

**Bakalárska práca**

# **Spracovanie dát generovaných senzorovou IoT sieťou**

**Miroslav Hájek**

*Školiteľ: Ing. Marcel Baláž, PhD.*

*Oponent: Ing. Vladimír Kunštár*

# Obsah

## (1) Monitorovanie vibrácií

---

## (2) Sústava spracovania signálu

---

*(a) Algoritmy rozpoznávania špičiek*

*(b) Detektor zmeny frekvenčnej zložky*

## (3) Hardvér senzorovej jednotky

---

## (4) Sieťová komunikácia s IoT zariadením

---

## (5) Testovanie a výsledky

---

*(a) Pamäťová a časová efektivita firmvéru*

*(b) Detekčná schopnosť udalostí*

## (6) Možné rozšírenia práce

---

# Monitorovanie vibrácií

## Motivácia:

- prevádzkový stav strojov
- prevoz krehkých alebo reaktívnych látok

## Zákon sily:

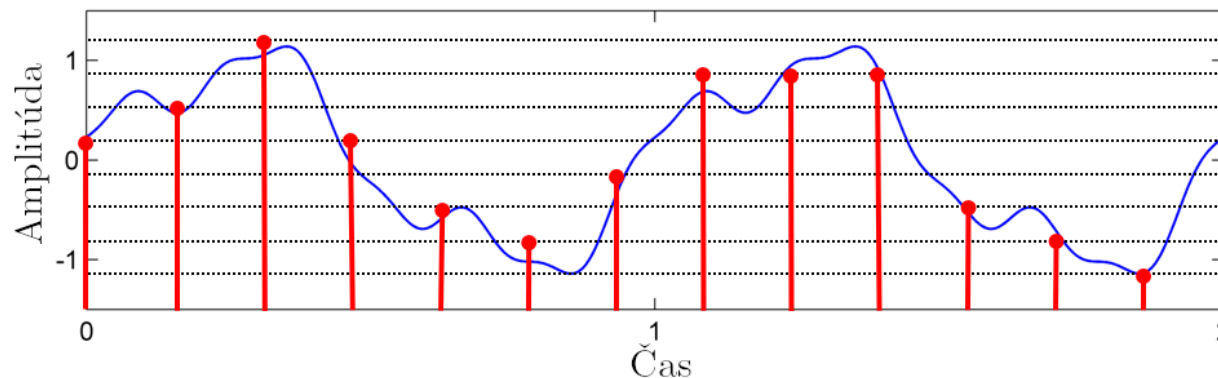
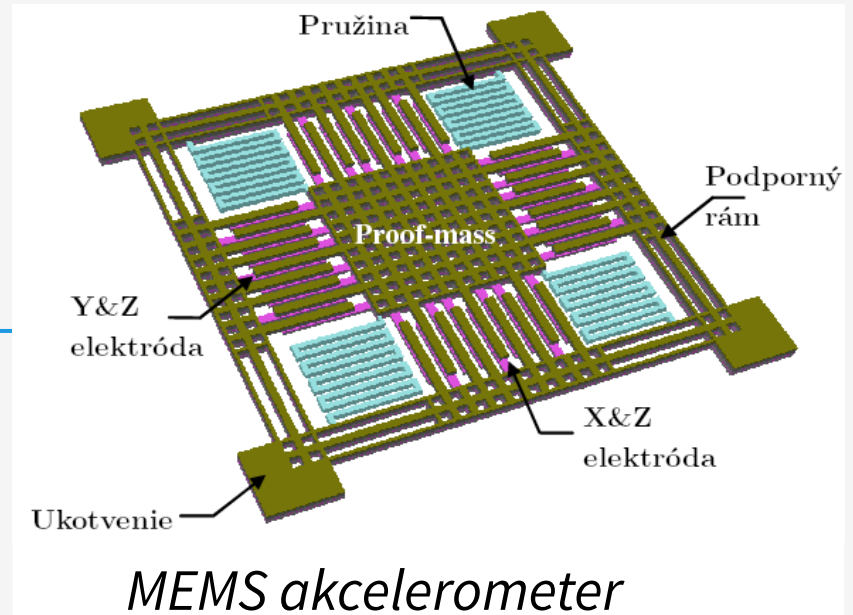
$$\vec{a}(t) = \frac{\vec{F}(t)}{m}$$

## Veta o vzorkovaní:

$$f_s > 2 \cdot f_{max}$$

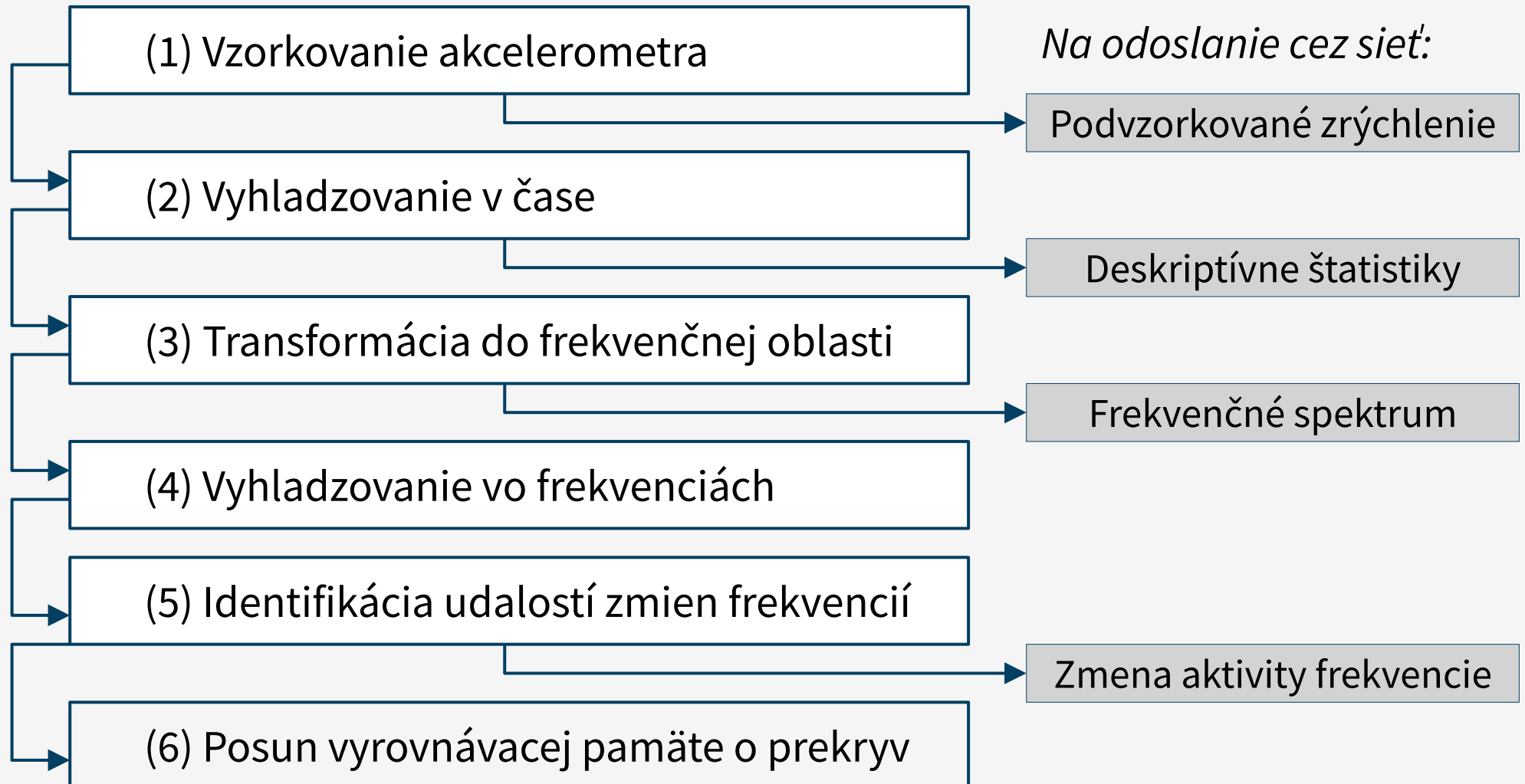
## Časový rad vzoriek:

