

**Předmět: 132DKBU**

**Využití dynamické zatěžovací zkoušky v  
diagnostice stavebních konstrukcích**



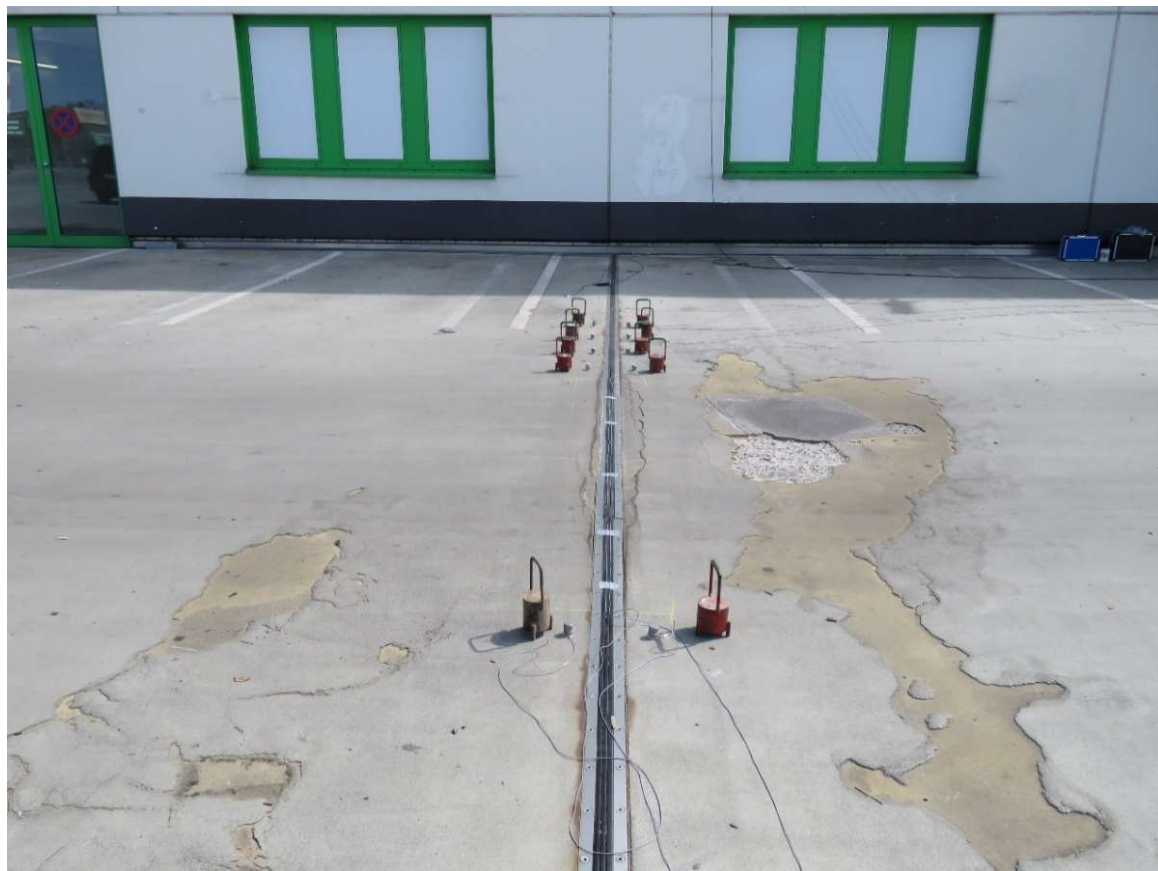
**prof. Ing. Michal POLÁK, CSc.**

**Fakulta stavební, ČVUT v Praze**

© 2004 - 2024

## **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

### **Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:**



### **Základní důvody experimentu – informace pro návrh:**

- **Zvýšení životnosti a trvanlivosti poježděného povrchu zastřešení parkovacích ploch parkoviště v blízkosti dilatační spáry.**

## **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

### **Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:**



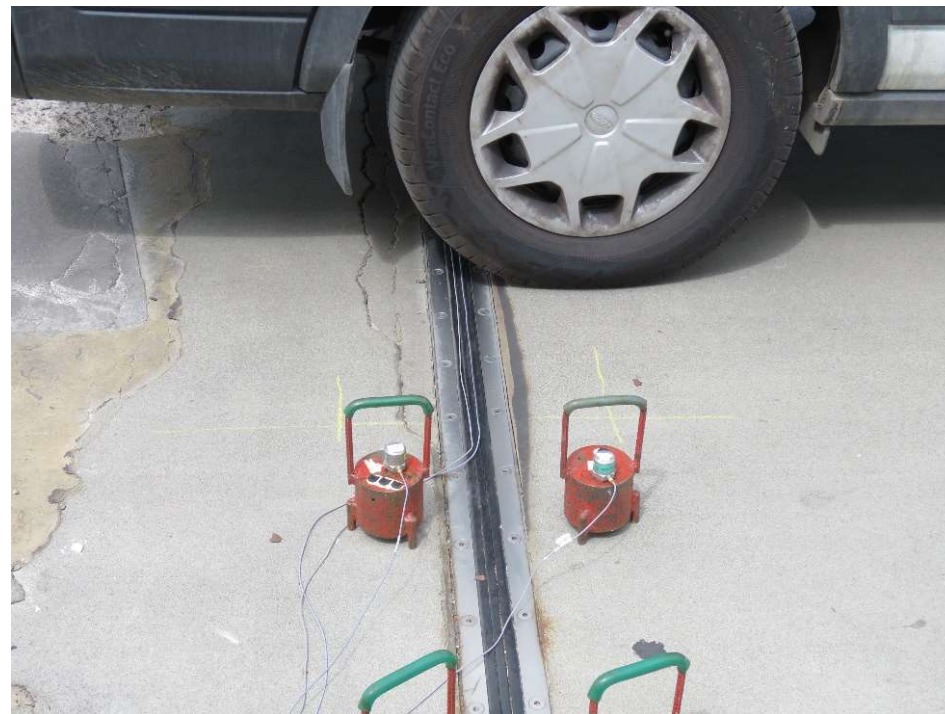
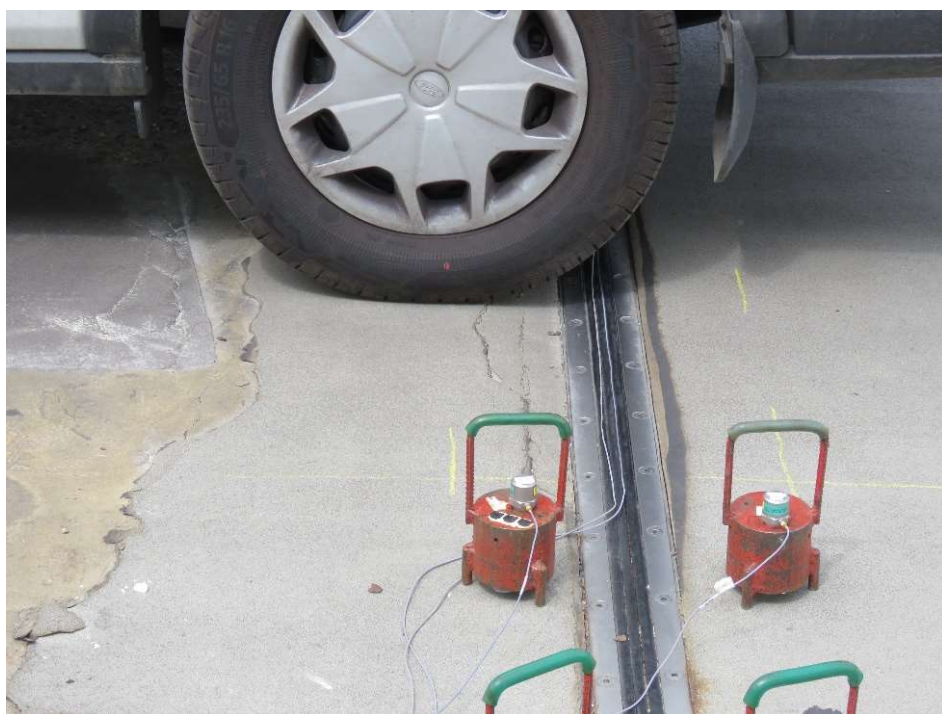
### **Základní důvody experimentu – informace pro návrh:**

- **Omezení degradace vodorovné nosné konstrukce zastřešení v místě dilatační spáry kvůli pronikání srážkové vody skrze dilataci.**



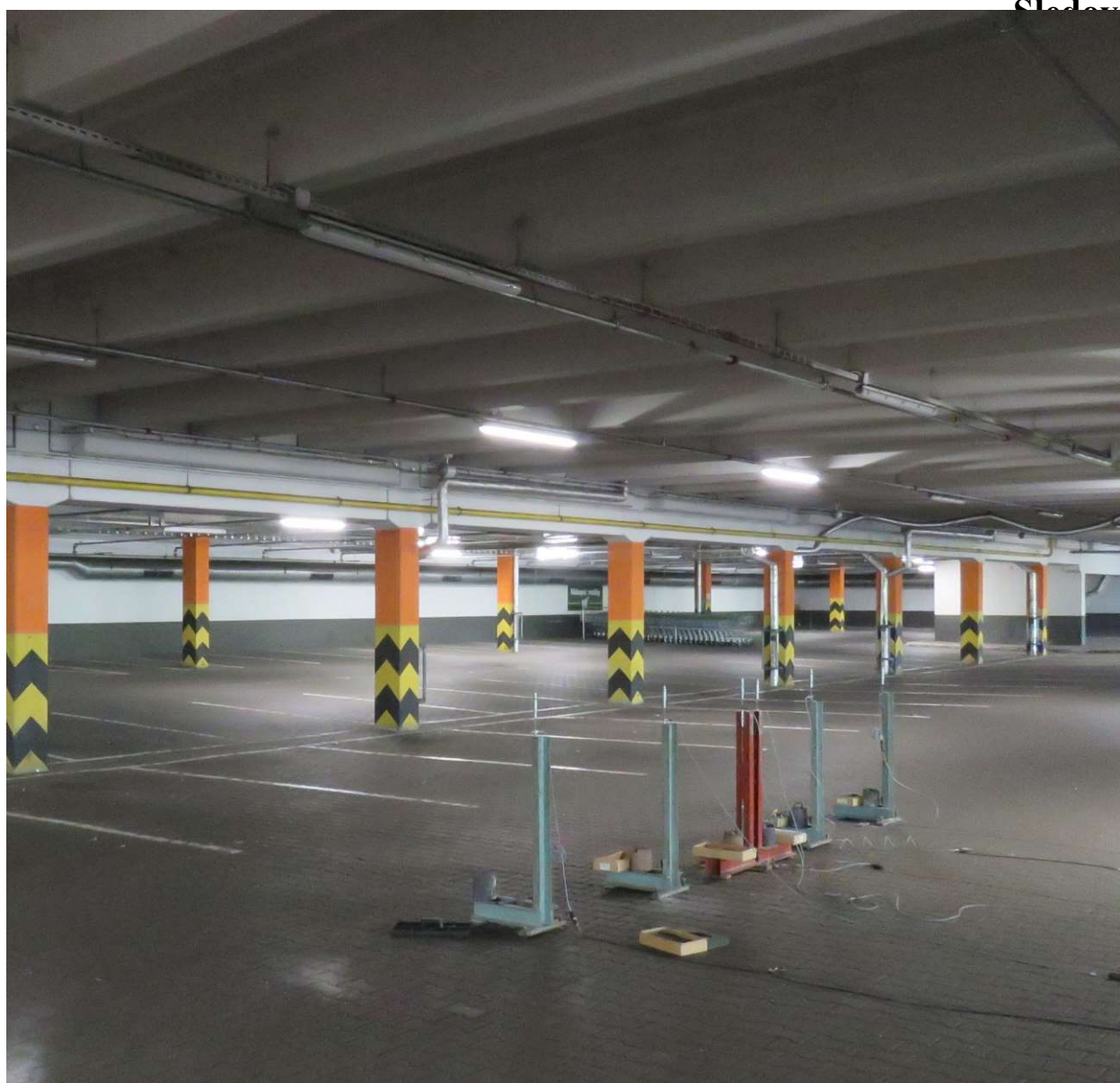
**Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**  
**Studijní statická zatěžovací zkouška zaměřená na chování**  
**okrajů dilatační spáry:**

**Dodávka Ford Transit**  
**V poloze cca 2,5 min.**

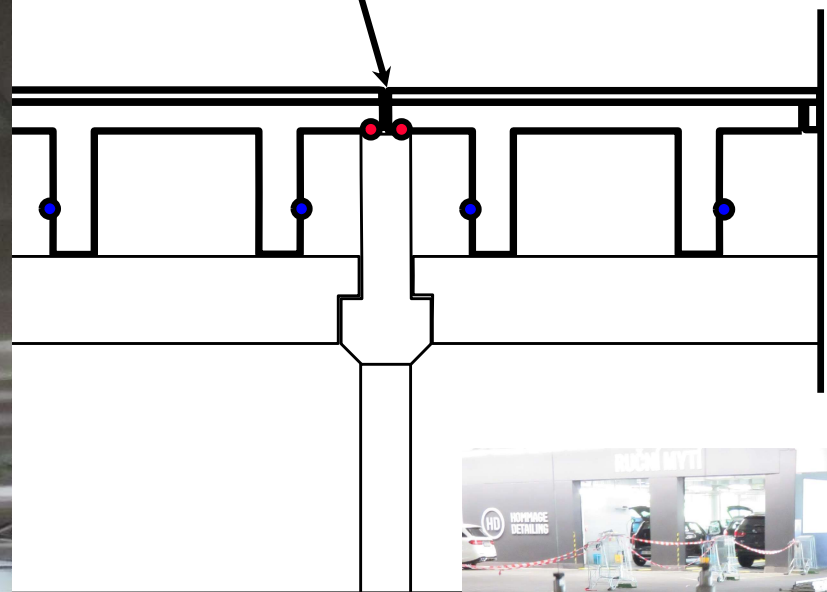




# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí: Studijní statická zatěžovací zkouška zaměřená na chování okrajů dilatační spáry:



