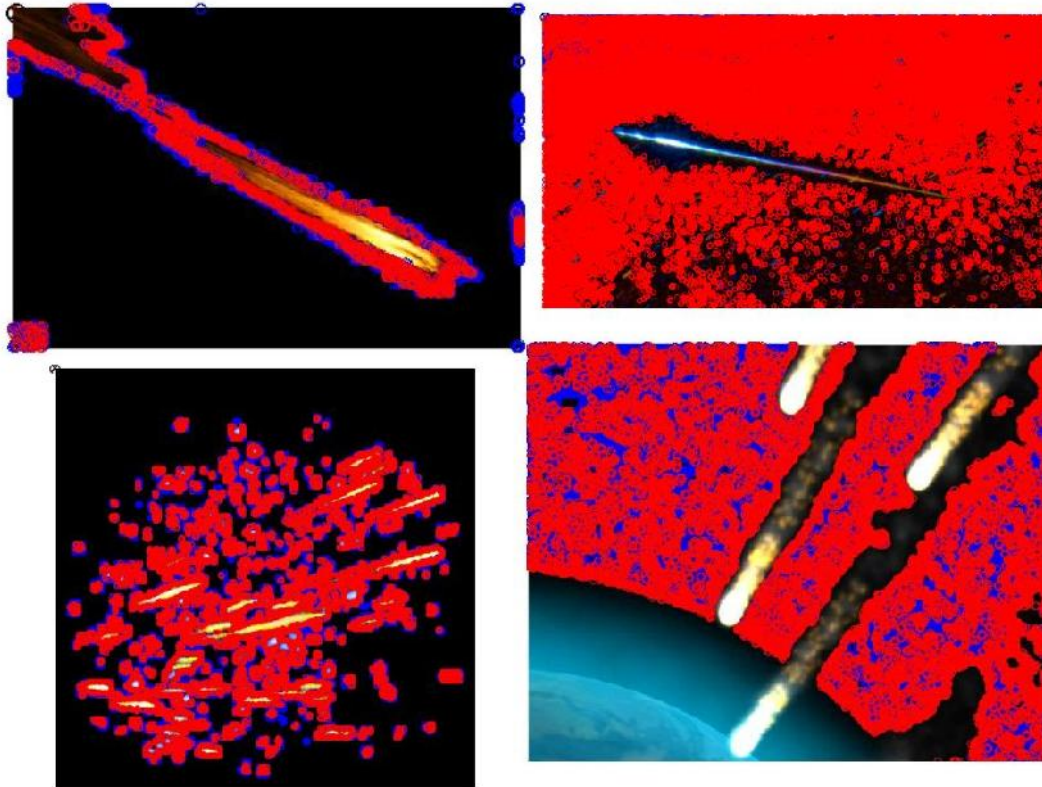


Obr. 15 – Detekce meteorů metodou Houghovy transformace [26]

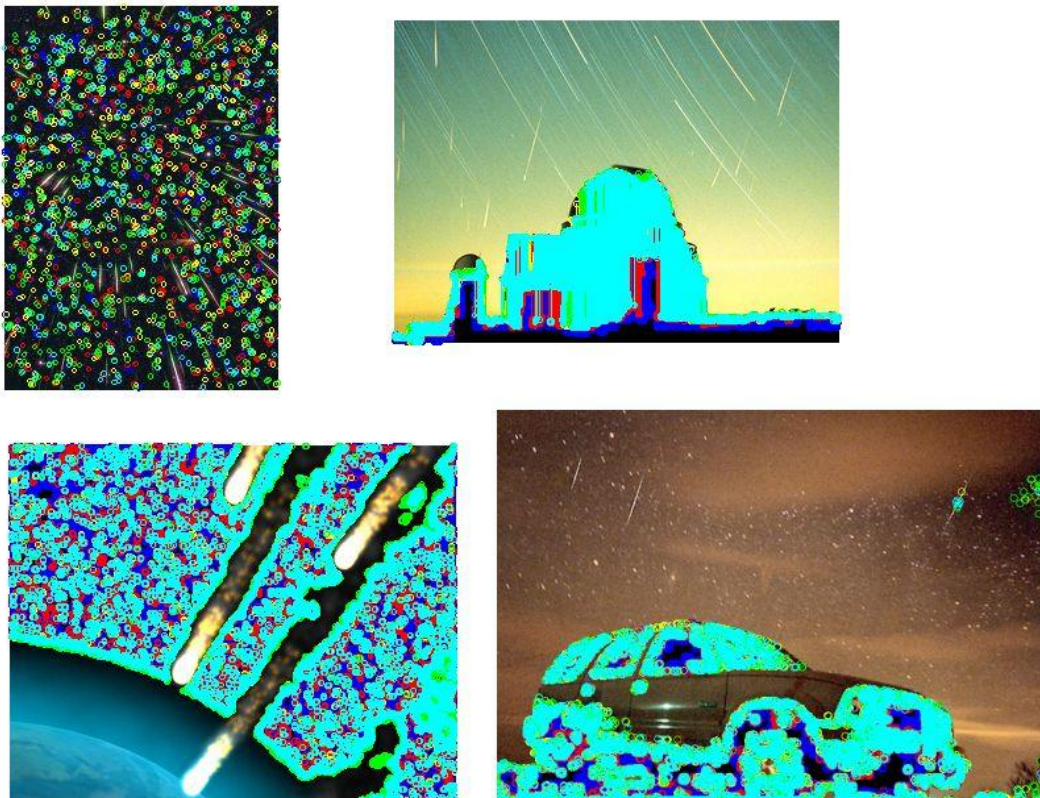


Obr. 16 – Srovnání metody Houghovy transformace a k-means v detekci meteorů [26]



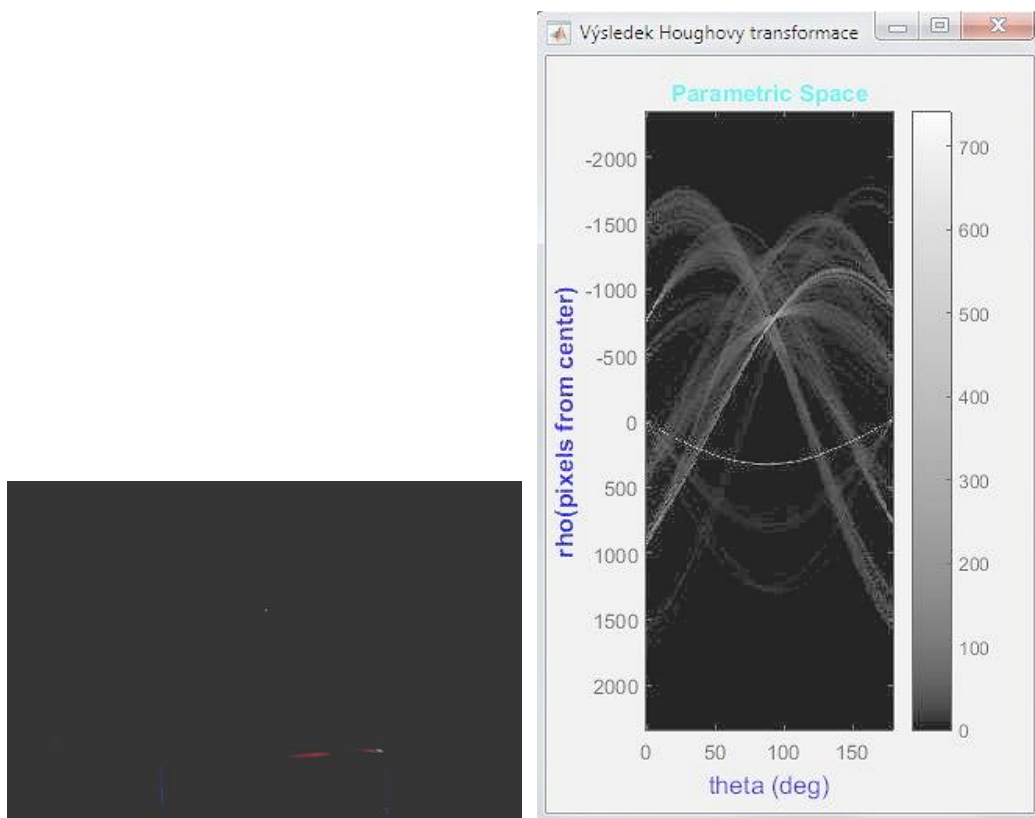


Obr. 17 – Segmentace obrazu pomocí k-means [26]



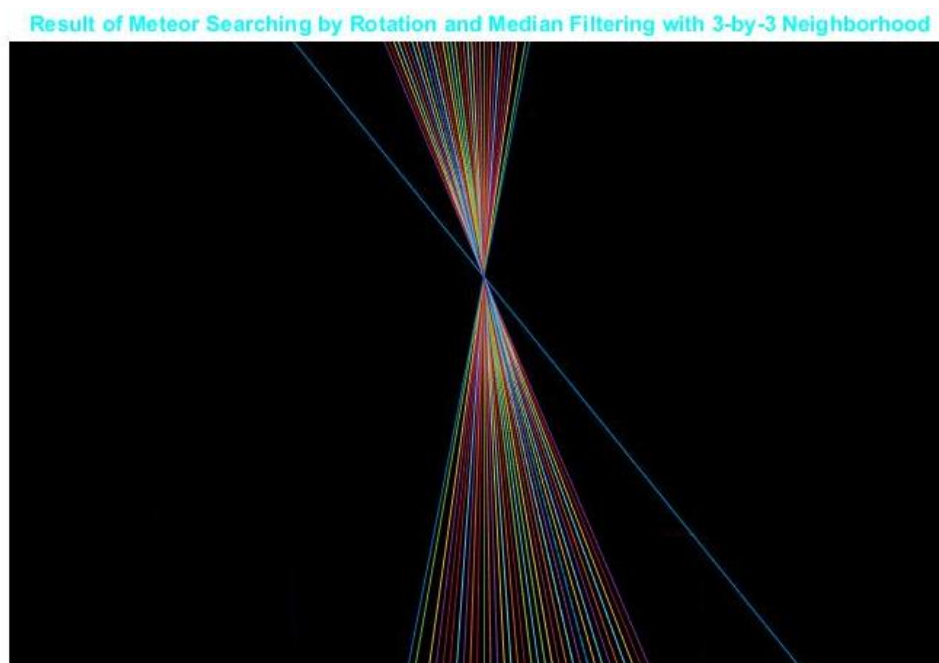
Obr. 18 – Segmentace obrazu metodou Single linkage [26]

Na Obr. 19 je vidět použití Houghovy transformace při detekci zánajícího záblesku.



a) Originální snímek

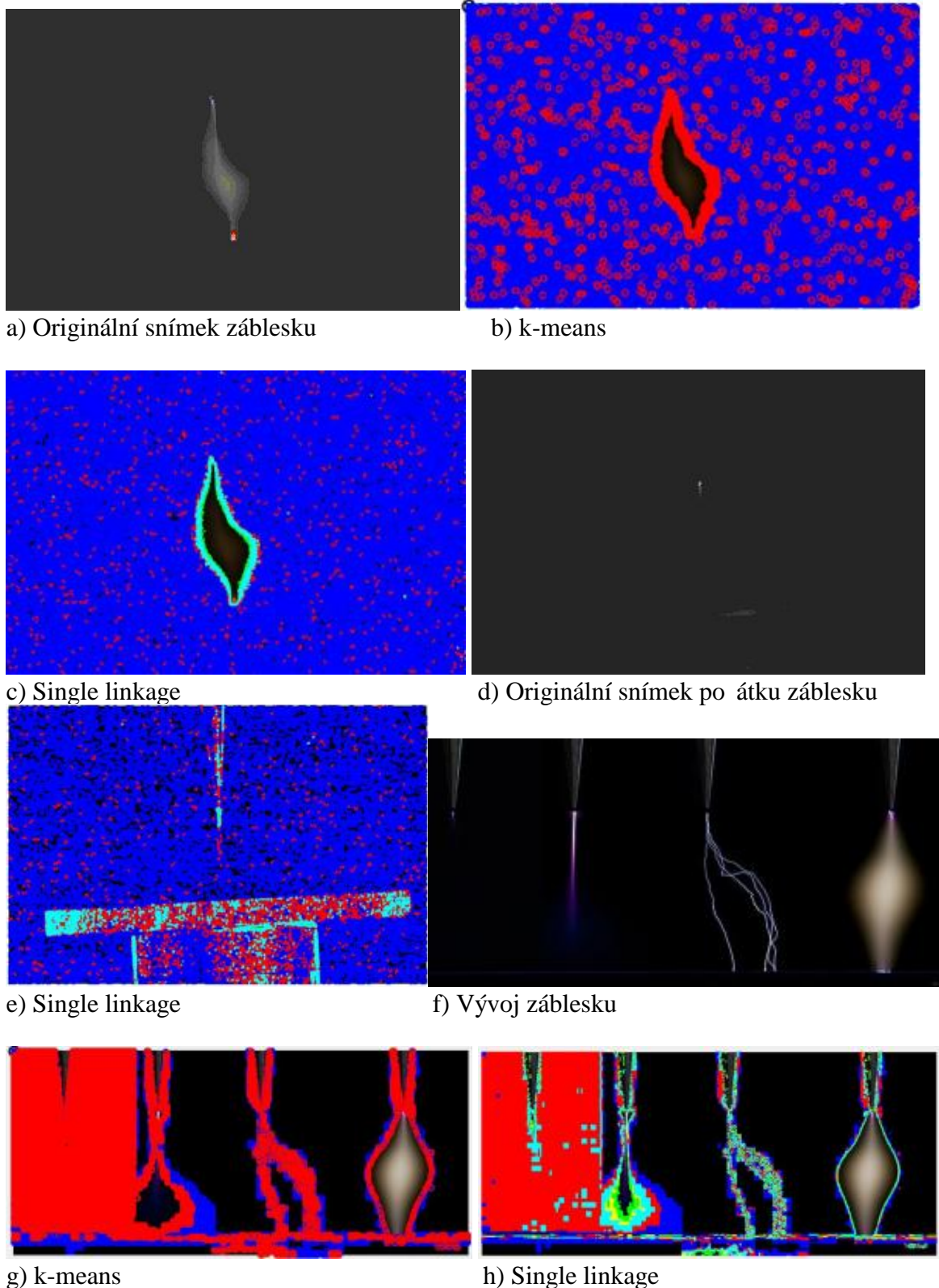
b) Houghova transformace – akumulátor



c) Výsledek detekce s využitím pomocných funkcí rotace a filtrace mediánem s okolím 3 x 3 (více o použitých funkcích například v [12] a [14])

Obr. 19 – Použití Houghovy transformace

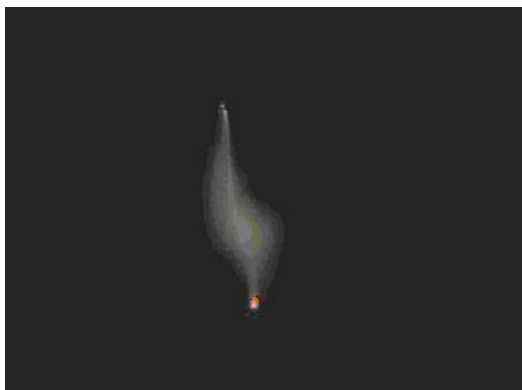




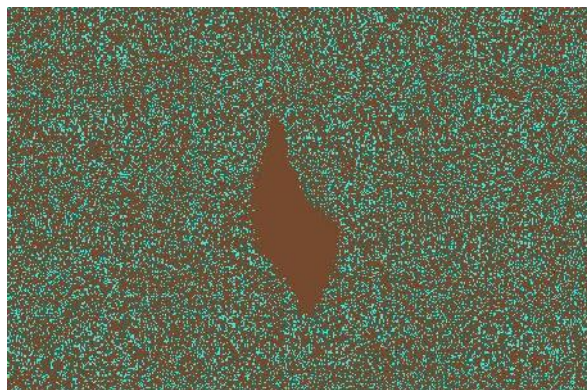
Obr. 20 – Zpracování snímku záblesku metodami shlukové analýzy

Na obrázcích po použití shlukové analýzy je dobře viditelná skutečná struktura snímku, která v originále není patrná. Z porovnání obrázku b) a c) a g) a h) je vidět, že metoda k-means dává hrubší strukturu, a také byla výpočet mnohem náročnější, takže v této snímek byla zpracována pouze metodou single linkage.

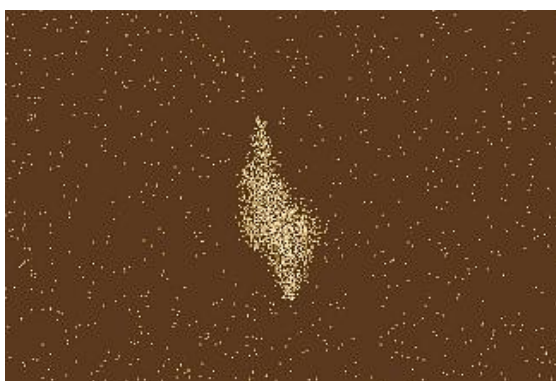
Dále jsou uvedeny ukázky použití funkcí pro předzpracování obrazu. Zde je ukázka s rozvinutým zábleskem, další příklady jsou v příloze. Výsledky hranových operátorů jsou pro lepší viditelnost uvedené do šedé.



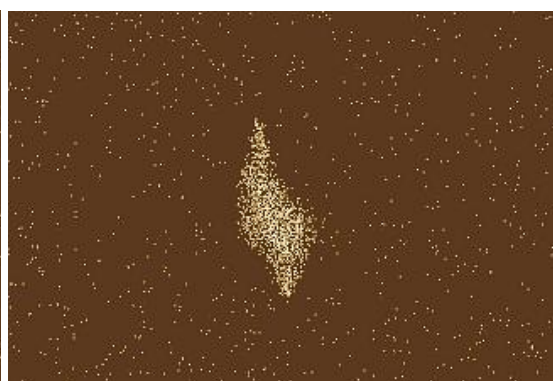
a) Snímek rozvinutého záblesku



b) Matice konektivity



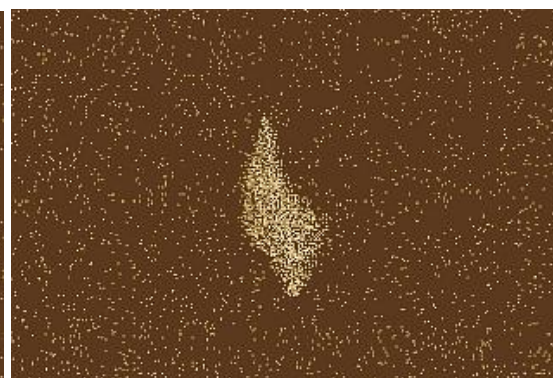
c) Sobel v hranový operátor



d) Operátor Prewittové

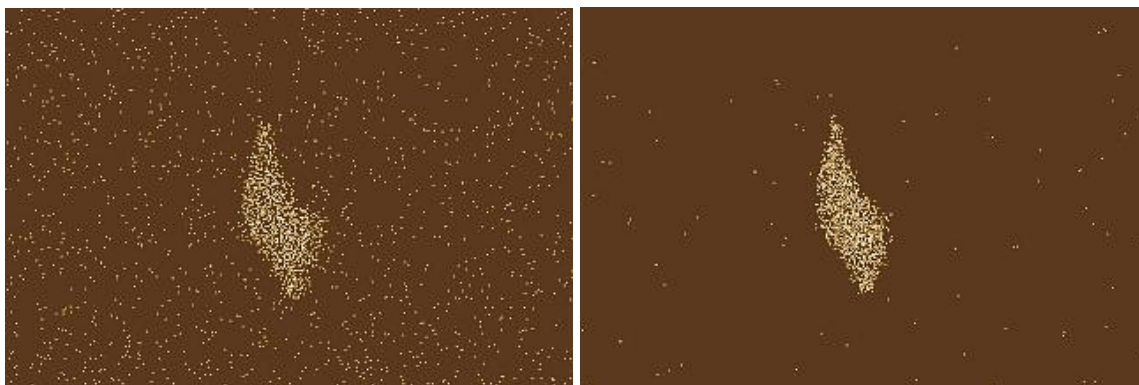


e) Zerocross operátor



f) Roberts v operátor



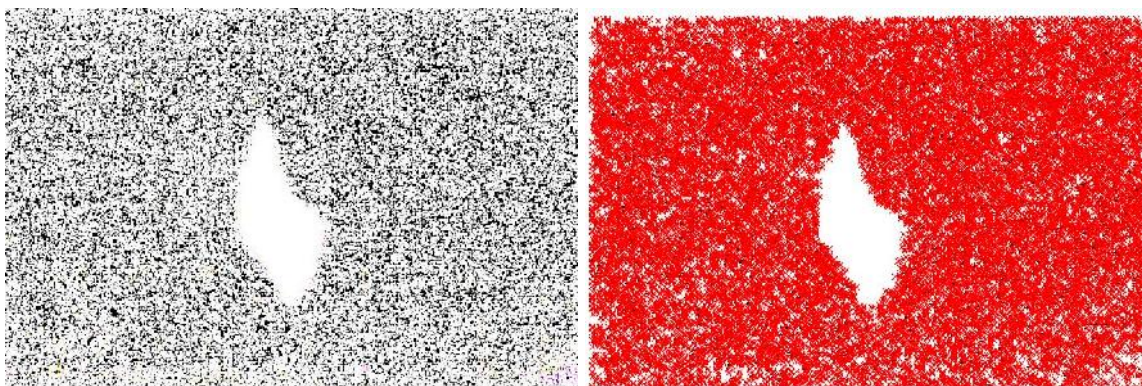


g) Detektor log (Laplace)

h) Cannyho hranový detektor

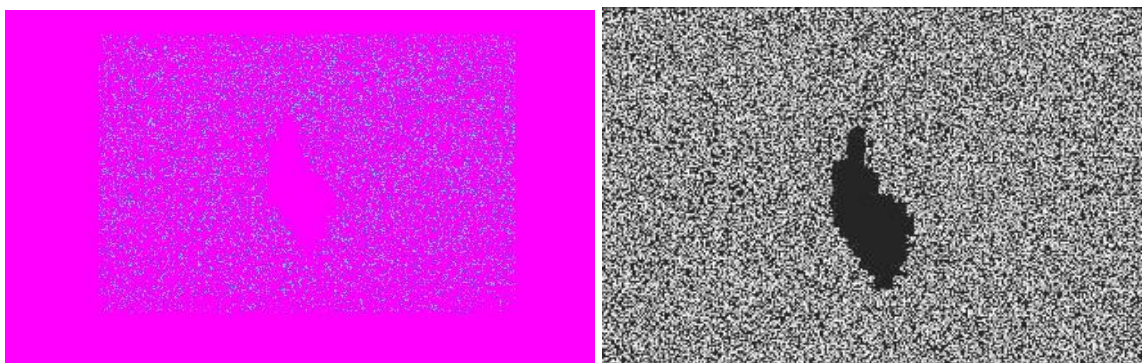
Obr. 21 – Matice konektivity a hranové operátory

Na dalších obrázcích je vidět použití lokální **entropie** jako předzpracování pro metodu contour a hranové detektory. Využití metody contour na zvýraznění struktury bylo velmi náročné. Použití dalších operátorů pomocí metody `entropyfilt` u rozvinutého záblesku je uvedeno pro ilustraci. V příloze jsou další příklady, kde je vidět výhoda zvýraznění struktury u tmavých a špatně kvalitních snímků. Originální snímek je stejný jako Obr. 21 a).



a) Metoda entropyfilt

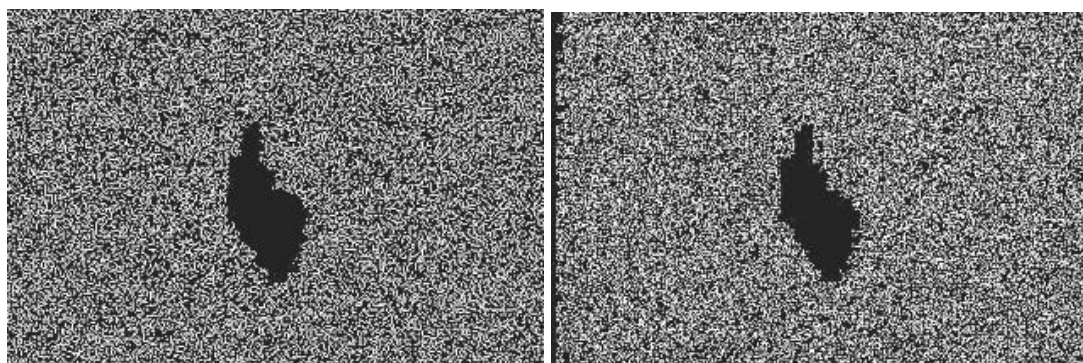
b) Funkce contour



c) Matice konektivity – složené komponenty

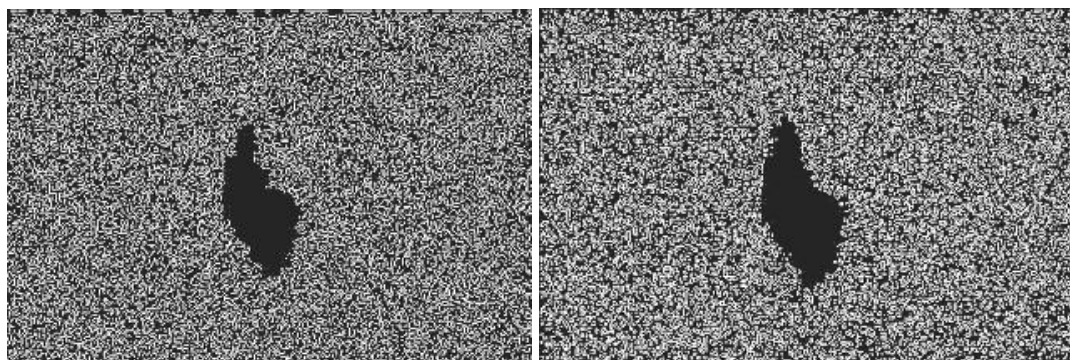
d) Hranové operátory – Prewittová





e) Zerocross

f) Roberts



g) log (Laplace)

h) Canny

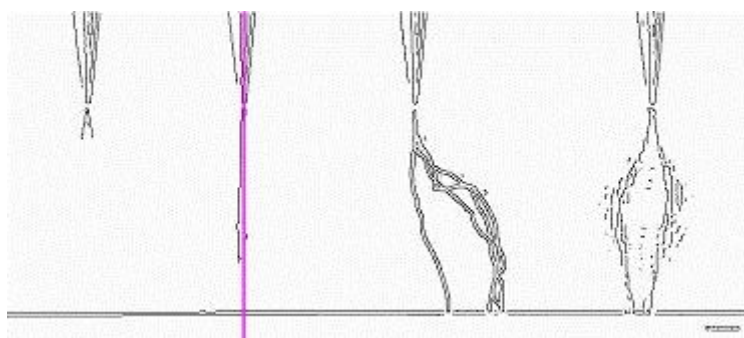
Obr. 22 – Snímky zpracované s využitím metody entropiefilt



a) Metoda vektoru po použití Sobelova  
hranového operátoru



b) Použití vektoru po Sobelov operátoru na  
jiný snímek



c) Vektor po Cannyho detektoru

Obr. 23 – Použití vektoru pro detekci záblesku



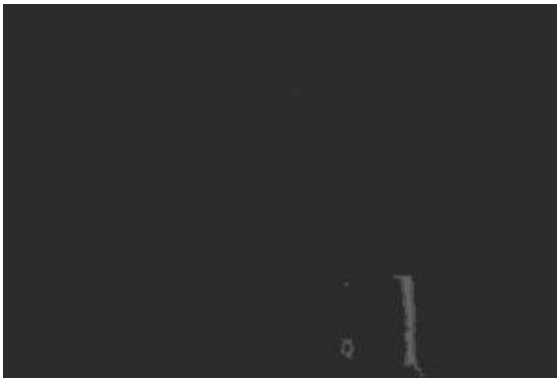
Následující příklad ukazuje použití funkce `bwdist` pro přepočítávání vzdáleností k danému bodu. Výsledkem je zvýraznění hlavních tvarů ve struktuře a odstranění šumu. Metoda byla aplikována po použití lokální entropie.



a) Entropie



b) Binární obraz



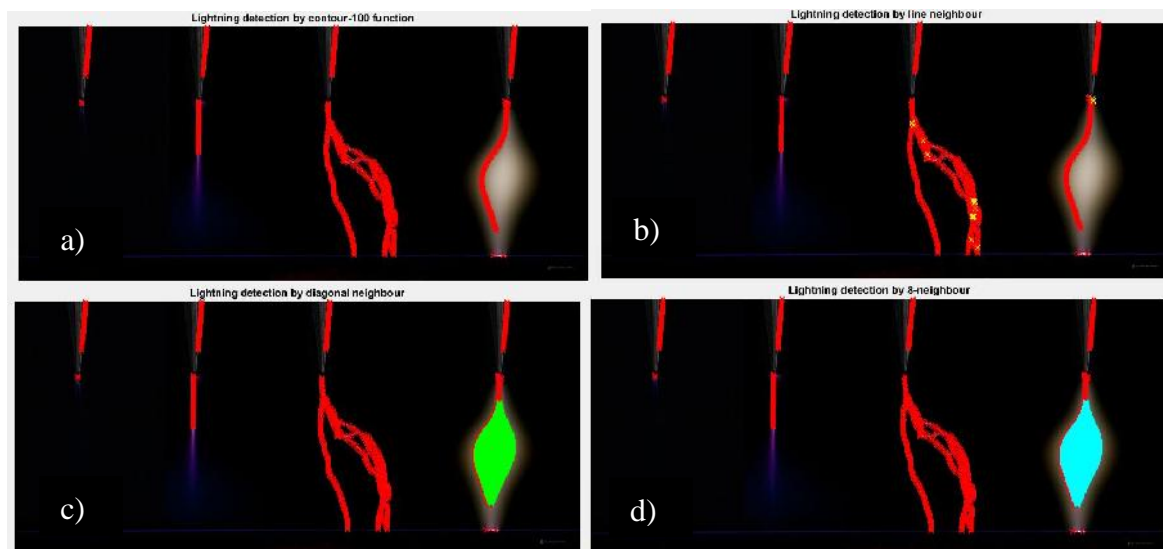
c) Transformace vzdáleností



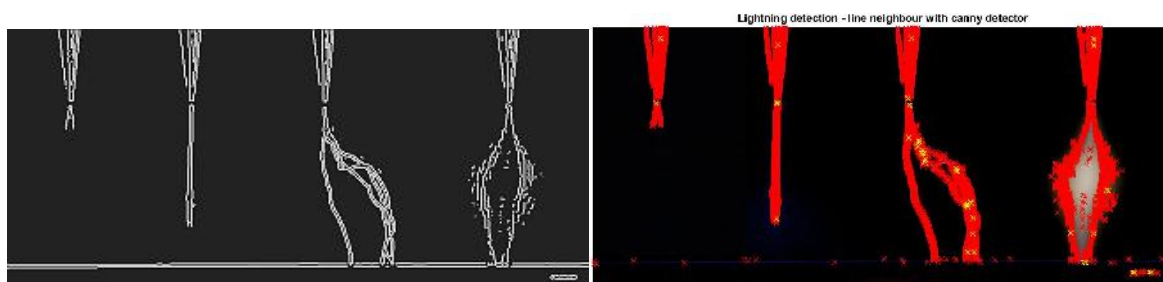
d) Výsledný obraz

Obr. 24 – Použití transformace vzdáleností

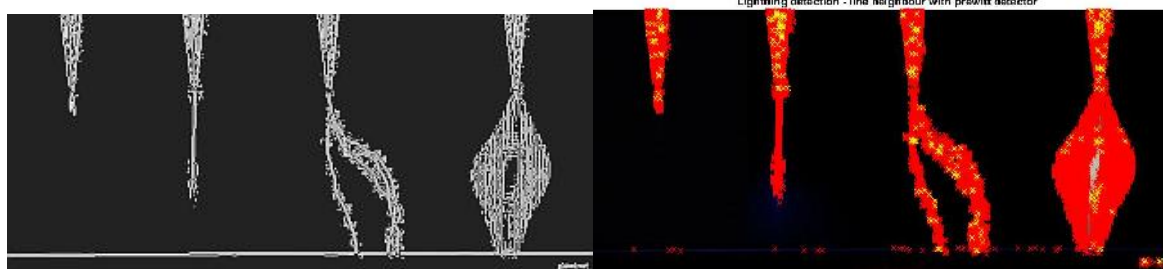
Metoda **contour** je založena na porovnávání jasů v blízkém okolí obrazového bodu. V základní verzi je porovnáván pouze jas sousedních bodů v horizontálním směru. S rozšířením porovnávání jasů na větší okolí bodu se zlepšuje přesnost, avšak roste časová náročnost. Pro osmiokolí byl výpočet již neúnosně dlouhý. Efektivní se ukázalo procházení okolí v průměru na vzdálenost dvou obrazových bodů a po diagonále. Také u této metody záleželo na nastavení prahování. Nejlepší výsledky dávala metoda při nastavení hladiny binárního jasu na 100. Vlastnímu použití výše uvedených metod předcházelo převod do šedotónové a binární stupnice. Dále jsou ukázány výsledky na složeném snímku s vývojem záblesku pro různé varianty funkce `contour` a s použitím různých hranových detektorů a dalších metod zpracování. Další výsledky jsou v příloze.