$$T = \{(t_1, x_1), (t_2, x_2), \dots, (t_n, x_n)\}$$



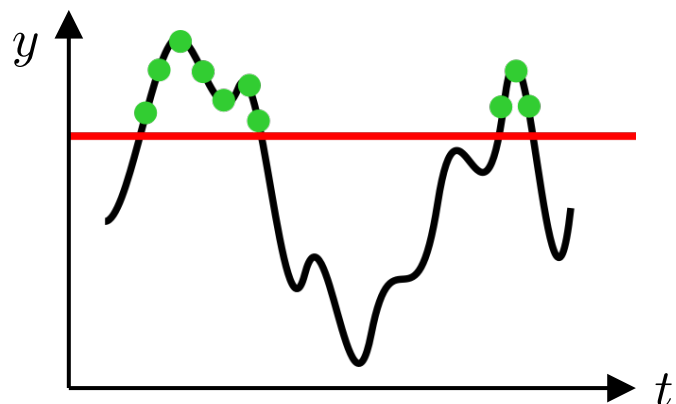
# Sústava spracovania signálu

- Plne konfigurovateľná, viac-vláknová, v posuvných oknách

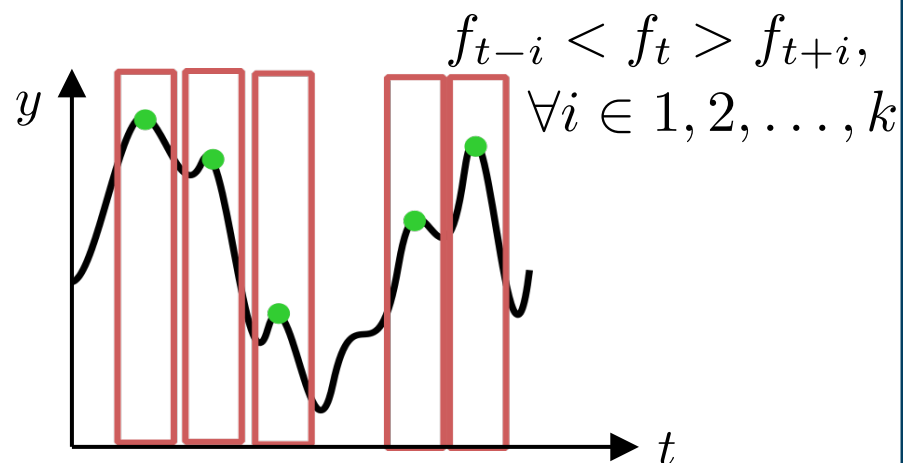


# Algoritmy binárnej klasifikácie špičiek

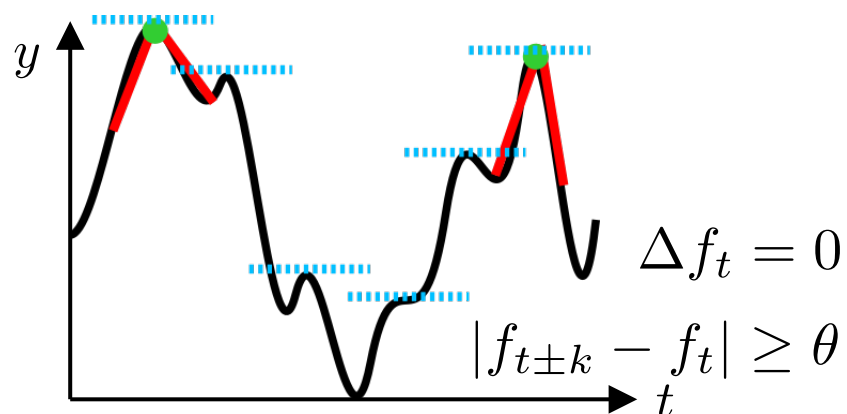
## 0. Prahová úroveň $f_t \geq \theta$



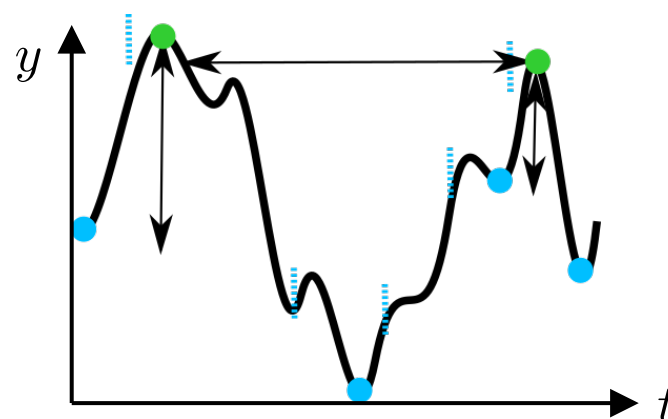
## 1. Najvyšší spomedzi susedov



## 2. Prechod nulou do záporu



## 3. Horský turista

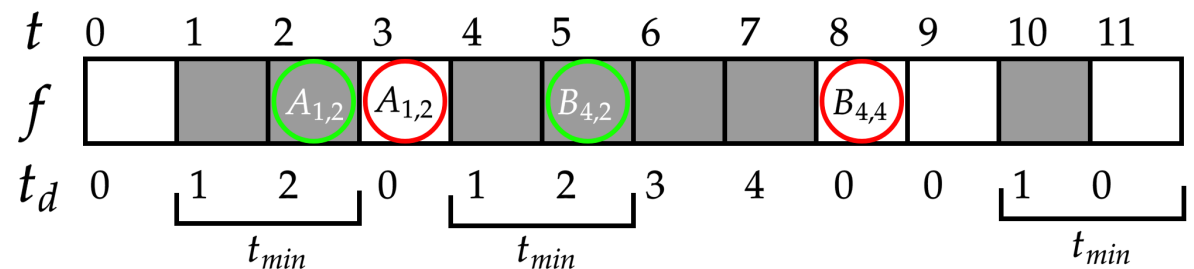