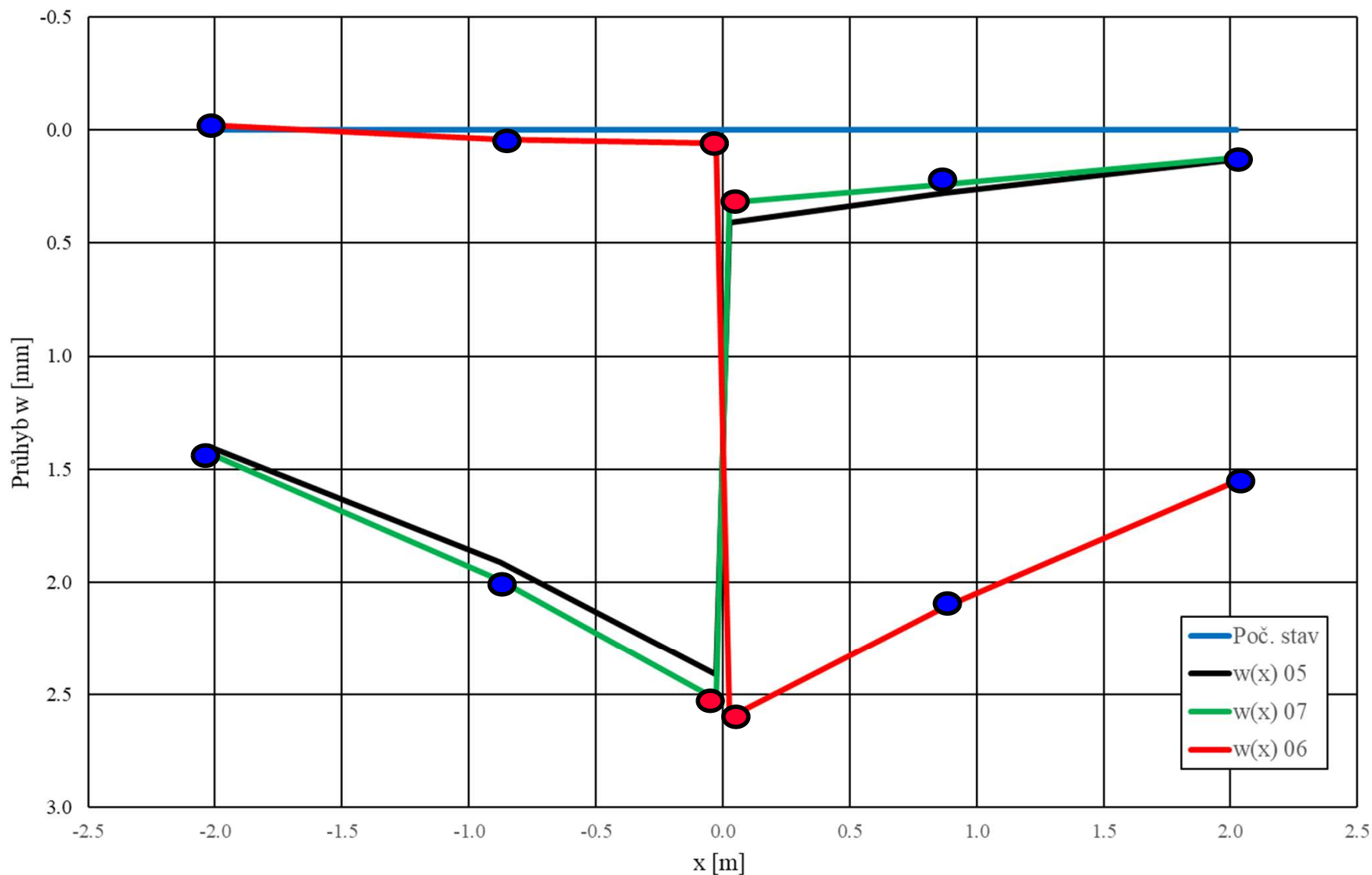
Sledovaná dilatační spára



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Studijní statická zatěžovací zkouška zaměřená na chování okrajů dilatační spáry:

Průhyb nosníků při studijní statické zatěžovací zkoušce

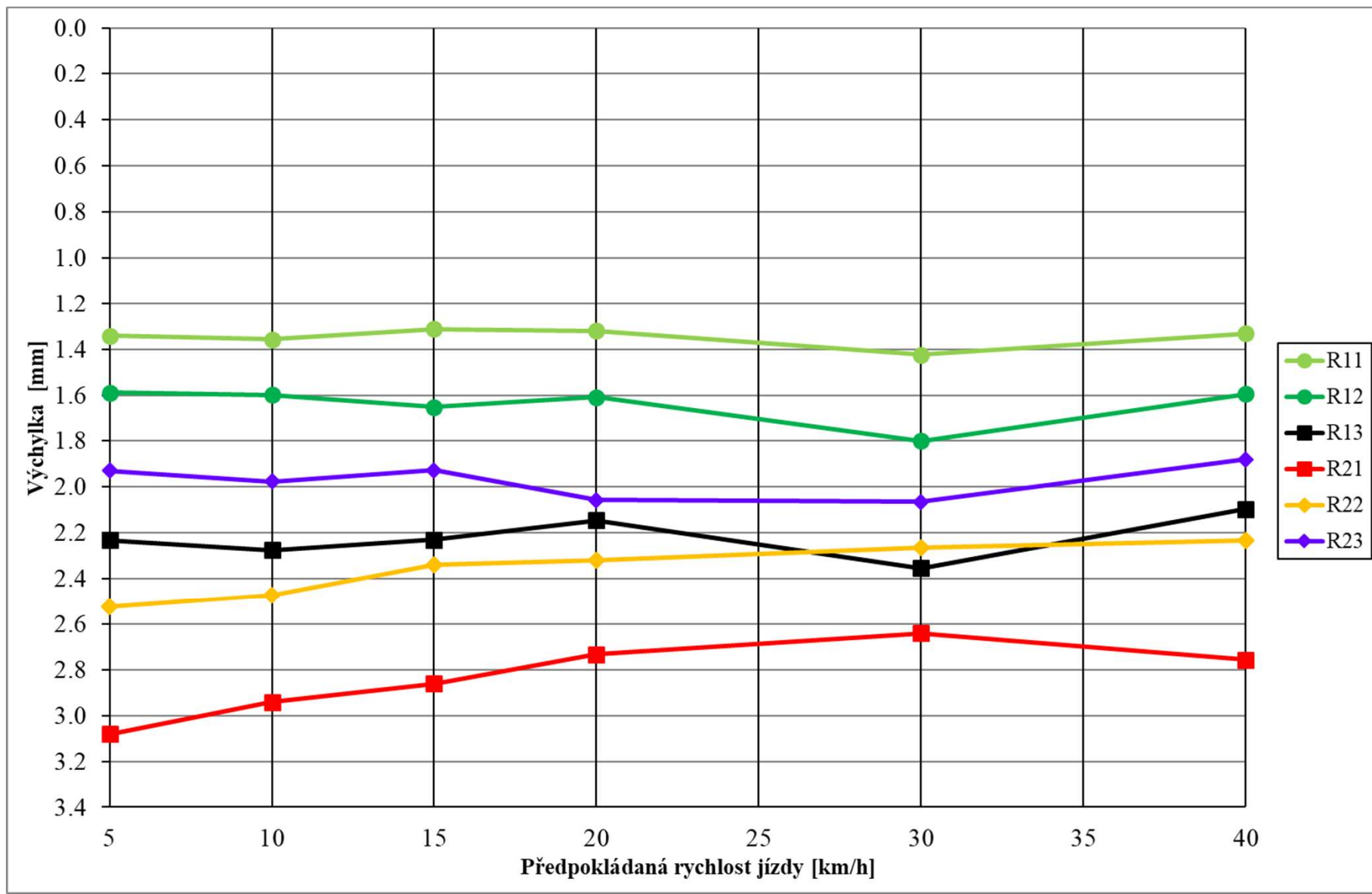


# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

### Jízdy dodávkou Ford Transit

Směr 1

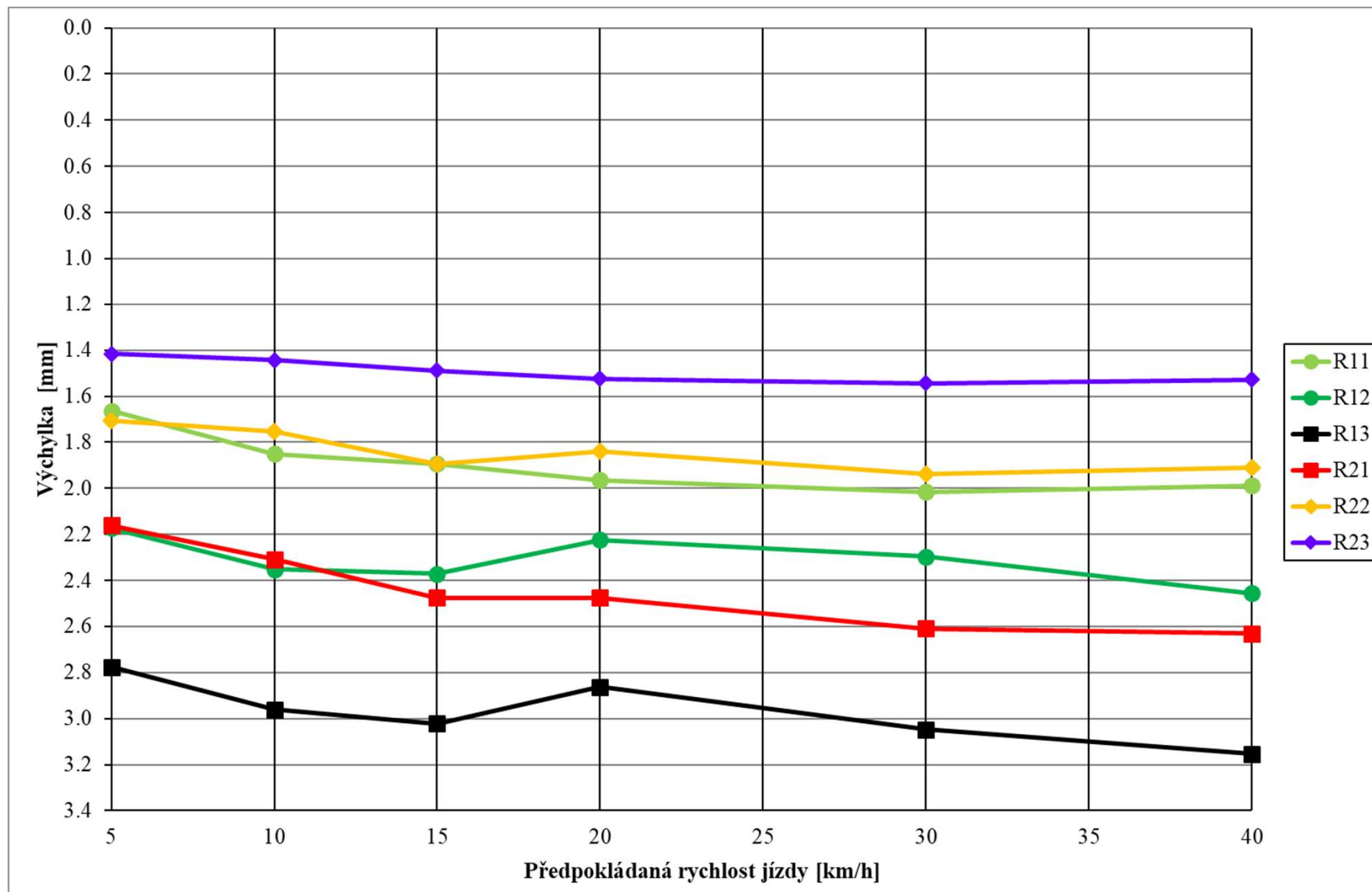




# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

### Jízdy dodávkou Ford Transit



Směr 2

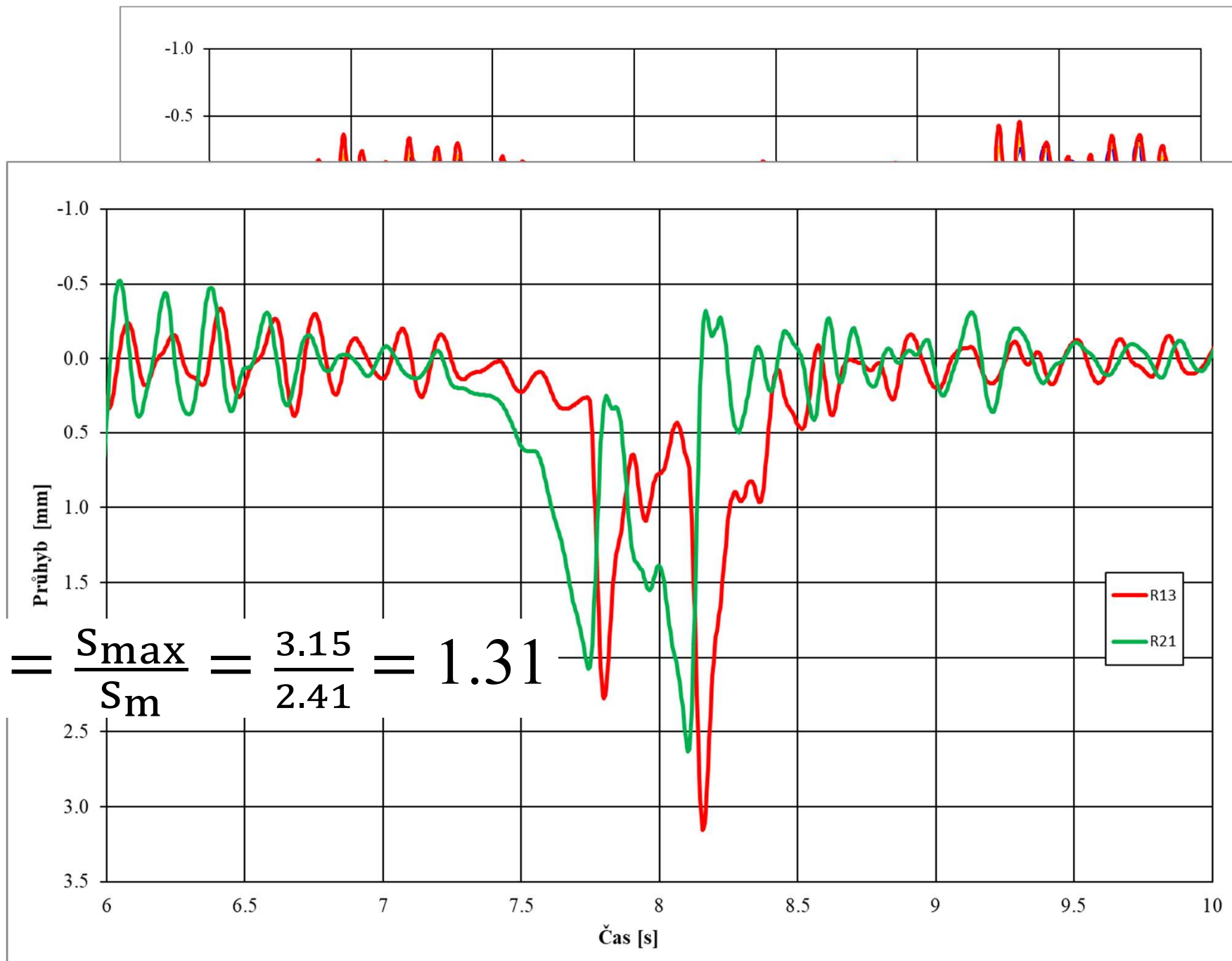
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