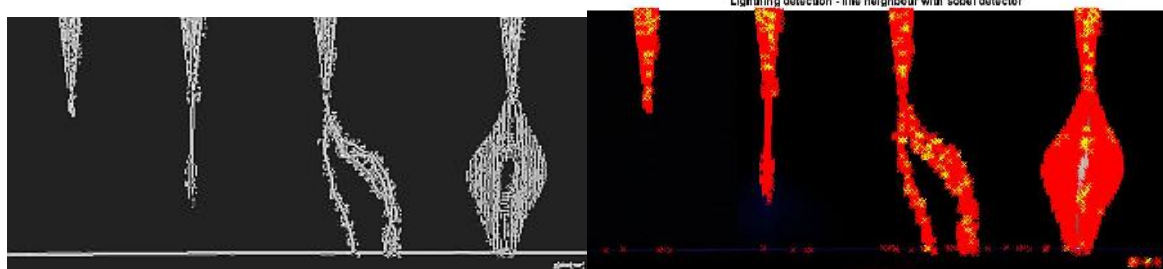
Obr. 25 – Metoda contour pro různé velikosti okolí bodu  
a) Sousední dva pixely, b) Sousední body v průměru, c) Diagonála, d) Osmiokolí



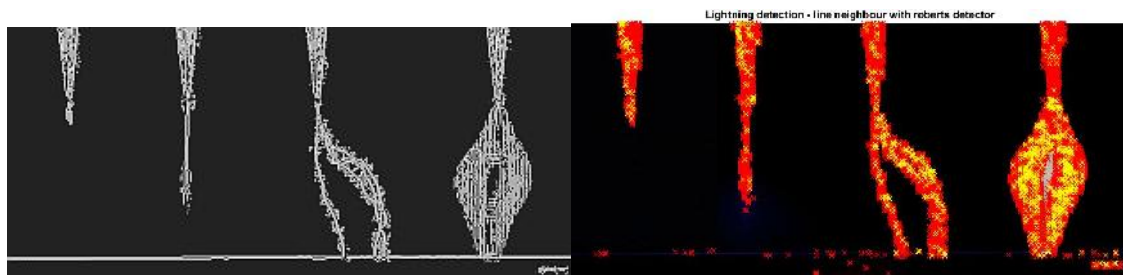
a) Cannyho detektor



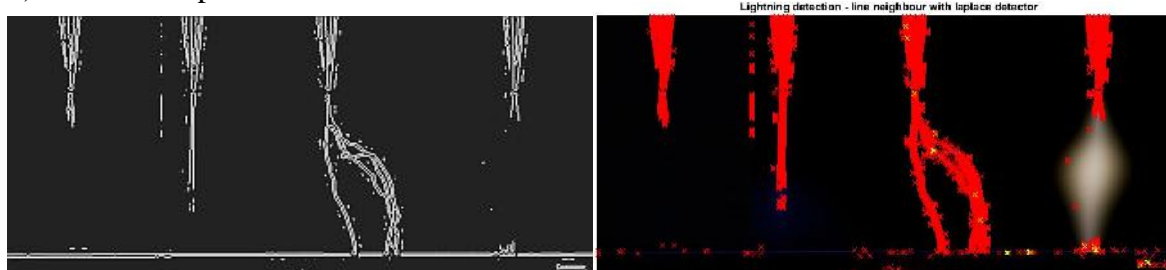
b) Prewittově detektor



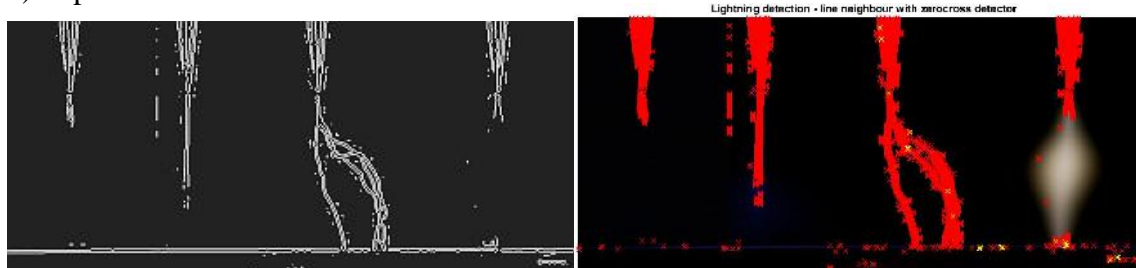
c) Sobel v detektor



d) Roberts v operátor



e) Laplace



f) Zerocross

Obr. 26 – Použití funkce contour s hranovými operátory. Na snímku vlevo je vždy binární obraz.

#### 4.2.2 Zpracování videa

Vzhledem k rozsahu práce a složitosti zpracování videozáznamu jsou v této kapitole popsány především odlišnosti od zpracování fotografií a je uvedeno několik ukávek práce se snímky videa. Vlastní výzkum by obsáhl další práci velkého rozsahu. Celkem byly natoženy tři videozáznamy, které byly rozloženy na jednotlivé snímky. Toolbox softwaru MATLAB, který pracuje s celým videem, a má již zabudovanou metodu optického toku, nebyl pro práci k dispozici. Hlavní rozdíl proti zpracování fotografií spoívá v množství snímků (rám) videa, kterých je pro rychlosti snímkování již 25 snímků za sekundu několik set pro záznamu trvajícím jen několik sekund. Takové množství vyžaduje automatické zpracování, které lze zajistit bu využitím příslušného softwarového nástroje, v tomto případě by to byl Computer Vision System Toolbox, a pokud, jako v tomto případě, není vhodný nástroj k dispozici, je třeba naprogramovat například uživatelské menu s automatickým nastavením snímků z adresáře.

Další rozdíl spoívá ve vlastní analýze obrazu. Snímky videa mají výhodu proti samostatné fotografii, že sledovaný objekt se nachází na více obrázcích, které je možno vzájemně porovnávat a provádět matematické operace s více snímky. Typickým příkladem je odečtení posléze následujících snímků, čímž se odstraní nepohyblivé pozadí a zůstane jen objekt, který

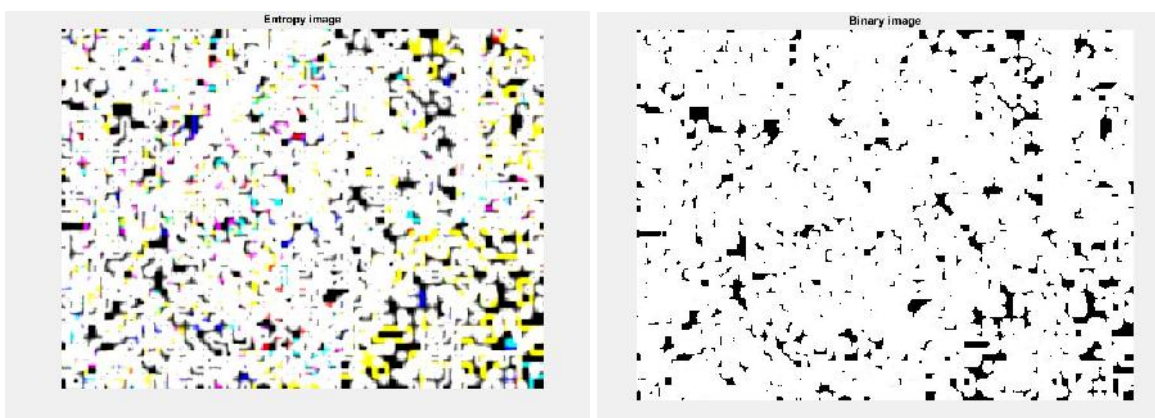
se změní. Tato metoda se s úspěchem používá v astronomii při vyhledávání meteorů, kdy se odečte hvězdné pozadí.



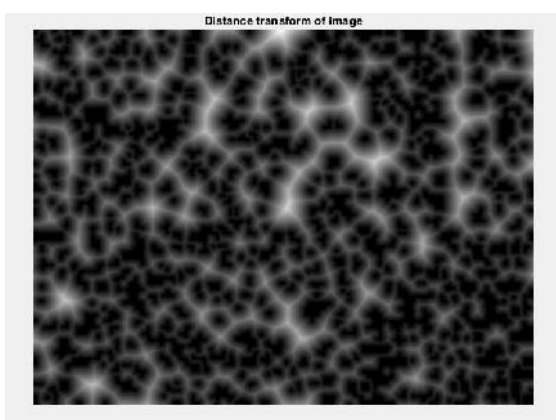
a) Po úderu výboje

b) Rozvinutý výboj

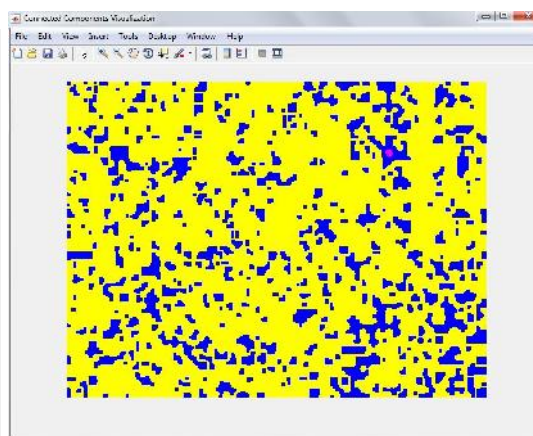
Obr. 27 – Výboj na desce



Obr. 28 – Lokální entropie aplikovaná na binární obraz



Obr. 29 – Transformace vzdáleností

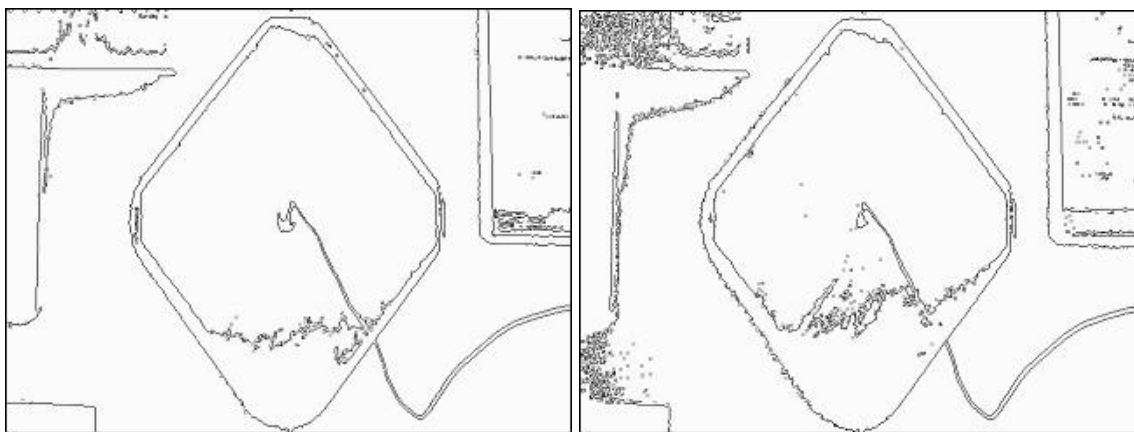


Obr. 30 – Konektivita – složené komponenty

Na Obr. 28 až 30 je vidět struktura snímku, z níž je patrné, že začínající záblesk bude velmi obtížné odlišit od pozadí snímku. Pro detekci bude zejména potřeba využít robustní statistické metody. Hledání vhodné techniky pro zpracování tohoto typu záznamu se proto



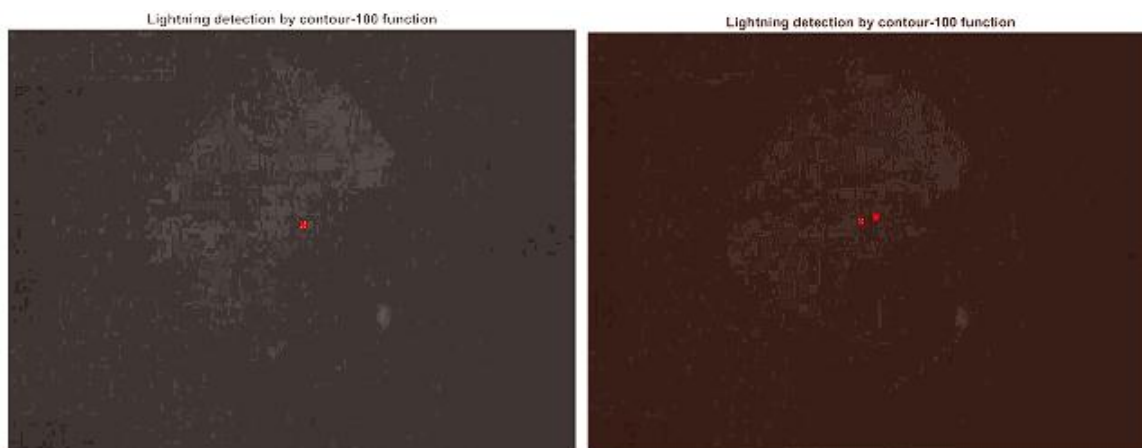
jeví jako otázka k rozsáhlejšímu výzkumu. Na Obr. 31 a 32 jsou vidět metody pro detekci hran v obraze. V případě zátku výboje je velmi obtížné najít takovou hladinu binárního jasu, aby bylo možné odlišit první projev záblesku od okolí. Podobné je tomu i v případě použití operátoru Canny. Na Obr. 32 vidíme množství falešných detekcí hran, protože z Obr. 21 v kap. 4.2.1 je patrné, že Cannyho operátor dává ze všech použitých detektorů nejlepší výsledky z hlediska nízkého šumu (málo falešných detekcí).



Obr. 31 – Binární operátor aplikovaný na snímky videa



Obr. 32 – Cannyho operátor



Obr. 33 – Funkce contour v základní podobě použita na snímky z videa

## Závěr

Cílem práce bylo navrhnout proces vyhodnocení naměřených dat soubor r zného rozsahu s využitím statistických nástroj. V daném konkrétním případě bylo úkolem vyhodnotit možnosti detekce poátku záblesku z obrazového záznamu simulovaného výboje od zdroje vysokého napětí. Text je rozdělen do čtyř kapitol. První kapitola je věnována základním technickým měření používaných v elektrotechnice. Druhá část práce stručně seznamuje s pohledem metod statistické analýzy, které se používají pro zpracování výsledků měření. V této kapitole je probírána teorie zpracování digitalizovaného obrazu se zaměřením na techniky analýzy obrazu použité v této práci. Závěrem, čtvrtá část textu přináší praktické výsledky dosažené při zpracování obrazového záznamu simulovaného výboje vysokého napětí.

Znamenalá část práce byla věnována zpracování fotografií, na kterých byly testovány techniky určené pro získání dalších informací o obrazech jako je lokální entropie, matice konektivity, detekce hran a převod do binárního obrazu. Dále byly prozkoumány různé metody detekce. Známé a výpočetně složité metody jako je Houghova transformace a shluková analýza dávají dobré výsledky, avšak nevýhodou je jejich časová a paměťová náročnost. Z tohoto hlediska se jeví jako nejúčinnější navržená funkce *contour*, která je při vhodném zvolení okolí jednoduchá, rychlá a podle použitého vzorku dost přesná. Její nevýhodou je citlivost na nastavení prahu pro porovnávání jasů obrazových bodů. Funkce založená na vektoru nebyla ještě dostatečně rozvinuta. Bylo by potřeba provádět více průchodů a v různých směrech. To by vedlo na úlohu z umělé inteligence jako je například *template matching* (porovnávání vzorů), kdy algoritmus v prvním kroku prochází procesem učení na trénovací množině. V dalším kroku se provádí porovnávání zkoumaných objektů s prvky trénovací množiny. (Příklad konstrukce trénovací množiny a procesu trénování ve zpracování obrazu je v [25].)

Pokud jde o zpracování videozáznamu, tak byly provedené základní práce jako rozložení videa na jednotlivé snímky, které byly podrobeny stejným testovacím technikám jako zkušební snímky z první skupiny. Z ukávek v kapitole 4.2.2 je vidět, že struktura snímku je značně složitá a identifikace startu záblesku nebude jednoduchou záležitostí. I Cannyho operátor, který je z použitých operátorů nejméně náchylný k falešným detekcím, je v tomto případě dosti zašumělý. Funkce *contour*, která byla testovaná na několika desítkách snímků z okolí startu záblesku, nedává příliš dobré výsledky – detekce jsou silně závislé na prahu a správně identifikovaný záblesk byl jen v několika případech. Vzhledem k malému rozdílu jasů pozadí a začínajícího záblesku je třeba hledat metody, které nestojí na velkém kontrastu jasů, ale spíše hledají lokální změny. Vzhledem ke složité a proměnlivé struktuře jednotlivých snímků videa nebude zřejmě možné použít prosté odečtení sousedních rámečků, ale bude potřeba použít náročnější metody z oboru pravděpodobnosti a matematické statistiky. Jde o obtížnou úlohu vzhledem k tomu, že začínající záblesk, který ještě ani není vidět pouhým okem, je na úrovni šumu. Úloha se tak podobá úkolům najít metodu, která vyhledává slabé body na pozadí oblohy, jež je přesvětlená dlouhou expozicí.

Z hlediska zadaného úkolu, kterým bylo vyhodnotit naměřená data soubor r zného rozsahu, byl prakticky zpracován malý soubor deseti fotografií a částečně velký soubor dat ze snímků videozáznamu. Pozitivní vlastností malého souboru dat z hlediska vyhodnocení jsou menší časová a výpočtová náročnost, a tedy menší nároky na paměť a výpočetní rychlost počítače. Je možné použít manuální zpracování dat, (i když v tomto případě bylo v téšině při testování jednotlivých funkcí využito automatické načítání snímků z adresáře).

Nevýhodou je malá velikost vzorku a z ní plynoucí malá vypovídací schopnost a nevhodnost zpracování dat statistickými metodami. Na druhou stranu, v tomto konkrétním případě, vzhledem k rozmanitosti použitých vzorků – soubor obsahoval snímky rozmanitého charakteru od prvního technikou zaznamenaného stadia záblesku až po záznam rozvinutého výboje – bylo možno sledovat účinnost testovaných metod na různých typech dat.

Zpracování velkého souboru dat, jako jsou stovky až tisíce snímků videozáznamu, se již neobejde bez automatizace procesu. Je zde také vyšší náročnost na paměťové a výpočetní schopnosti použité výpočetní techniky, což vede při vyhodnocení malého a velkého souboru dat do stejné hloubky na podstatně vyšší náklady při zpracování velkého souboru. Zásadní předností zpracování velkého souboru je možnost vyhodnocení výsledků metodami statistické analýzy a zveřejnění dosažených výsledků.

Praktické výstupy této práce jsou následující data a informace:

1. S využitím vhodných metod analýzy obrazu, kombinací technik zpracování obrazu určených pro vizualizaci struktury a úpravu obrazových dat (lokální entropie, transformace vzdáleností, Radonova transformace, geometrické transformace, operátory jasu, hranové detektory, spojené komponenty a filtrace) s metodami rozpoznávání obrazu (Houghova transformace, shluková analýza), a případně s využitím dalších metod (operátory okolí, vektor), lze detekovat záblesk již od počátečního stadia vývoje.
2. Soubor výsledků testování různých typů obrazových dat (viz Obrazová příloha), který ukazuje možnosti využití různých numerických, analytických a statistických metod při zpracování obrazu, lze využít v dalším výzkumu obrazového záznamu záblesku i podobných úloh, jako je například výzkum obrazového záznamu meteoru.
3. Byly zhodnoceny možnosti zpracování různých velkých souborů obrazových dat i naměřených dat obecně.
4. Byl obecně navržen další možný postup při zpracování obrazového záznamu záblesku – metoda porovnávání vzorů z oblasti počátečního vidění.
5. Byla provedena diskuse možností analýzy videozáznamu a nastíněny směry dalšího zpracování (využití pokročilých metod pravděpodobnosti a matematické statistiky).

## Literatura

- [1] Mentlík, V., Pihera, J., Polanský, R., Prosr, P., Trnka, P. (2008). *Diagnostika elektrických za ízení*. BEN, Praha
- [2] Mentlík, V. (2006). *Dielektrické prvky a systémy*. BEN, Praha
- [3] Mentlík, V., Trnka, P., Trnková, M., Šašek, L. (2011). *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. BEN, Praha
- [4] Meloun, M., Militký, J. (2004). *Statistická analýza experimentálních dat*. ACADEMIA, Praha
- [5] Meloun, M., Militký, J. (1998). *Statistické zpracování experimentálních dat*. ars magna, Praha
- [6] Ballard, D.H. (1981). *Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes*. *Pattern Recognition*. Vol. 13, No. 2 , 111 – 122
- [7] Duda, R.O., Hart, P. (1971). *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. Technical Note 36 (April 1971)
- [8] Duda, R.O., Hart, P. (1972). *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. *Communications of the ACM*, Vol. 15, No. 1, (January 1972)
- [9] Hart, E. (2009). *How the Hough Transform Was Invented*. *IEEE Signal Processing Magazine*, November 2009, 18 – 22
- [10] Hlavá , V., Šonka, M. (1992). *Po íta ové vid ní*. Grada, Praha
- [11] Hough, P.V.C. (1962). *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*. U.S. patent No. 3,069,654, Dec. 18, 1962
- [12] Kubi ková, E.A. (2010). *Computer Vision in Research of Meteors*. Semestrální projekt, Z U FAV, katedra kybernetiky, Plze
- [13] Kubi ková, E.A. (2010). *Searching of Meteors in Astronomical Images on the Basis of MATLAB Toolbox*. Technical Computing Bratislava 2010, 18th Annual Conference Proceedings, Bratislava: RT Systems in cooperation with Systémy priemyselnej informatiky, s.r.o., Bratislava
- [14] Kubi ková, E.A. (2011). *Searching of Meteors in Astronomical Images Using MATLAB GUI*. Posterus.sk, portál pre odborne publikovanie, Systémy priemyselnej informatiky, s.r.o., Bratislava
- [15] Kubi ková, E.A. (2011). *Mathematical Methods Used in Meteor Searching*. Mezinárodní Ba ova konference pro doktorandy a mladé v decké pracovníky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlín , Fakulta managementu a ekonomiky, Zlín



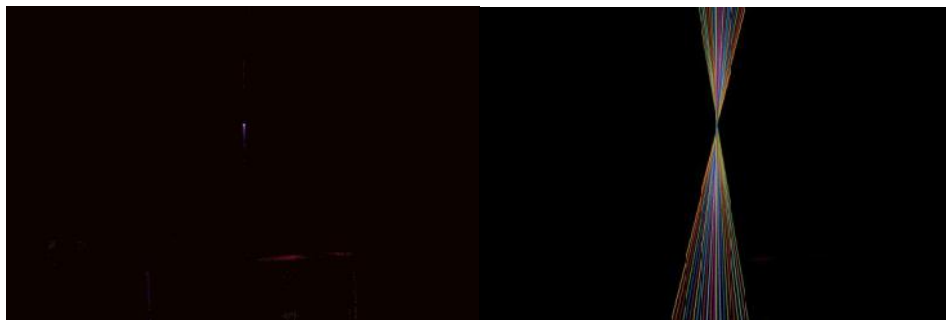
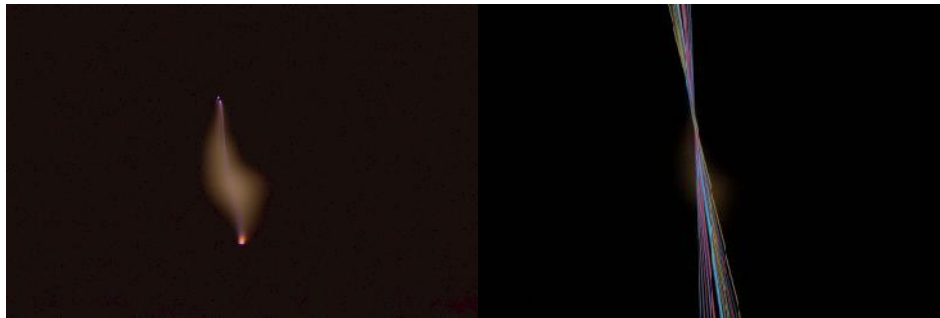
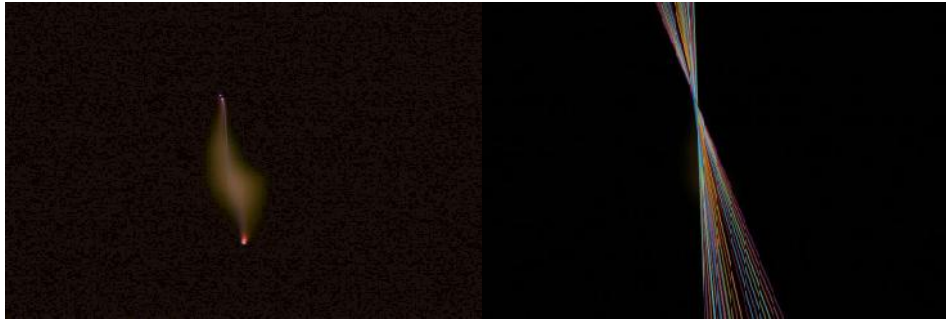
- [16] Kubišková, E.A. (2011). *Probability and Statistics in Computer Vision*. Semestrální projekt, Z U FAV, katedra matematiky, Plze
- [17] Kubišková, E.A. (2011). *Processing of Astronomical images Using MATLAB Image Processing Toolbox*. Recenzovaný sborník příspěvků interdisciplinární mezinárodní vědecké konference doktorandů QUAERE 2011, p.92-97
- [18] Kubišková, E.A. (2011). *Houghova a Radonova transformace ve vyhledávání meteoroidů*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Jednota českých matematik a fyziků, Praha
- [19] Kubišková, E.A. (2011). *Cluster Analysis in Meteor Detection*. Semestrální projekt, Z U FAV, katedra kybernetiky, Plze
- [20] Kubišková, E.A. (2011). *Statistical Processing of Meteoric Snaps Using MATLAB Toolboxes*. Technical Computing Prague 2011- 19th Annual Conference Proceedings, Praha
- [21] Lukasová, A., Šarmanová, J. (1985). *Metody shlukové analýzy*. SNTL, Praha
- [22] Martinez, W.L., Martinez, A.R. (2005). *Exploratory Data Analysis with MATLAB*. Chapman & Hall/CRC Press UK, London
- [23] Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R. (2008). *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Third Edition. Cengage Learning, Stamford
- [24] Svoboda, T., Kybic, J., Hlavac, V. (2008). *Image Processing, Analysis, and Machine Vision / A MATLAB Companion*. Thomson, London
- [25] Novotný, M. (2012). *Rozpoznávání objektů s využitím programu MATLAB*. Diplomová práce, Provozní ekonomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Brno
- [26] Kubišková, E.A. (2012). *Detection of Meteors in Astronomical Image Records*. Teze ke státní doktorské zkoušce. Z U FAV, katedra kybernetiky, Plze