# Detekcia zmeny frekvenčnej zložky

- Prúdový algoritmus v  $\mathcal{O}(1)$

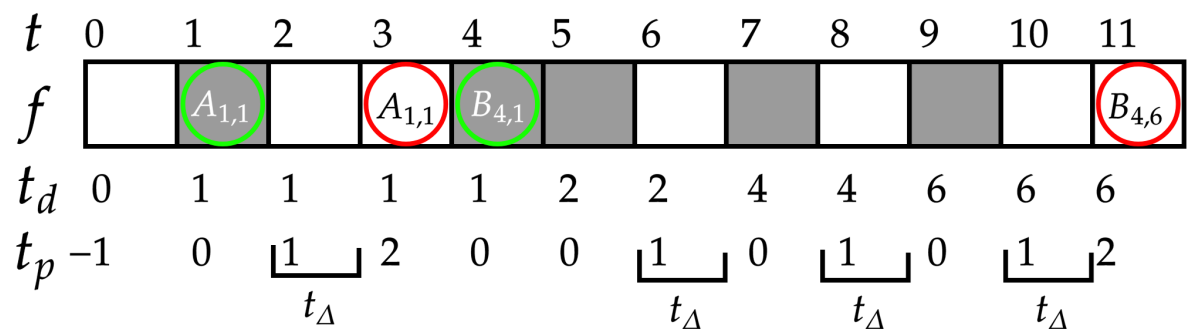
- **Parametre:**

- $t_{min}$  - min. trvanie
- $t_{\Delta}$  - min. medzera

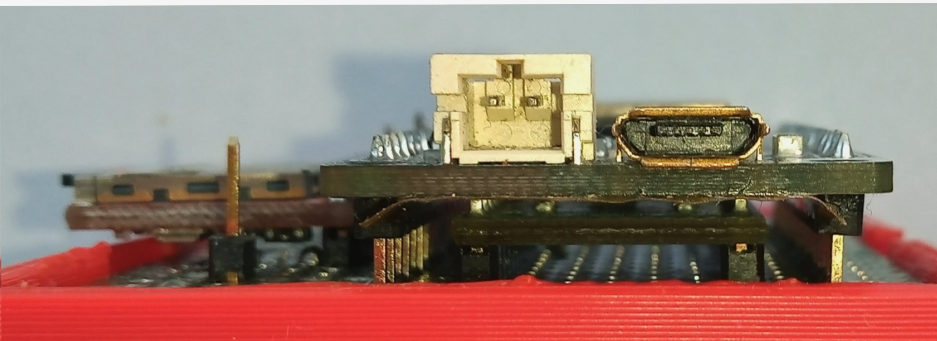
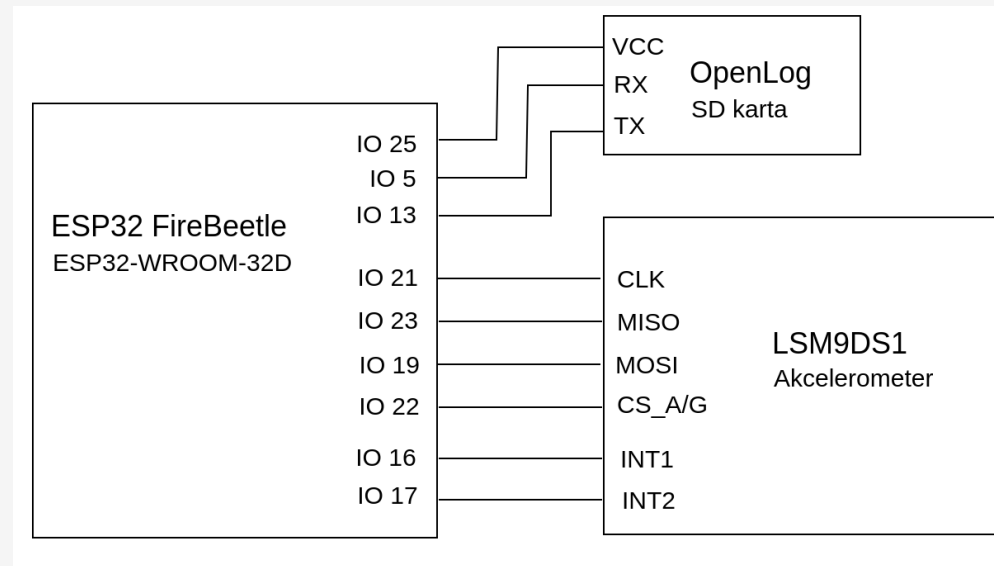
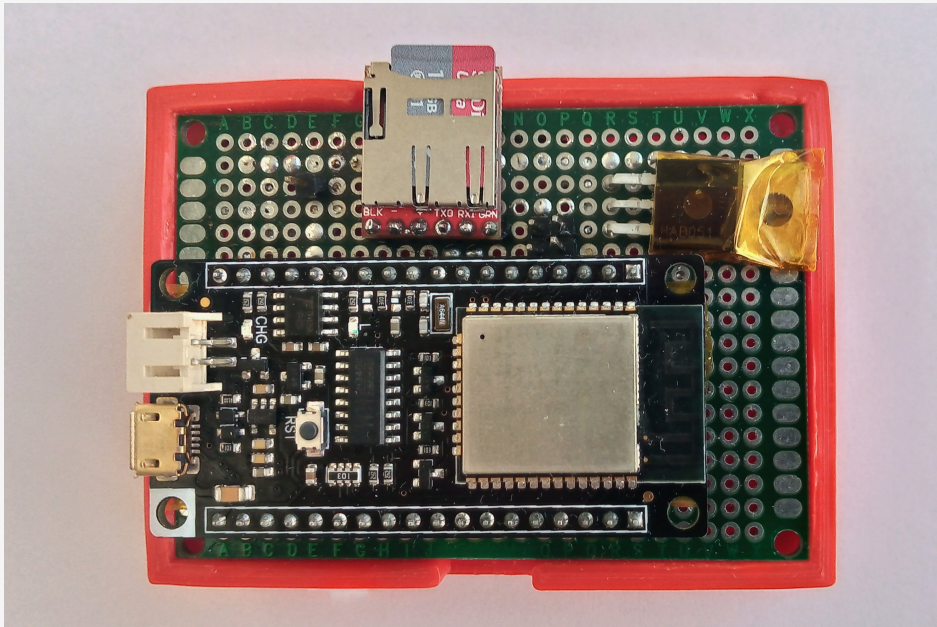


- **Udalosť:**

- začiatok / koniec
- $f$  – frekvenčné vedierko
- $t$  – časová pečiatka
- $t_d$  – trvanie
- priemerná amplitúda