**Směr 2,  
rychlost  
40 km/h**

$\delta_{obs,R13}$

$$= \frac{S_{max}}{S_m} = \frac{3.15}{2.41} = 1.31$$

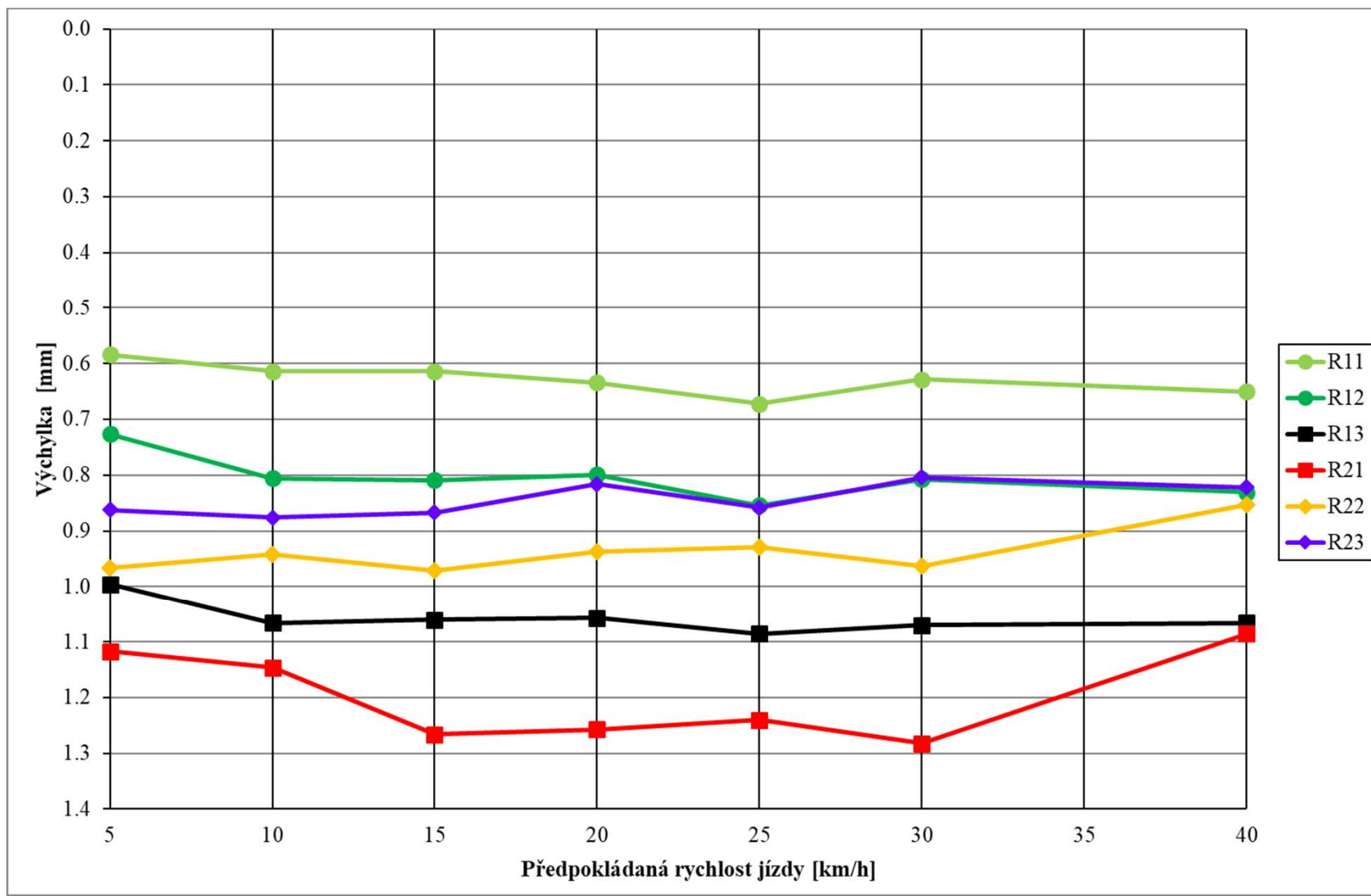


# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

### Jízdy osobním vozem Audi:

Směr 1



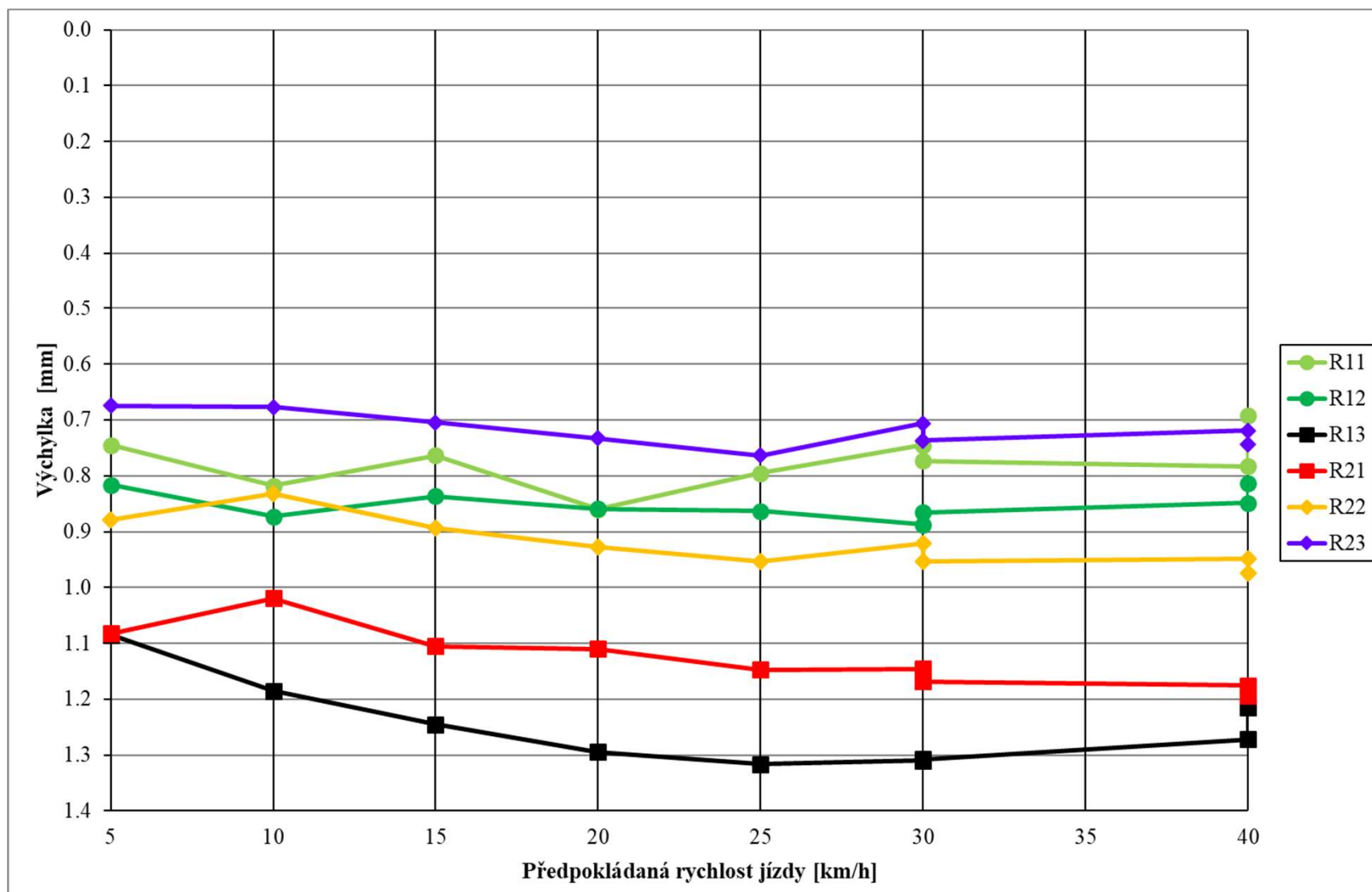


# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

### Jízdy osobním vozem Audi:

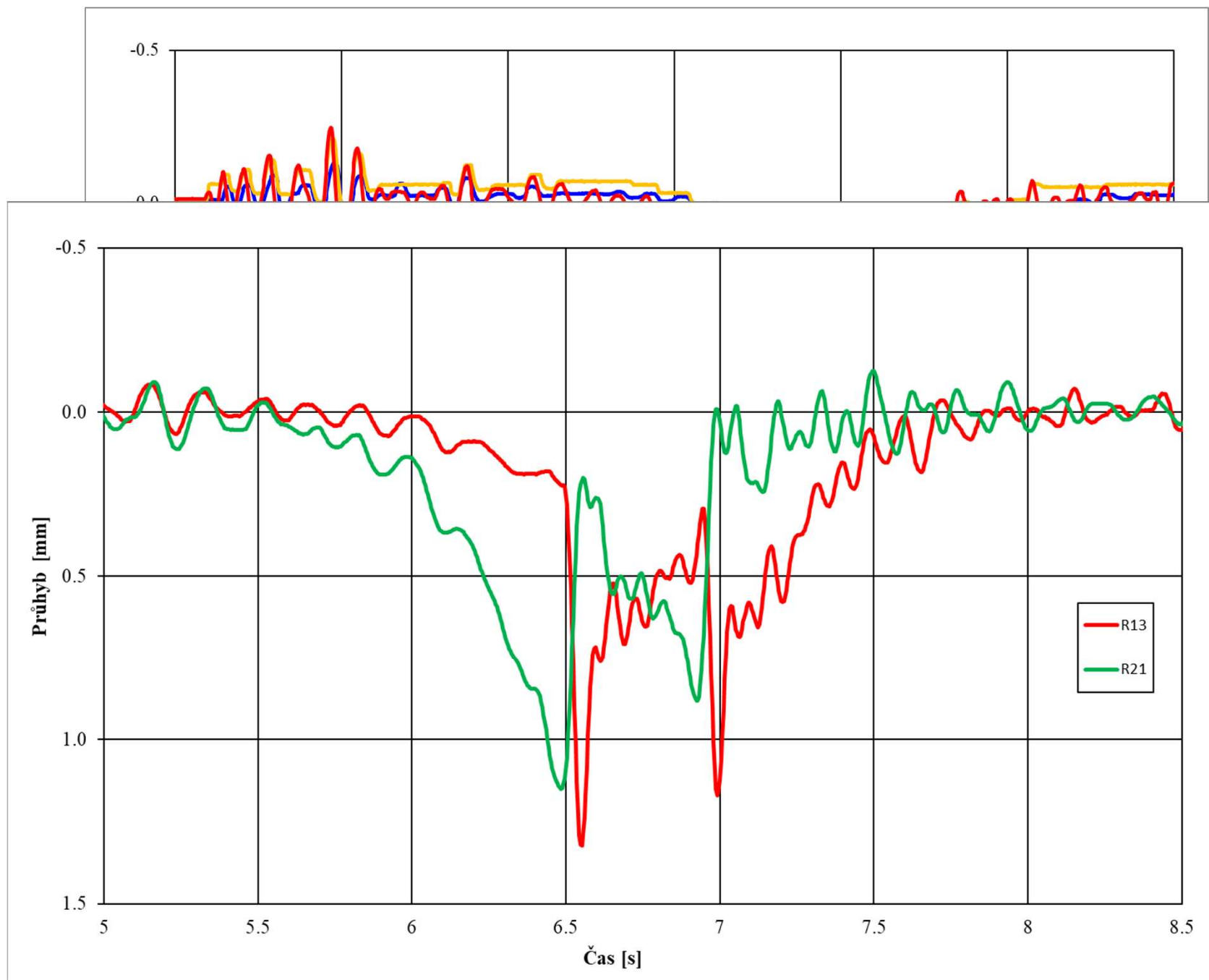
Směr 2



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

**Směr 2,  
rychlost  
25 km/h**



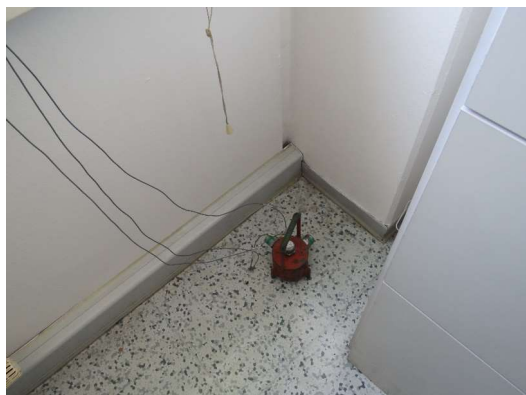
**Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**  
**Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:**





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:



| Číslo<br>zázn. | Popis<br>záznamu | Max. hodnoty RMS             |                              |                              |
|----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                |                  | Podlaha v budově             |                              |                              |
|                |                  | X                            | Y                            | Z                            |
|                |                  | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] |
| 01             | Seizmic. neklid  | 0.0020                       | 0.0025                       | <b>0.0063</b>                |
| 02             | Seizmic. neklid  | 0.0020                       | 0.0020                       | 0.0036                       |
| 03             | Seizmic. neklid  | 0.0017                       | 0.0018                       | 0.0046                       |
| 04             | Seizmic. neklid  | <b>0.0024</b>                | <b>0.0032</b>                | 0.0062                       |

$$a_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt}$$

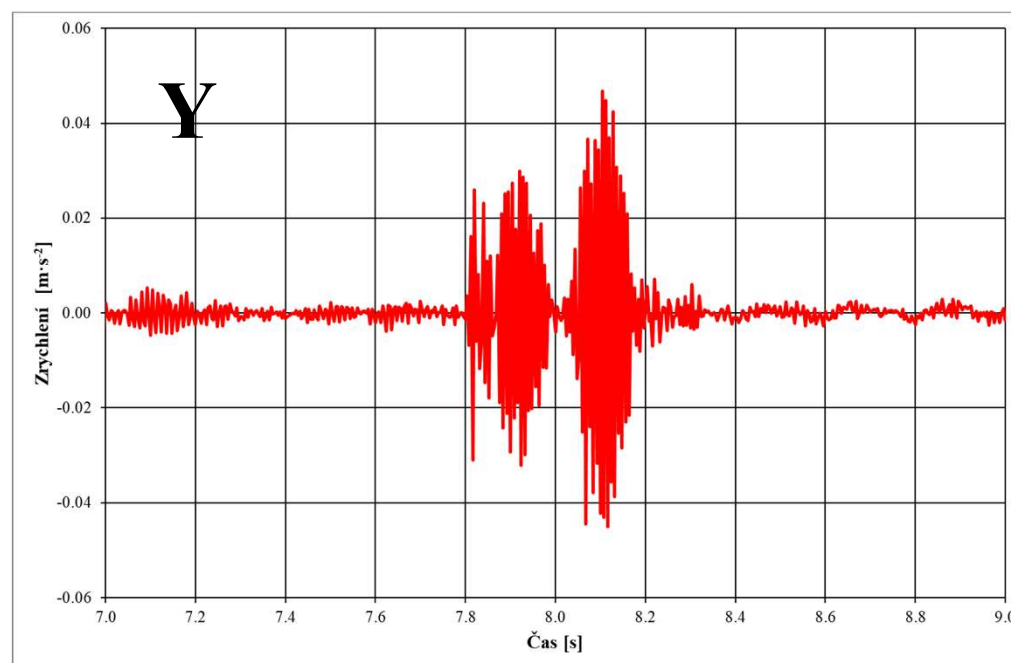
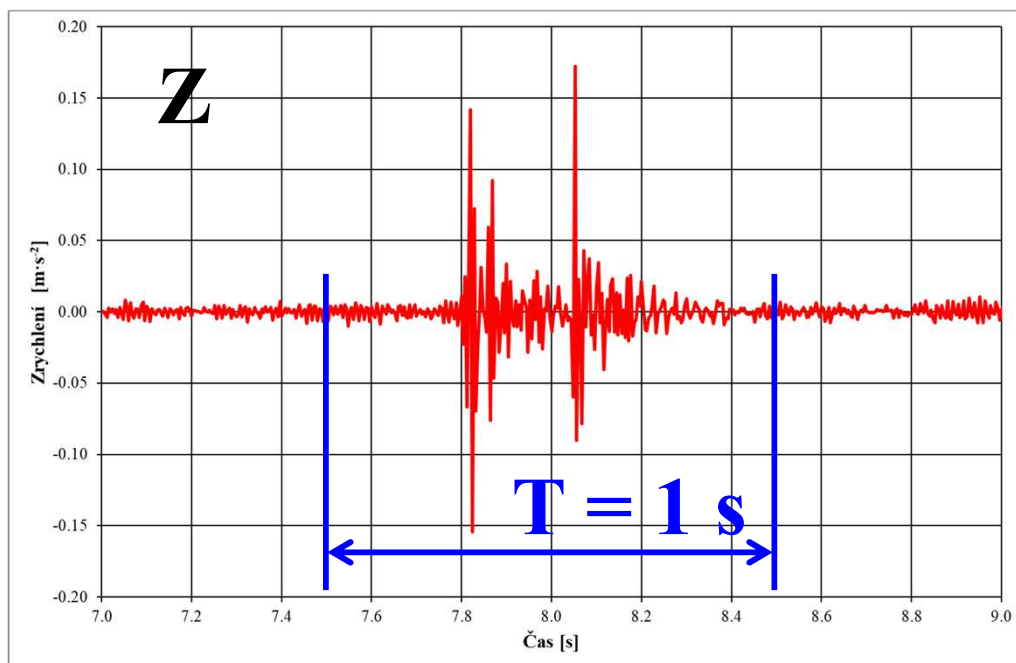
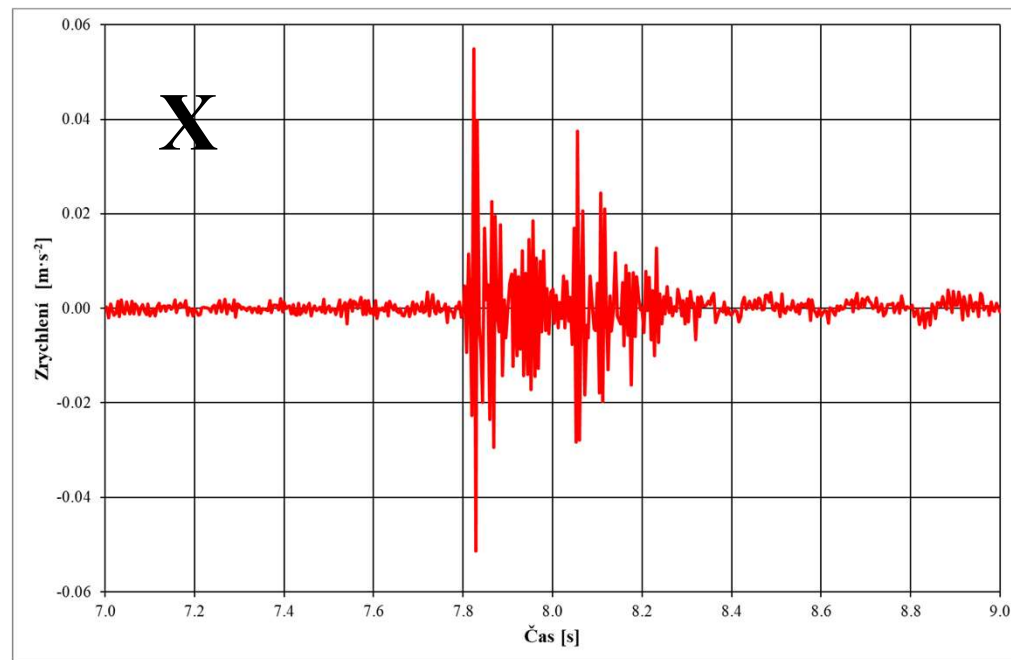
| Vozidlo      | Plánovaná<br>rychlost<br>jízdy<br>[km/h] | Maximální hodnoty R.M.S.     |                              |                              |
|--------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|              |  | Podlaha v budově             |                              |                              |
|              |  | X                            | Y                            | Z                            |
|              |  | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[m·s <sup>-2</sup> ] |
| Škoda Fabia  | 25                                       | 0.005                        | 0.006                        | 0.013                        |
| Ford Transit | 30                                       | 0.007                        | 0.009                        | 0.018                        |
| Ford Transit | 40                                       | 0.007                        | 0.011                        | 0.015                        |
| Audi         | 40                                       | <b>0.013</b>                 | <b>0.013</b>                 | <b>0.028</b>                 |