OBRAZOVÁ P ÍLOHA

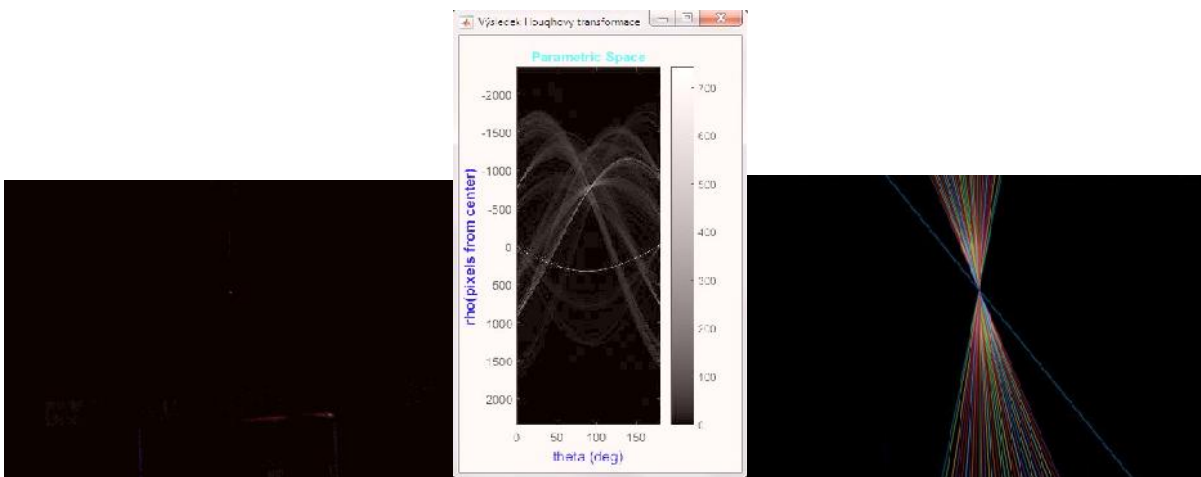
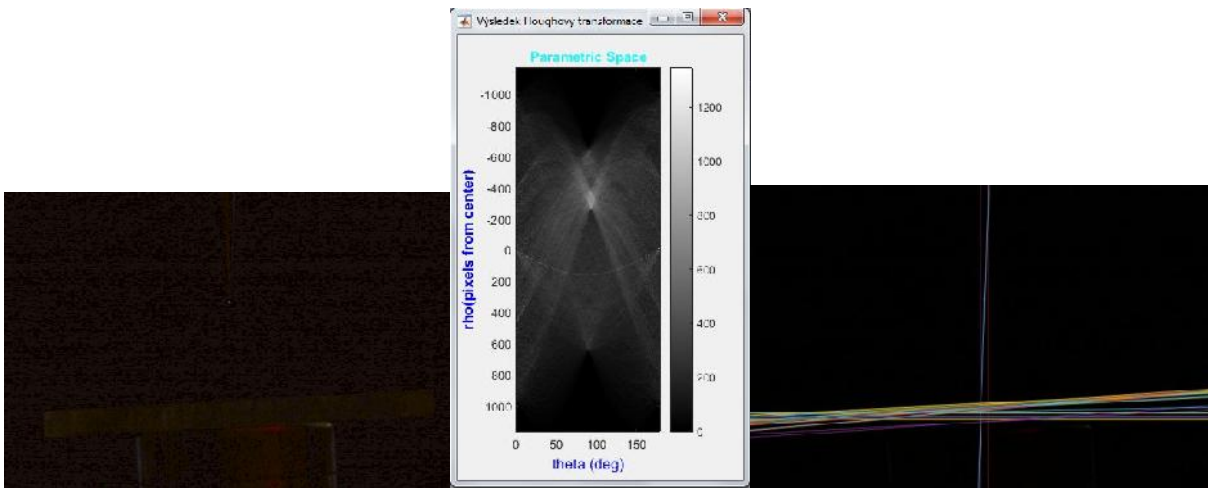
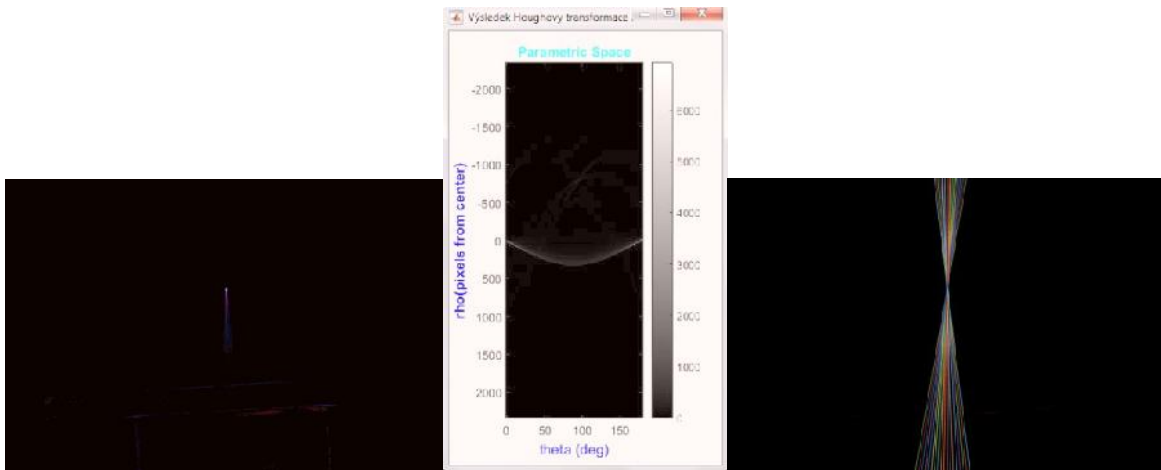
DETEKCE ZÁBLESK

VYBRANÉ UKÁZKY ZPRACOVÁNÍ  
OBRAZOVÉHO ZÁZNAMU VN VÝBOJ

VÝSLEDKY HOUGHOVY TRANSFORMACE

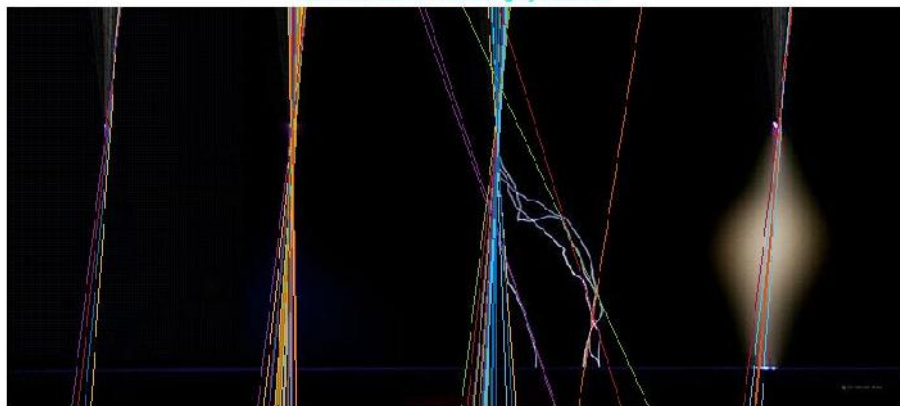
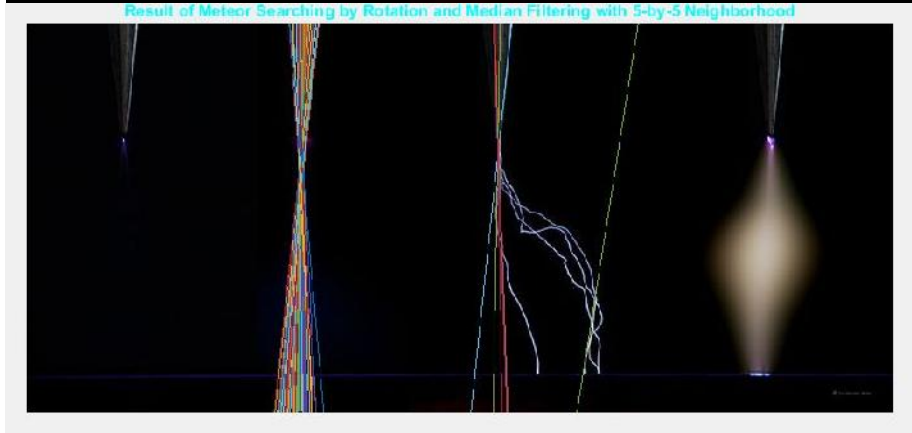


# PARAMETRICKÝ PROSTOR P I HOUGHOV TRANSFORMACI



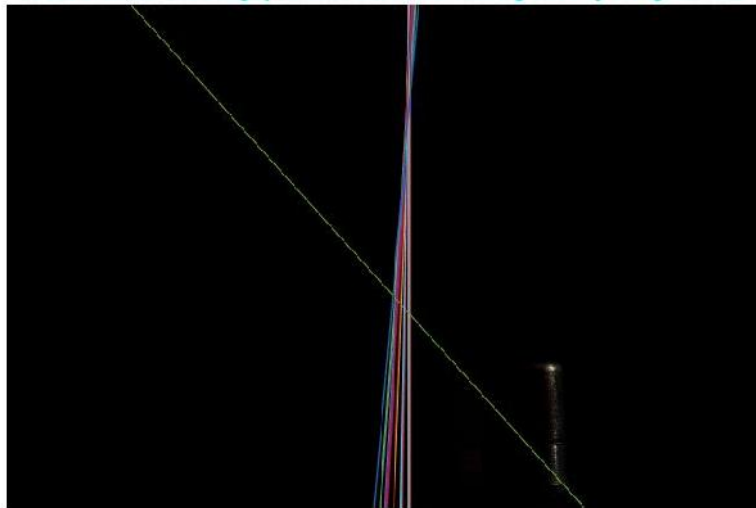


## VLIV FILTRACE MEDIÁNEM

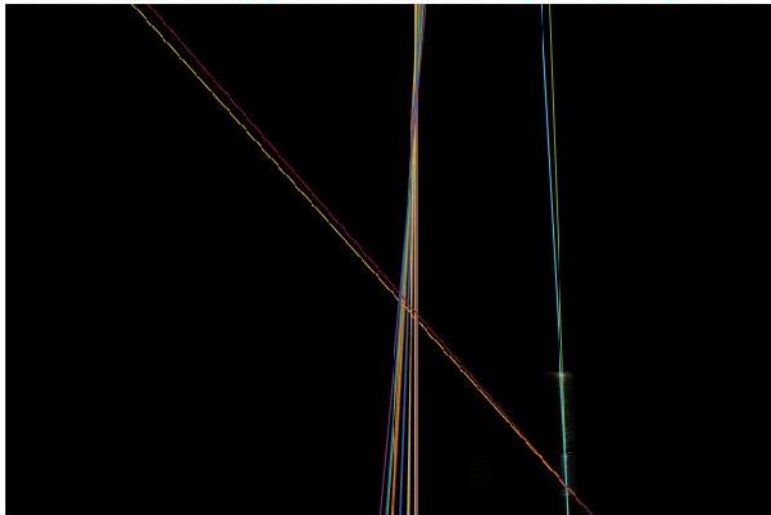




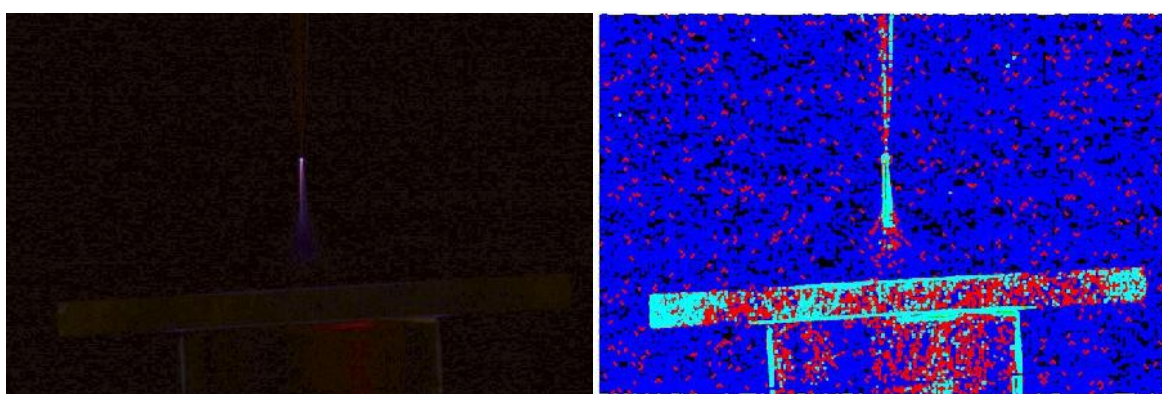
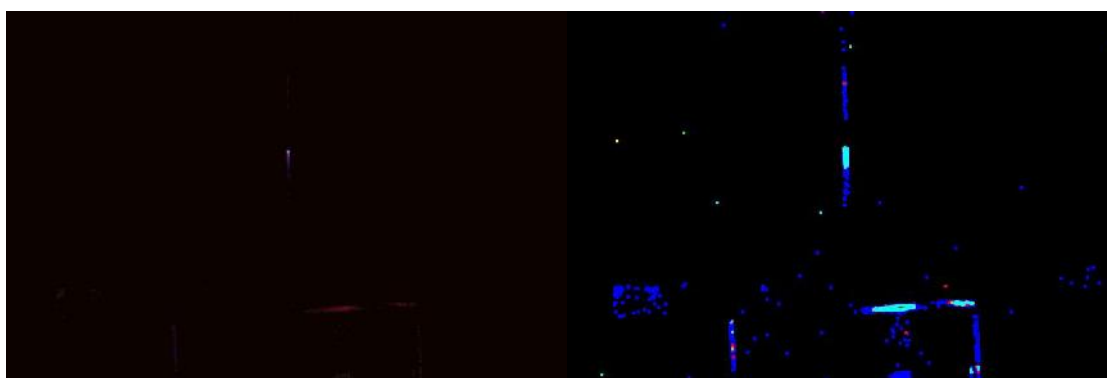
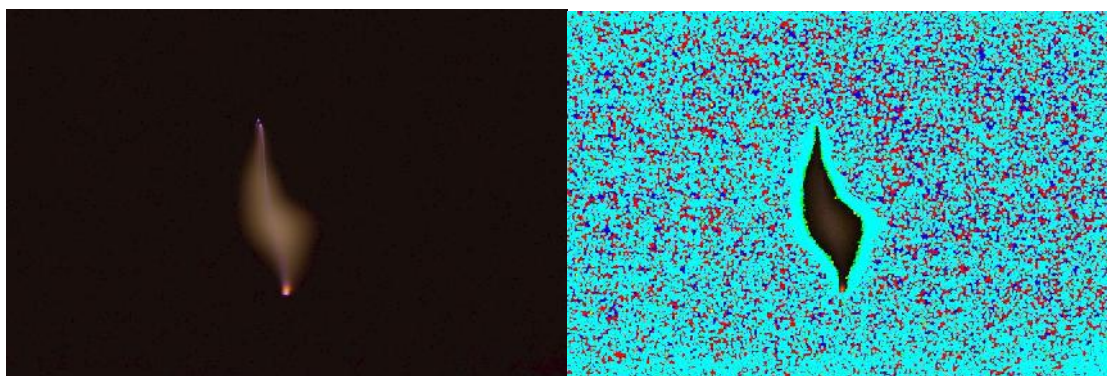
Result of Meteor Searching by Rotation and Median Filtering with 3-by-3 Neighborhood



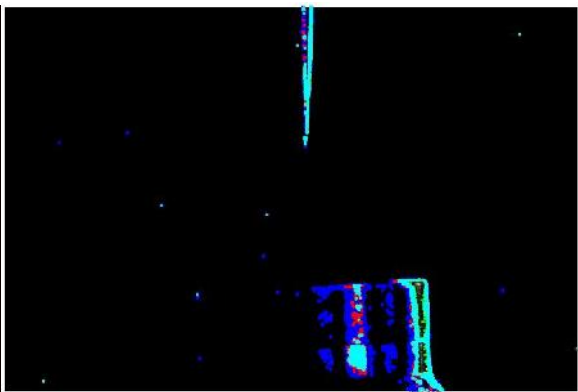
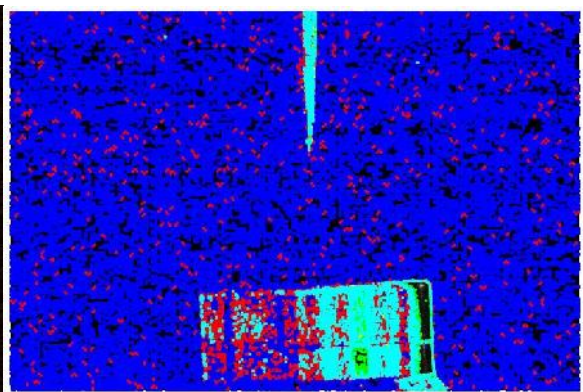
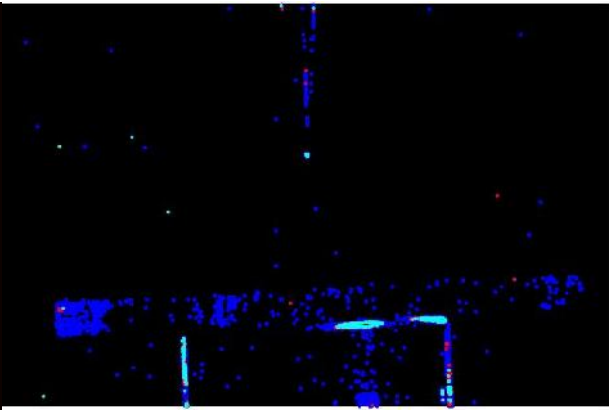
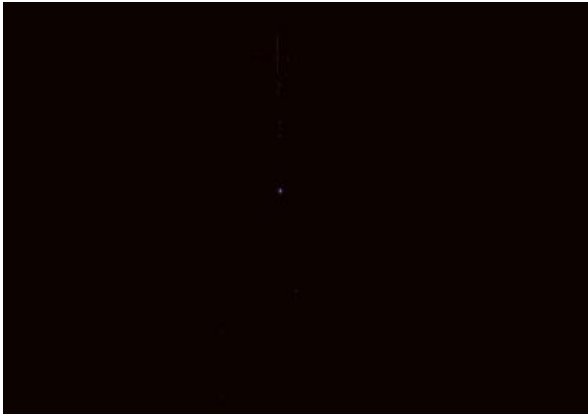
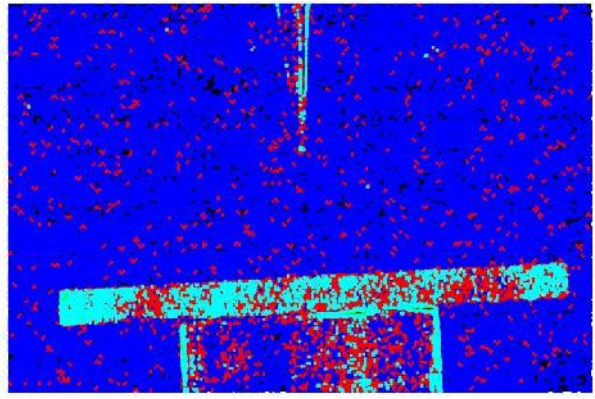
Result of Meteor Searching by Rotation and Median Filtering with 2-by-2 Neighborhood



VÝSLEDKY SHLUKOVÉ ANALÝZY METODOU SINGLE LINKAGE



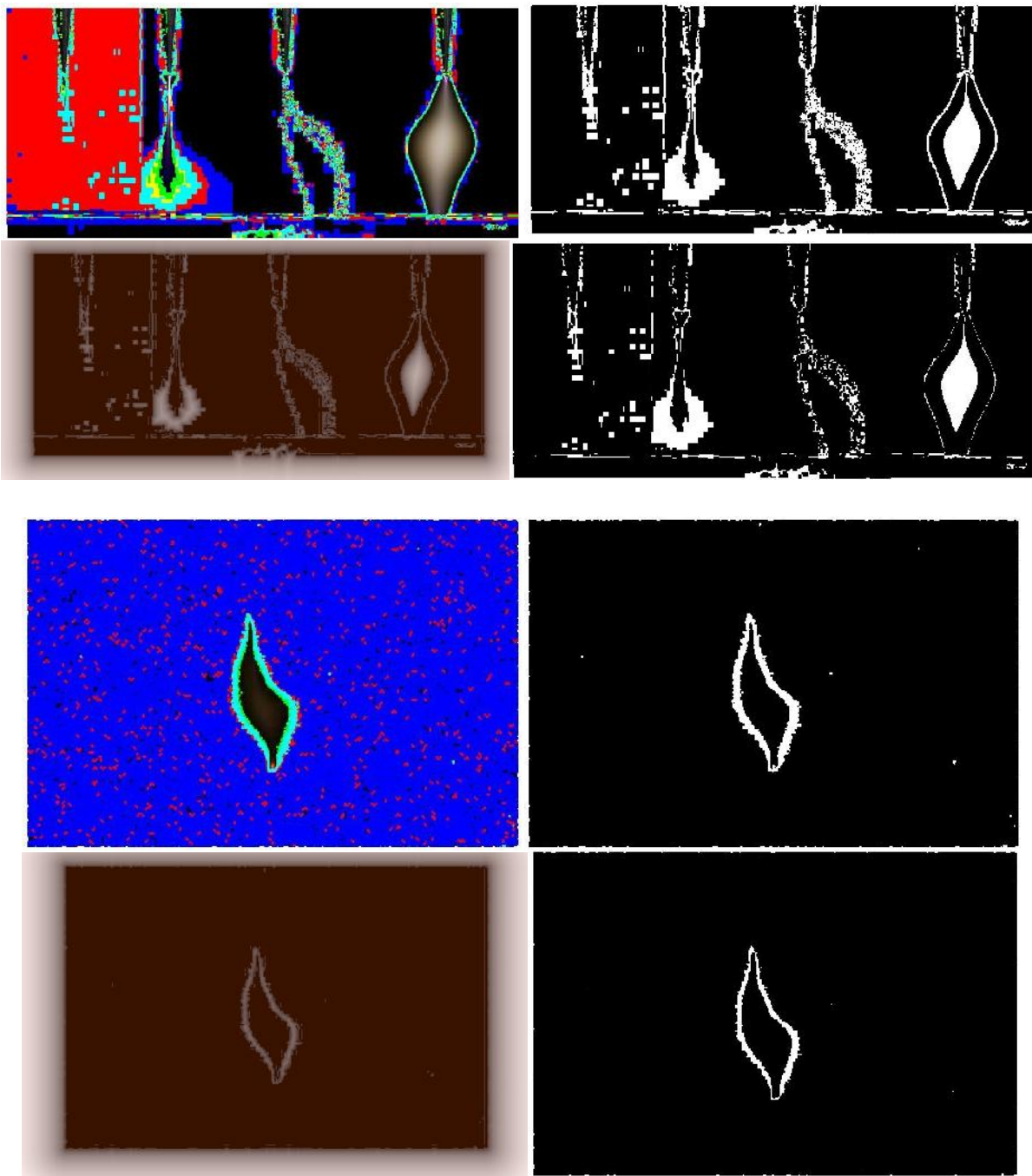


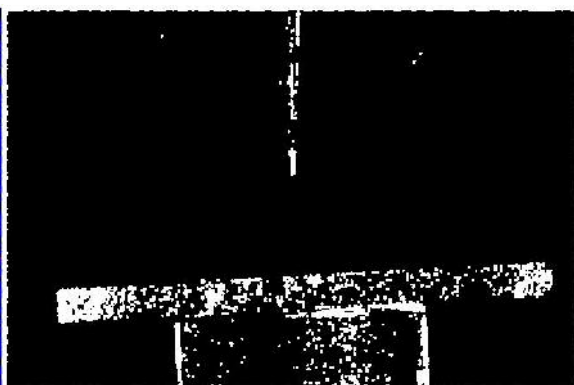
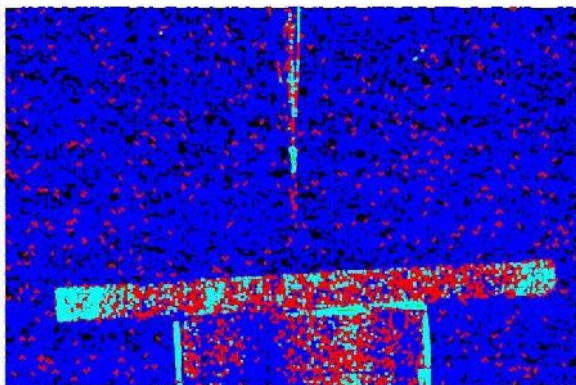
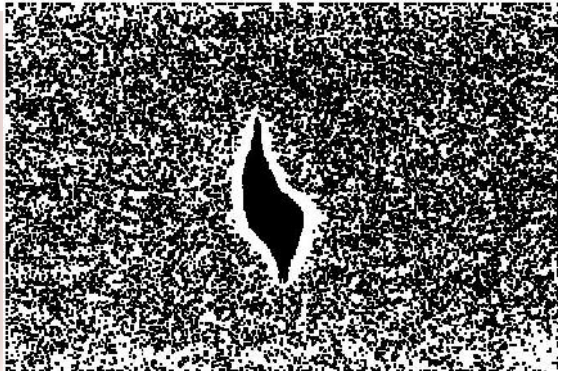
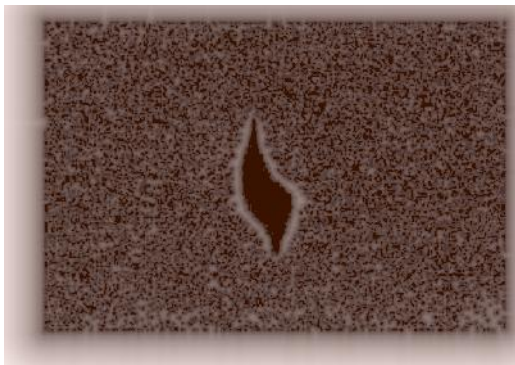
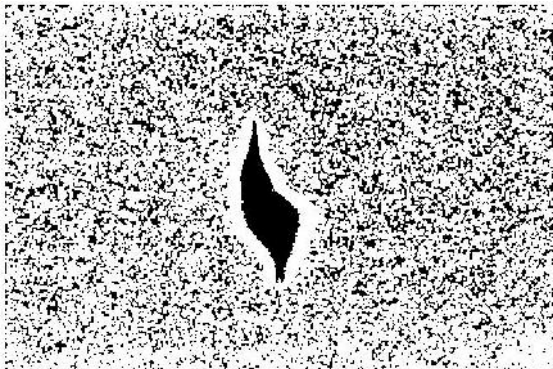
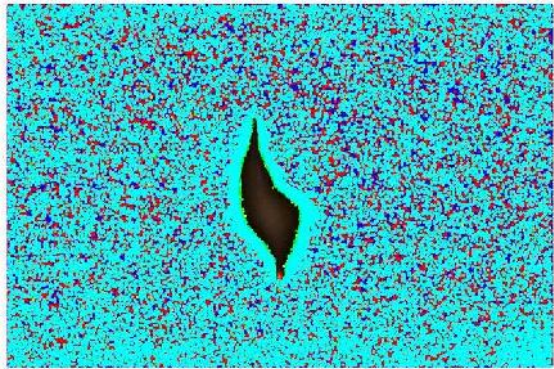


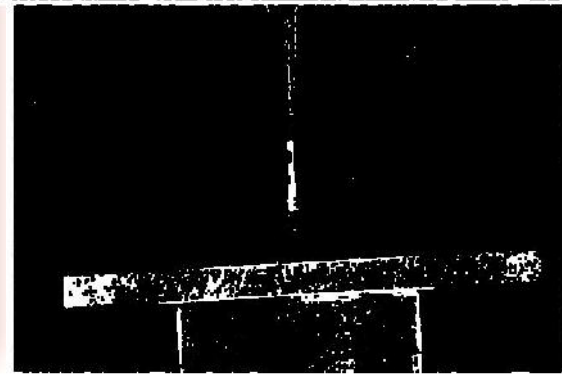
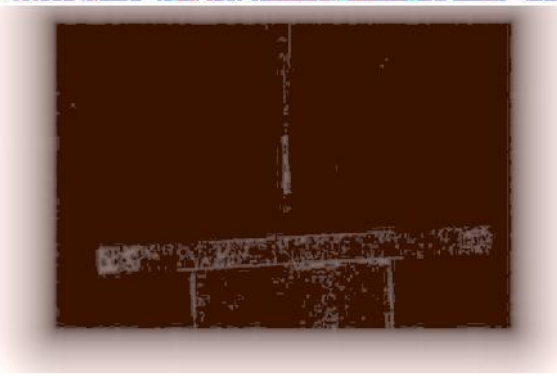
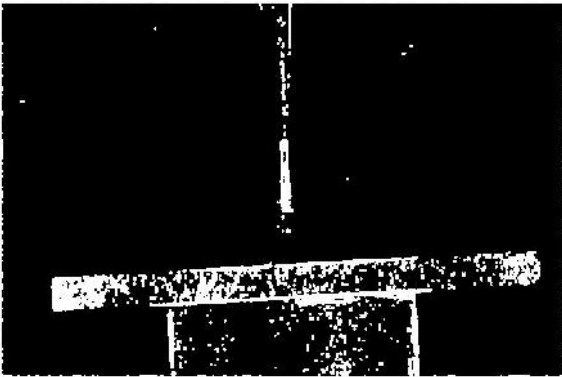
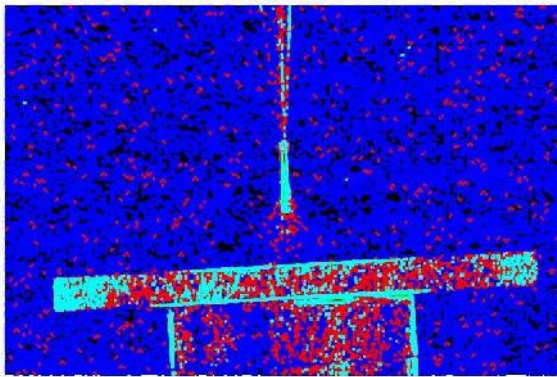
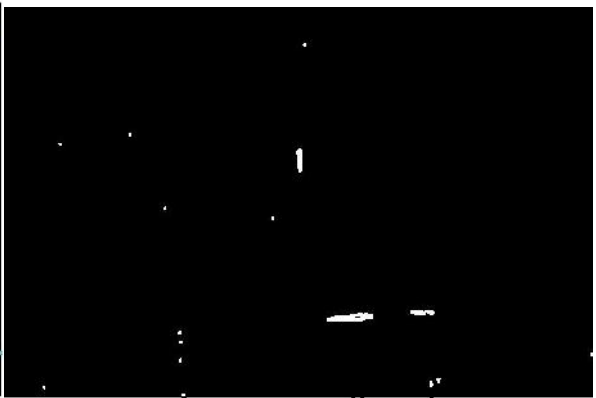
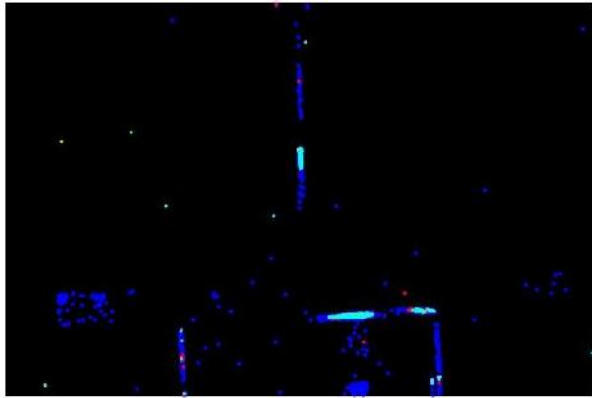


TRANSFORMACE VZDÁLENOSTÍ APLIKOVANÁ PO SHLUKOVÉ ANALÝZE A PO LOKÁLNÍ ENTROPII. PROVÁDÍ SE NA BINÁRNÍM OBRAZE.