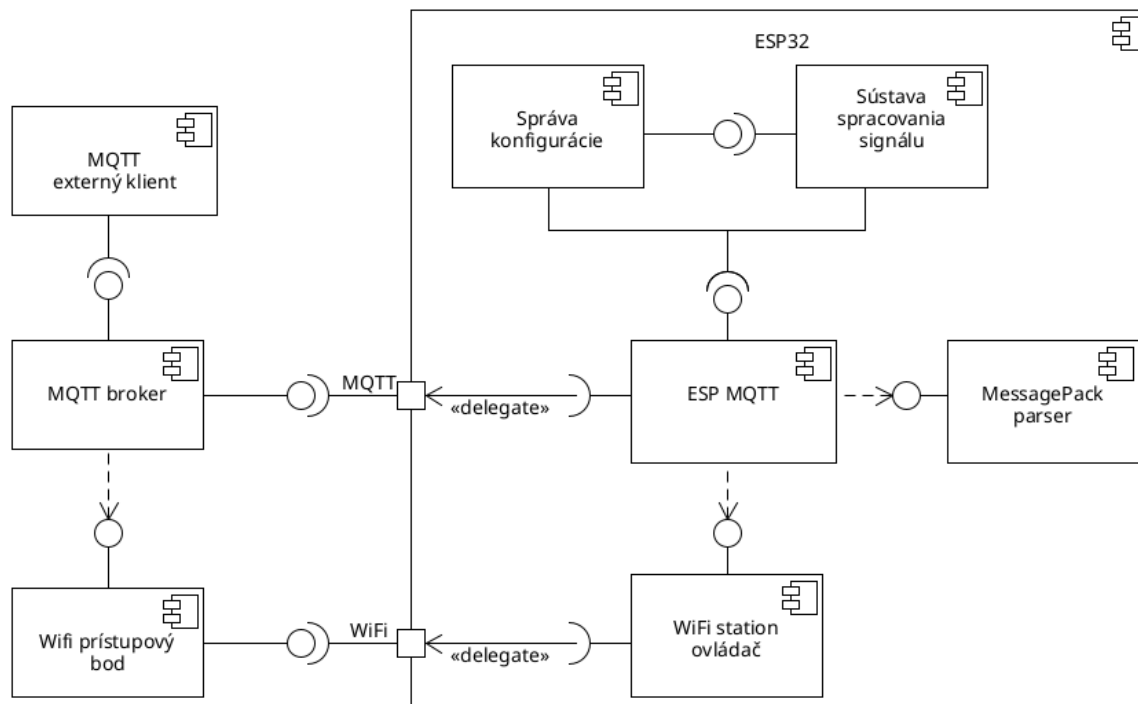


# Hardvér senzorovej jednotky



# Sieťová komunikácia cez MQTT

```
> Frame 62: 124 bytes on wire (992 bits), 124 bytes captured (992 bits)
> Ethernet II, Src: Espressi_82:77:cc (98:f4:ab:82:77:cc), Dst: IntelCor_08:94:e5 (18:56:80:08:94:e5)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.104, Dst: 192.168.1.103
> Transmission Control Protocol, Src Port: 49424, Dst Port: 1883, Seq: 3614, Ack: 57, Len: 70
✓ MQ Telemetry Transport Protocol, Publish Message
  > Header Flags: 0x30, Message Type: Publish Message, QoS Level: At most once delivery (Fire and Forget)
  | Msg Len: 68
  | Topic Length: 14
  | Topic: imu/1/events/z
  | Message: 84a17403a26466ca3f800000a1419184a16900a17400a16404a168caba995b1ca15a9001...
```

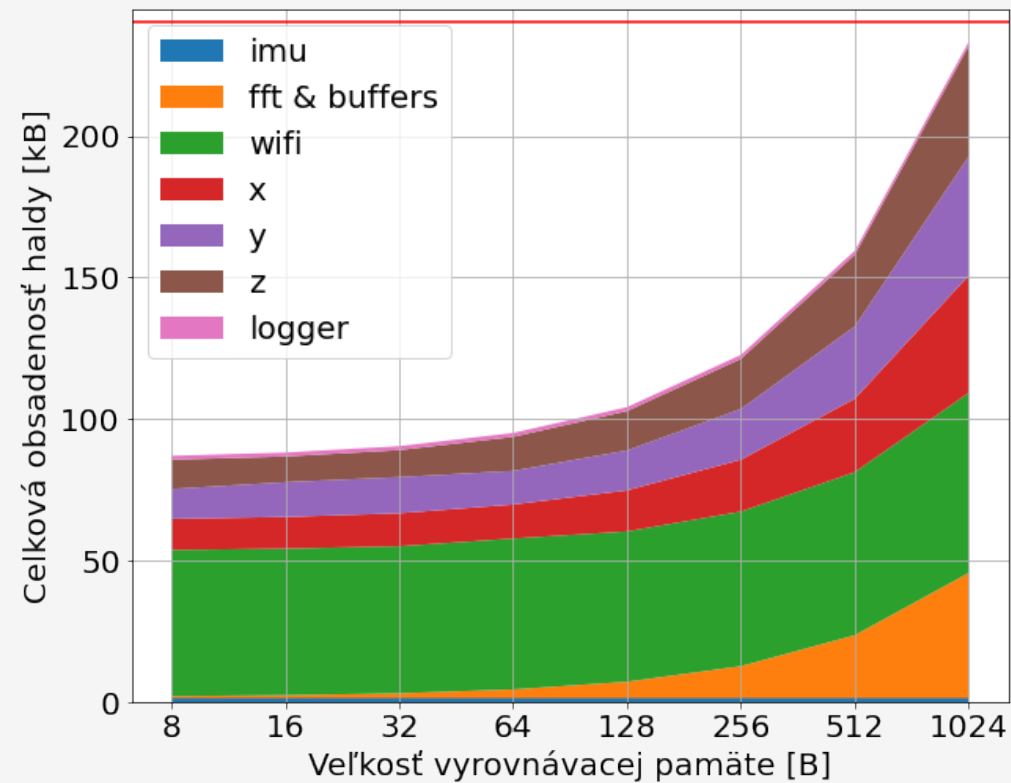
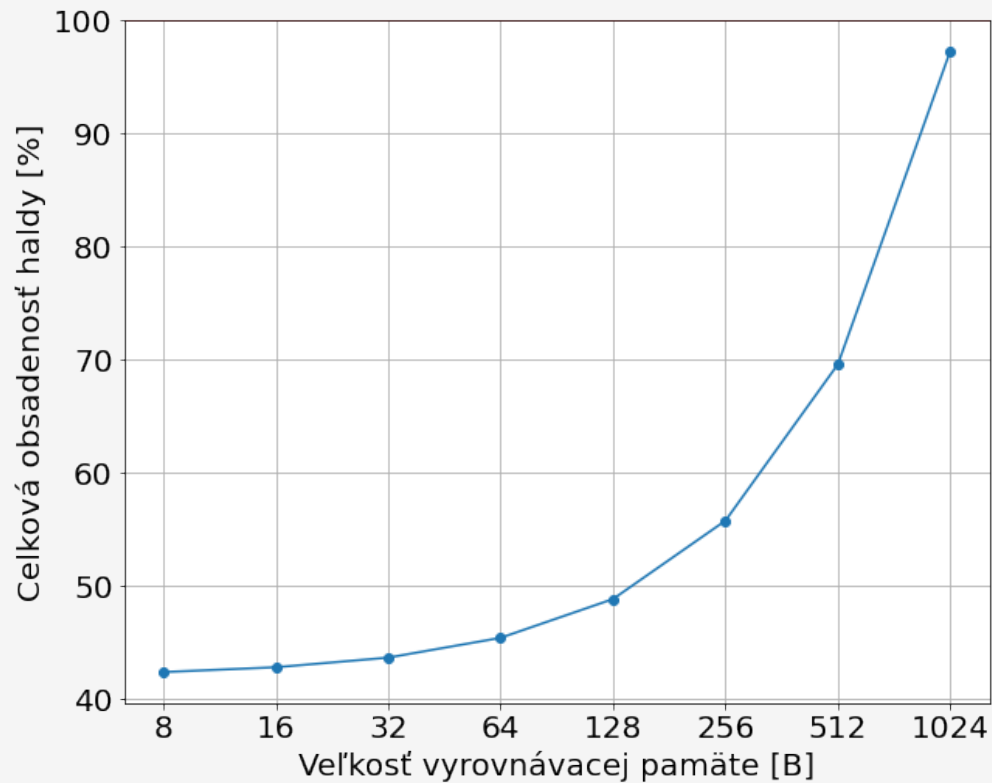