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:



$$a_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt}$$



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

$$a_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt}$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} B_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

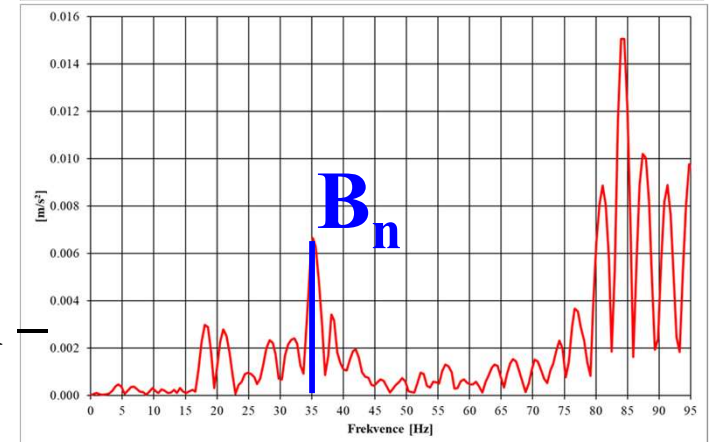
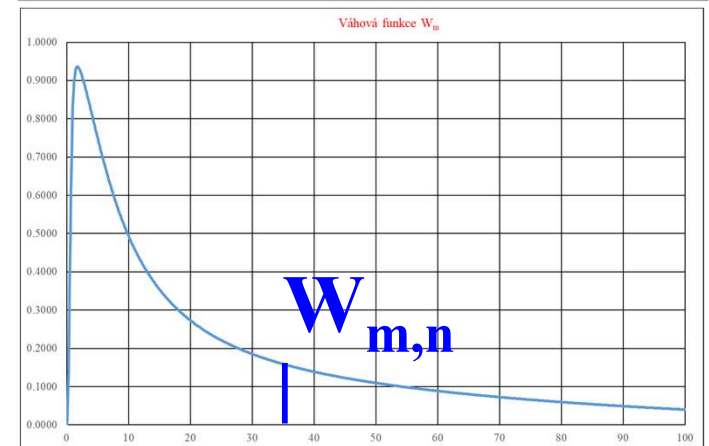
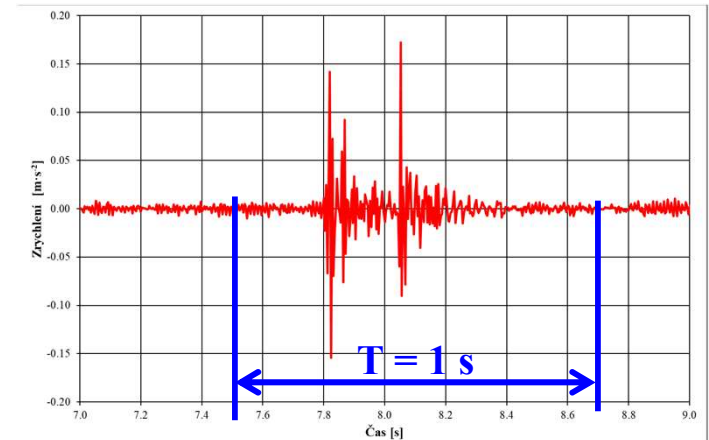
$$a_{\text{RMS}} = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N B_n^2}$$

$$a_W = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N (W_{m,n} B_n)^2}$$

$W_m$  předepsána v ČSN ISO 2631-2

Vibrace a rázy – hodnocení expozice člověka vibracím

Část 2: Vibrace v budovách (1Hz až 80Hz)





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. a změna 217/2016

„O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“

- Celkové vibrace ve stavbách se hodnotí ve frekvenčním intervalu 1Hz až 80Hz (0.9Hz až 90 Hz).
- Základní hygienický limit vertikálních a horizontálních vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb je  $0,0056 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  (průměrná vážená hodnota zrychlení).
- Korekce pro kanceláře je 4.

$$a_{\text{RMS}} = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N (W_{m,n} B_n)^2}$$

Váhová funkce  $W_m$  je předepsána v ČSN ISO 2631-2

Vibrace a rázy – hodnocení expozice člověka vibracím –

Část 2: Vibrace v budovách (1Hz až 80Hz)

Kmitočtová pásma, ve kterých je třeba hodnotit vibrace s ohledem na jejich působení na člověka

| Způsob nebo podmínky přenosu vibrací                    | Střední kmitočty krajních třetinooktávních pásem vymezujících sledovanou kmitočtovou oblast /Hz/ |
|---|--|
| celkové vibrace   | 0,5 až 80, popř. 1000 <sup>1)</sup>  |
| vibrace přenášené na ruce <sup>2)</sup>                 | 8 až 1000  |
| vibrace přenášené zvláštním způsobem                    | 1 až 1000  |
| celkové vibrace ve stavbách                             | 1 až 80  |
| celkové vertikální vibrace o kmitočtu nižším než 0,5 Hz | 0,1 až 0,4   |

<sup>1)</sup> Přenášejí-li se celkové vibrace z pevných předmětů s tuhým povrchem přímo na páteř nebo hlavu je třeba sledovanou kmitočtovou oblast rozšířit až do 1000 Hz.

<sup>2)</sup> Vibrace přenášené na nezátížené nohy sedící nebo ležící osoby se hodnotí stejným způsobem jako vibrace přenášené na ruce.

| Druh chráněného vnitřního prostoru                                      | Denní doba  | Povaha vibrací                      |                     |
|---|-------------|-------------------------------------|---------------------|
|   |             | Přerušované a nepřerušované vibrace | Opakující se otřesy |
|   |             | korekce [-]                         | korekce [-]         |
| Operační sály   | den         | 1                                   | 1                   |
|   | noc         | 1                                   | 1                   |
| Obytné místnosti  | den         | 2                                   | 16                  |
|   | noc         | 1.41                                | 1.41                |
| Pokoje pro pacienty v sanatoriích a nemocnicích                         | den         | 2                                   | 16                  |
|   | noc         | 1.41                                | 1.41                |
| Učebny a pobytové místnosti jeslí, mateřských škol a školských zařízení | den         | 2                                   | 16                  |
|   | noc         | 1.41                                | 1.41                |
| Ostatní chráněné vnitřní prostory staveb                                | nepřetržitě | 4                                   | 128                 |

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

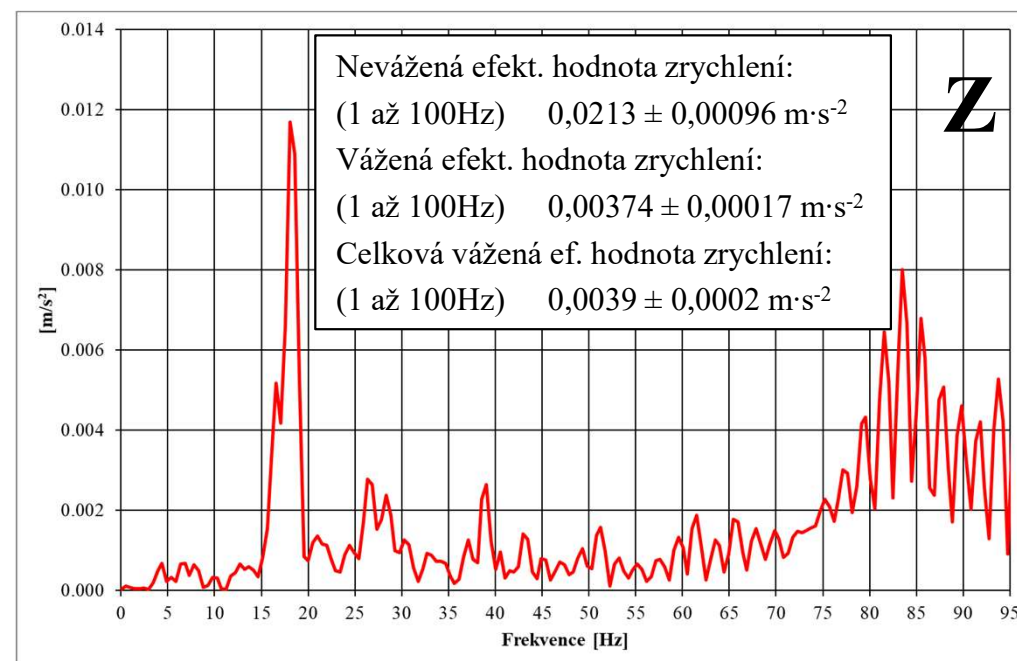
## Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:



$$a_{\text{RMS}} = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N B_n^2}$$

$$a_W = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N (W_{m,n} B_n)^2}$$

$$a_{W,\text{Lim}} = 0.0056 \cdot 4 = 0.0224 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$



# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Dynamická zatěžovací zkouška zastřešení parkoviště:**

### **Shrnutí:**

- **objednatel zkoušky použil stanovený dynamický součinitel k posouzení dynamického namáhání vodorovné nosné konstrukce zastřešení parkoviště v blízkosti dilatační spáry,**
- **kmitání podlahy v kanceláři bylo nižší než limitní hodnota stanovená v nařízení vlády.**

# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:** **Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:**





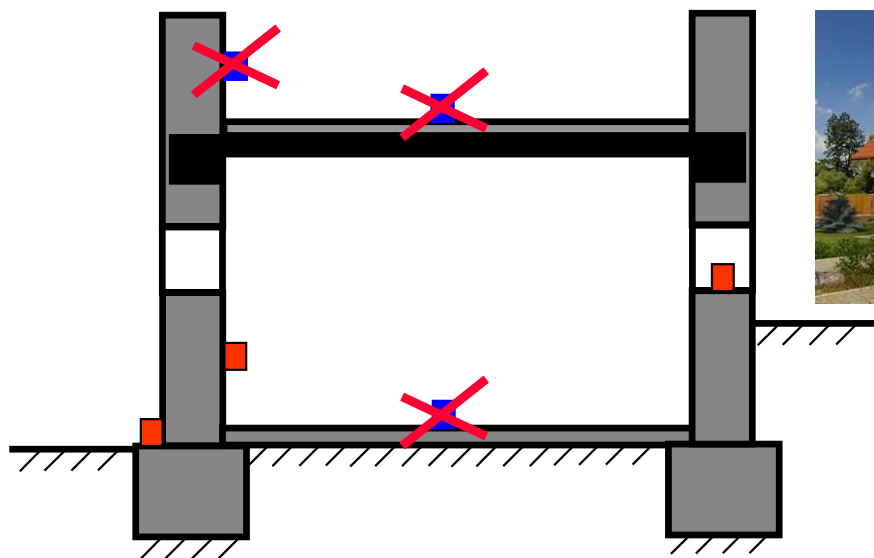
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:

### ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva:

- Pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost kmitání  $v_{ef}$  nepřesáhne předepsané mezní hodnoty
- není třeba dynamickou odezvu (kmitání konstrukce) způsobenou technickou seismicitou z hlediska mezních stavů únosnosti dále analyzovat.