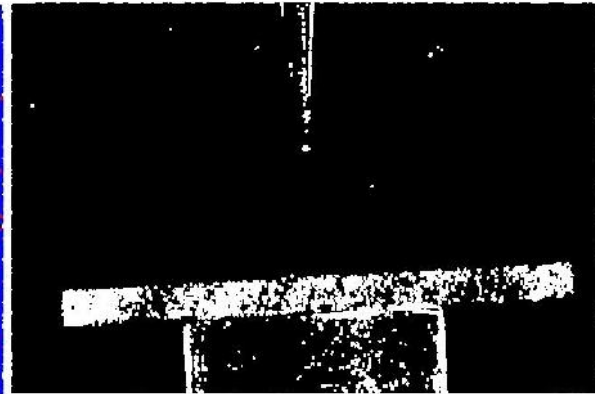
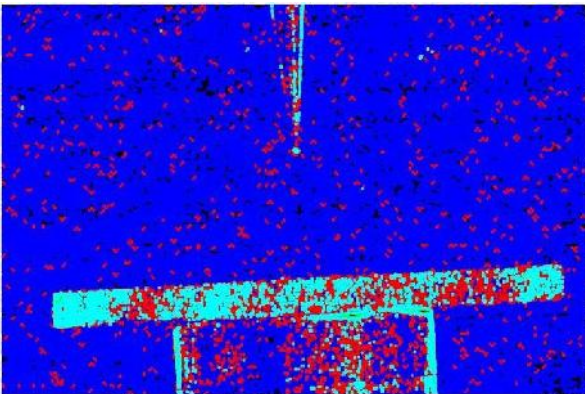
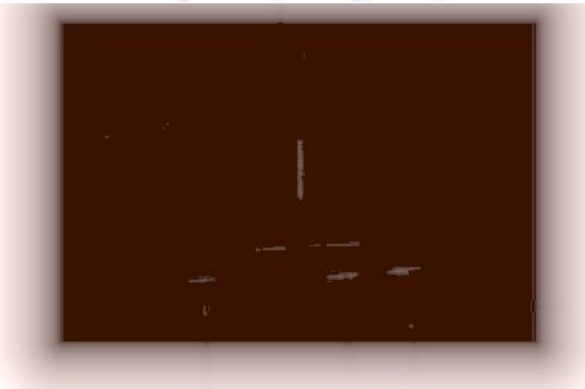
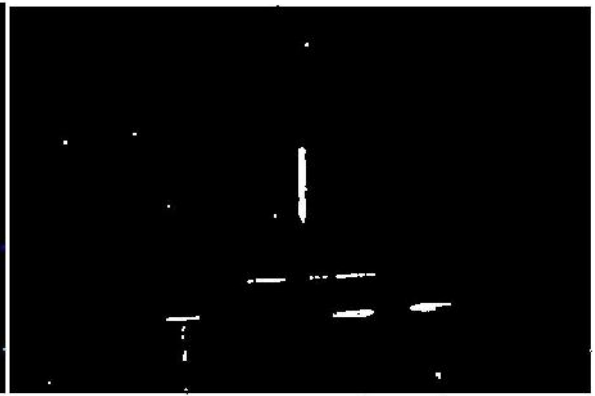
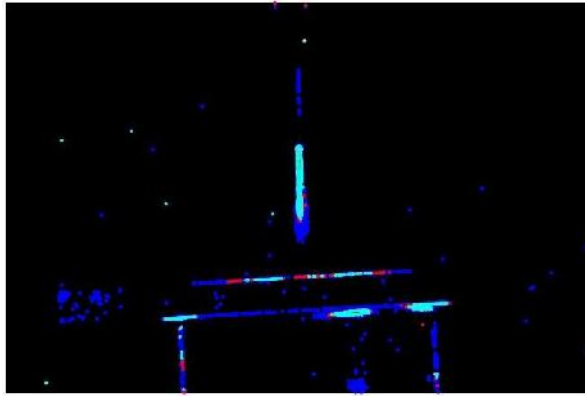
SHLUKOVÁ ANALÝZA – METODA SINGLE LINKAGE

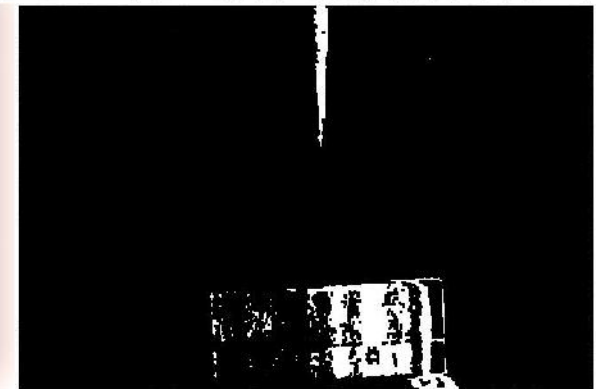
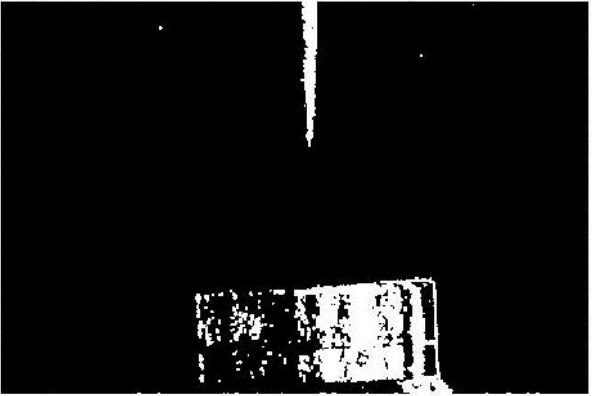
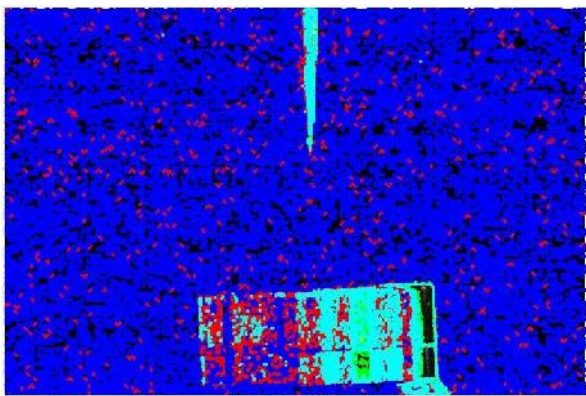
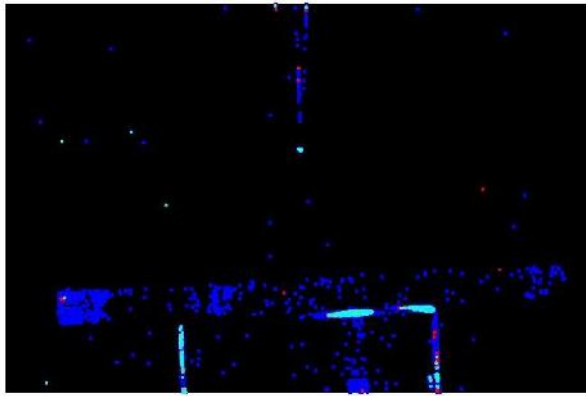


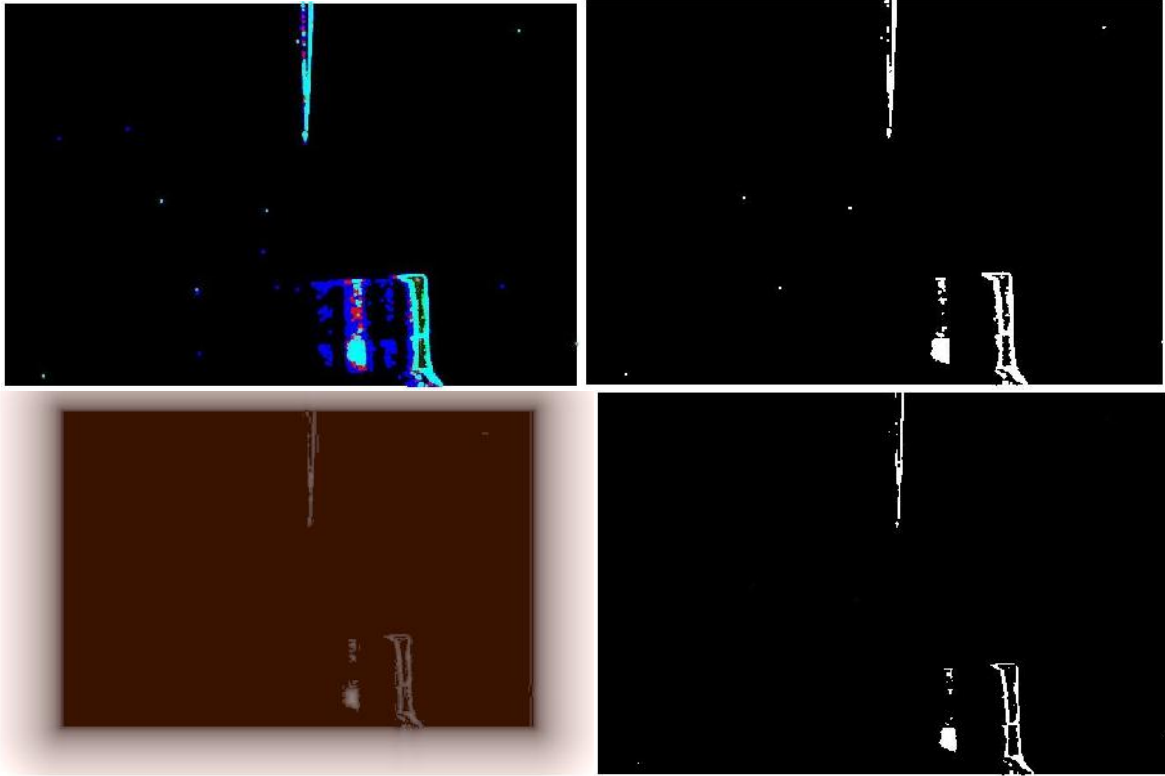




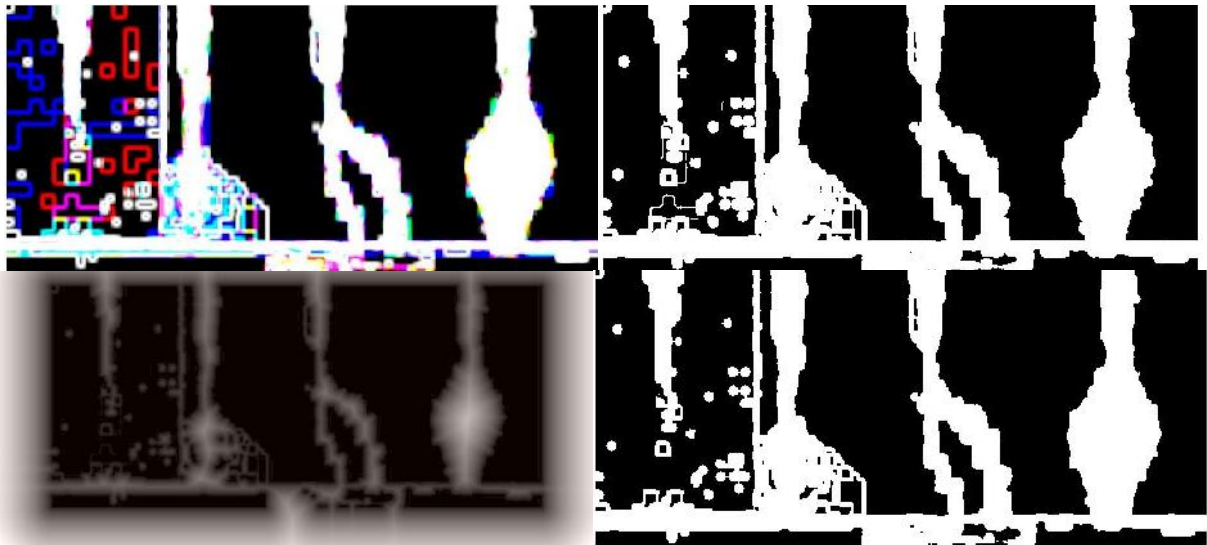




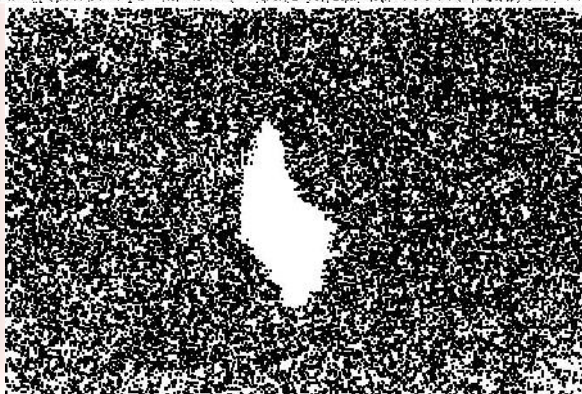
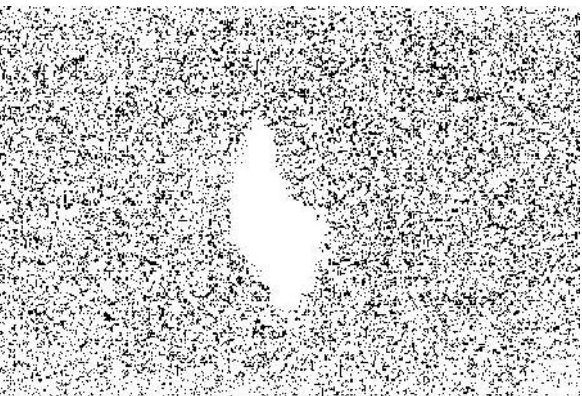
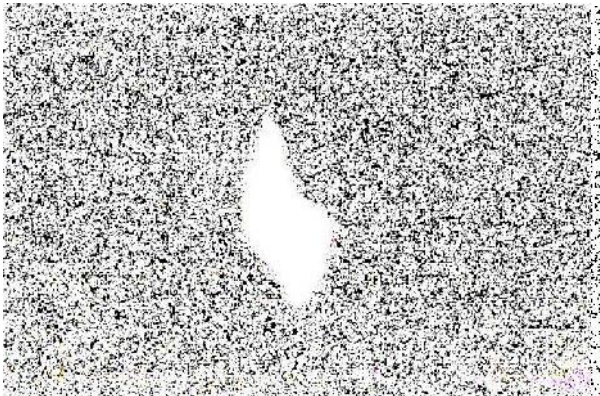
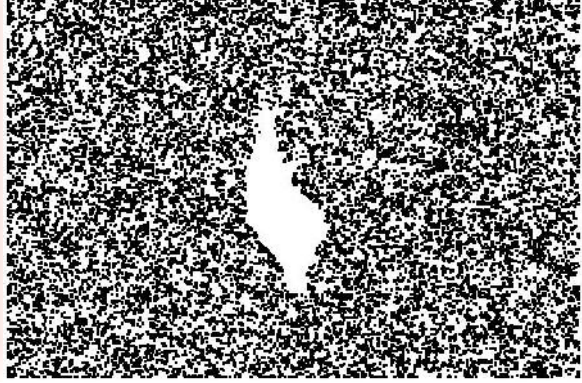
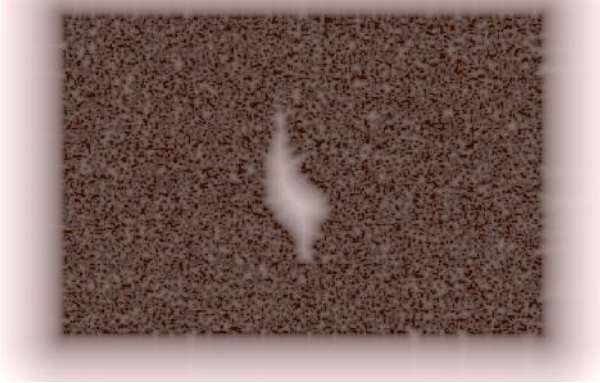
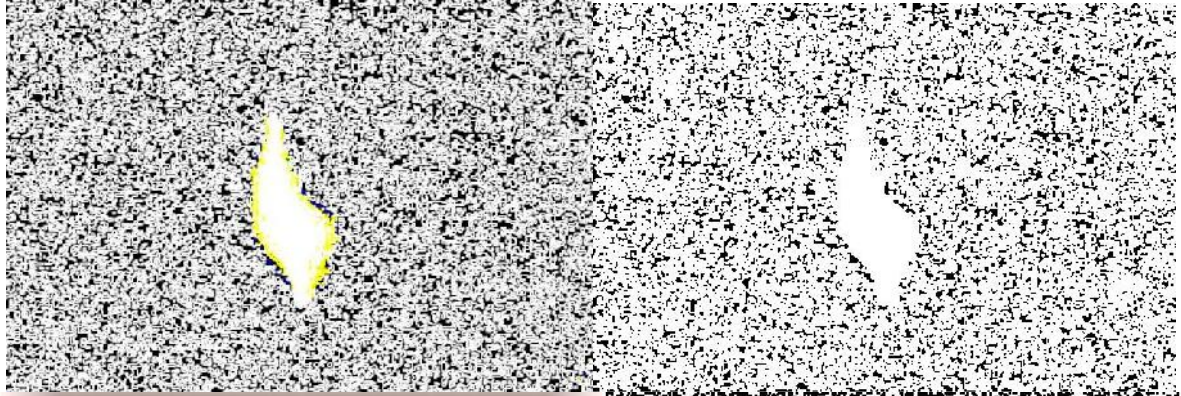




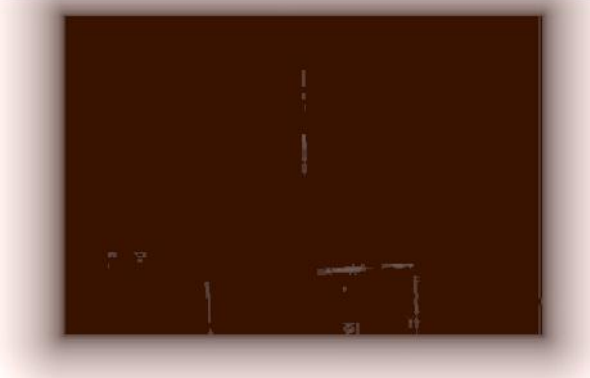
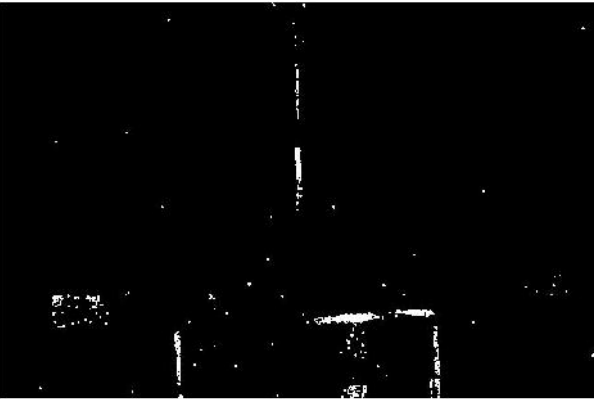
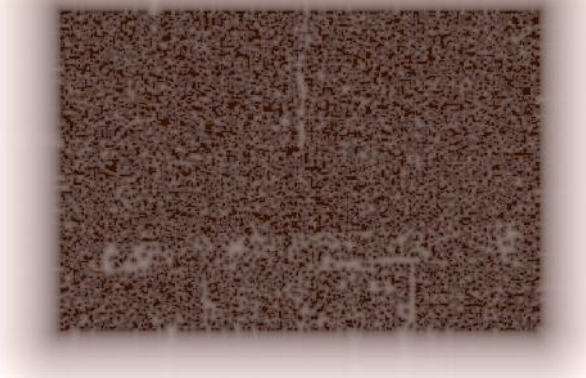
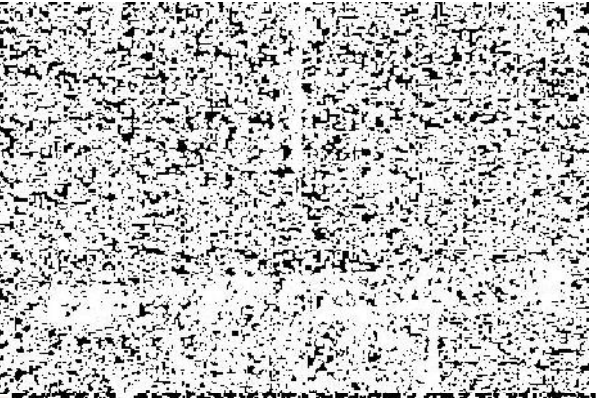
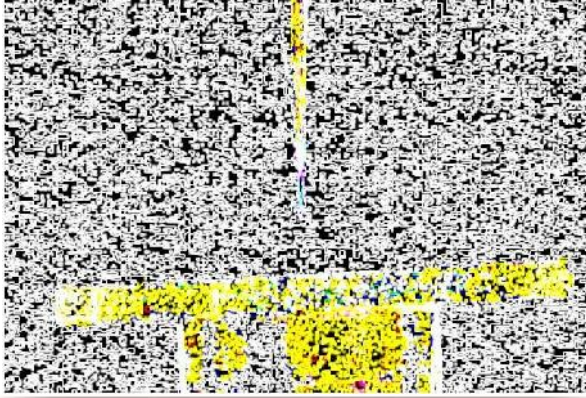
LOKÁLNÍ ENTROPIE A TRANSFORMACE VZDÁLENOSTÍ

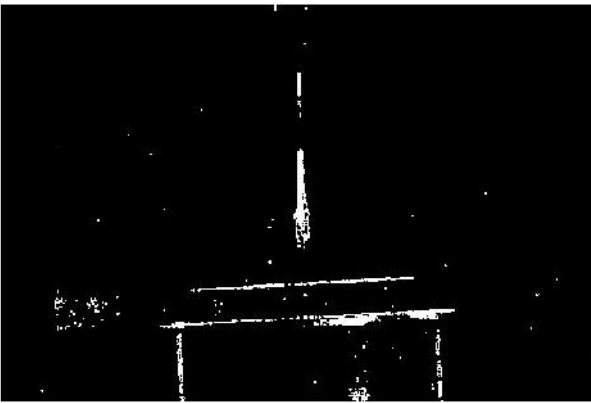
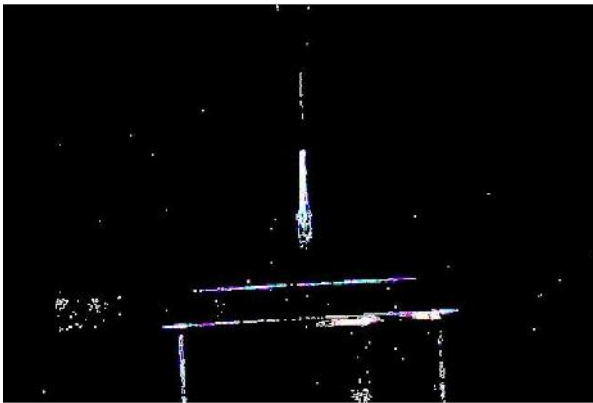
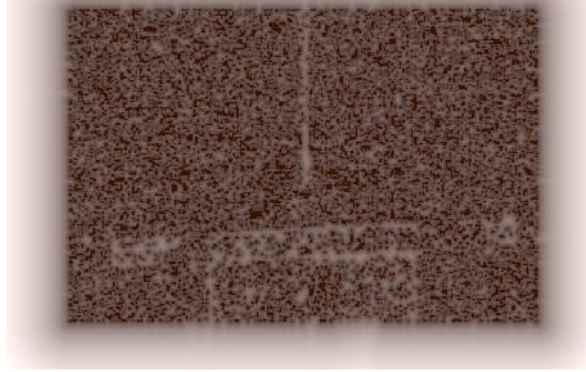
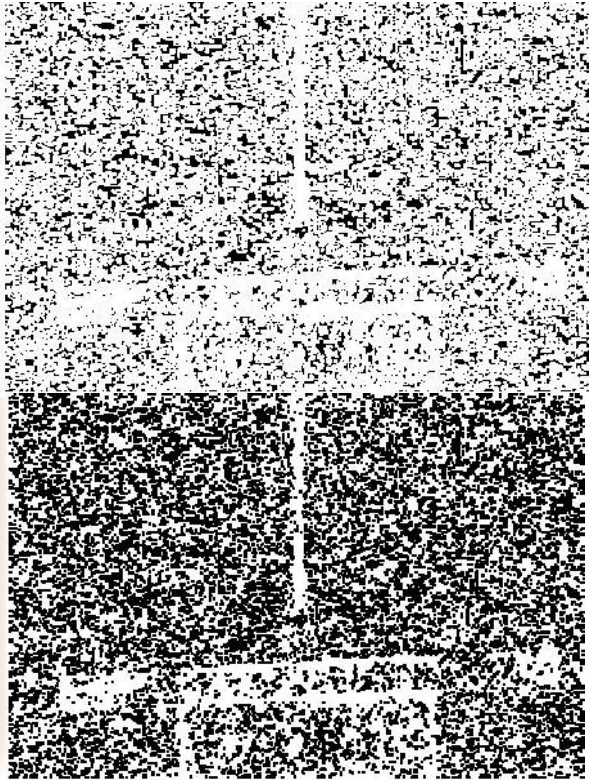
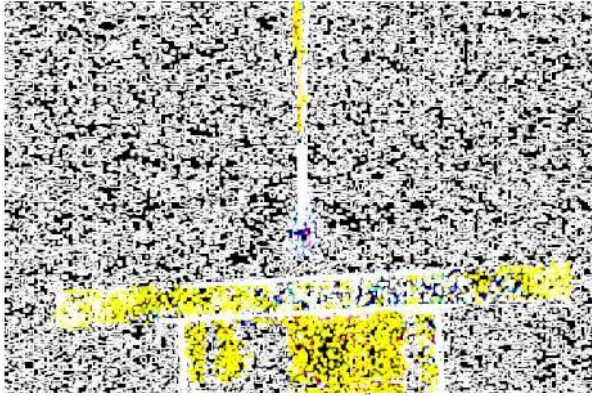