**MQTT topic:** imu/1/events/x  
**MessagePack správa:**

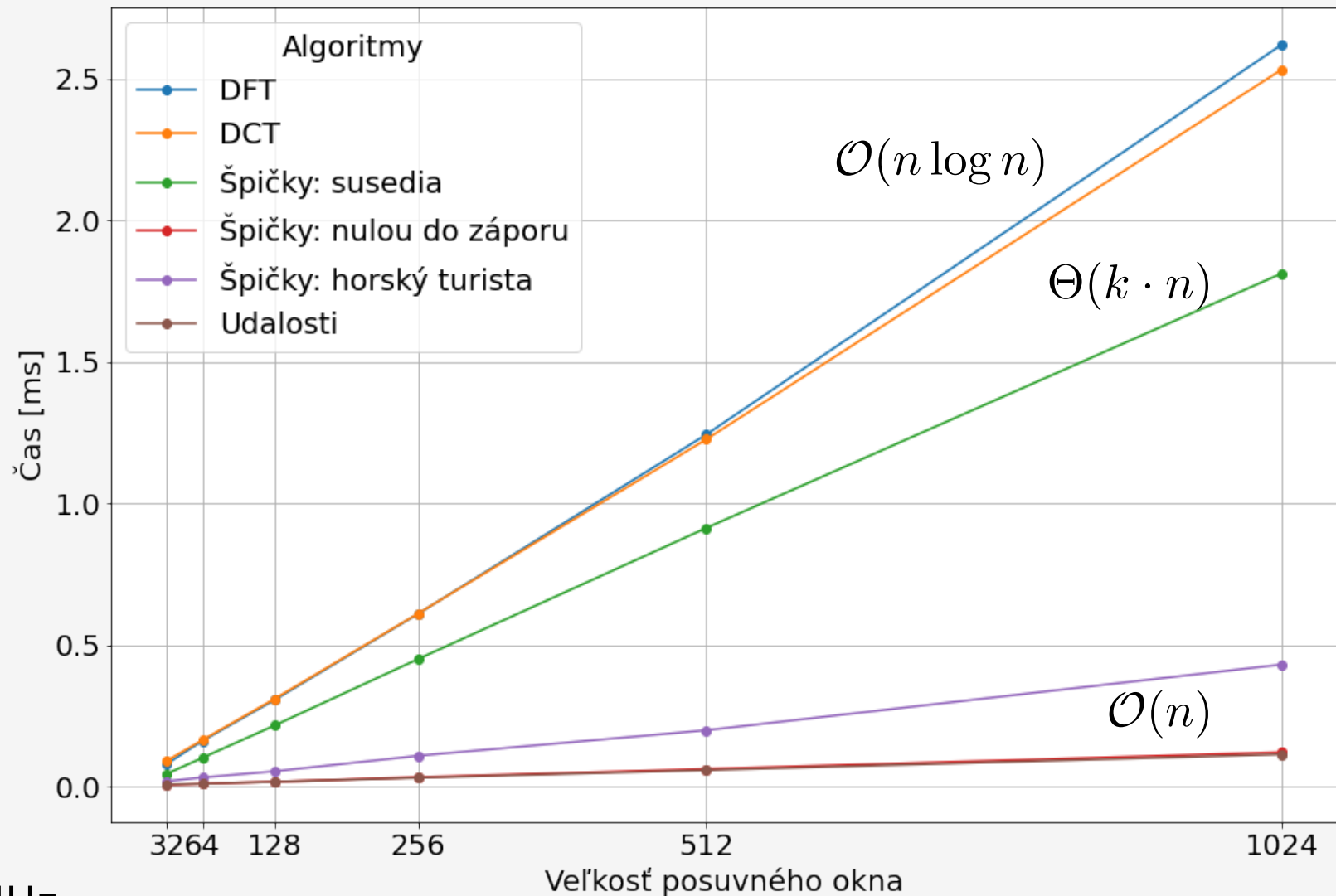
```
{
  "t": 310,
  "df": 2.0,
  "A": [{
    "i": 2, "t": 305,
    "d": 5, "h": -5.621
  }],
  "Z": []
}
```



# Paměťová efektivita firmvéru



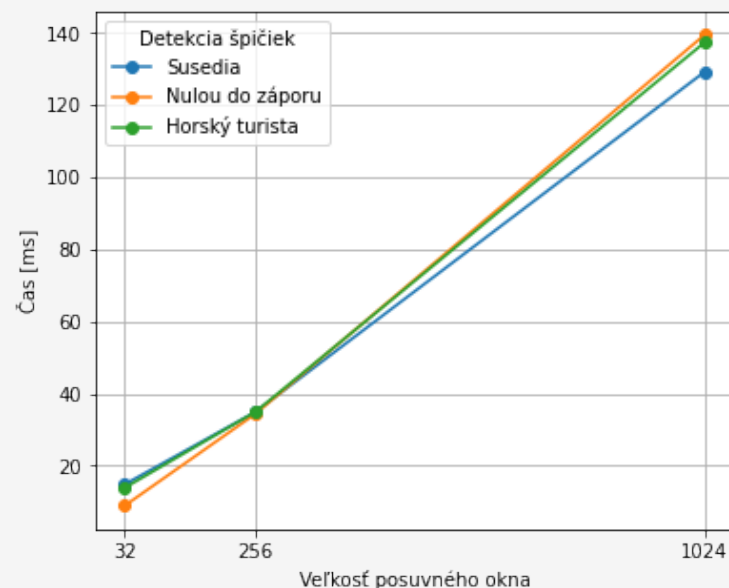
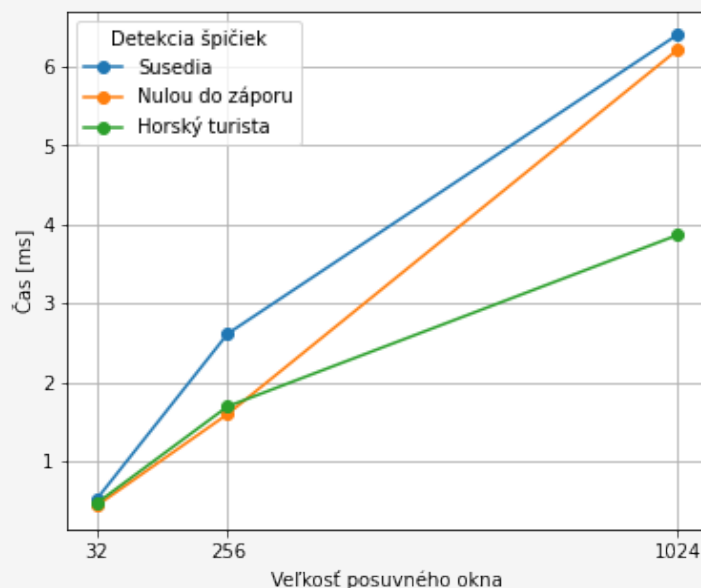
# Časová efektivita algoritmů