#### Referenční stanoviště:



Tabulka 8 – Mezní hodnoty efektivní rychlosti  $v_{ef(1)}$  v  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$

| Třída odolnosti objektu | $v_{ef(1)}$                               |     |     |     |
|-------------------------|---|-----|-----|-----|
|                         | Třída významu objektu (podle ČSN 73 0031) |     |     |     |
|                         | U   | I   | II  | III |
| A                       | 0,2                                       | 0,4 | 0,7 | 1,1 |
| B                       | 0,4                                       | 0,6 | 1,0 | 1,8 |
| C                       | 0,7                                       | 1,5 | 2,0 | 2,8 |
| D                       | 0,9                                       | 2,0 | 2,5 | 3,5 |
| E                       | 1,1                                       | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| F                       | 1,5                                       | 3,0 | 4,0 | 5,0 |

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:

ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva:

- kategorizace dynamické odezvy konstrukce,
- limitní efektivní hodnoty rychlosti kmitání konstrukce na referenčním stanovišti, pro které ještě není třeba dynamický výpočet:

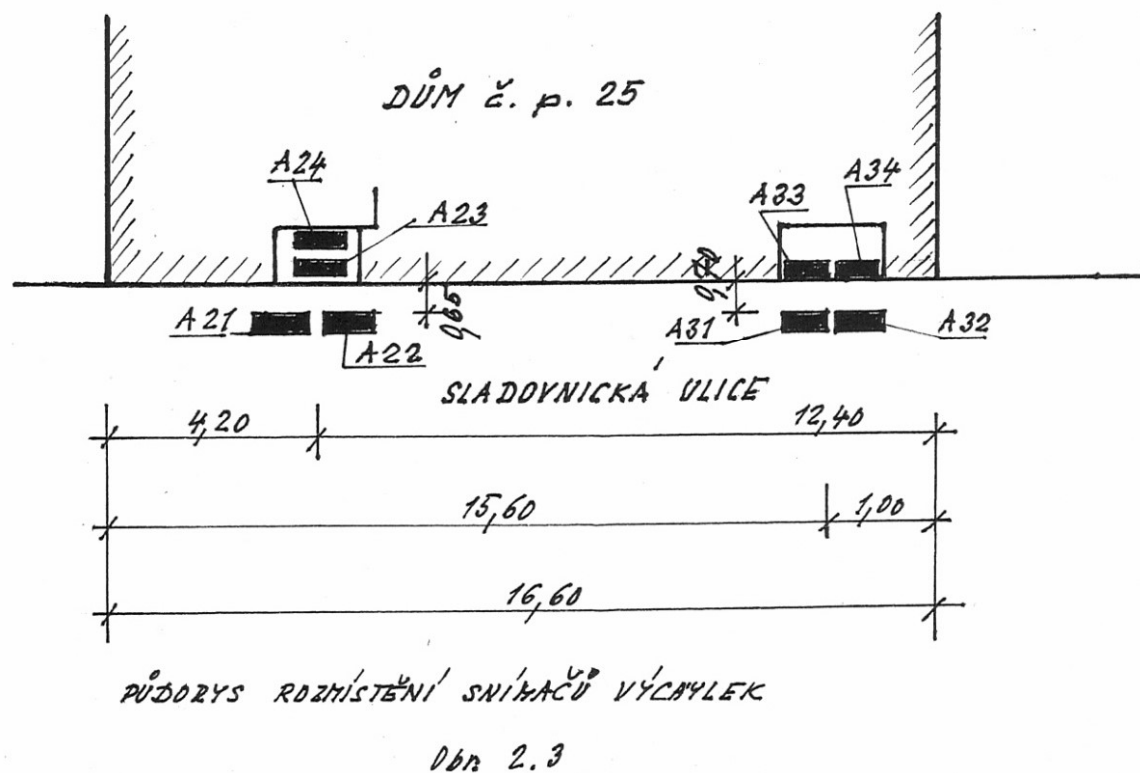
Tabulka 10 - Kategorizace odezvy konstrukce podle efektivní rychlosti pohybu  $v_{ef}^{(1)}$  v  $mm \cdot s^{-1}$

| Třída odolnosti objektu      | $v_{ef}^{(1)}$  |                              |                            |                              |                            |                              |                            |                |  |       |
|------------------------------|---|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|--|-------|
|                              | Třída významu objektu (podle ČSN 73 0031) <sup>1)</sup> |                              |                            |                              |                            |                              |                            |                |  |       |
|                              | U   |                              | I                          |                              | II                         |                              | III                        |                | Pro všechny třídy významu              |       |
| není třeba dynamický výpočet | je třeba dynamický výpočet                              | není třeba dynamický výpočet | je třeba dynamický výpočet | není třeba dynamický výpočet | je třeba dynamický výpočet | není třeba dynamický výpočet | je třeba dynamický výpočet | možnost poruch | S % objektů je poškozeno <sup>2)</sup> |       |
| A                            | 0,2   | 0,6                          | 0,6                        | 1,8                          | 0,8                        | 2,2                          | 1,2                        | 3,6            | 4,5                                    | 7,0   |
| B                            | 0,4   | 1,6                          | 1,0                        | 3,6                          | 1,4                        | 4,0                          | 2,0                        | 6,0            | 9,0                                    | 14,0  |
| C                            | 0,95  | 3,8                          | 1,8                        | 5,0                          | 2,4                        | 6,8                          | 3,0                        | 9,0            | 25,0                                   | 50,0  |
| D                            | 1,1   | 4,5                          | 2,4                        | 7,0                          | 2,8                        | 9,0                          | 4,0                        | 12,0           | 40,0                                   | 80,0  |
| E                            | 1,6   | 5,0                          | 3,0                        | 10,0                         | 4,0                        | 15,0                         | 6,0                        | 20,0           | 60,0                                   | 100,0 |
| F                            | 2,0   | 7,0                          | 4,0                        | 14,0                         | 6,0                        | 17,0                         | 8,0                        | 25,0           | 70,0                                   | 120,0 |

<sup>1)</sup> Meziřádkové hodnoty tříd významu se posuzují podle úvahy.

<sup>2)</sup> Jde o poškození stupně 1, viz tabulka 13.

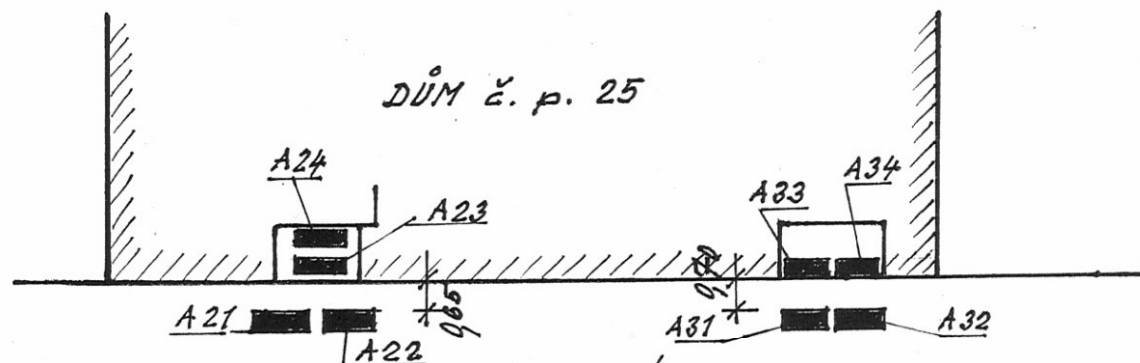
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí: Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:





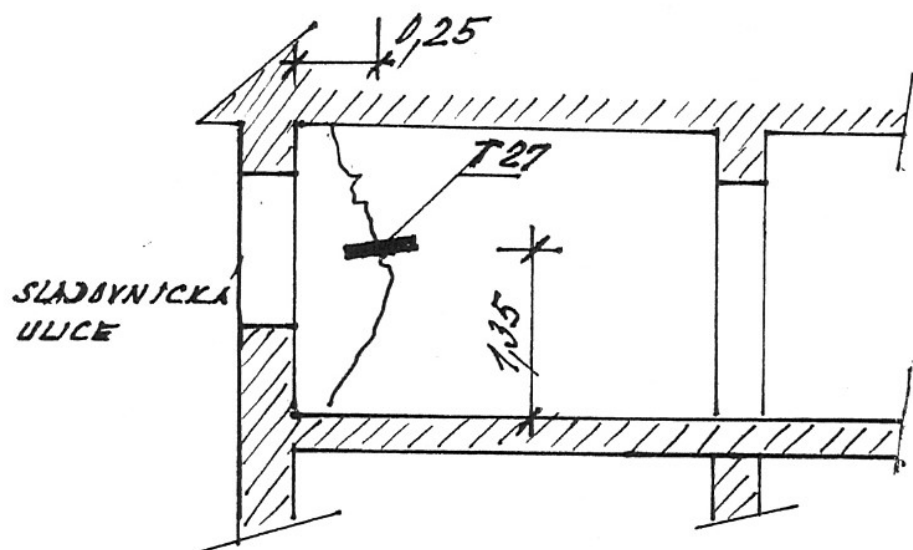
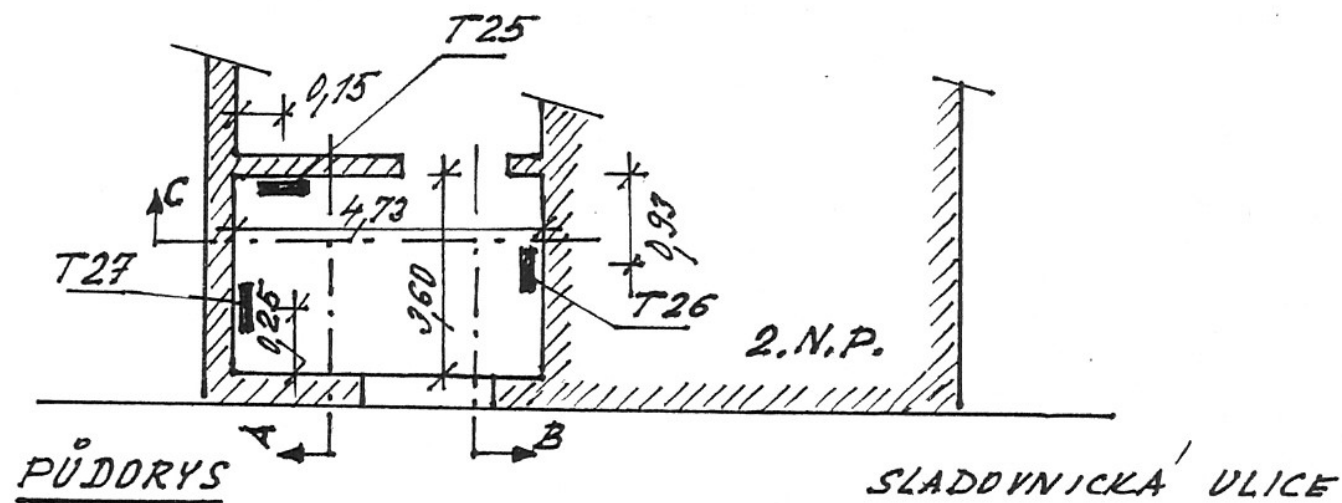
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:

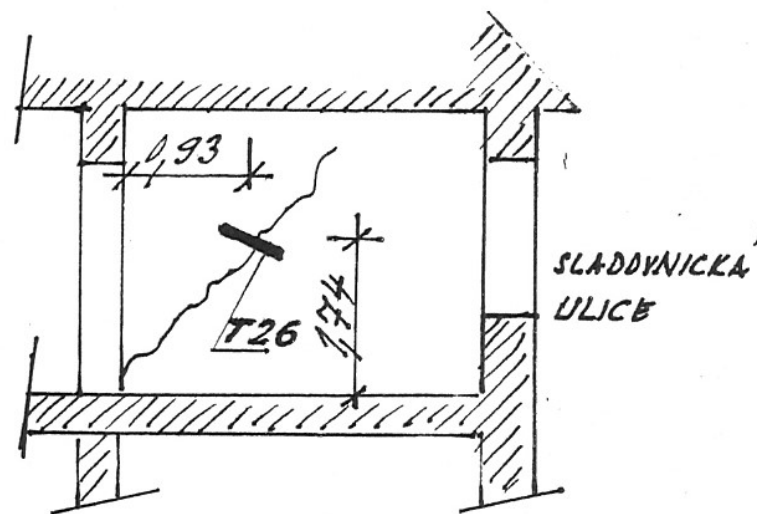


# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:



POHLED A



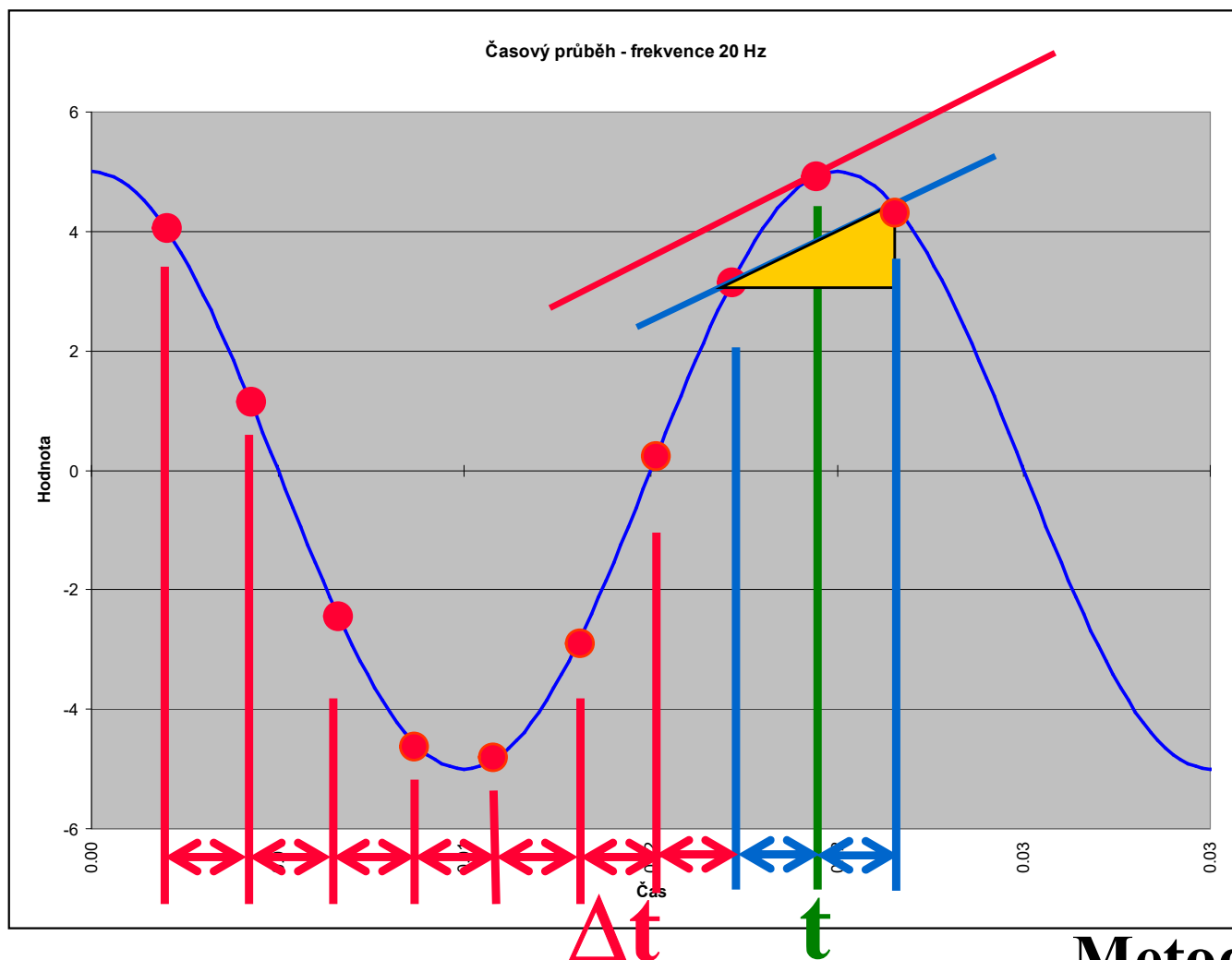
POHLED B



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:

### Výpočet rychlosti kmitání z naměřených výchylek:

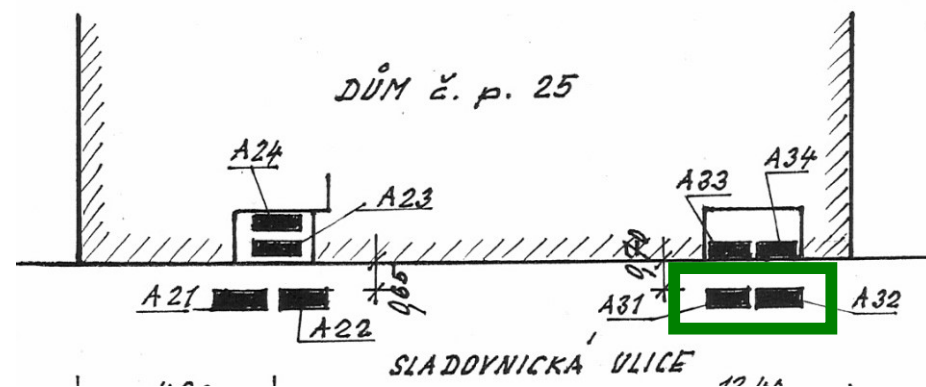
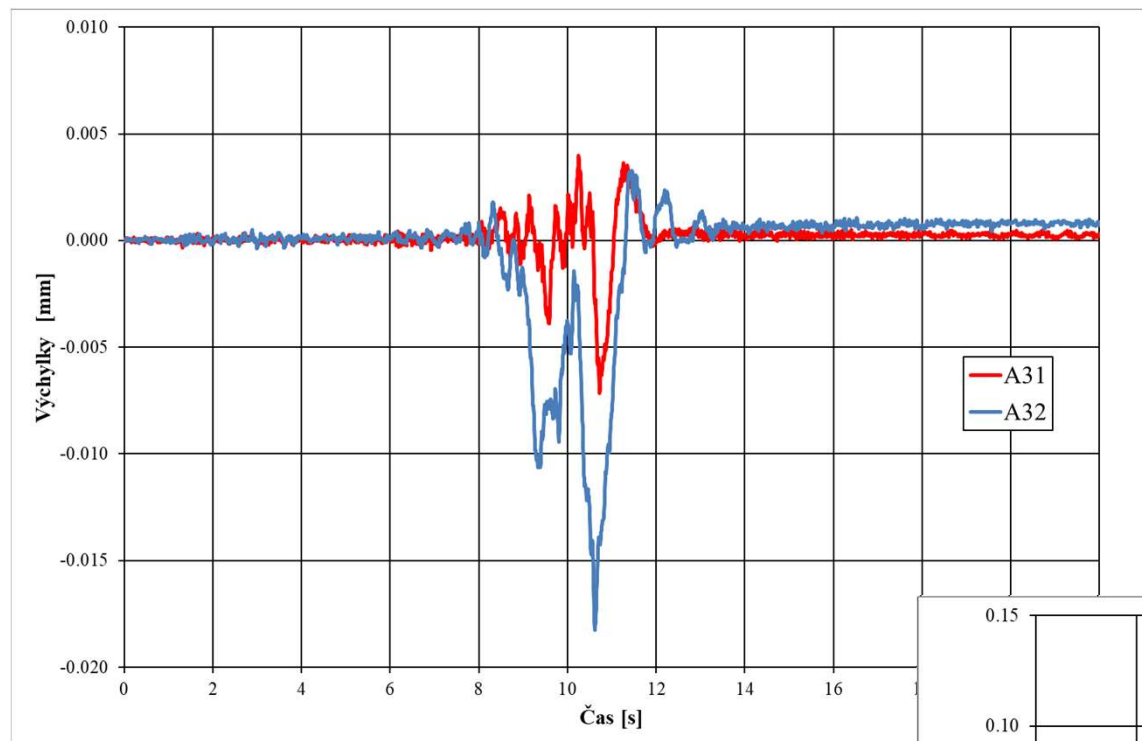


### Metoda centrálních diferencí:

$$\{\dot{r}(t)\} = \frac{1}{2 \cdot \Delta t} (\{r(t + \Delta t)\} - \{r(t - \Delta t)\})$$

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

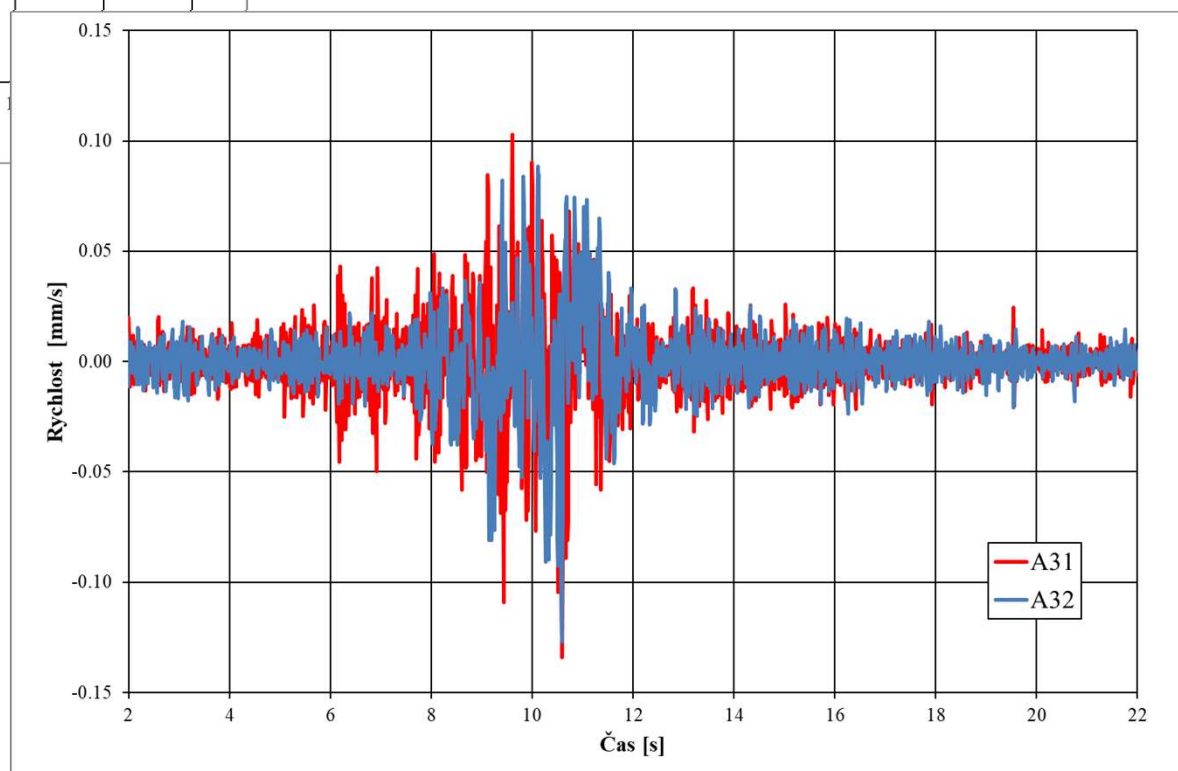
## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:



$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

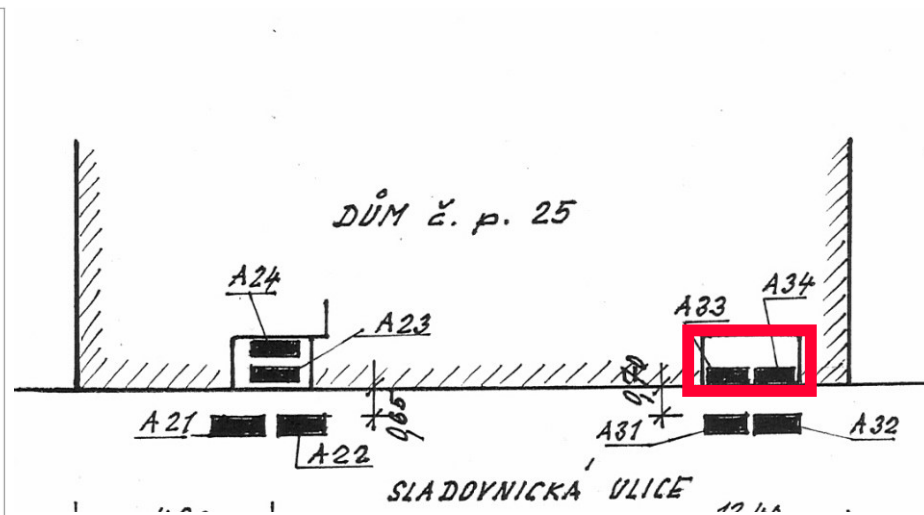
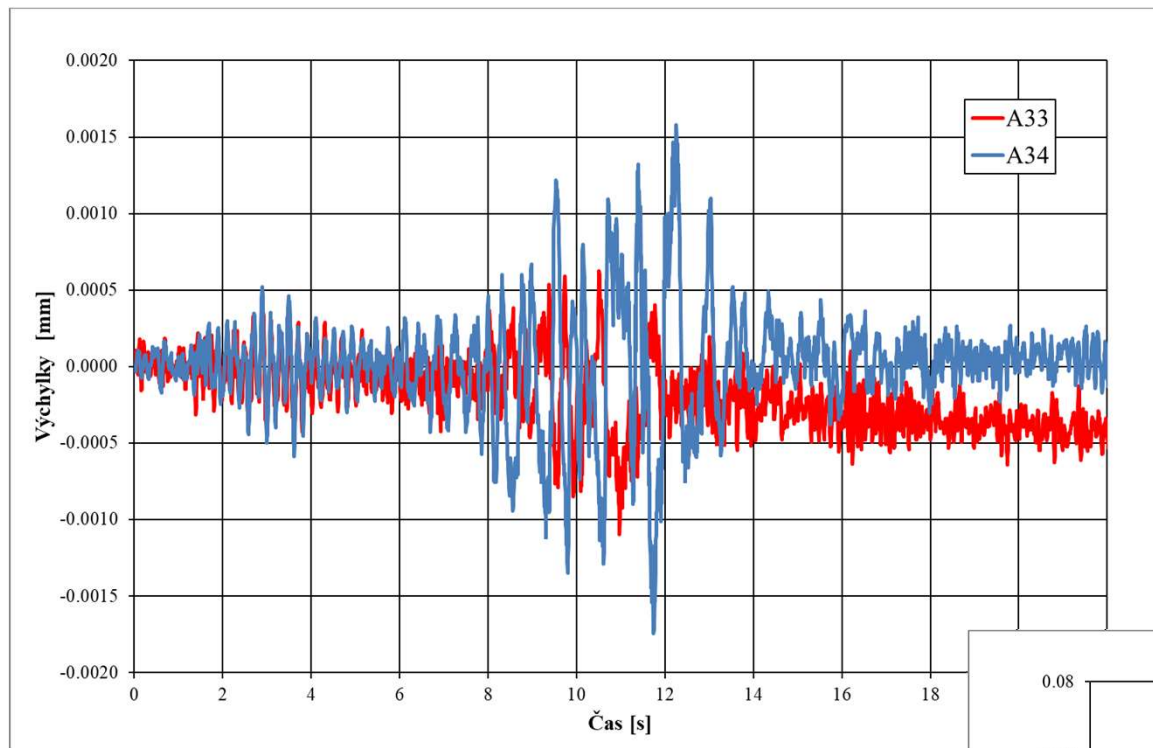
**RMS hodnota rychlosti:**

- **T = 1 s,**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.046$  mm/s (A31),**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.046$  mm/s (A32).**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

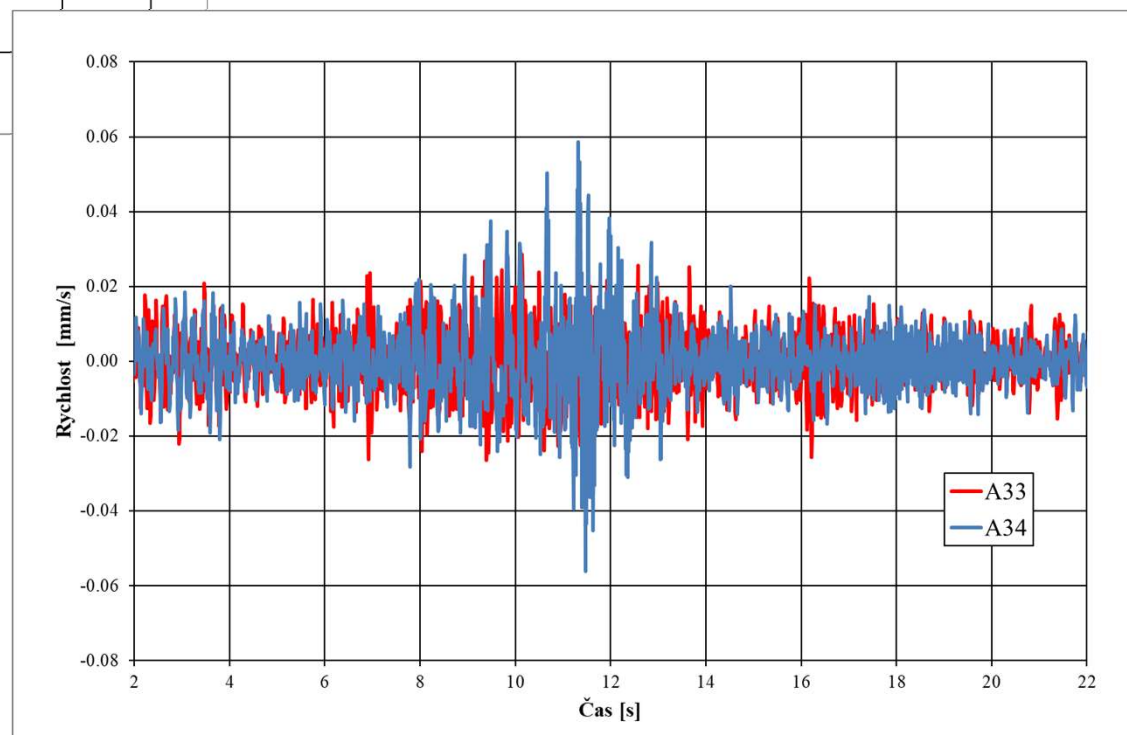
## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:



$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

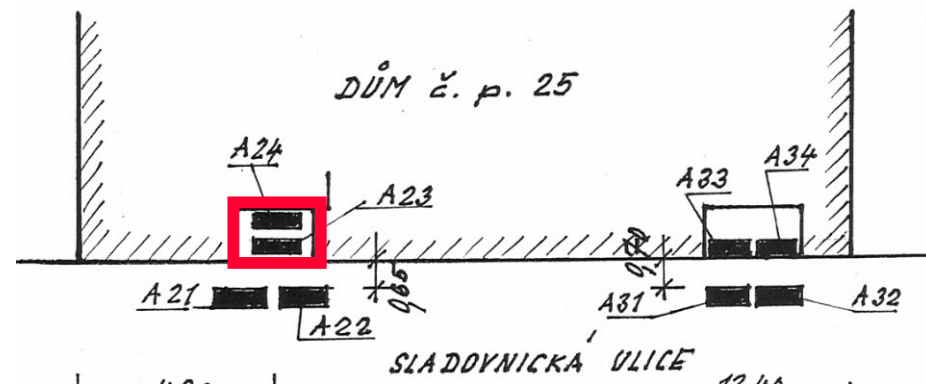
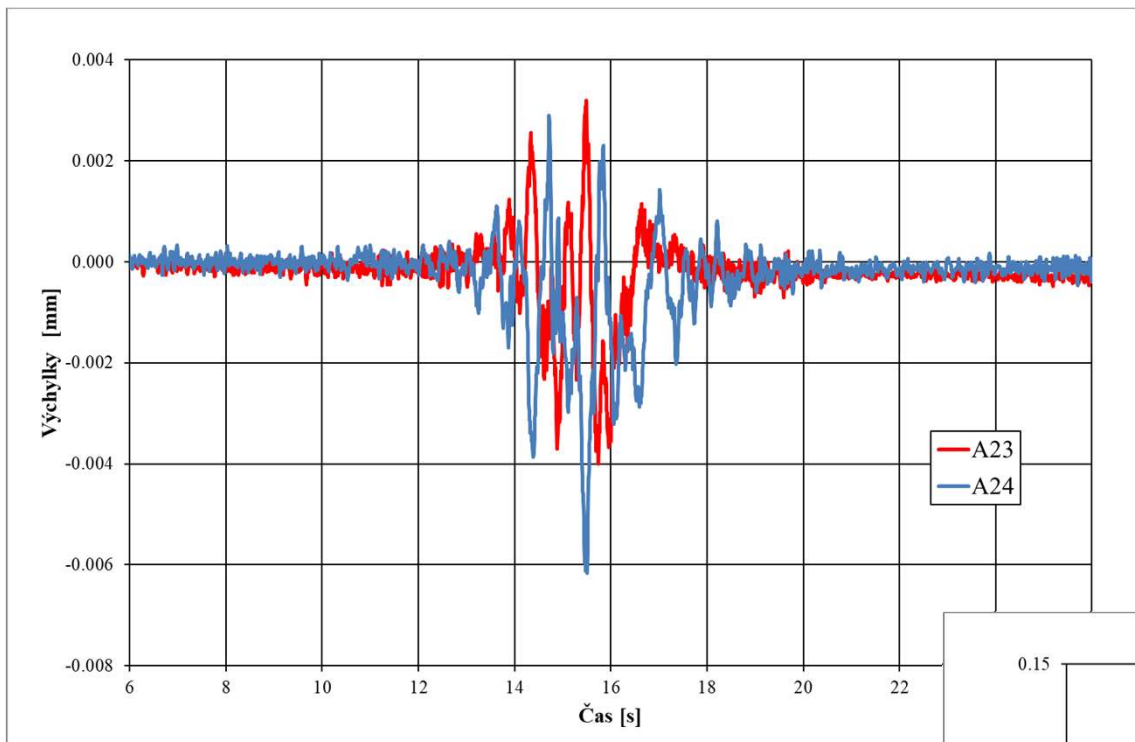
**RMS hodnota rychlosti:**