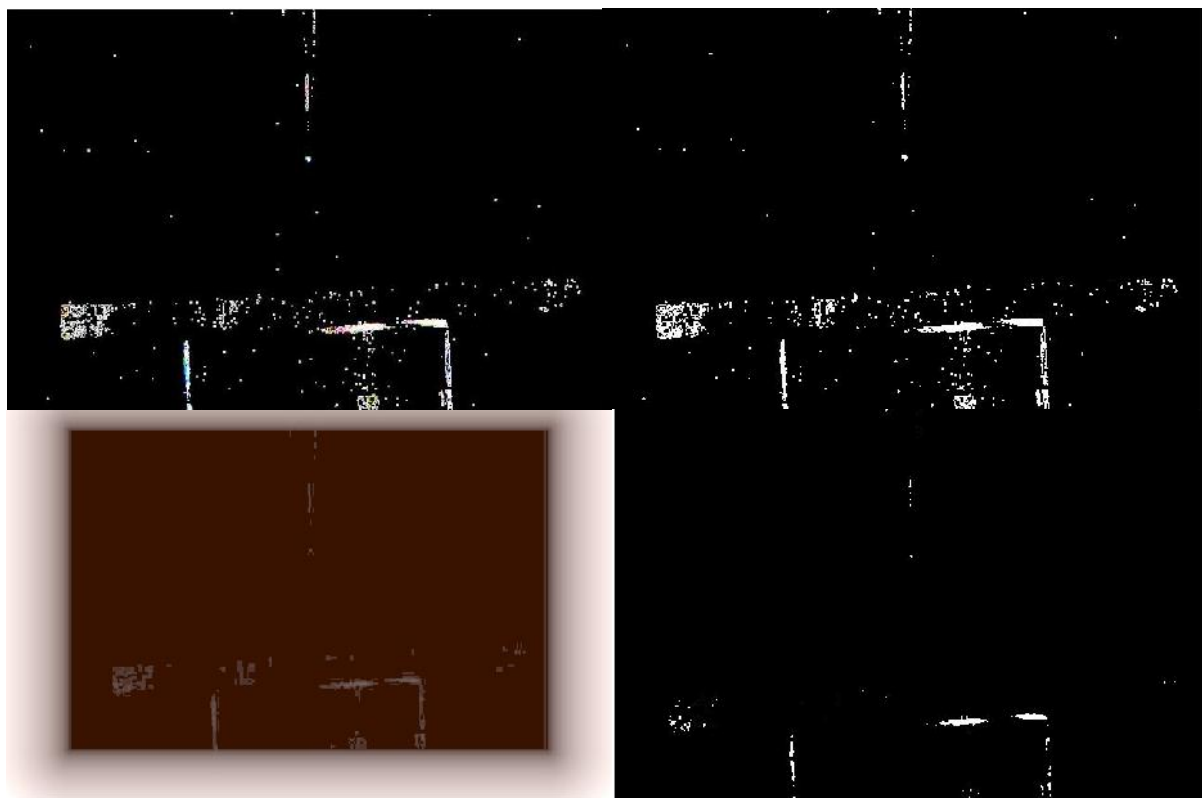
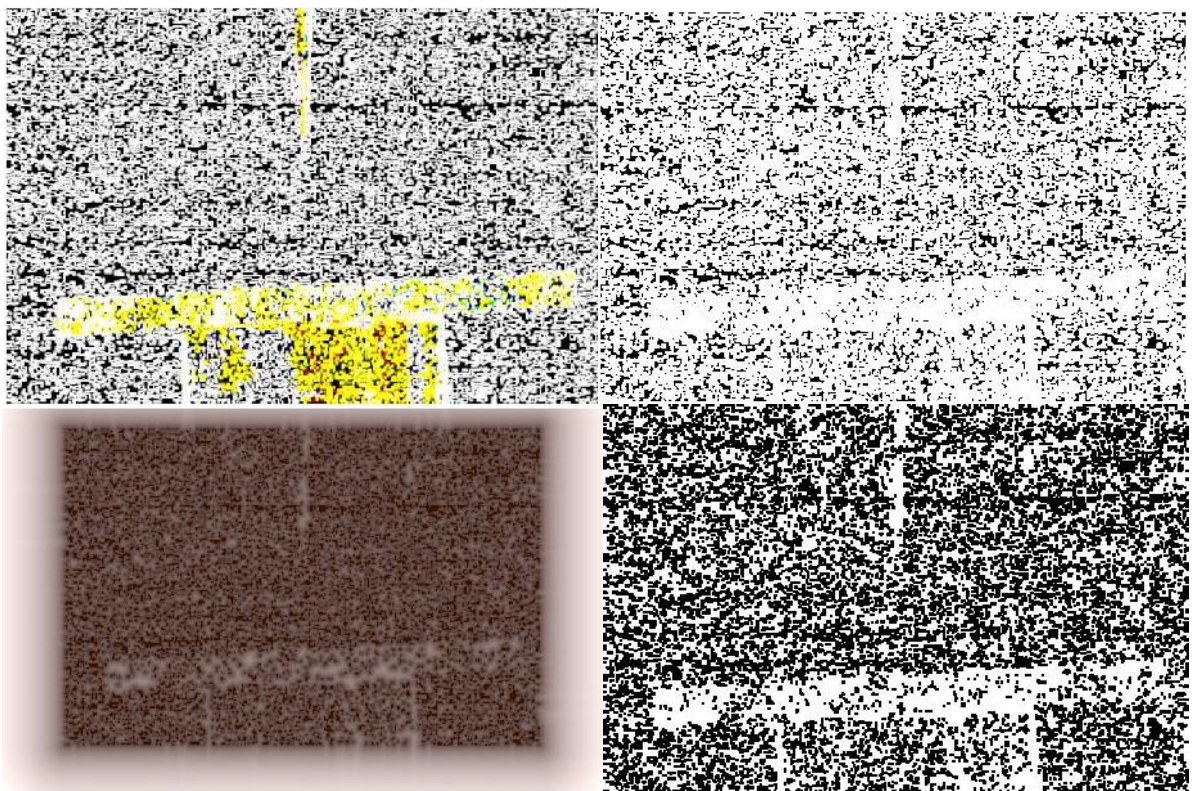


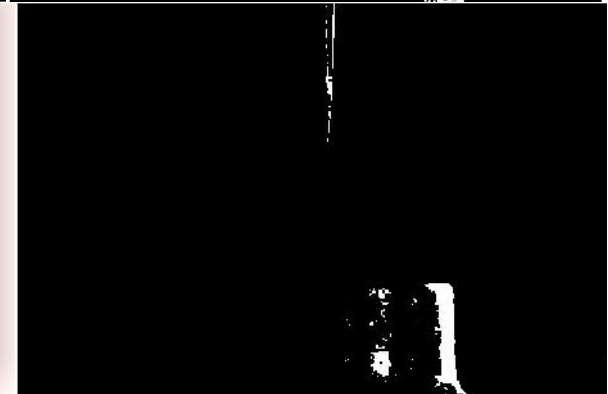
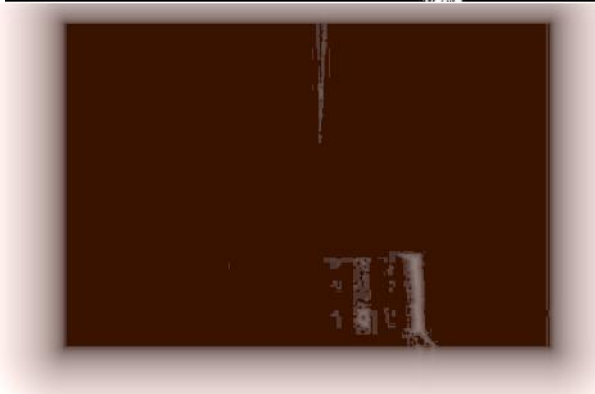
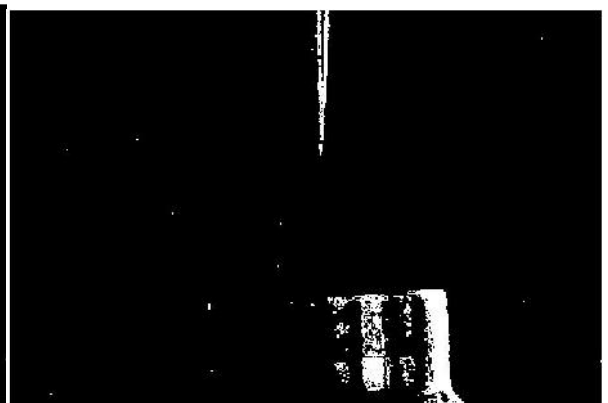
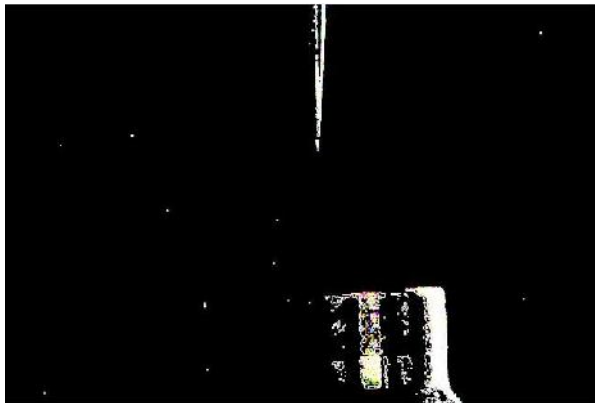
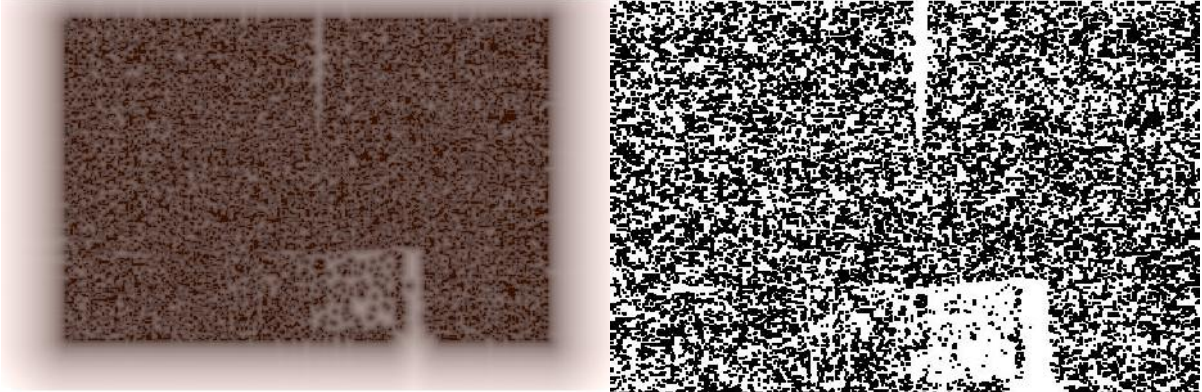
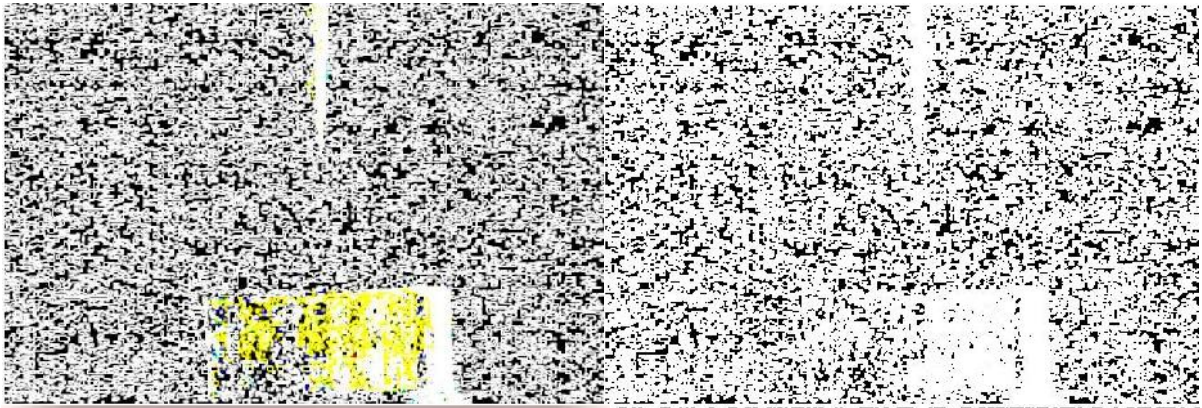






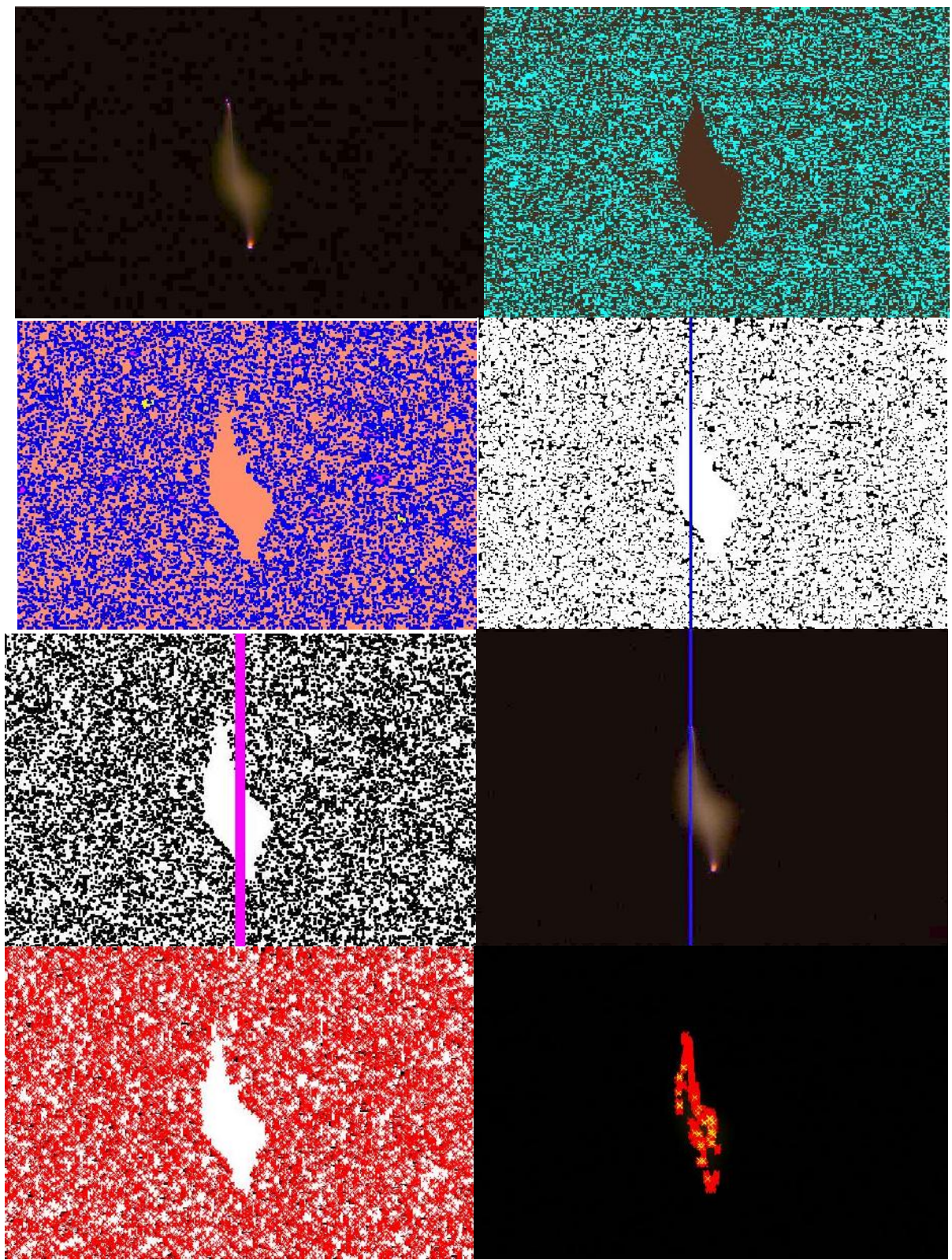




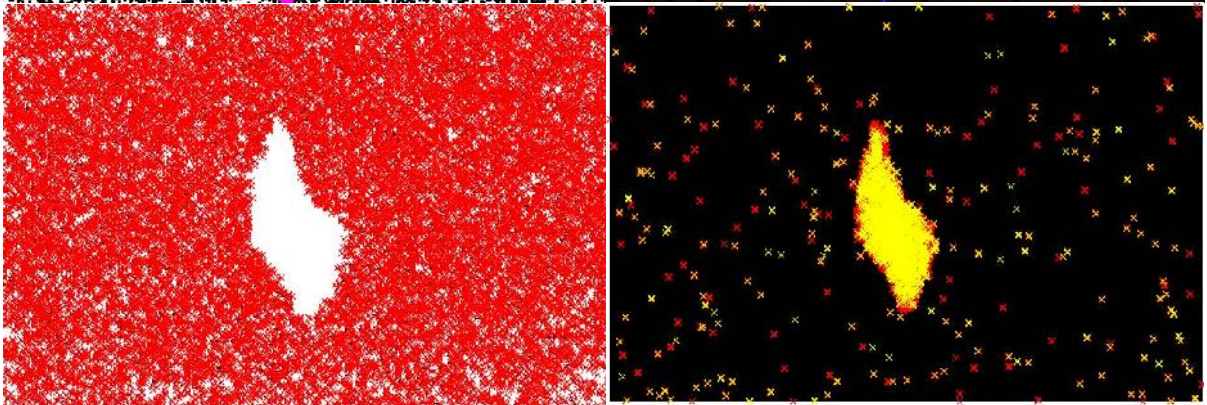
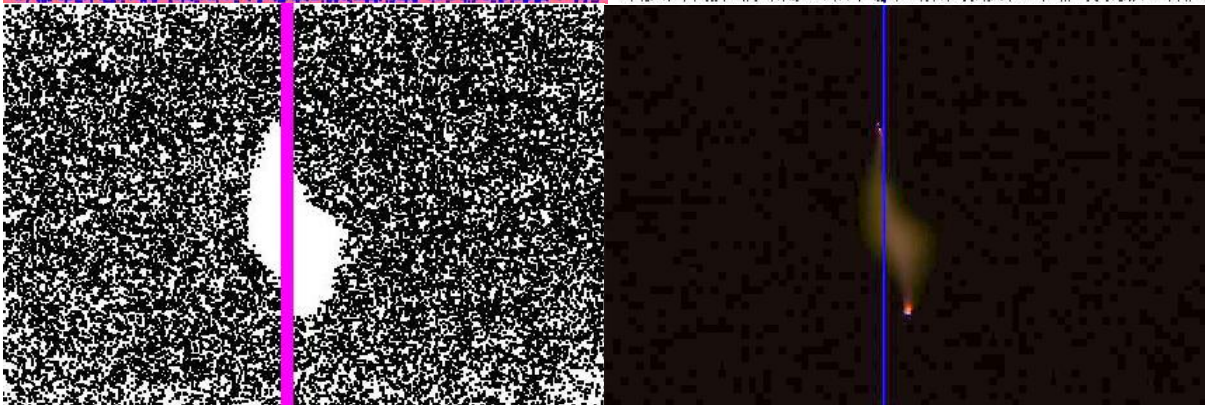
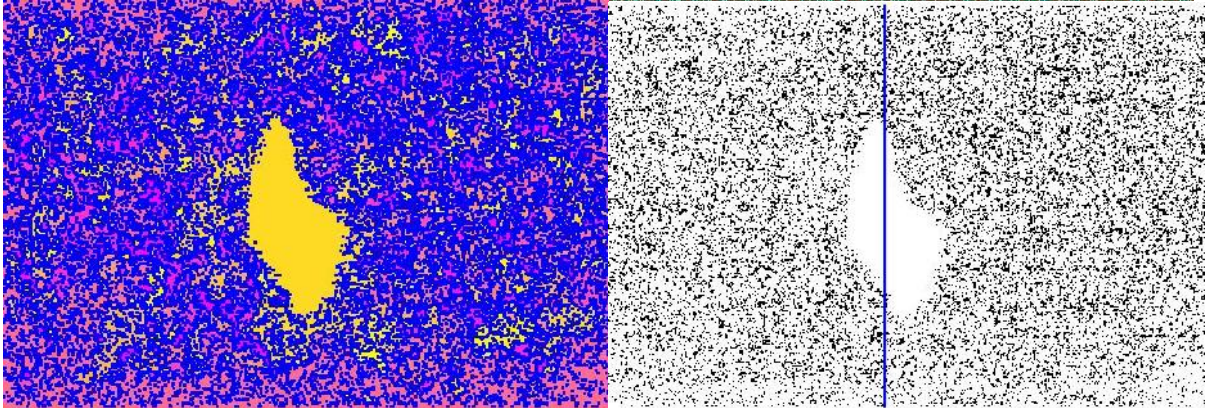
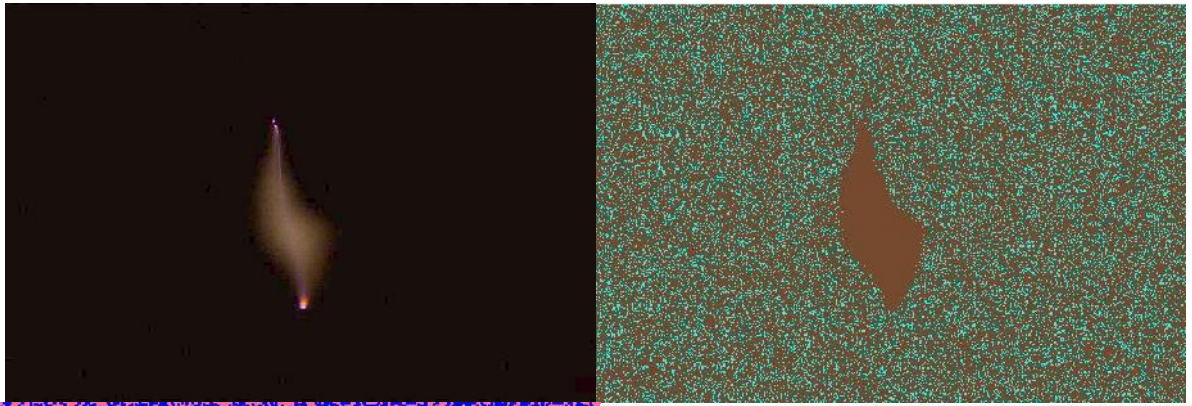




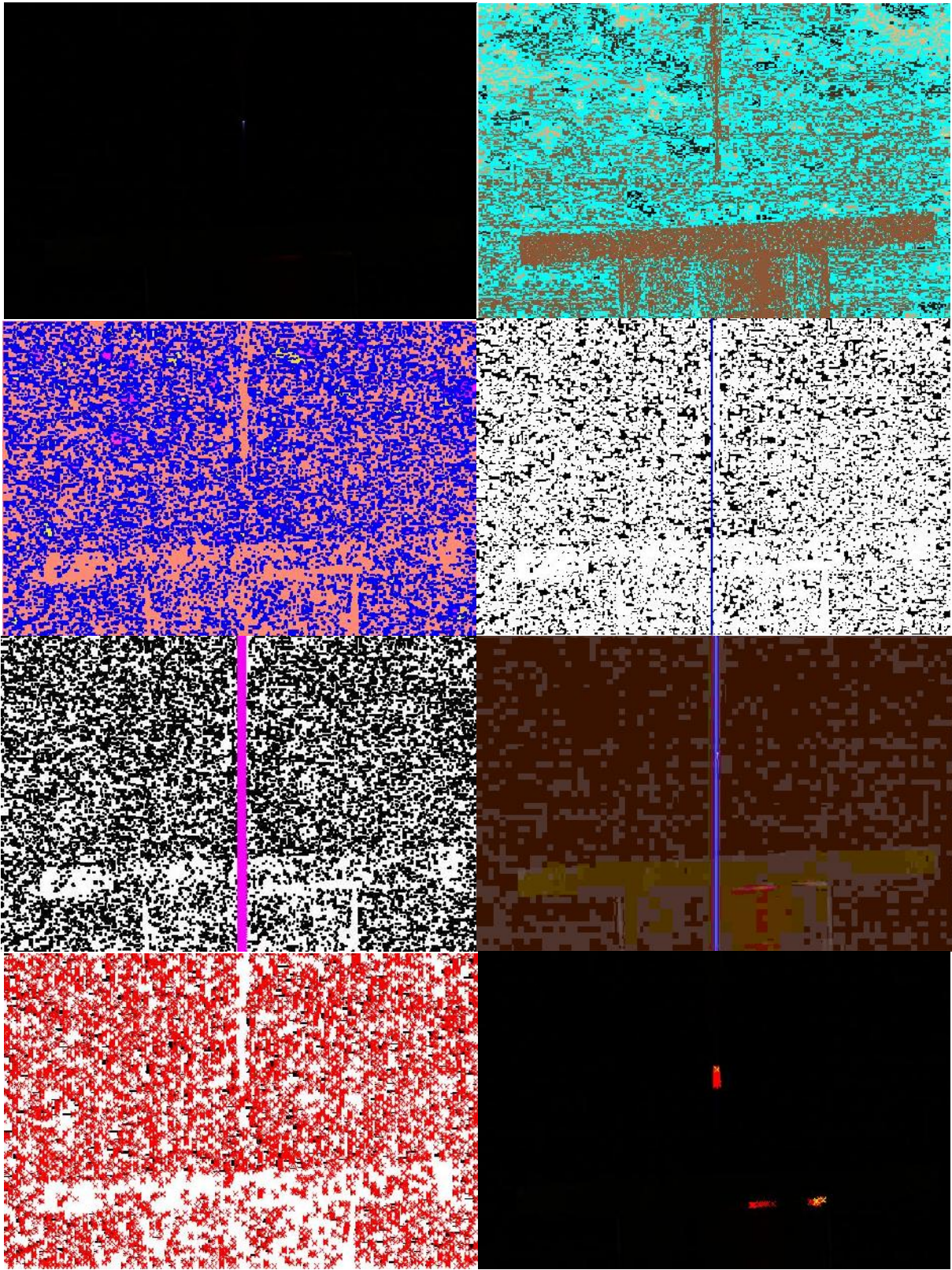
SPOJENÉ KOMPONENTY APLIKOVANÉ NA ORIGINÁLNÍ SNÍMEK, SPOJENÉ KOMPONENTY PO LOKÁLNÍ ENTROPII A TRANSFORMACI VZDÁLENOSTÍ, FUNKCE VEKTOR PO LOKÁLNÍ ENTROPII, VEKTOR PO LOKÁLNÍ ENTROPII A TRANSFORMACI VZDÁLENOSTÍ, VEKTOR PO HRANOVÉM DETEKTORU CANNY, FUNKCE CONTOUR APLIKOVANÁ PO LOKÁLNÍ ENTROPII, CONTOUR PO HRANOVÉM DETEKTORU CANNY

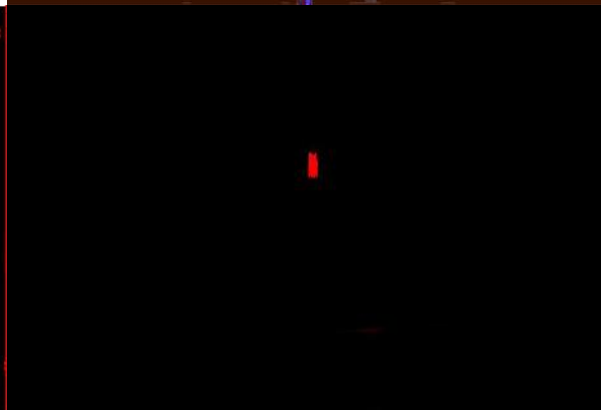
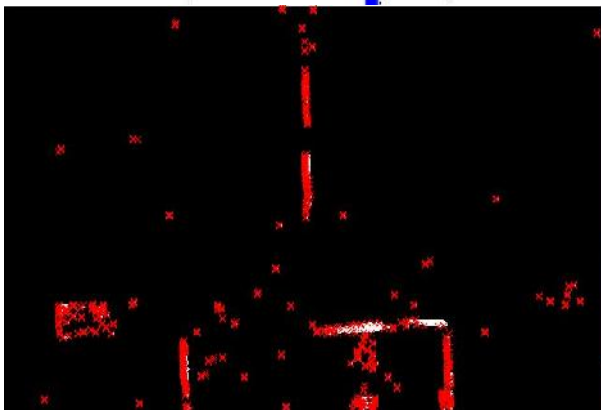
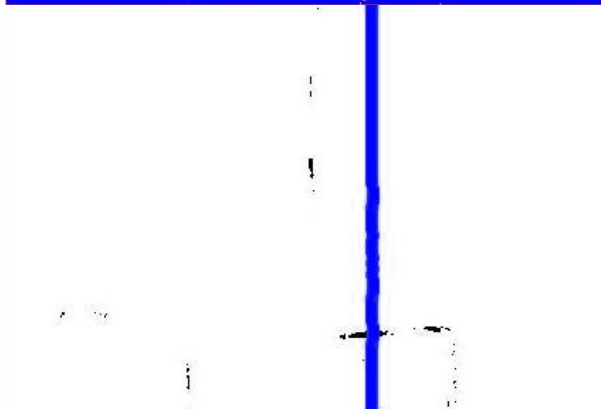
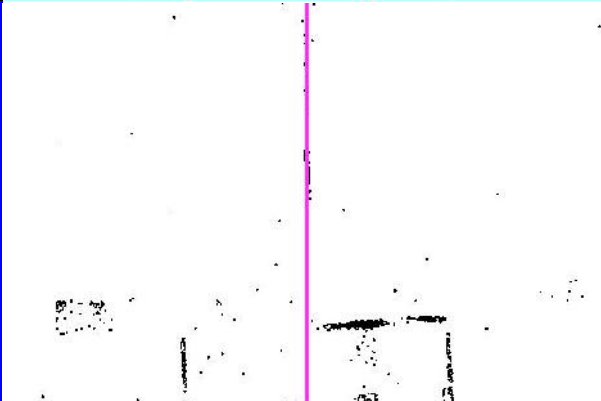
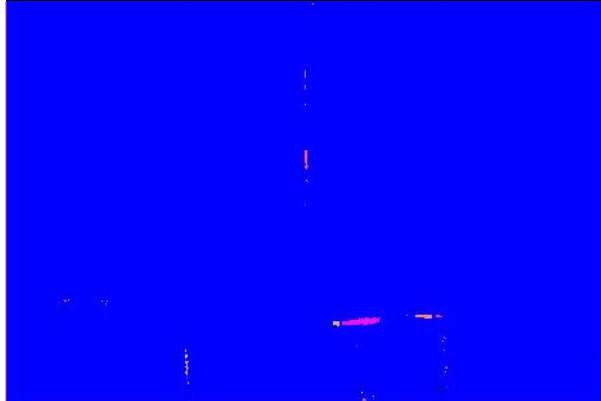
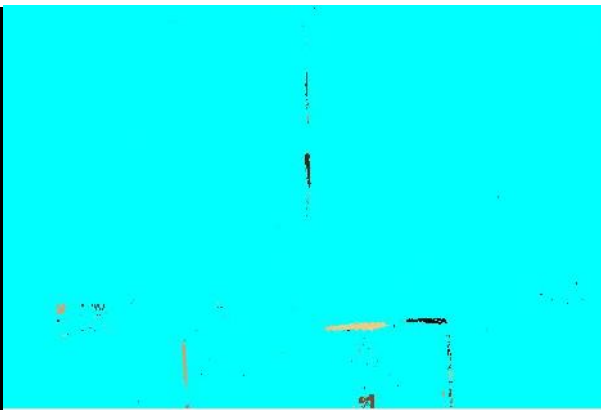
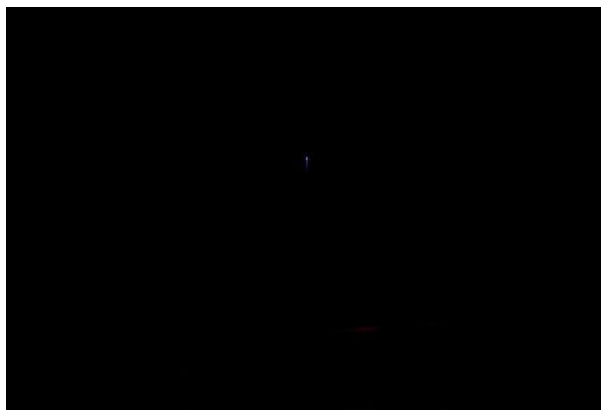