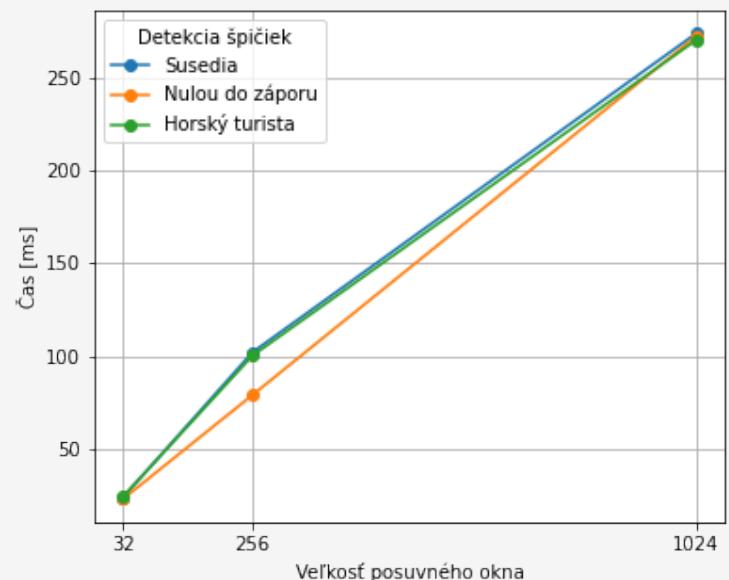
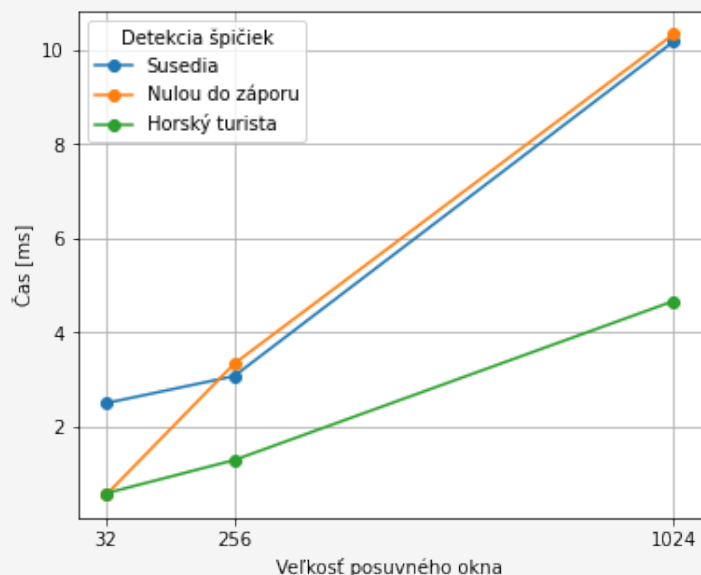
@160 MHz

# Časová efektivita sústavy spracovania

1 os



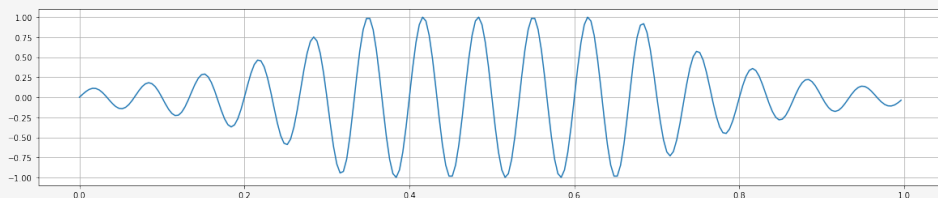
3 osi



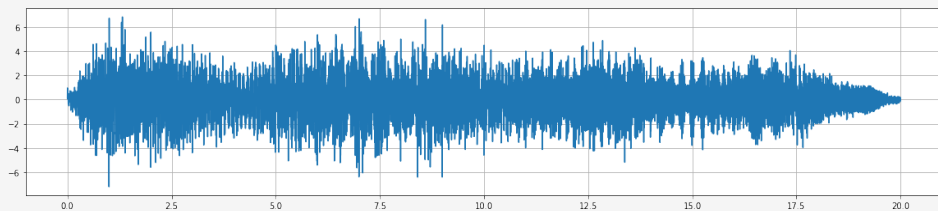
# Dátové sady

## Syntetický časový rad

$$y = y_{max} \cdot \sin(2\pi f \cdot T_s \cdot i)$$



- 1) Trénovacia sada (60 s)
- 2) Grid search pre hľadanie špičiek
- 3) Testovacia sada (20 s)
- 4) Vyhodnotenie metrík klasifikátora (Presnosť, Chybovosť)