- **T = 1 s,**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.012$  mm/s (A33),**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.020$  mm/s (A34).**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

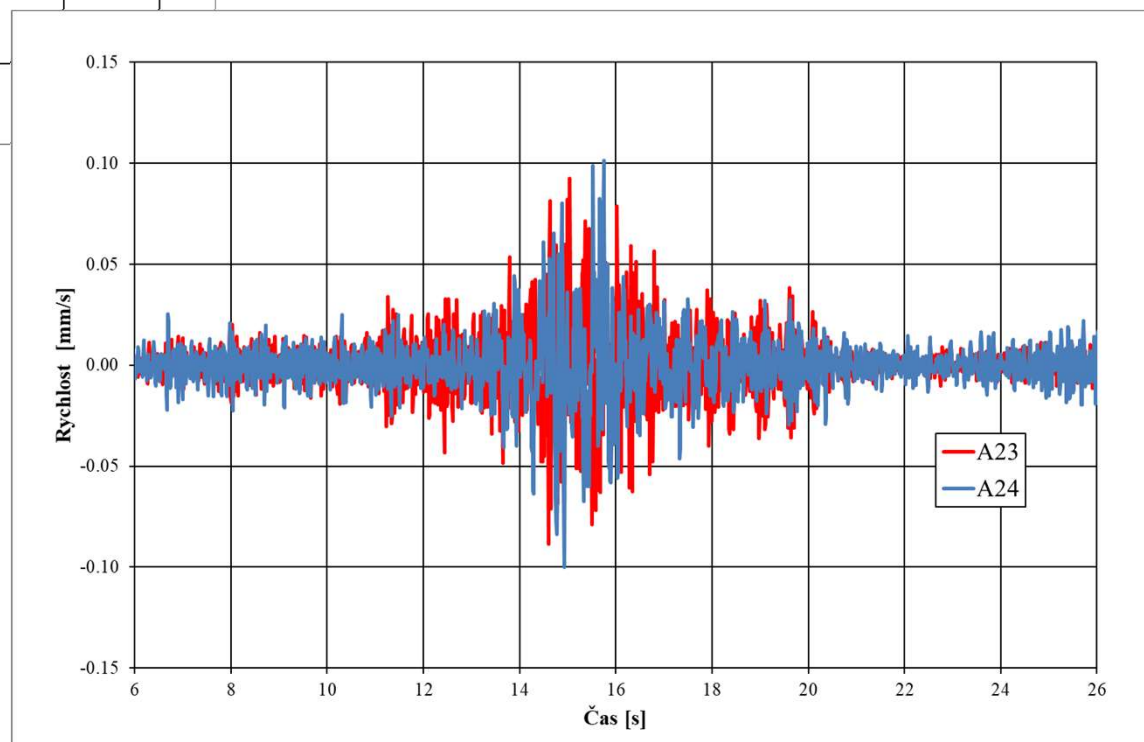
## Účinky technické seismicity na obytnou budovu:



$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

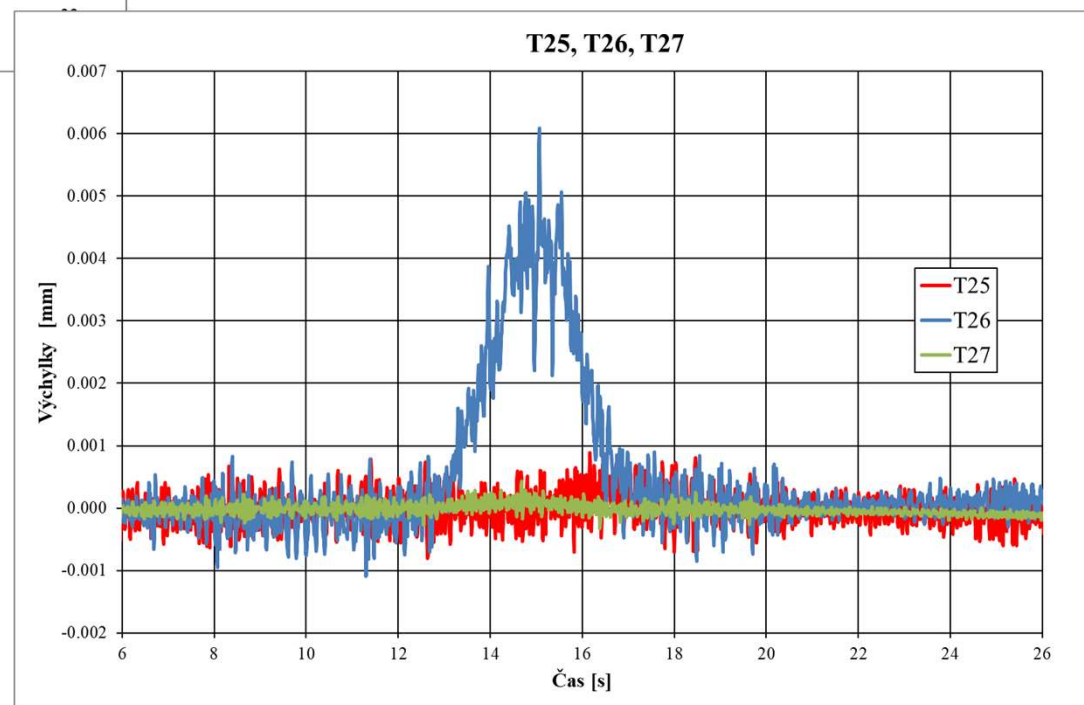
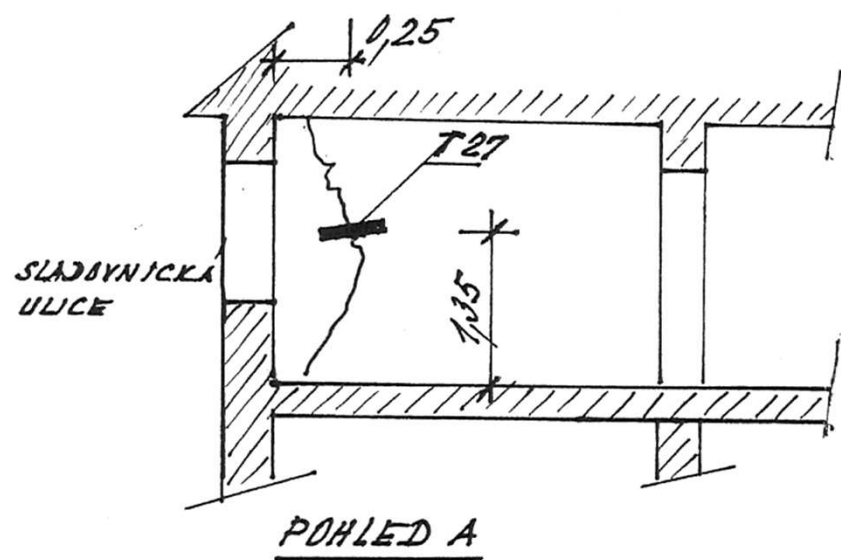
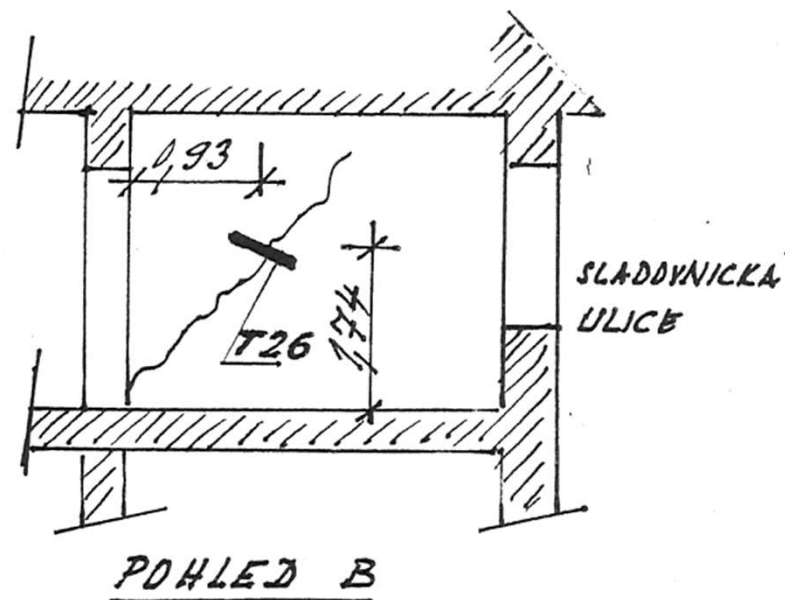
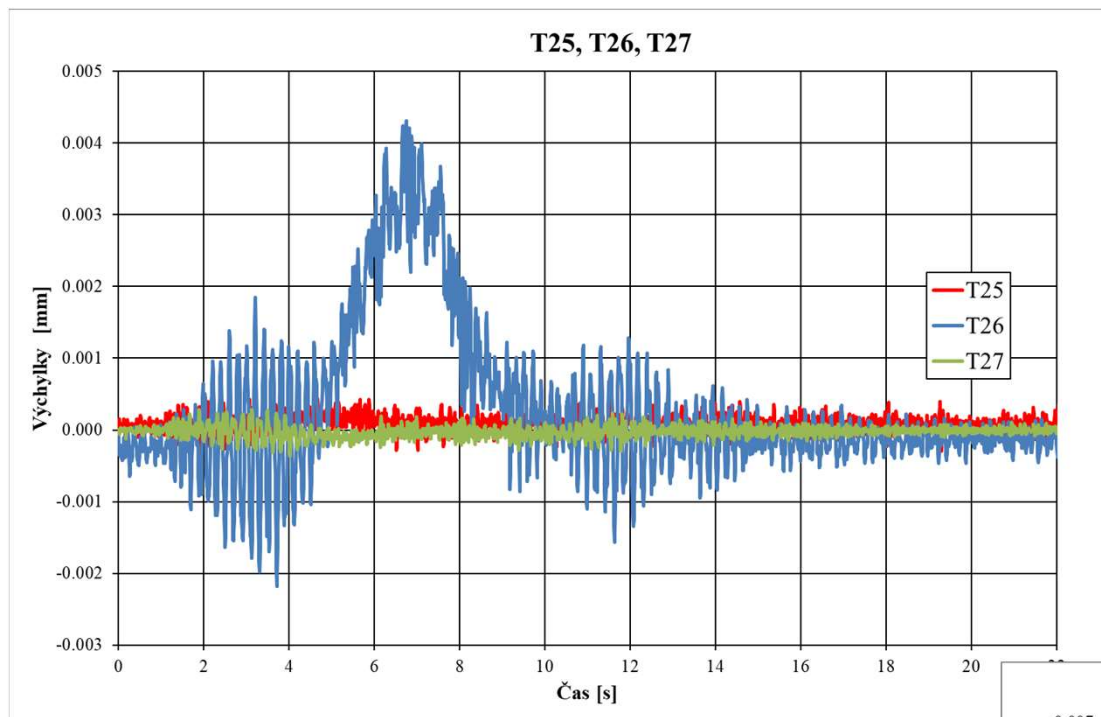
**RMS hodnota rychlosti:**

- **T = 1 s,**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.037$  mm/s (A23),**
- **$V_{\text{RMS}} = 0.039$  mm/s (A24).**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:





# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:**

### **Shrnutí:**

- **Zjištěné kmitání budovy bylo malé.**
- **Velké množství výskytu se může projevit jako únavový jev již dříve poškozeného domu.**
- **Doporučení:**
  - **zlepšit údržbu,**
  - **provést rekonstrukci vozovky,**
  - **vícevrstvá konstrukce vozovky – tlumící vrstva snižující šíření vibrací do okolní zástavby.**

# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:**

**Experiment in situ:**

**Měření vibrací na hlavách velkopřůměrových pilot.**





# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:**

**Experiment in situ:**

**Měření vibrací na hlavách velkopřůměrových pilot.**





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:

Experiment in situ – technická seizmicita od železniční dopravy:

Výběr nejvhodnější varianty založení.



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Účinky technické seizmicity na obytnou budovu:

Experiment in situ – technická seizmicita od železniční dopravy:

Výběr nejvhodnější varianty založení.



| Číslo záznamu | Maximální hodnoty r.m.s.      |                               |                               |                               |                               |                               |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|               | Blok č. 1                     |                               |                               | Blok č. 4                     |                               |                               |
|               | X                             | Y                             | Z                             | X                             | Y                             | Z                             |
|               | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] |
| č. 01         | 25.26                         | 33.42                         | <b>15.89</b>                  | 18.10                         | 21.45                         | <b>18.00</b>                  |
| č. 02         | <b>28.11</b>                  | 21.80                         | 8.09                          | 10.26                         | 11.29                         | 7.23                          |
| č. 03         | 18.68                         | 25.62                         | 9.65                          | 10.05                         | 12.86                         | 8.07                          |
| č. 04         | 1.92                          | 5.43                          | 0.59                          | 2.80                          | 2.76                          | 0.51                          |
| č. 05         | 7.54                          | 15.26                         | 2.69                          | 7.53                          | 7.06                          | 2.72                          |
| č. 06         | 1.88                          | 4.37                          | 1.21                          | 1.96                          | 2.07                          | 1.03                          |
| č. 07         | 20.67                         | <b>41.09</b>                  | 14.46                         | <b>20.05</b>                  | <b>21.77</b>                  | 15.17                         |
| č. 08         | 5.80                          | 13.29                         | 1.99                          | 4.06                          | 5.06                          | 2.18                          |
| č. 09         | 12.87                         | 15.90                         | 4.18                          | 6.07                          | 11.61                         | 4.77                          |
| č. 10         | 4.26                          | 6.97                          | 2.62                          | 9.49                          | 5.54                          | 2.85                          |

| Číslo záznamu | Maximální hodnoty r.m.s.      |                               |                               |                               |                               |                               |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|               | Blok č. 2                     |                               |                               | Blok č. 3                     |                               |                               |
|               | X                             | Y                             | Z                             | X                             | Y                             | Z                             |
|               | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] | Max.<br>[mm·s <sup>-2</sup> ] |
| č. 01         | <b>4.02</b>                   | 2.38                          | 15.19                         | <b>3.78</b>                   | 2.16                          | 14.76                         |
| č. 02         | 3.85                          | <b>4.64</b>                   | <b>19.57</b>                  | 3.22                          | <b>3.82</b>                   | <b>19.61</b>                  |
| č. 03         | 2.47                          | 1.95                          | 6.49                          | 2.28                          | 1.52                          | 6.68                          |
| č. 04         | 1.72                          | 0.55                          | 1.06                          | 1.41                          | 0.60                          | 1.20                          |
| č. 05         | 1.29                          | 0.72                          | 4.80                          | 1.24                          | 0.75                          | 4.84                          |
| č. 06         | 0.82                          | 0.42                          | 0.85                          | 0.75                          | 0.52                          | 0.80                          |
| č. 07         | 3.92                          | 2.44                          | 11.88                         | 3.69                          | 2.40                          | 10.06                         |
| č. 08         | 2.07                          | 2.36                          | 4.62                          | 1.90                          | 2.29                          | 6.02                          |
| č. 09         | 2.37                          | 1.29                          | 5.60                          | 2.27                          | 1.17                          | 5.66                          |
| č. 10         | 1.25                          | 0.57                          | 2.39                          | 1.43                          | 0.59                          | 2.01                          |