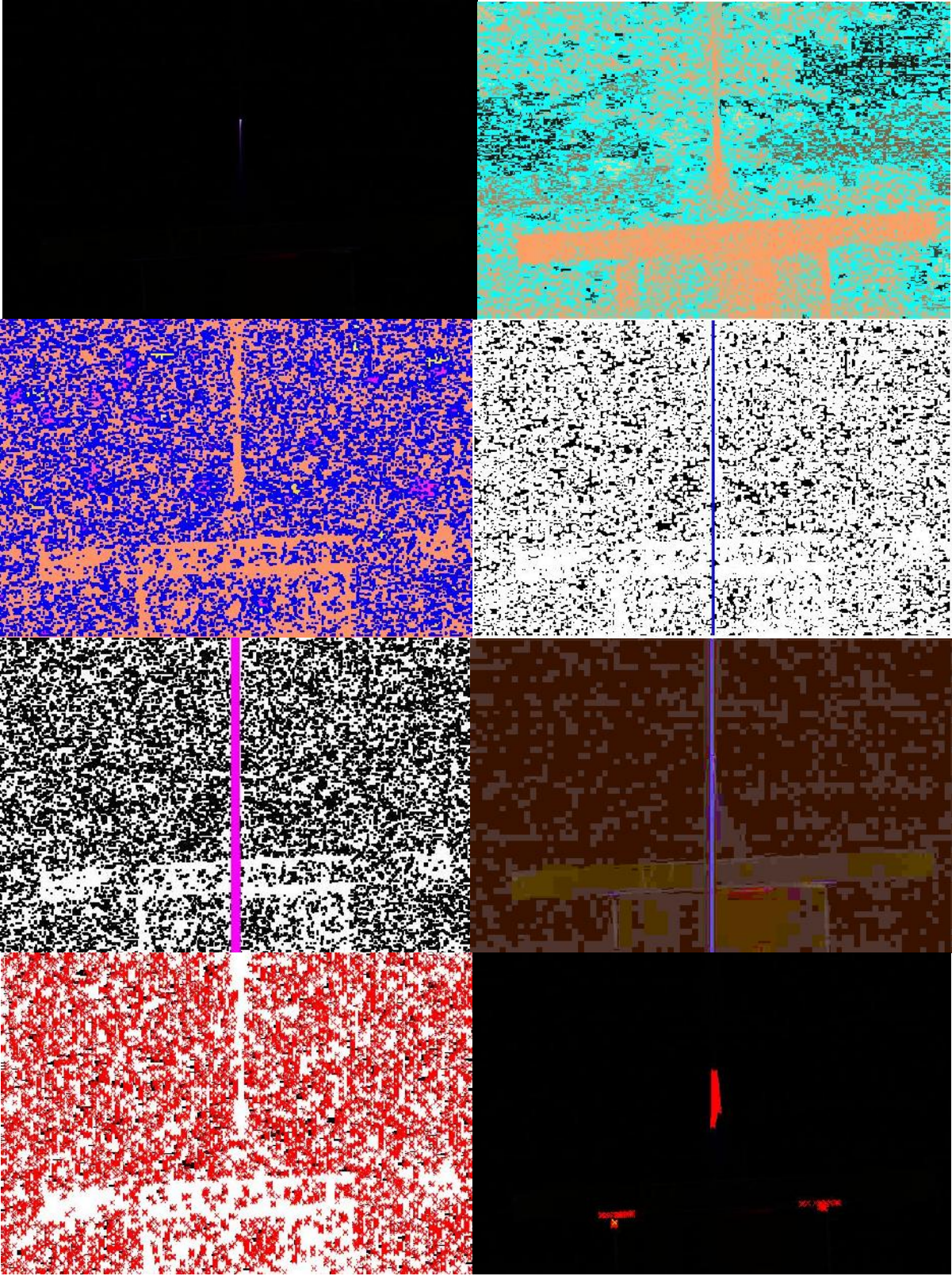


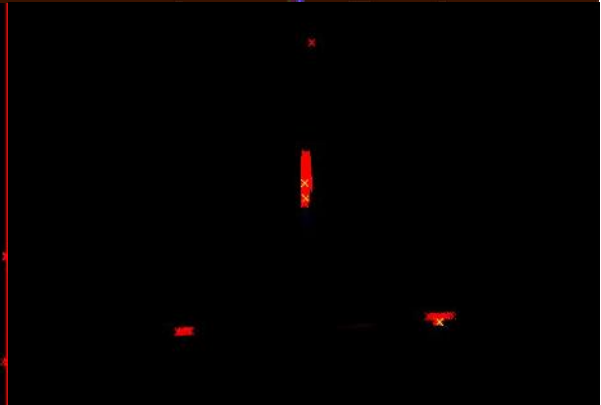
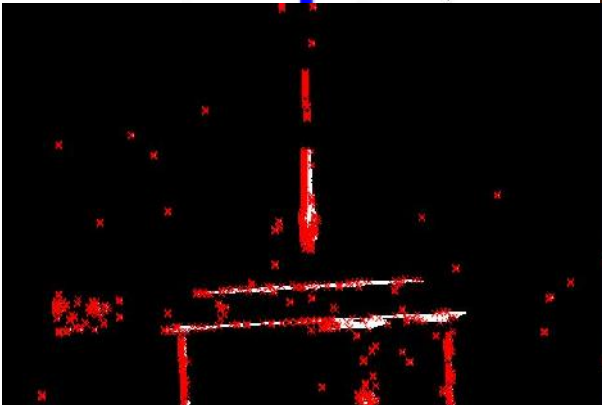
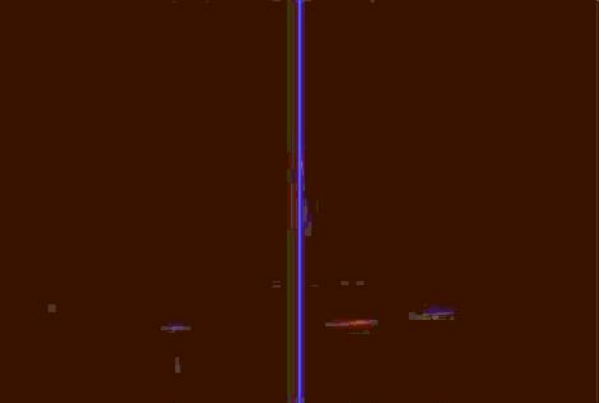
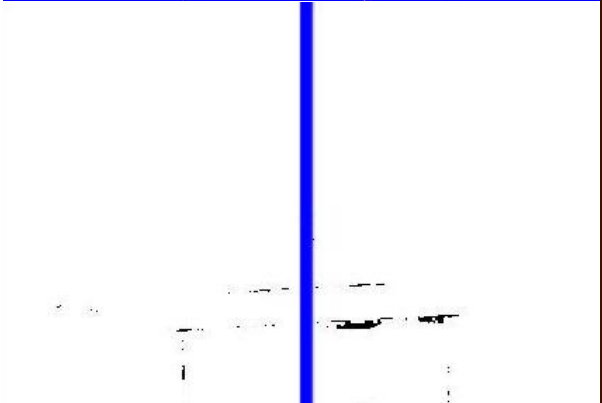
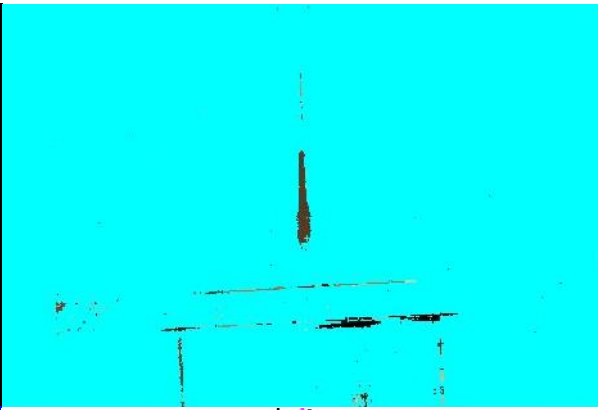
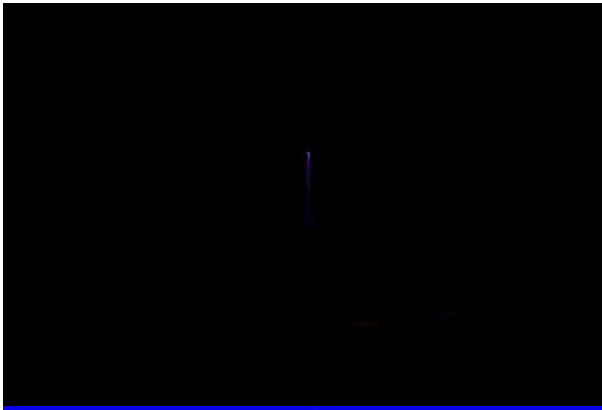




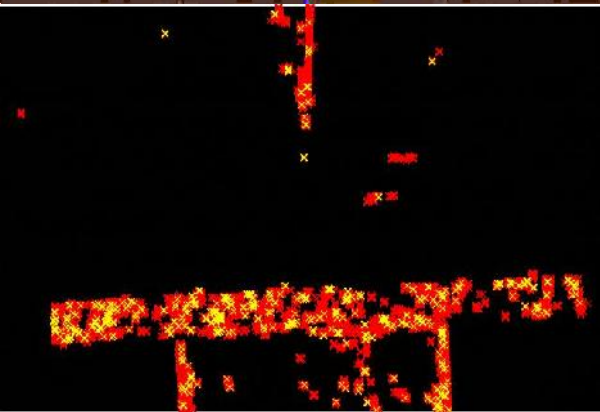
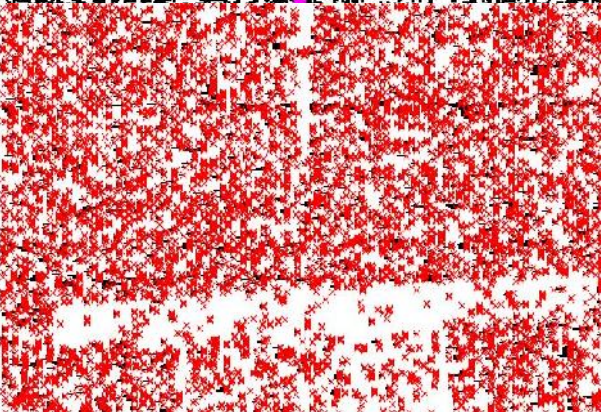
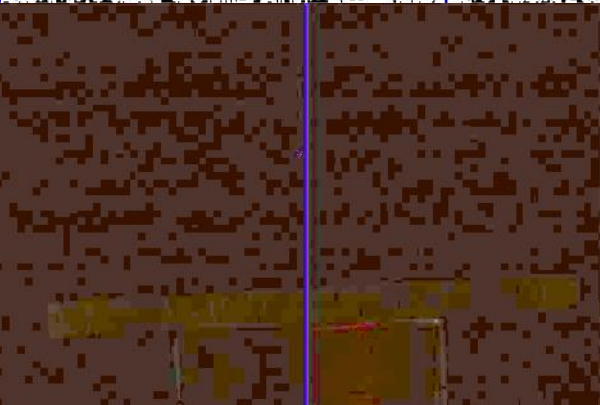
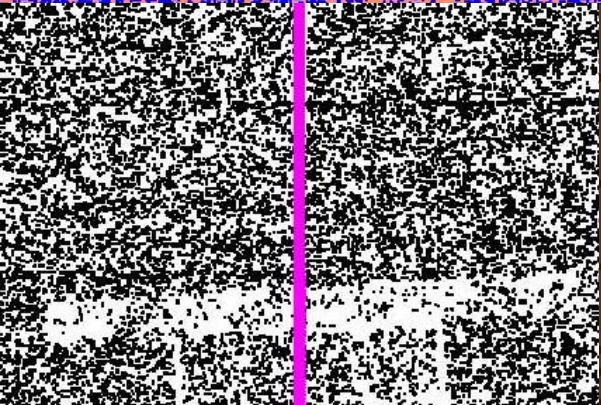
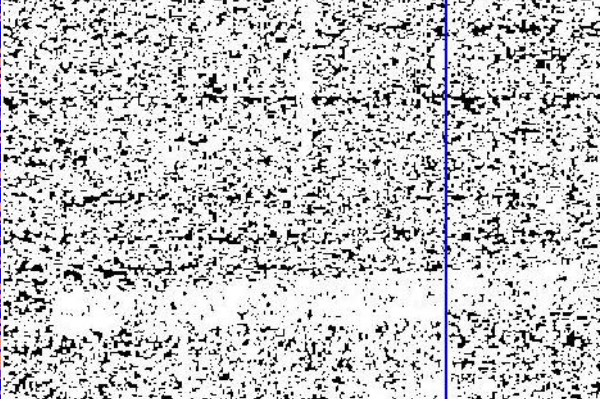
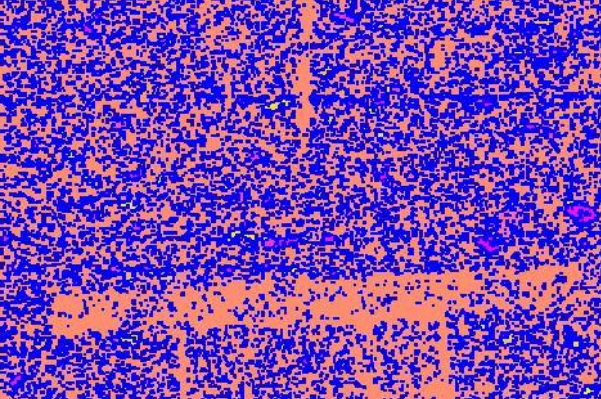
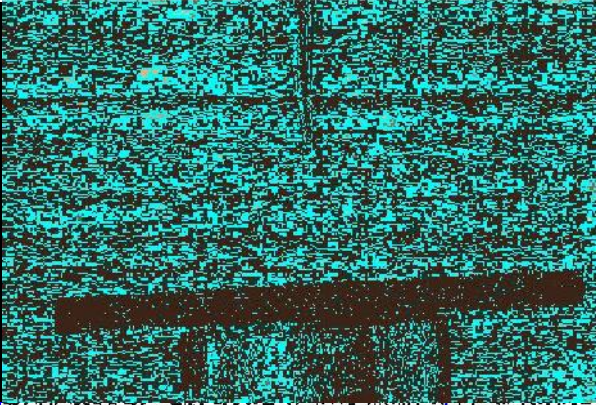
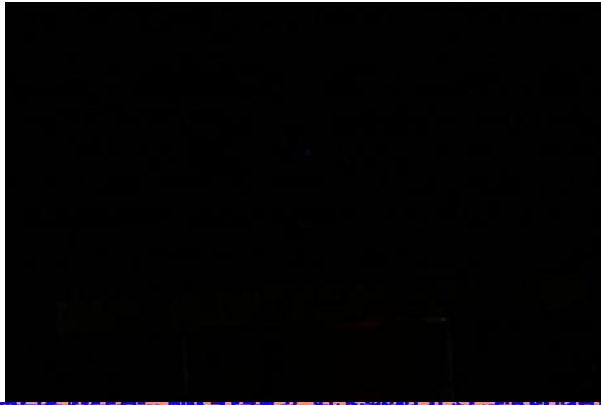


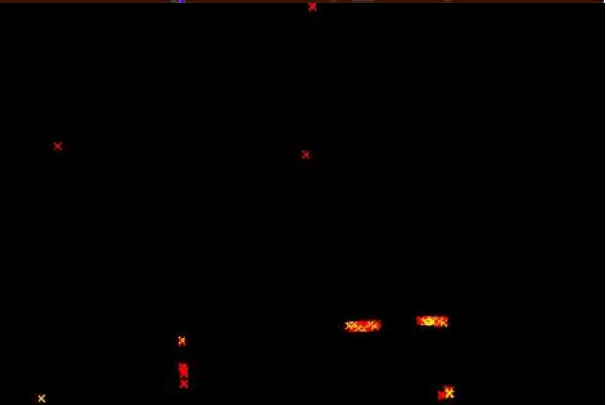
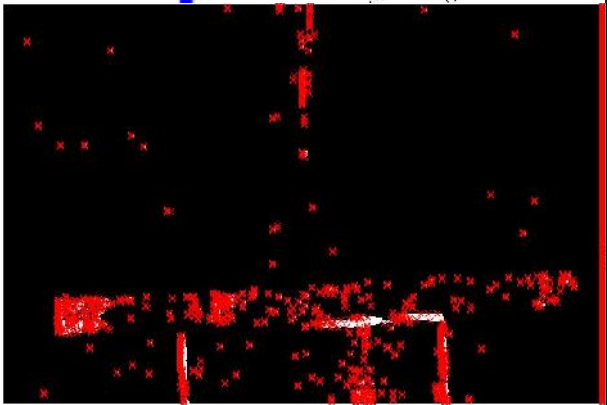
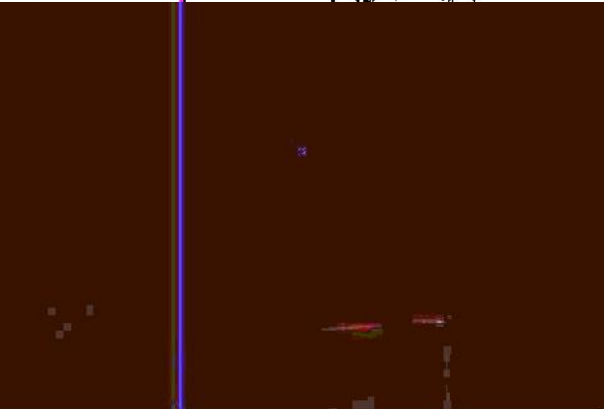
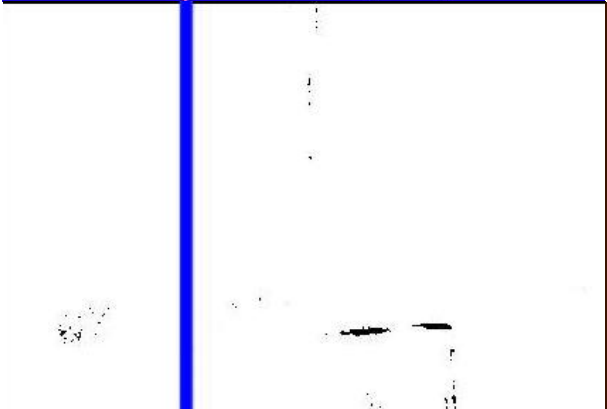
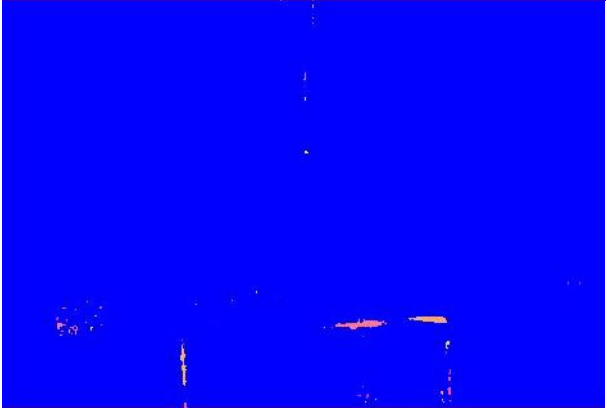
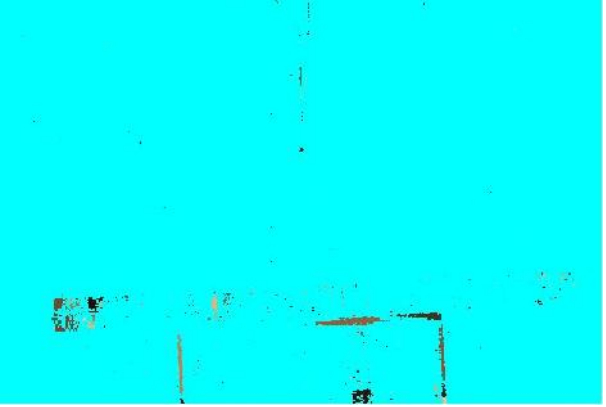




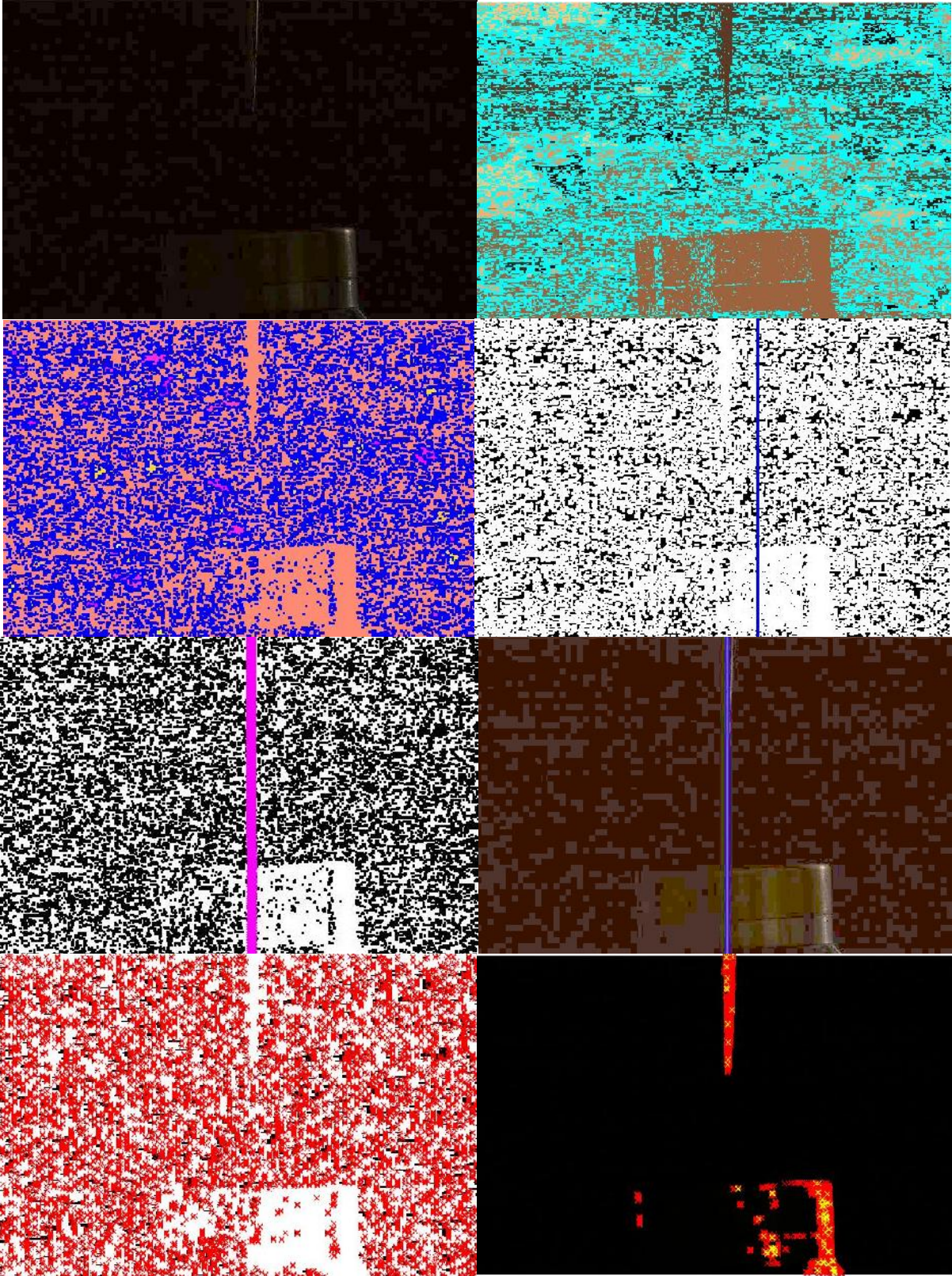


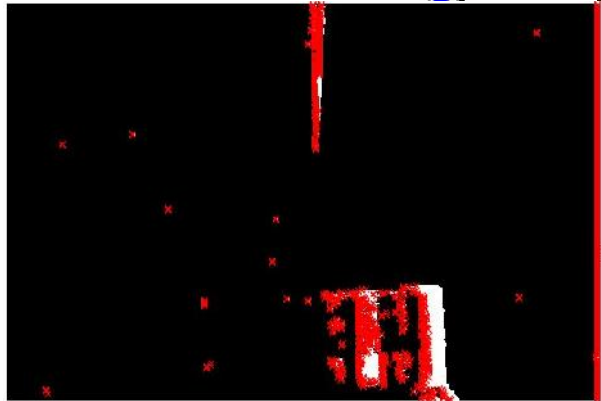
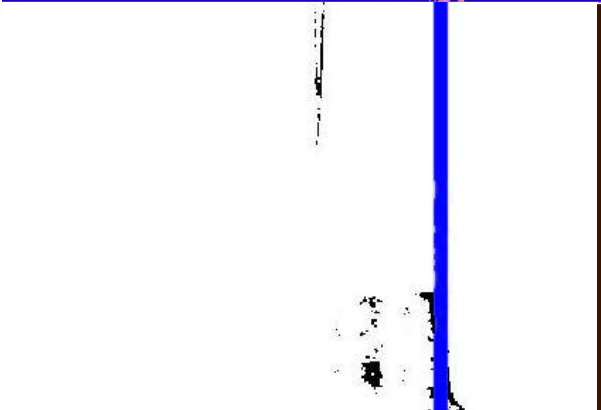
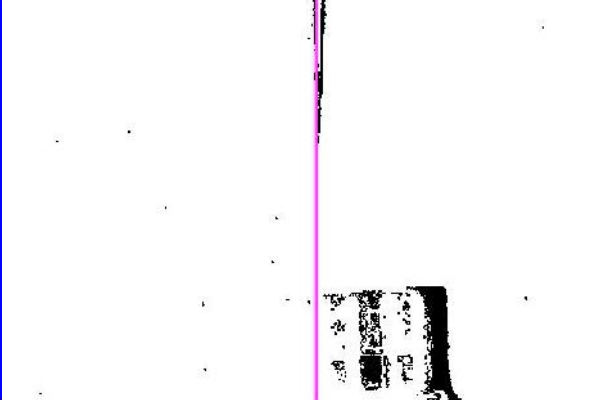
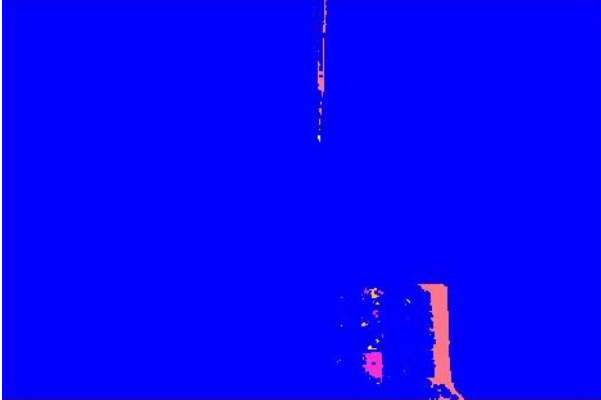
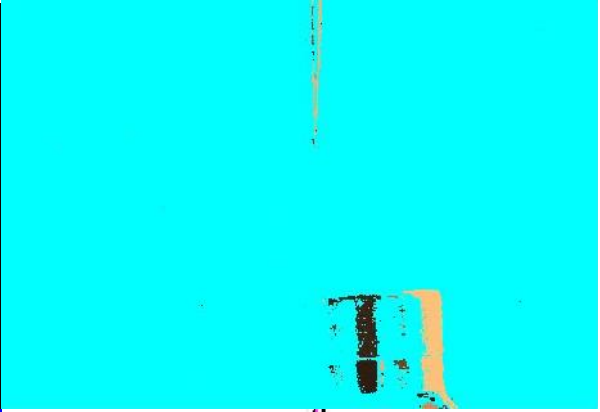