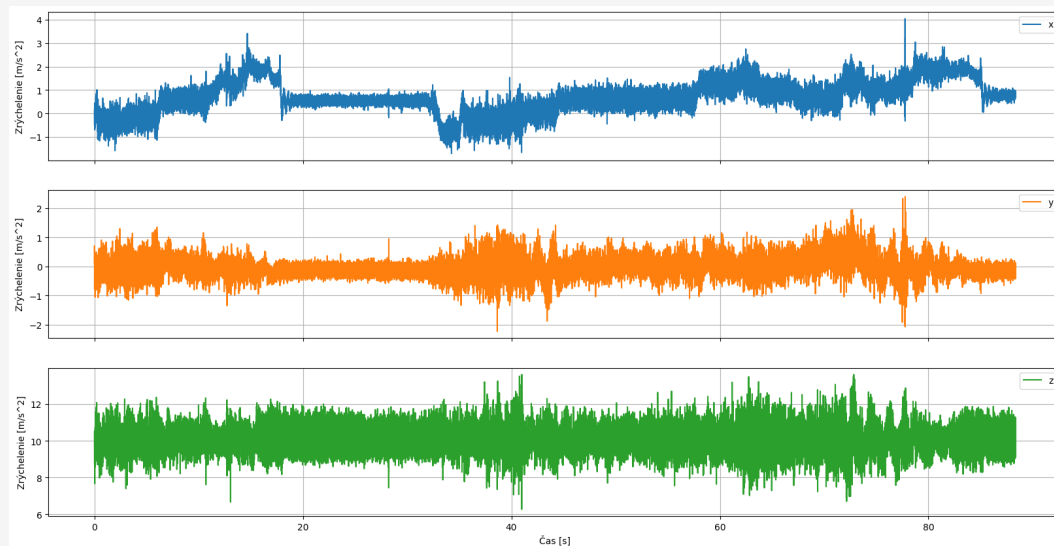


## Merania vo vozidlách MHD

$$f_s = 500 \text{ Hz}$$

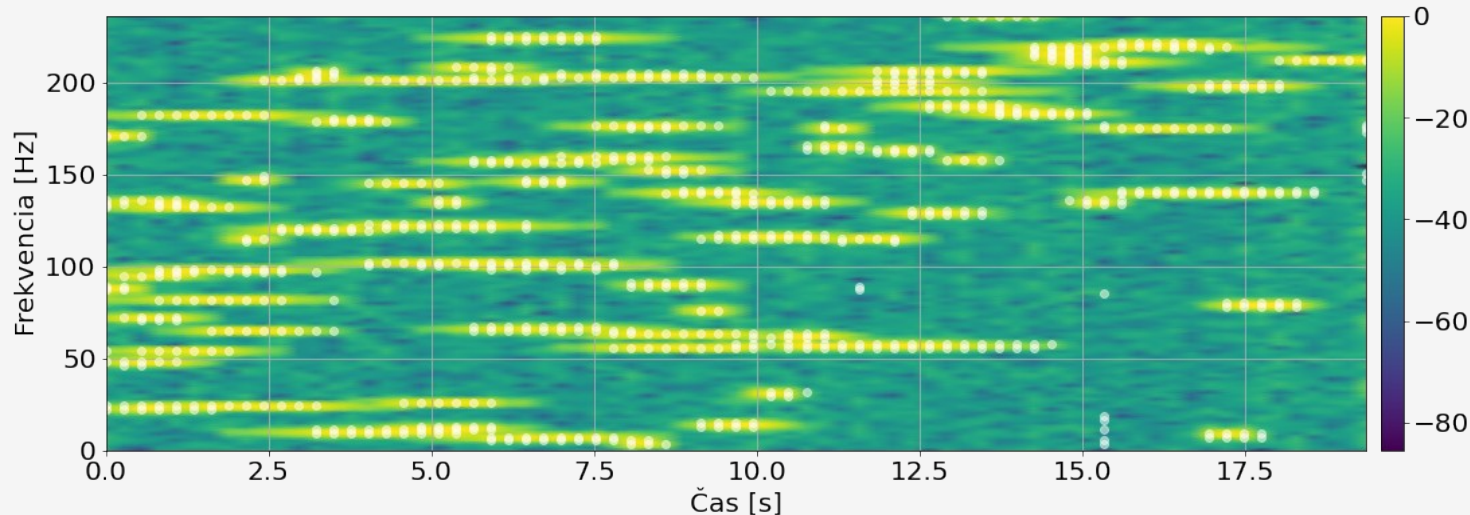
$$a_{max} = 2 \text{ g} \approx 19.62 \text{ m/s}^2$$