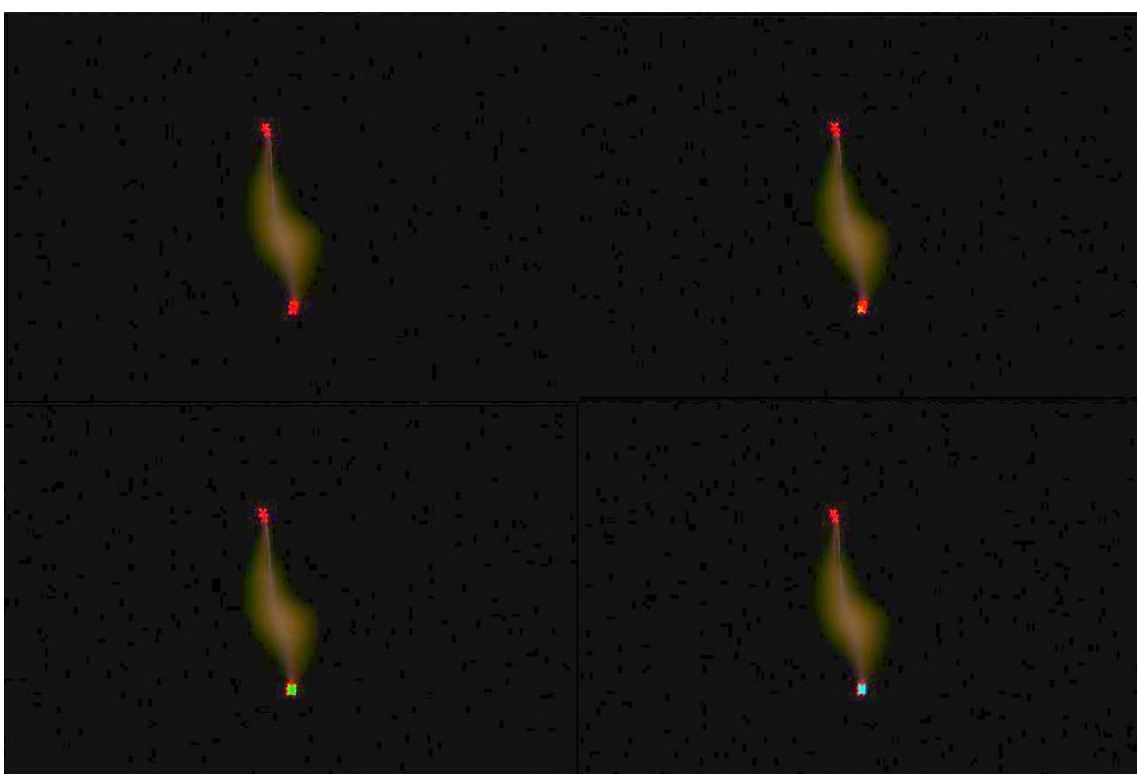
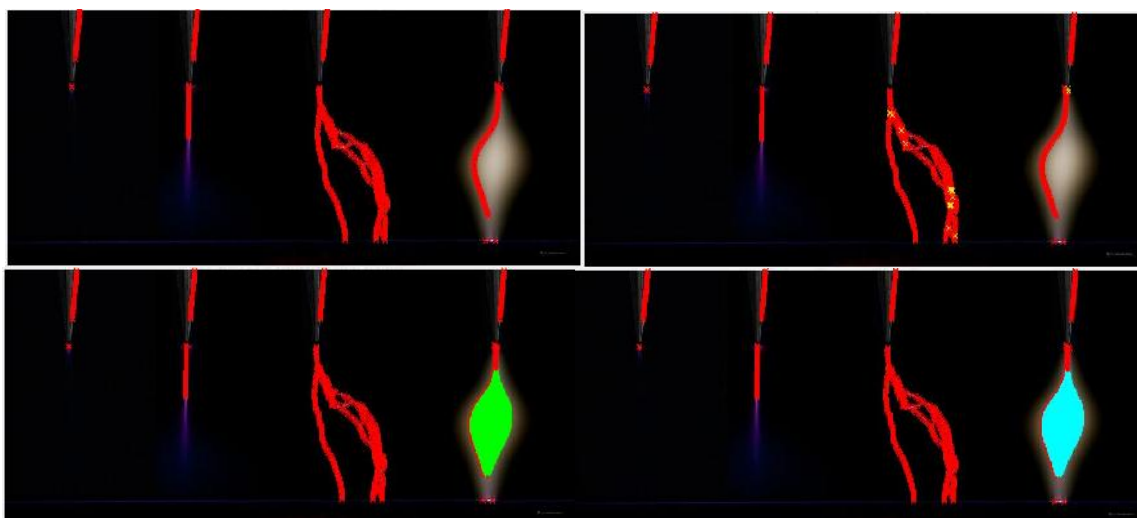


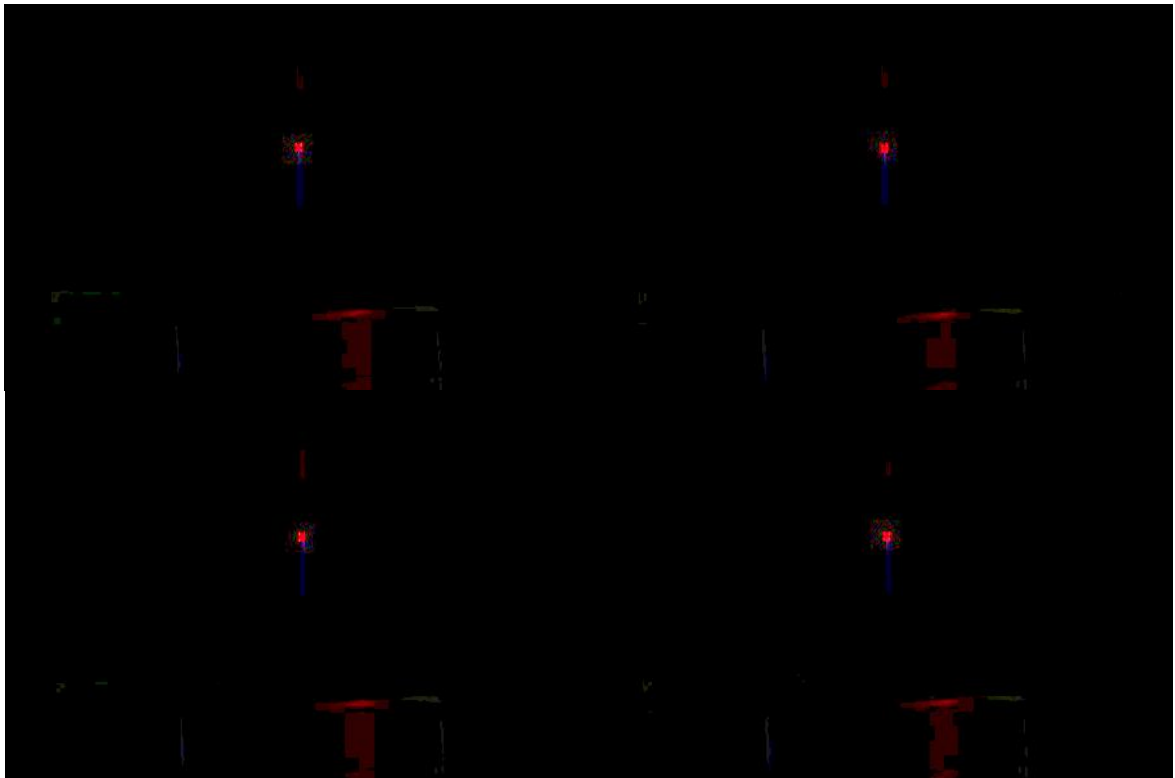
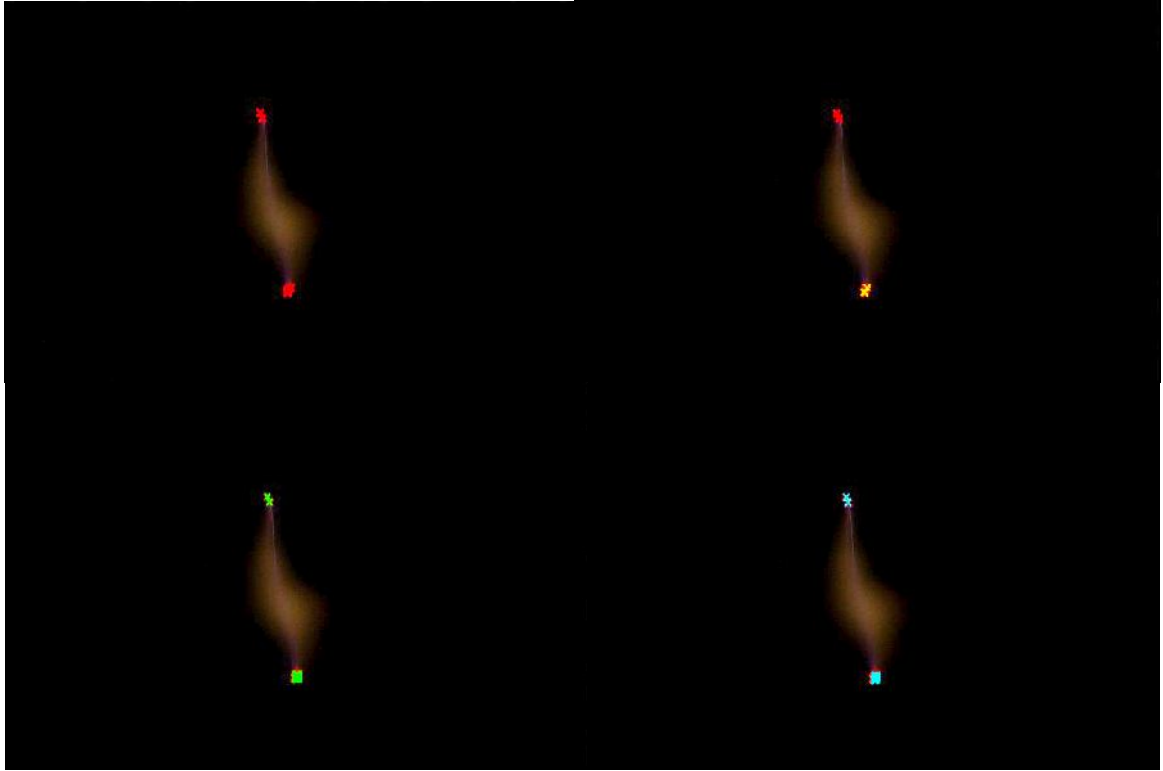




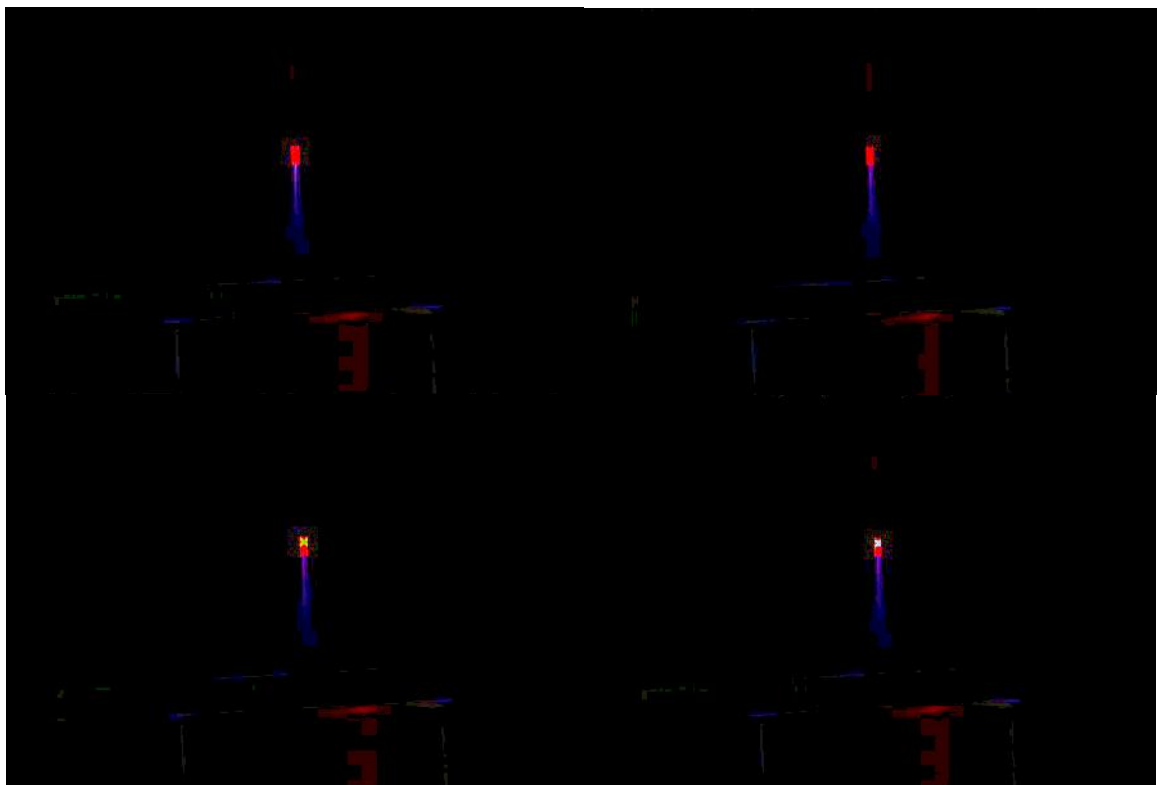
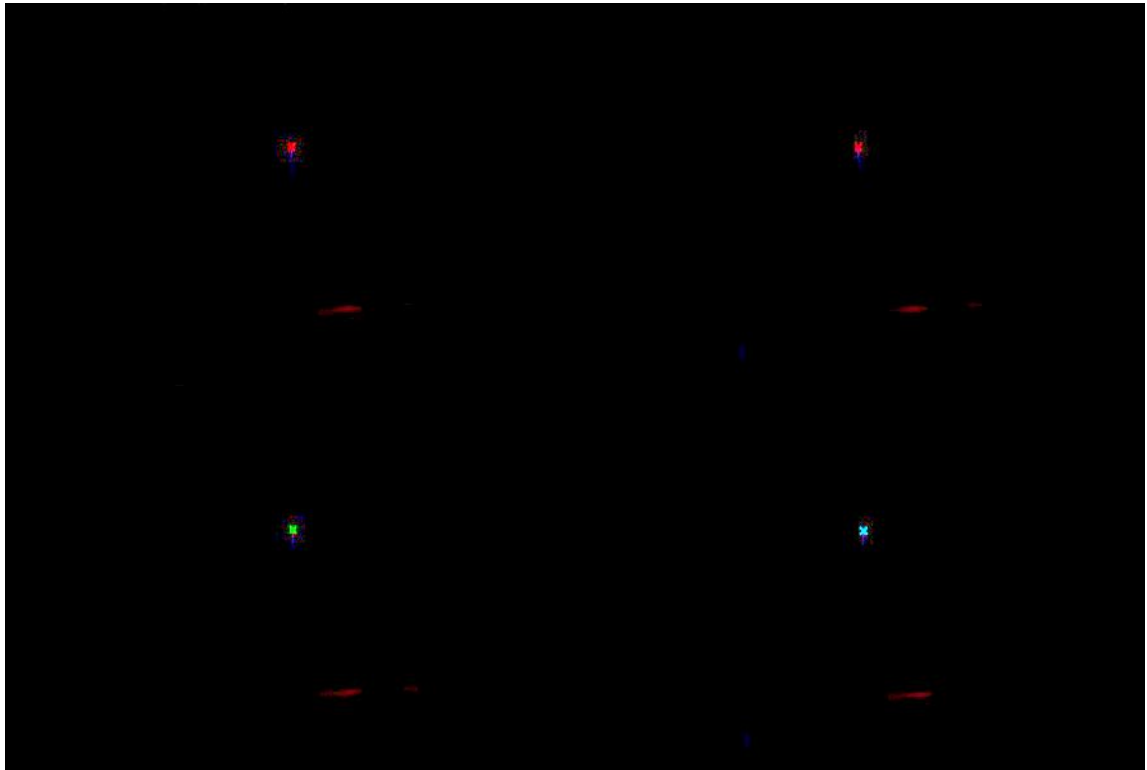


FUNKCE CONTOUR - POROVNÁNÍ VÝSLEDK PRO BODOVÉ OKOLÍ,  
LINIOVÉ OKOLÍ, DIAGONÁLNÍ A OSMI OKOLÍ PRO HLADINU  
BINÁRNÍHO JASU 100

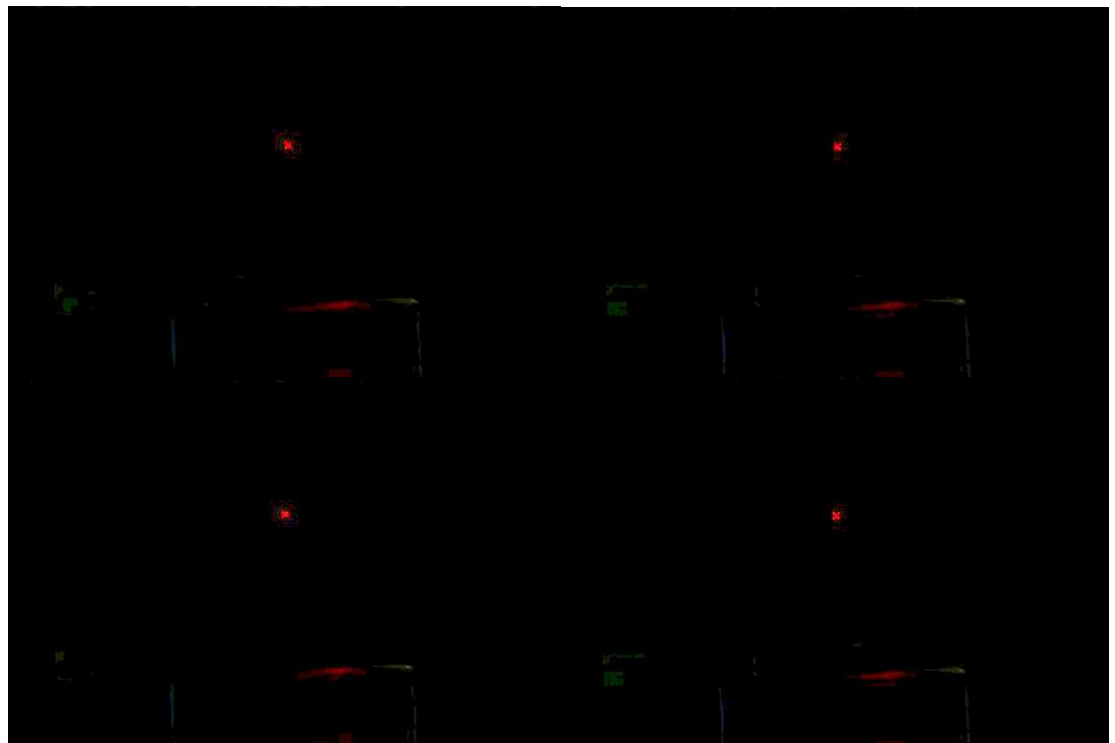
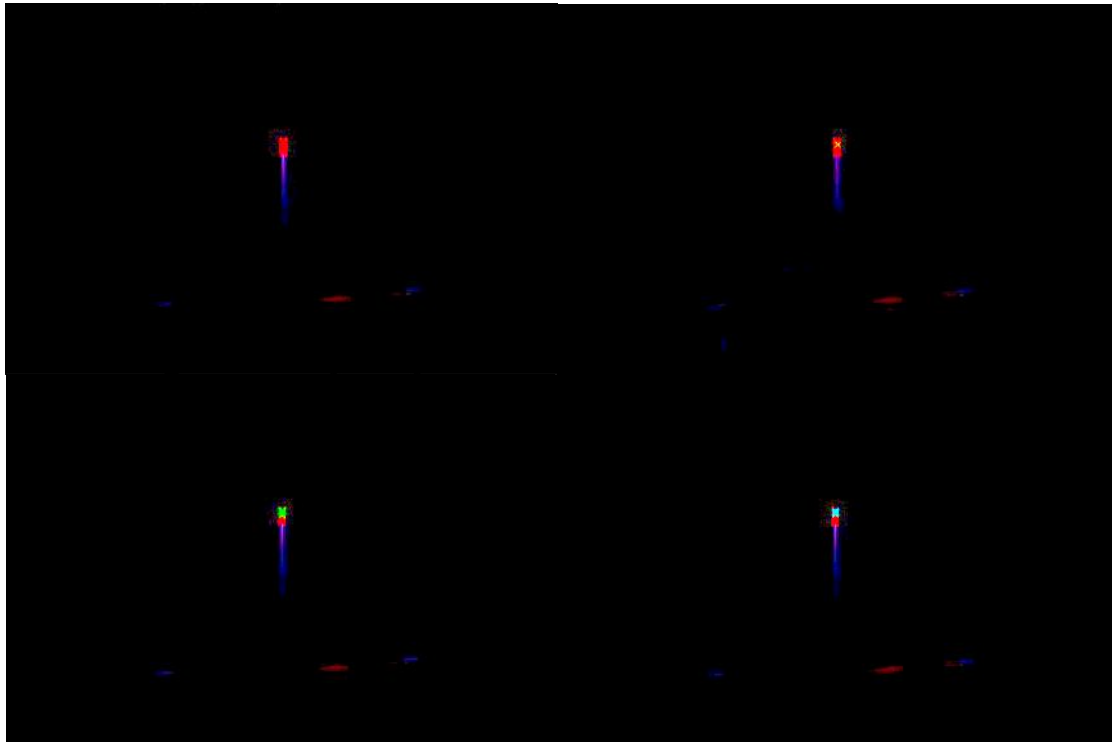


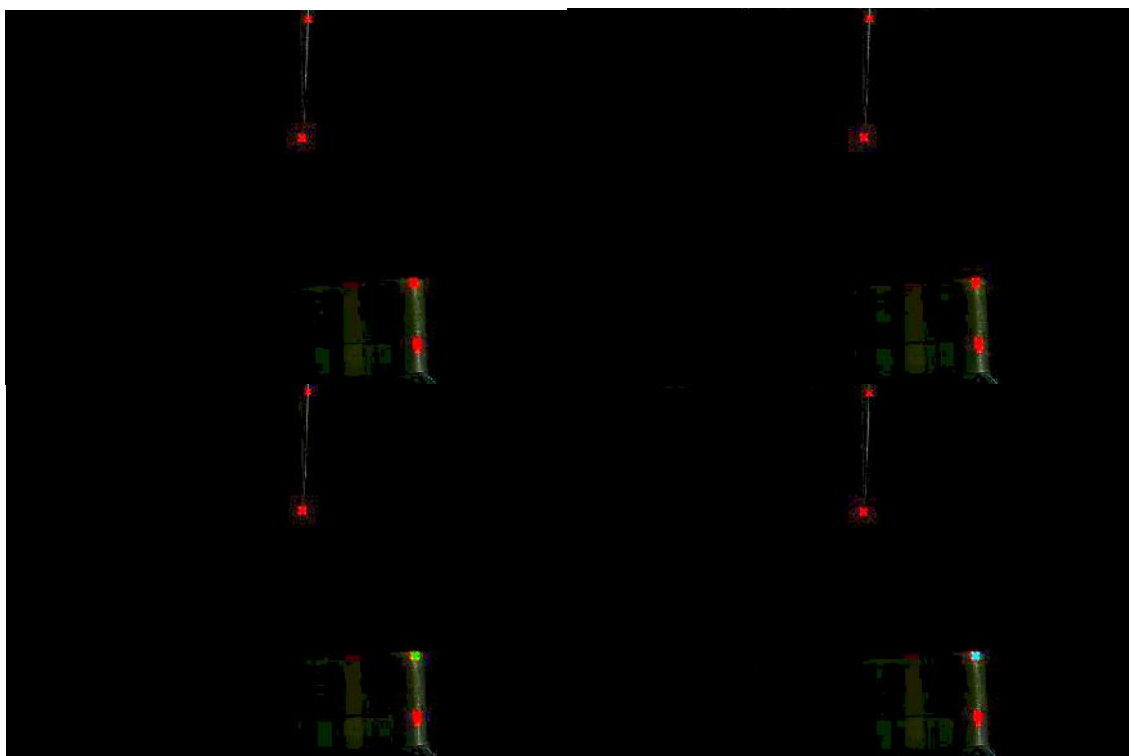
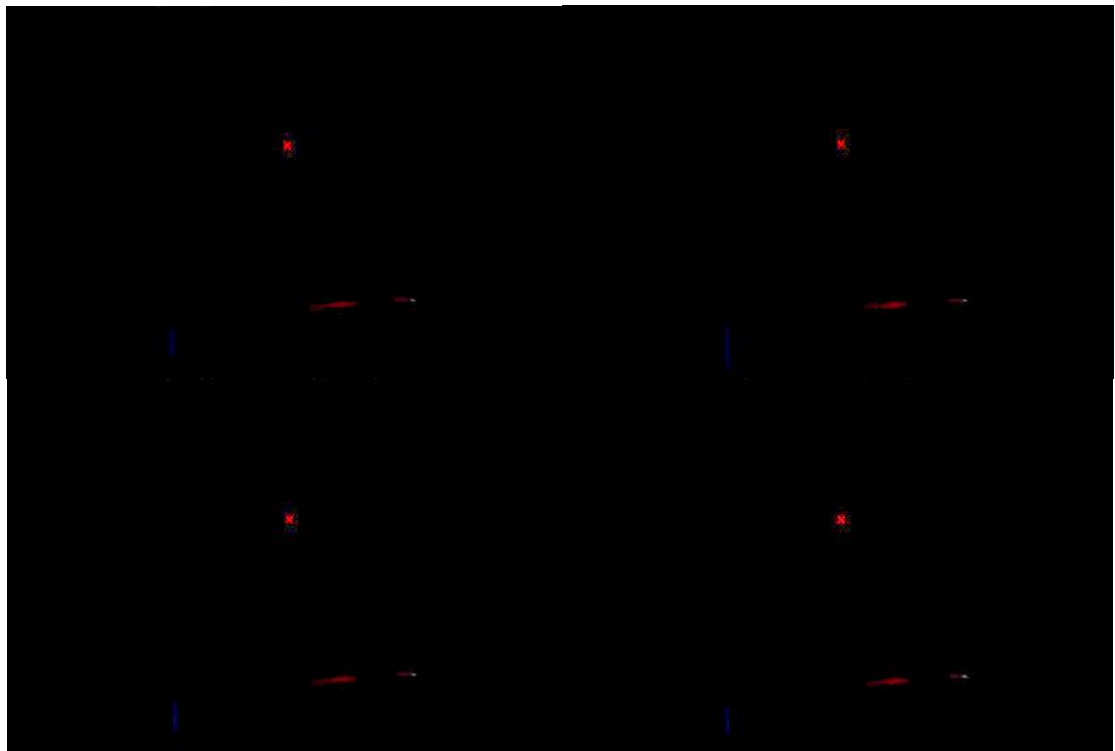


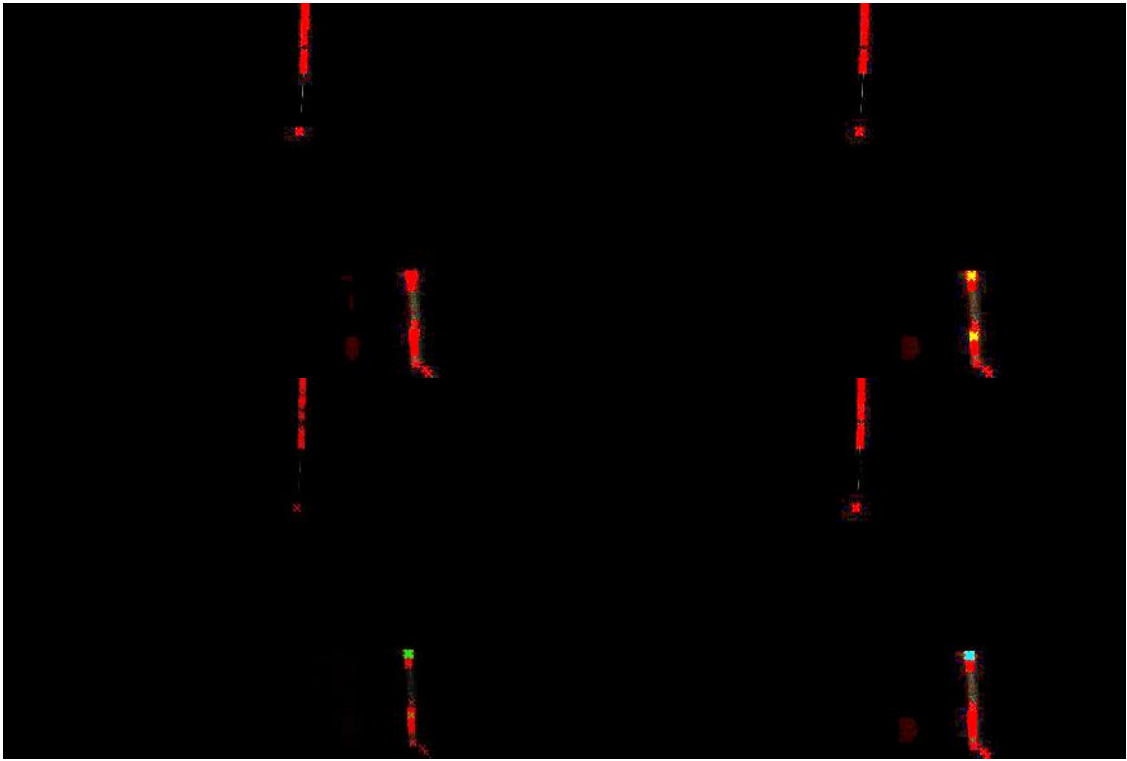








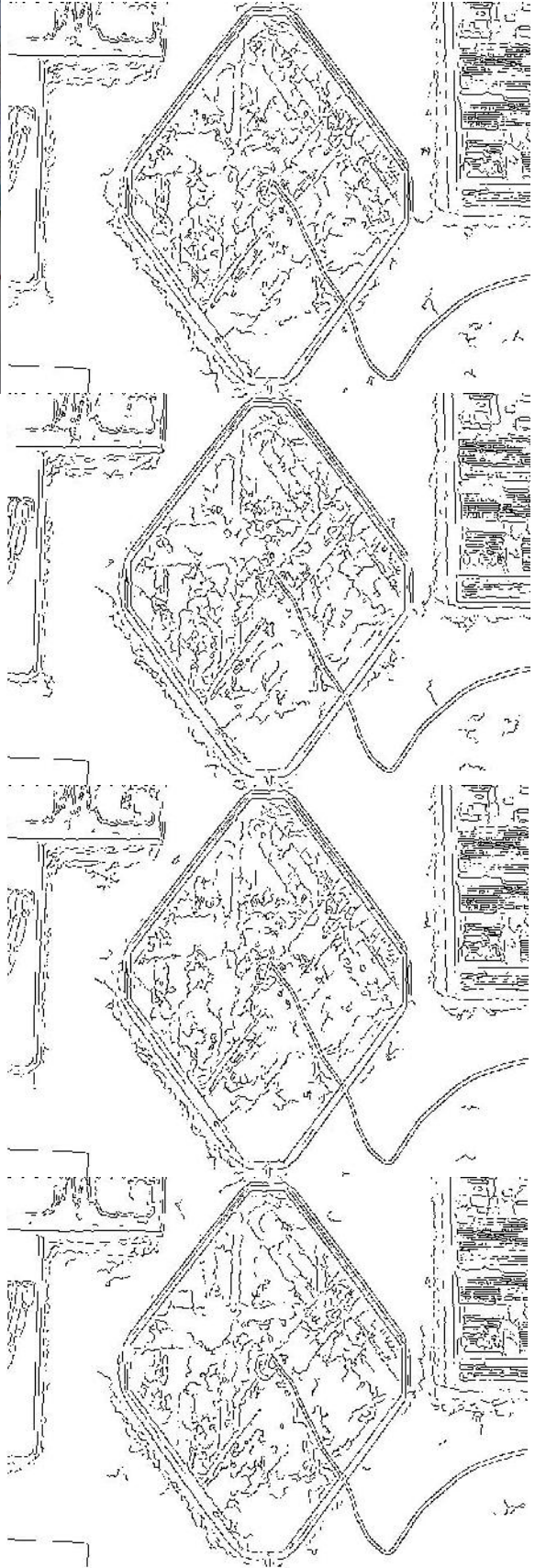
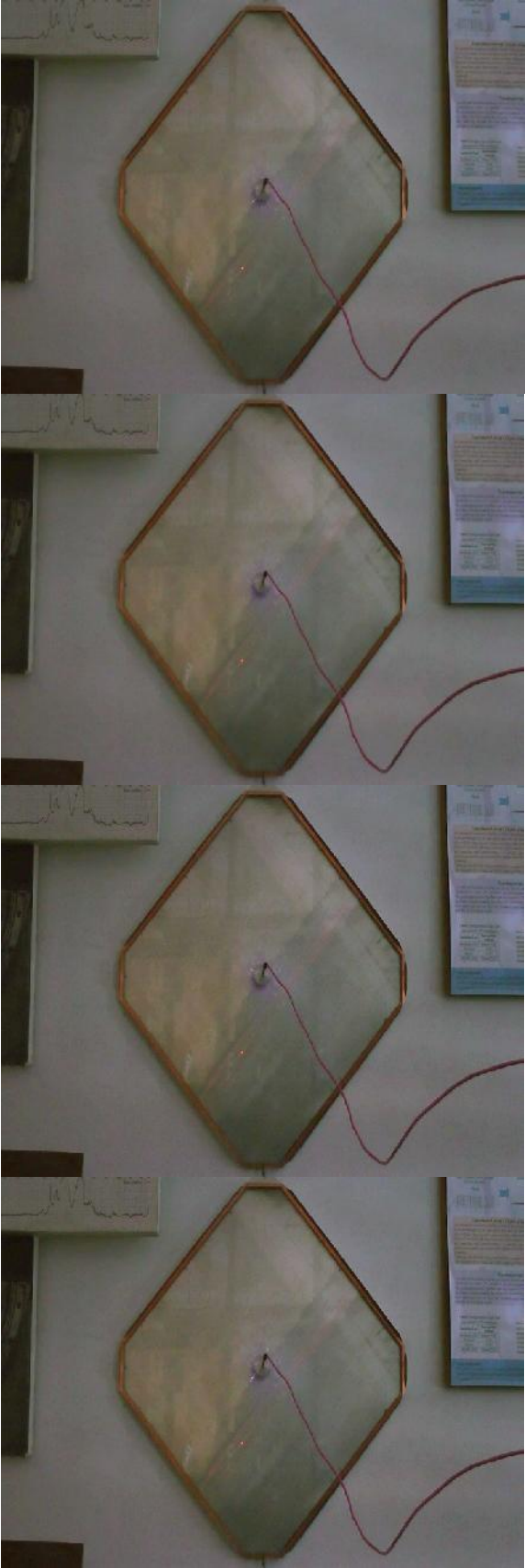




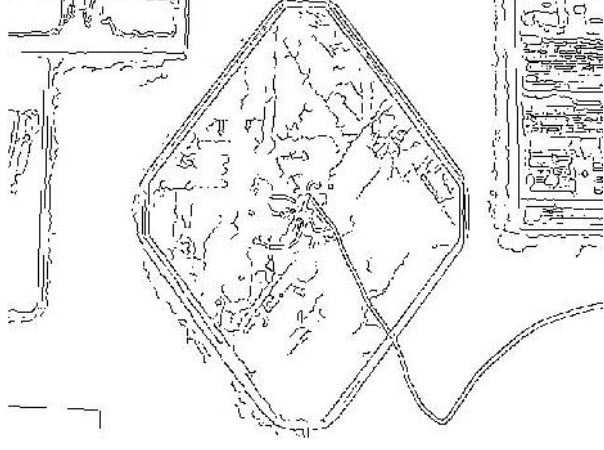
APLIKACE CANNYHO OPERÁTORU NA SNÍMKY VIDEO SE  
ZA ÍNAJÍCÍM A ROZVINUTÝM ZÁBLESKEM. ORIGINALNÍ SNÍMKY  
JSOU UPRAVENÉ Z D VODU LEPŠÍ ITELNOSTI.











## POUŽITÉ FUNKCE

## HOUGHOVA TRANSFORMACE - FUNKCE BYLY P VODN VYTVO ENÉ PRO ZPRACOVÁNÍ METEORICKÝCH SNÍMK - VIZ[12]

```
function [m, ob, oc]= meteor(im, c)

m=imread(im);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar',
'none','Name','Meteor','NumberTitle','off');
imshow(m);
title('Original Image', 'fontsize',11,'fontweight','b', 'color','c');
ob = konverze(m, c);
oc = cary_pokus(ob);
met_hough(oc);
title('Result of Meteor Searching by Meteor Function', 'Color', 'c',
'fontsize', 11, 'fontweight', 'b');

function [mg, mb ] = konverze (m,c)

mg=rgb2gray(m);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar', 'none','Name','Šedotónový
obraz','NumberTitle','off');
imshow(mg);
title('Grayscale Image', 'fontsize',11,'fontweight','b', 'color','c');
mb=im2bw(mg, c);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar', 'none','Name','Binární
obraz','NumberTitle','off');
imshow(mb);
title('Binary Image', 'fontsize',11,'fontweight','b', 'color','c');

function [roz1, roz2, roz3, roz4] = cary_pokus (m)

maska1=[-1 -1 -1; 2 2 2; -1 -1 -1];
maska2=[-1 -1 2; -1 2 -1; 2 -1 -1];
maska3=[-1 2 -1; -1 2 -1; -1 2 -1];
maska4=[2 -1 -1; -1 2 -1; -1 -1 2];
roz1=imfilter(m, maska1);
roz2=imfilter(m, maska2);
roz3=imfilter(m, maska3);
roz4=imfilter(m, maska4);

for i=1:size(m,1)
    for j=1:size(m, 2)
        cara(i,j)=max([roz1(i,j), roz2(i,j), roz3(i,j), roz4(i,j)]);
    end;
end;
figure('Toolbar','none' , 'Menubar', 'none','Name','Gradientní
obraz','NumberTitle','off');
imshow(cara);
```

```

function [] = met_hough(bw)

theta= 0:179;
[r, xp]=radon(bw, theta); colormap(hot);
xlabel('\theta (degrees)', 'fontsize', 12, 'color', 'b');
ylabel('x\prime', 'fontsize', 12, 'color', 'b');
title('Gradient Image', 'fontsize', 11, 'fontweight', 'b', 'color', 'c');
colorbar
figure('Toolbar', 'none', 'Menubar', 'none', 'Name', 'Výsledek hledání
meteoru', 'NumberTitle', 'off')

i=find(r>90);
imshow(r>90);

[foo, ind] = sort(-r(i));
k = i(ind (1:50));
[y, x] = ind2sub(size(r), k);
imagesc(theta, xp, r), colorbar;
xlabel('theta (deg)', 'fontsize', 12, 'color', 'b');
ylabel('rho(pixels from center)', 'fontsize', 12, 'fontweight',
'b', 'color', 'b')
t=(-theta(x)*pi/180)';
imshow(r>90);

[foo, ind] = sort(-r(i));
k = i(ind (1:50));

[y, x] = ind2sub(size(r), k);
imagesc(theta, xp, r), colorbar;
xlabel('theta (deg)', 'fontsize', 12, 'color', 'b');
ylabel('rho(pixels from center)', 'fontsize', 12, 'fontweight',
'b', 'color', 'b')
t=(-theta(x)*pi/180)';
r=xp(y);
lines=[cos(t) sin(t) -r];
t=(-theta(x)*pi/180)';
lines=[cos(t) sin(t) -r];

cx=size(bw, 2)/2-1;
cy=size(bw, 1)/2-1;
lines(:,3) = lines(:,3) - lines(:,1)*cx - lines(:,2)*cy;
imshow(bw);

draw_lines(lines);

```



```

function [XX,YY] = draw_lines(L, X, Y, lt)

lt = '-';
V = axis;
X = V(1:2); Y = V(3:4);

hold on

i = find(abs(L(:,1)) < abs(L(:,2)));
j = find(abs(L(:,1)) >= abs(L(:,2)));

YY1 = -L(i,1)./L(i,2)*X + -L(i,3)./L(i,2)*ones(size(X));
XX1 = ones(length(i),1)*X;

XX2 = -L(j,2)./L(j,1)*Y + -L(j,3)./L(j,1)*ones(size(Y));
YY2 = ones(length(j),1)*Y;

XX = [XX1' XX2'];
YY = [YY1' YY2'];

[foo,k] = sort([i; j]);
plot(XX(:,k),YY(:,k),lt)
hold off

function [m, ob, oc]= meteor_filter(im, c, a)

m=imread(im);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar',
'none', 'Name', 'Meteor', 'NumberTitle', 'off');
imshow(m);
title('Original Image', 'fontsize',11,'fontweight','b', 'color','c');
ob = konverze(m, c);
om=medfilt2(ob, [a, a]);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar', 'none', 'Name', 'Filtrace
mediánem', 'NumberTitle', 'off');
imshow(om);

function [m, ob, oc]= meteor_rotace(im, c)

o=imread(im);
figure('Toolbar','none' , 'Menubar',
'none', 'Name', 'Meteor', 'NumberTitle', 'off');
imshow(o);
title('Original Image', 'fontsize',11,'fontweight','b', 'color','c');
m = imrotate(o, 90);
ob = konverze(m, c);
oc = cary_pokus(ob);

oc=imrotate (oc, -90);
met_hough(oc);
title('Result of Meteor Searching by Rotation', 'Color', 'c', 'fontsize',
11, 'fontweight', 'b');

```



```

function [m, ob, oc]= meteor_filter_rotace(im, c, a)

o=imread(im);
figure('ToolBar','none','MenuBar',
'none','Name','Meteor','NumberTitle','off');
imshow(o);
title('Original Image','fontSize',11,'fontWeight','b','color','c');
m = imrotate(o, 90);
ob = konverze(m, c);
om=medfilt2(ob, [a, a]);
figure('ToolBar','none','MenuBar','none','Name','Filtrace
mediánem','NumberTitle','off');
imshow(om);
title('Filtered Image by Median Smoothing','fontSize',11,'fontWeight','b',
'color','c');
oc = cary_pokus(om);
oc=imrotate (oc, -90);
met_hough(oc);
title(['Result of Meteor Searching by Rotation and Median Filtering with '
num2str(a) '-by-' num2str(a) ' Neighborhood'],...
'Color','c','fontSize', 11, 'fontWeight', 'b');

```

SHLUKOVÁ ANALÝZA - FUNKCE BYLY P VODN VYTVO ENÉ PRO ZPRACOVÁNÍ METEORICKÝCH SNÍMK - VIZ [19]

```

function []=meteor_cluster(o)

i=imread(o);
ig=rgb2gray(i);
d=double(ig);
figure('Name','Single linkage clustering','NumberTitle','off');
T1=clusterdata(d,'maxclust',5);
scatter3(d(:,1),d(:,2),d(:,3),200,T1,'filled')
end

```

### K-means

```

function []=meteor_kmeans(o)

i=imread(o);
ig=rgb2gray(i);
data=double(ig);

figure('Name','k-means clustering','NumberTitle','off');
[idx,c]=kmeans(data,2);
plot(data(idx==1,1),data(idx==1,2),'r.','MarkerSize',12)
hold on
plot(data(idx==2,1),data(idx==2,2),'b.','MarkerSize',12)
plot(c(:,1),c(:,2),'kx',...
'MarkerSize',12,'LineWidth',2)
plot(c(:,1),c(:,2),'ko',...
'MarkerSize',12,'LineWidth',2)
legend('Cluster 1','Cluster 2','Centroids',...
'Location','NW');

end

```

## SINGLE LINKAGE

```
function []=single_linkage_visualization_dot(im)
```

```
[i]=meteor_cluster(im);  
figure; imshow(im);  
c=find(i==1);  
d=find(i==2);  
e=find(i==3);  
f=find(i==4);  
g=find(i==5);  
SC=size(i);  
[F,G]=ind2sub(SC,c);  
[H,A]=ind2sub(SC,d);  
[E,Q]=ind2sub(SC,f);  
[R,S]=ind2sub(SC,g);  
[X,Z]=ind2sub(SC,e);
```

```
figure('Name','Single linkage clustering','NumberTitle','off');  
imshow(im);  
hold on  
plot(G,F,'.b')  
hold on  
plot(A,H,'.r')  
hold on  
plot(Q,E,'.y')  
hold on  
plot(S,R,'.g')  
hold on  
plot(Z,X,'.c')
```

```
end
```

```
*****  
FUNKCE VYTVO ENÉ PRO ZPRACOVÁNÍ OBRAZOVÉHO ZÁZNAMU VN VÝBOJ  
*****
```

```
P EVOD NA BINÁRNÍ OBRAZ
```

```
function [g,m,n] = binar(i)
```

```
ig = imread(i);  
g=rgb2gray(ig);
```

```
m=size(g,1);  
n=size(g,2);
```

```
for i=1:m  
for j=1:n  
if (g(i,j)>100)  
g(i,j)=255;  
else g(i,j)=0;  
end  
end  
end
```

```
imshow(g);  
end
```

```
*****  
VIZUALIZACE ENTROPIE, MATICE KONEKTIVITY A FUNKCE CONTOUR PRO LINIOVÉ 3-OKOLÍ
```

```
function [m,n] = binar_count(i)  
  
im=imread(i);  
ie = entropyfilt(im);  
  
imwrite(ie, 'imag.jpg');  
g=binar100('imag.jpg');  
g=rgb2gray(ie);  
gc = bwdist(~g);  
figure, imshow(gc,[]), title('Distance transform of image')  
  
m=size(gc,1);  
n=size(gc,2);  
  
for i=1:m  
for j=1:n  
if (gc(i,j) < 3)  
gc(i,j)=0;  
else gc(i,j)=255;  
end  
end  
end  
  
figure, imshow(gc), title('Resulting image')  
  
cc = bwconncomp(gc);  
lm = labelmatrix(cc);  
RGB_label = label2rgb(lm, 'spring', 'b', 'shuffle');  
figure('Name', 'Connected Components Visualization', 'NumberTitle', 'off');  
imshow(RGB_label);  
  
figure('Name', 'Contour function', 'NumberTitle', 'off');  
imshow(gc); hold on;  
  
for i=1:m  
for j=j:n  
end  
  
for i=1:m  
for j=3:n-3  
if ((gc(i,j)==255) && (gc(i,j-1)==0) && (gc(i,j-2)==255) && (gc(i,j-3)==255))  
...  
|| ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&  
(g(i,j+3)==255))  
plot(j,i, 'xy');  
end  
end  
end  
  
end
```

```
*****  
FUNKCE VEKTOR APLIKOVANÁ NA OBRAZ PO TRANSFORMACI VZDÁLENOSTÍ A VIZUALIZACI  
SPOJENÝCH KOMPONENT
```

```
function [priz,m,n,max] = binar_vector(i)  
  
g=binar100(i);  
  
gc = bwdist(~g);  
figure, imshow(gc,[]), title('Distance transform of image')  
  
m=size(gc,1);  
n=size(gc,2);  
  
for i=1:m  
for j=1:n  
if (gc(i,j)< 2)  
gc(i,j)=0;  
else gc(i,j)=255;  
end  
end  
end  
  
figure, imshow(gc), title('Resulting image')  
  
cc = bwconncomp(gc);  
lm = labelmatrix(cc);  
RGB_label = label2rgb(lm, 'spring', 'b', 'shuffle');  
figure('Name', 'Connected Components Visualization', 'NumberTitle', 'off');  
imshow(RGB_label);  
  
figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off');  
imshow(gc); hold on;  
  
max=m; suma=m; priz=0;  
  
for j=1:n  
for i=1:m  
if gc(i,j)==255  
suma=suma-1;  
priz=j;  
end  
end  
  
if  
end  
if suma < suma_old  
priz=j;  
end  
  
end  
  
for k=1:m  
for l=1:n  
if l==priz  
plot(l,k, '*b');
```

```

        end
    end
end
end
end

```

```

*****
FUNKCE CONTOUR PRO SOUSEDNÍ BODY

```

```

function[im]=contour(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);
figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Original snap of lightning'), hold on;

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>100)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Lightning detection by contour function'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n-1
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

saveas(gcf,'image1', 'tif');
im=imread('image1.tif');

end

```

```

*****
FUNKCE CONTOUR PRO ROZLIŠENÍ DVOU TYP PRVK R ZNÉHO TVARU
FUNKCE PRO SOUSEDNÍ BODY A LINIOVÉ OKOLÍ

```

```

function[im]=contour_colour(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off'),

```



```

imshow(ig), title('Original snap of lightning')
m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Lightning detection by line neighbour'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i,'xy');
end
end
end

%saveas(gcf,'image1', 'tif');
%im=imread('image1.tif');

end

*****
FUNKCE CONTOUR PRO SOUSEDNÍ BODY A DIAGONÁLNÍ OKOLÍ

function[im]=contour_colour_d(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);
figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Original snap of lightning')

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n

```

```

    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with diagonal neighbour', 'NumberTitle',
'off'),
imshow(ig), title('Lightning detection by diagonal neighbour'), hold on; hold
on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=3:m-2
for j=3:n-2
if (g(i,j)==255) && (g(i-1,j-1)==255) && (g(i-2,j-2)==255) && (g(i+1,j+1)==255
...
    && (g(i+2,j+2)==255) && (g(i+2,j-2)==255) && (g(i-2,j+2)==255) ...
    && (g(i+1,j-1)==255) && (g(i-1,j+1)==255))

    plot(j,i,'xg');
end
end
end

end

*****
FUNKCE CONTOUR PRO SOUSEDNÍ BODY A OSMIOKOLÍ

function[im]=contour_colour_o(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);
figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Original snap of lightning')

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

```

```

end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with 8-neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(ig), title('Lightning detection by 8-neighbour'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end
    for i=3:m-3
        for j=3:n-3

            if ((g(i,j)==255) && (g(i-1,j-1)==255) && (g(i-2,j-2)==255) &&
(g(i+1,j+1)==255) ...
                && (g(i+2,j+2)==255) && (g(i+2,j-2)==255) && (g(i-2,j+2)==255) ...
                && (g(i+1,j-1)==255) && (g(i-1,j+1)==255) && (g(i,j+1)==255) && (g(i,j-
1)==255)...
                && (g(i+1,j)==255) && (g(i-1,j)==255) && (g(i,j+2)==255) && (g(i,j-
2)==255) ...
                && (g(i+2,j)==255) && (g(i-2,j)==255))

                plot(j,i,'xc');
            end
        end
    end

end

*****
FUNKCE CONTOUR PRO DVA DRUHY PRVK  APLIKOVANÁ PO HRANOVÝCH DETEKTORECH
DETEKTOR CANNY

function[im]=contour_detectors_canny(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

%CANNY

gc=edge(g, 'canny',0.03);

    imwrite(gc, 'imag.jpg');
    g=imread('imag.jpg');

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    end
end
end

```

```

    else g(i,j)=0;
    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with canny detector'),
hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i, 'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i, 'xy');
end
end
end

end

*****
DETEKTOR PREWITT

function[im]=contour_detectors_prewitt(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

%PREWITT

gc=edge(g, 'prewitt', 0.008);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
g=imread('imag.jpg');

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

```

```

end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with prewitt
detector'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i,'xy');
end
end
end

end

```

```

*****
DETEKTOR ROBERTS

```

```

function[im]=contour_detectors_roberts(o)

```

```

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

```

```

%ROBERTS

```

```

gc=edge(g, 'roberts', 0.008);

```

```

imwrite(gc, 'imag.jpg');
g=imread('imag.jpg');

```

```

m=size(g,1);
n=size(g,2);

```

```

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
end
end

```



```

    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with roberts
detector'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i, 'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i, 'xy');
end
end
end

end

*****
DETEKTOR SOBEL

function[im]=contour_detectors_sobel(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

%SOBEL

gc=edge(g, 'sobel', 0.008);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
g=imread('imag.jpg');

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
end
end
end

```

```

    end
end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with sobel detector'),
hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i, 'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i, 'xy');
end
end
end

end

```

```

*****
DETEKTOR ZEROCROSS

```

```

function[im]=contour_detectors_zerocross(o)

```

```

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

```

```

%ZEROCROSS

```

```

gc=edge(g, 'zerocross', 0.0006);

```

```

imwrite(gc, 'imag.jpg');
g=imread('imag.jpg');

```

```

m=size(g,1);
n=size(g,2);

```

```

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end

```

```

end
end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with zerocross
detector'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i,'xy');
end
end
end

end

*****
DETEKTOR LAPLACE (LOG)

function[im]=contour_detectors_laplace(o)

ig=imread(o);
g=rgb2gray(ig);

%LAPLACE

gc=edge(g,'log',0.0006);

imwrite(gc,'imag.jpg');
g=imread('imag.jpg');

m=size(g,1);
n=size(g,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>75)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end

```

```

end

figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')

figure('Name', 'Contour function with line neighbour', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(o), title('Lightning detection - line neighbour with laplace
detector'), hold on;

for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
    plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=1:m
for j=3:n-3
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0) && (g(i,j-2)==255) && (g(i,j-3)==255)) ...
    || ((g(i,j)==255) && (g(i,j+1)==0) && (g(i,j+2)==255) &&
(g(i,j+3)==255))
    plot(j,i,'xy');
end
end
end

end

```

```

*****
POROVNÁNÍ HRANOVÝCH DETEKTOR

```

```

function [ie] = detectors(image)

im=imread(image);
ig=rgb2gray(im);

cc = bwconncomp(ig);
labeled = labelmatrix(cc);

ie_s=edge(ig,'sobel',0.008);
ie_p=edge(ig,'prewitt',0.008);
ie_z=edge(ig,'zerocross',0.0006);
ie_r=edge(ig,'roberts',0.008);
ie_l=edge(ig,'log',0.0006);
ie_c=edge(ig,'canny',0.03);

figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off');
imshow(im);

RGB_label = label2rgb(labeled, 'spring', 'c', 'shuffle');
figure('Name', 'Connected Components Visualization', 'NumberTitle', 'off');
imshow(RGB_label);

RGB_label = label2rgb(labeled, @copper, 'c', 'shuffle');

```

```
figure('Name', 'Connected Components Visualization' , 'NumberTitle', 'off');
imshow(RGB_label);
```

```
figure('Name', 'Sobel detector of image' , 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_s);
figure('Name', 'Prewitt detector', 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_p);
figure('Name', 'Zerocross detector', 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_z);
figure('Name', 'Roberts detector', 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_r);
figure('Name', 'Laplace detector', 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_l);
figure('Name', 'Canny detector', 'NumberTitle', 'off');
imshow(ie_c);
end
```

```
*****
NA ÍTÁNÍ SNÍMK Z ADRESÁ E (FUNKCE PRO DIAGONÁLNÍ OKOLÍ)
```

```
function[] = lightning()
```

```
bmpFiles = dir('*.bmp');
num_files = length(bmpFiles);
frames = cell(1, num_files);
```

```
for k = 1:num_files
```

```
    frames{k} = imread(bmpFiles(k).name);
    im=frames{k} ;
```

```
g=rgb2gray(im);
figure('Name', 'Original image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Original image of lightning')
```

```
m=size(g,1);
n=size(g,2);
```

```
for i=1:m
for j=1:n
    if (g(i,j)>100)
        g(i,j)=255;
    else g(i,j)=0;
    end
end
end
```

```
figure('Name', 'Binary image', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(g), title('Binary image')
```

```
figure('Name', 'Contour-100 function with diagonal neighbour', 'NumberTitle',
'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by diagonal neighbour'), hold on; hold
on;
for i=1:m
for j=2:n
if ((g(i,j)==255) && (g(i,j-1)==0))
```



```

        plot(j,i,'xr');
end
end
end

for i=3:m-2
for j=3:n-2
if (g(i,j)==255) && (g(i-1,j-1)==255) && (g(i-2,j-2)==255) && (g(i+1,j+1)==255
...
    && (g(i+2,j+2)==255) && (g(i+2,j-2)==255) && (g(i-2,j+2)==255) ...
    && (g(i+1,j-1)==255) && (g(i-1,j+1)==255))

        plot(j,i,'xg');
end
end
end

imwrite(imp,num2str(k),'jpg');

end

for k=1:num_files
    system('ren *.* *.jpg');

end
end

```

```

*****
FUNKCE VEKTOR APLIKOVANÁ NA HRANOVÉ DETEKTORY

```

```

function [V,max_ind,max,m,n] = vector_cont_detector_orig(image)

    im=imread(image);
    ig=rgb2gray(im);

    %SOBEL

    gc=edge(ig,'sobel',0.008);

    imwrite(gc,'imag.jpg');
    gc=imread('imag.jpg');

    m=size(gc,1);
    n=size(gc,2);
    max=0; max_ind=1;

    for i=1:n
        V(i) = 0;
    end

    for i=1:m
    for j=1:n
        if (gc(i,j)== 255)
            V(j)= V(j)+1;

```

```

    end
end

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by sobel edge detector'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end

%PREWITT

gc=edge(ig, 'prewitt', 0.008);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
gc=imread('imag.jpg');

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end
end

```

```

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by prewitt edge detector'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end

%ZEROCROSS

gc=edge(ig, 'zerocross',0.0006);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
gc=imread('imag.jpg');

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end
end

for i=1:n
    if V(i)==m

```

```

        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by zerocross edge detector'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end

%ROBERTS

gc=edge(ig, 'roberts',0.008);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
gc=imread('imag.jpg');

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n

```

```

        if V(i)>max
            max=V(i);
        end
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by roberts edge detector'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end

%LAPLACE

gc=edge(ig, 'log', 0.0006);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
gc=imread('imag.jpg');

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end
end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end
end

```



```

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by laplace edge detector'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end

%CANNY

gc=edge(ig, 'canny', 0.03);

imwrite(gc, 'imag.jpg');
gc=imread('imag.jpg');

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;

```

```

        end
    end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by canny edge detector'), hold on;

for i=1:m
    plot(max_ind,i, '.b');
end
end

```

```

*****
FUNKCE VEKTOR APLIKOVANÁ PO LOKÁLNÍ ENTROPII

```

```

function [V,max_ind,max,m,n] = vector_cont_entropy(image)

```

```

im=imread(image);
i=entropyfilt(im);

```

```

imwrite(i, 'image.jpg');
gc=binar100('image.jpg');

```

```

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

```

```

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

```

```

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;
    end
end
end

```

```

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

```

```

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

```

```

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

```

```

end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(gc), title('Lightning detection by local entropy'), hold on;

for i=1:m
plot(max_ind,i, '.b');
end

end
*****
FUNKCE VEKTOR APLIKOVANÁ PO LOKÁLNÍ ENTROPII A TRANSFORMACI VZDÁLENOSTÍ

function [V,max_ind,max,m,n] = vector_cont_entropy_water(image)

im=imread(image);
i=entropyfilt(im);

imwrite(i, 'image.jpg');
g=binar100('image.jpg');

gc = bwdist(~g);
m=size(gc,1);
n=size(gc,2);
max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

```

```

    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(gc), title('Lightning detection by local entropy'), hold on;

for i=1:m

plot(max_ind,i, '.b');

end
end
*****
FUNKCE VEKTOR APLIKOVANÁ PO SHLUKOVÉ ANALÝZE A TRANSFORMACI VZDÁLENOSTÍ
function [m,n] = water_clust_vector(im)

i=imread(im);
figure, imshow(i), title('Single linkage clustering');
g=binar100im(i);

gc = bwdist(~g);
figure, imshow(gc,[]), title('Distance transform of image')

m=size(gc,1);
n=size(gc,2);

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)< 2)
        gc(i,j)=0;
    else gc(i,j)=255;
    end
end
end

max=0; max_ind=1;

for i=1:n
    V(i) = 0;
end

for i=1:m
for j=1:n
    if (gc(i,j)== 255)
        V(j)= V(j)+1;

    end
end

end

for i=1:n
    if V(i)==m
        V(i)=0;
    end
end

```

```
end

for i=1:n
    if V(i)>max
        max=V(i);
    end
end

for i=1:n
    if V(i)==max
        max_ind=i;
    end
end

figure('Name', 'Detection', 'NumberTitle', 'off'),
imshow(im), title('Lightning detection by single linkage clustering'), hold
on;

for i=1:m
    plot(max_ind,i, '*m');
end

end

*****
```