OpenLog baud: 115 200

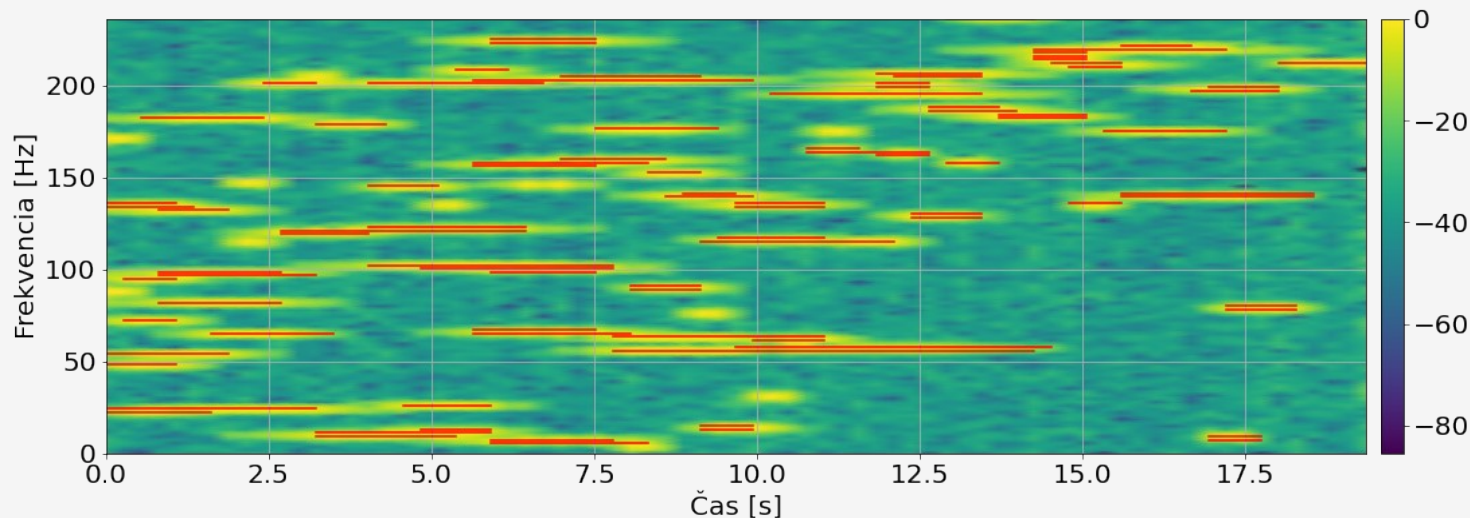


# Detekcia udalostí v syntetických dátach

## Identifikácia špičiek po posuvných oknách



## Trvanie významných amplitúd frekvenčných komponentov



### Signál:

- $f_s = 476 \text{ Hz}$
- $l = 20 \text{ s}$

### FFT:

- $N = 256$ ,
- Hannovo okno, 50%

### Najvyšší zo susedov:

- $k = 12$
- $\varepsilon = 4$
- $h_{rel} = 32$

### Detekcia udalostí:

- $t_{min} = 4$
- $t_{\Delta} = 1$

### Metriky klasifikácie:

- Presnosť:  $\sim 85 \%$
- FPR: do 5%



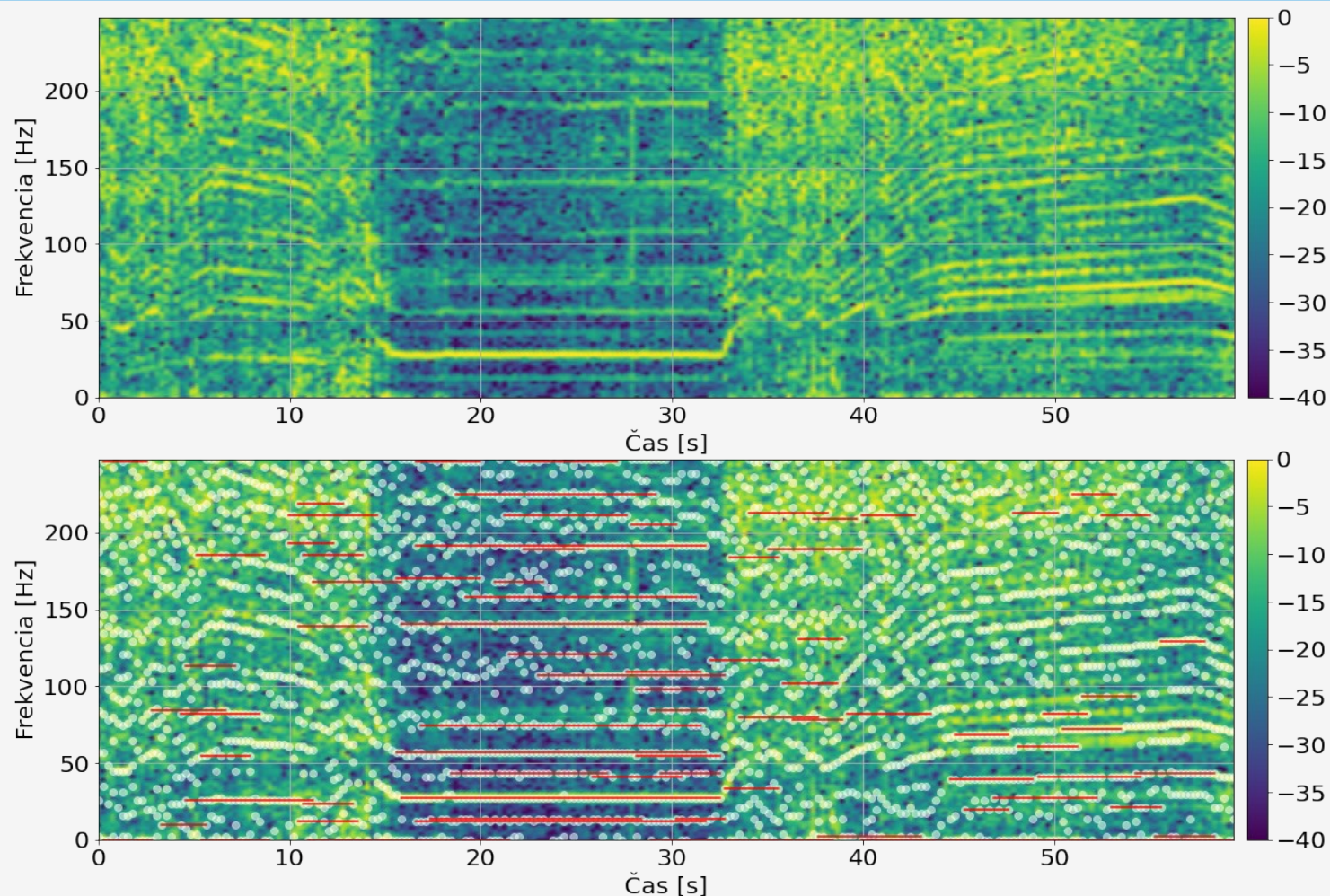
# Detekcia udalostí z reálnej premávky

## Max. počet udalostí na efektívny prenos:

- $N = 32$ : do 12%
- $N = 1024$ : do 18%

## Detektor:

- Max: 6%
- Priemer: 0,6%



Záznam: L83 4940 Alexyho Svanterova.csv;

$f_s = 500 \text{ Hz}$ ,  $l = 60 \text{ s}$ , FFT,  $n = 256$ ,  $t_{min} = 10$ ,  $t_{\Delta} = 4$ ;

Najvyšší zo susedov:  $k = 5$ ,  $\varepsilon = 0$ ,  $h_{rel} = 8$

# Potenciálne rozšírenia práce

## Optimalizácia sústavy spracovania:

- Vzorkovanie nad prahovú úroveň
- Odhad spektra s DCT-IV, MDCT
- Porovnanie oknových funkcií

## Detekcia udalostí:

- Profil známych javov a ich odlíšenie pri notifikáciach
- Adaptívne a autonómne kalibrované hľadanie špičiek
- Priestorová orientácia vibrácií

## Dátové sady:

- Zber datasetov z automobilu a metodika ich anotovania
- Skúšanie zariadenia na testovacej lavici

# Prínos a zhrnutie

- **Parametrizovateľné etapy spracovania** signálu z vibrácií
- Implementácia postupu do **firmvéru na ESP32**
- **Konfigurácia a odosielanie meraní** cez MQTT a WiFi
- **Prúdový algoritmus** na detekciu zmeny frekvenčnej zložky
- Overenie na syntetických aj reálnych dátových sadách

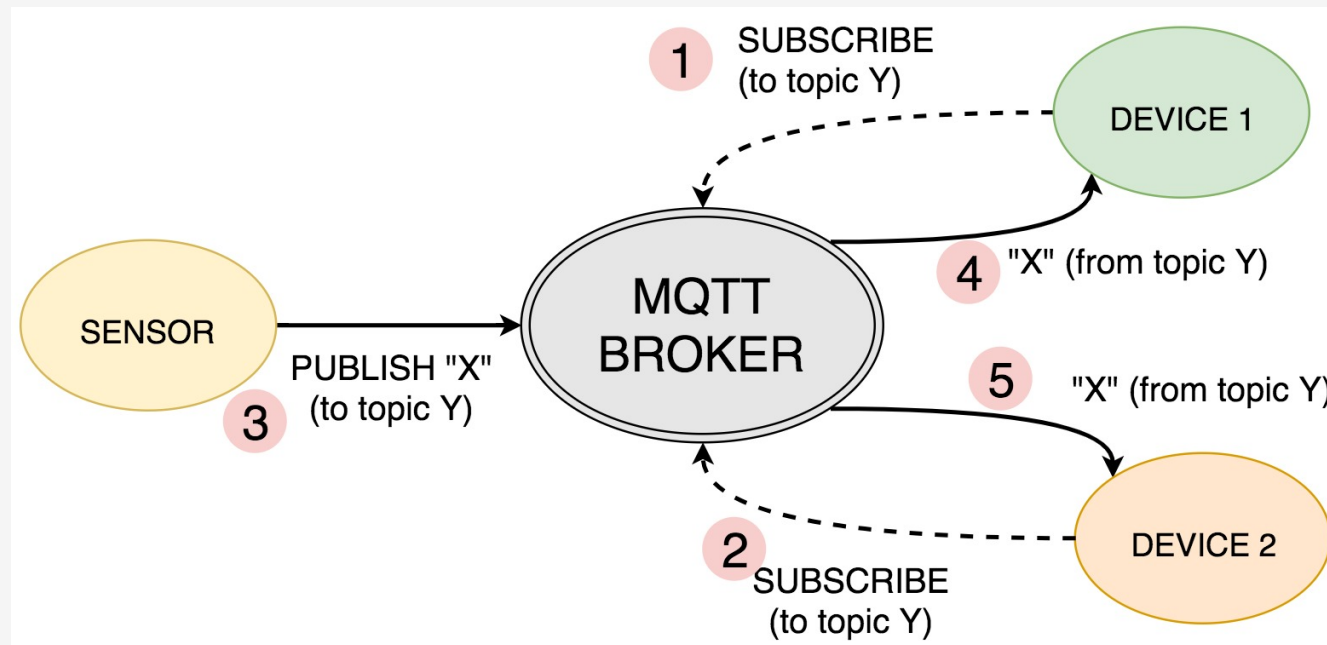




# Otázky oponenta

## 1. Prečo ste pri implementácii použili MQTT protokol?

- Publish-subscribe architektúra (Notifikácia o udalostiach)
- Implementácia priamo v SDK pre ESP32
- OASIS otvorený štandard pre IoT



Obr.: <https://www.nextech.sk/>

# Otázky oponenta

## 2. Aké sú výhody a nevýhody HTTP a MQTT protokolu?

	Výhody	Nevýhody
MQTT	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Publish-subscribe</b></li><li>• Menšia réžia</li><li>• Väčšia priepustnosť</li><li>• Stav pripojenia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Udržiavanie otvoreného TCP spojenia</li><li>• Štruktúra dát cez topics nie obsah</li></ul>
HTTP	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Request-response</b></li><li>• Široko podporovaný</li><li>• Flexibilita s hlavičkami</li><li>• Ideálny na dokumenty</li><li>• HTTP/3 je nad UDP</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nové TCP spojenie na požiadavku (HTTP/1.1)</li><li>• Zabezpečenie s HTTPS</li><li>• Réžia na hlavičky</li></ul>