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

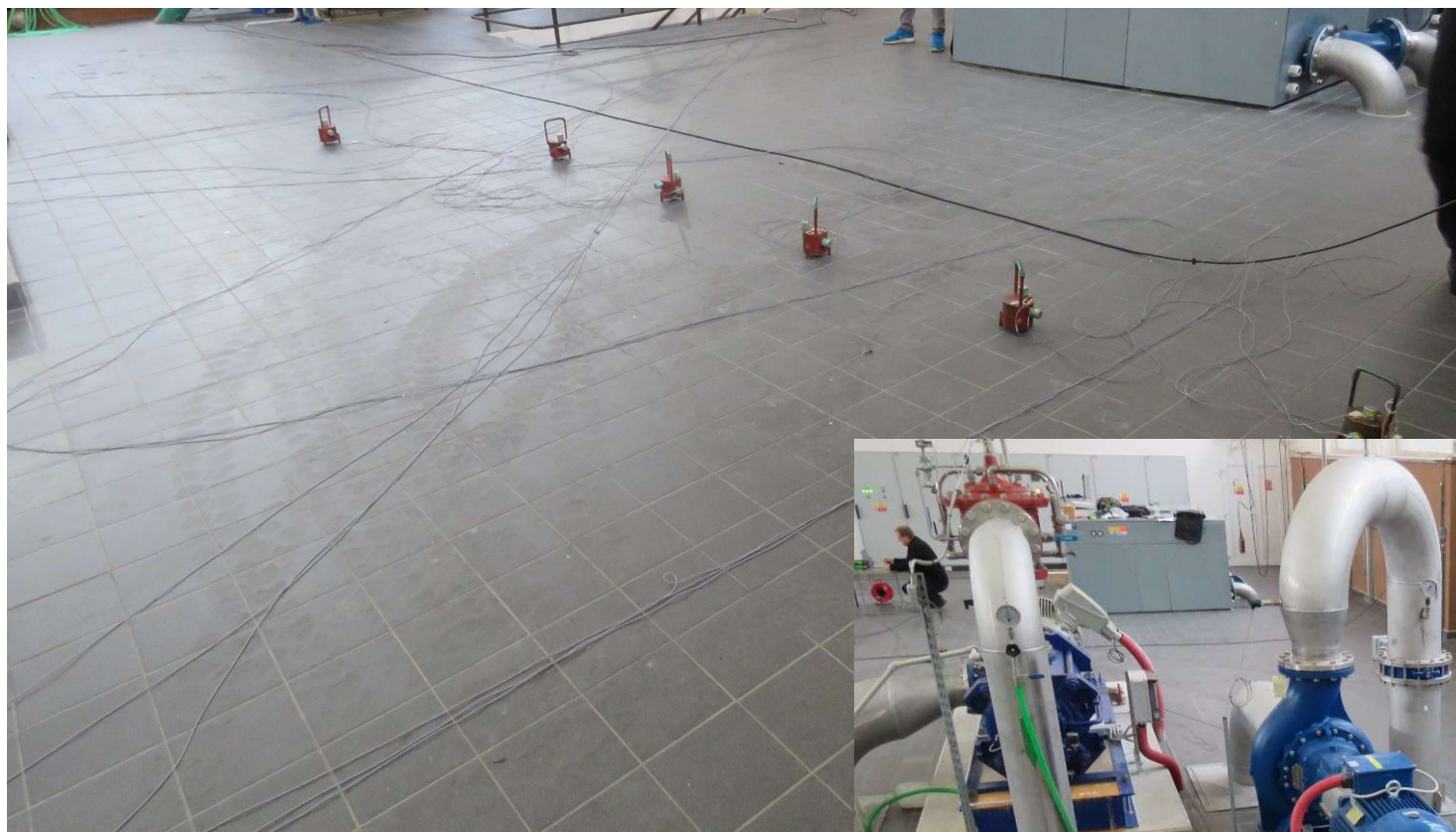
## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

Referenční  
snímač





**Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

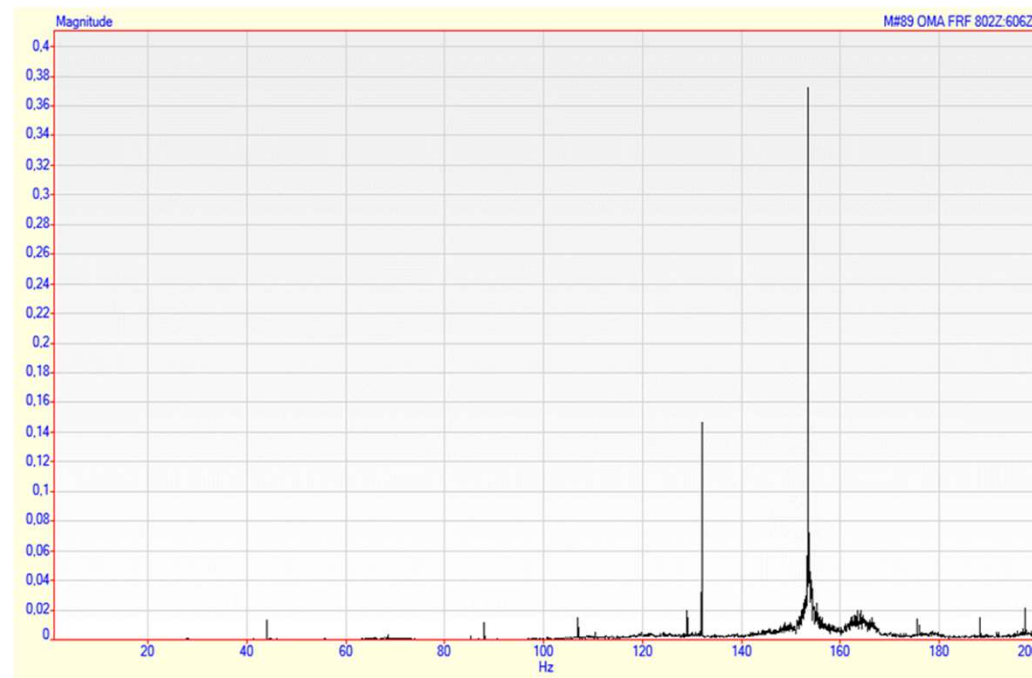
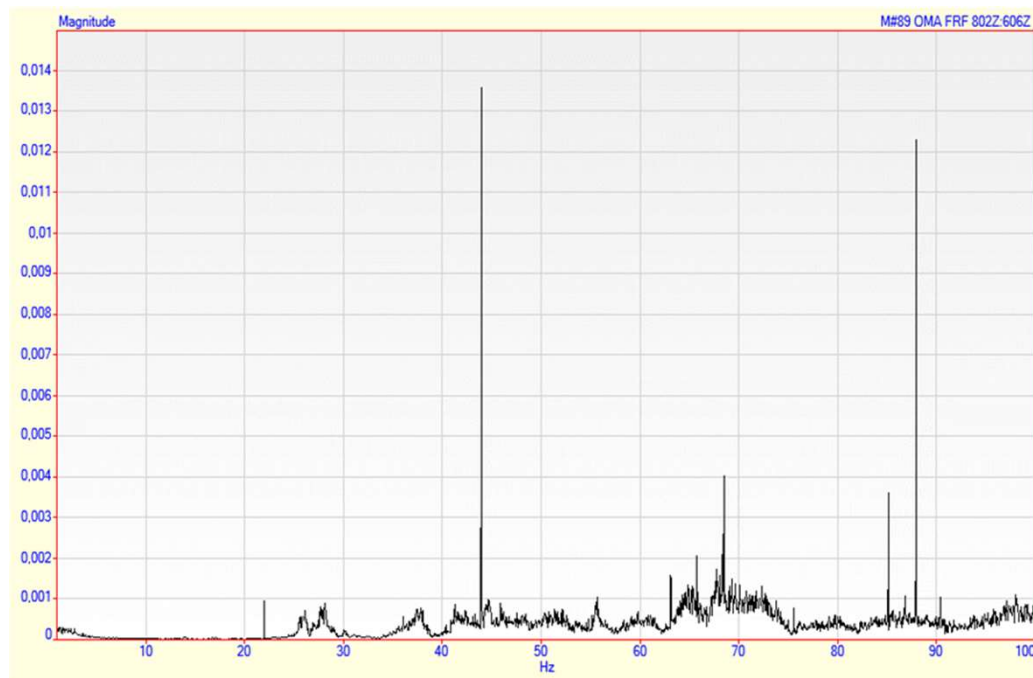
**Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

### Frekvenční spektrum vynuceného ustáleného kmitání:



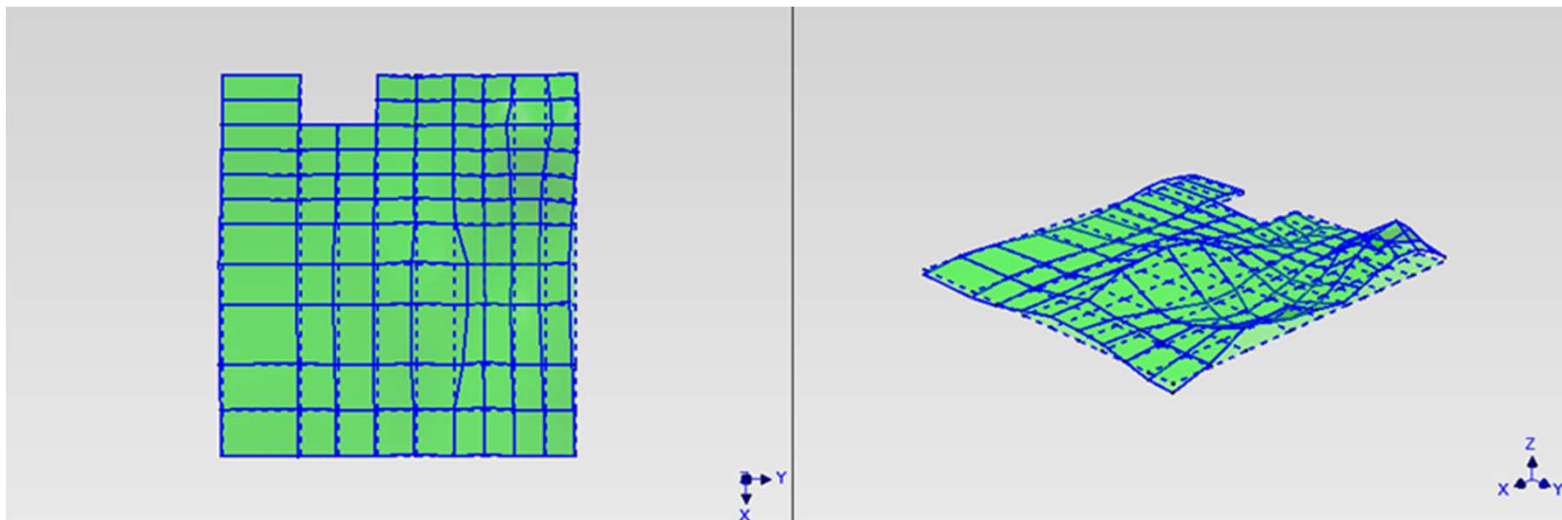
### Standardní pracovní frekvence čerpadel (budící frekvence):

- 43.7 Hz,
- 47.0 Hz,
- 50.0 Hz.

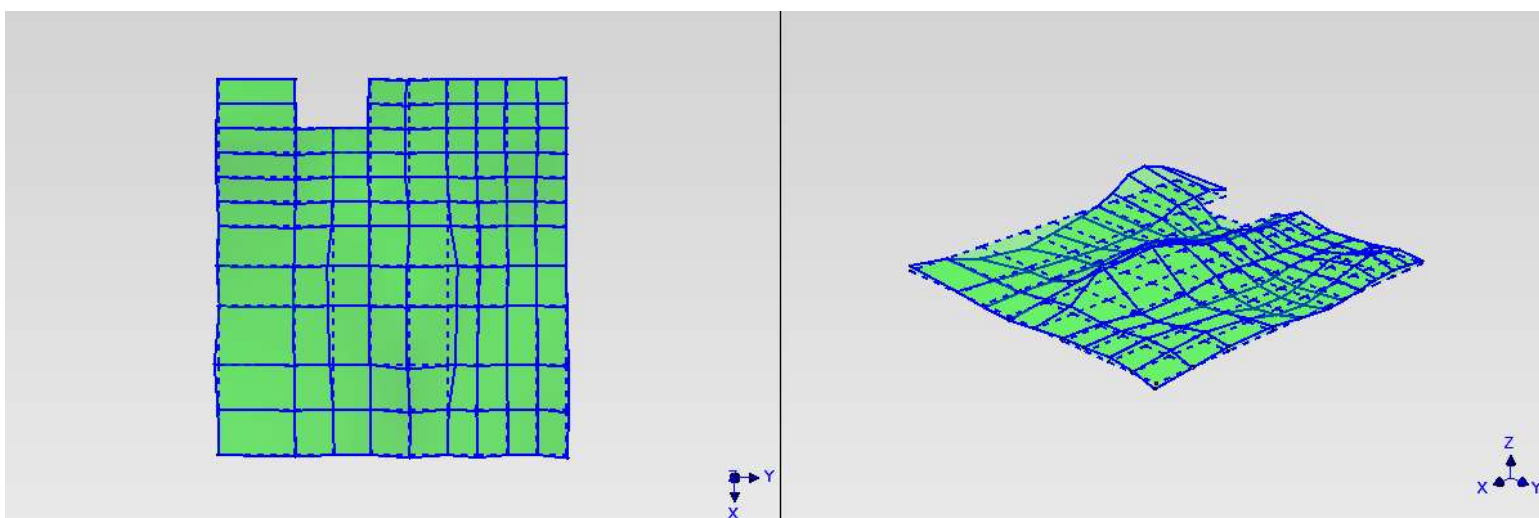
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

### Tvary vynuceného ustáleného kmitání:



**$f = 43.7 \text{ Hz}$**



**$f = 50.0 \text{ Hz}$**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

### ČSN 73 0032 Navrhování stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů:

- limitní výkmity rychlosti a zrychlení kmitání konstrukce, pro které ještě není třeba dynamický výpočet:

Tabulka 6 – Mezní hodnoty rychlosti a zrychlení kmitání konstrukcí

| Typ konstrukce   | Při občasném rázovém zatížení   |                                | Při ustáleném periodickém kmitání nebo déle působícím rázovém zatížení |                                |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
|  | Zrychlení (mm.s <sup>-2</sup> ) | Rychlost (mm.s <sup>-1</sup> ) | Zrychlení (mm.s <sup>-2</sup> )  | Rychlost (mm.s <sup>-1</sup> ) |
|  | 1 až 10 Hz                      | 10 až 100 Hz                   | 1 až 10 Hz   | 10 až 100 Hz                   |
| Běžné cihelné stavby, stavby z bloků, hrázděného zdiva, z opracovaného kamene. Budovy bez poruch v dobrém stavebně technickém stavu. | 250                             | 4                              | 150  | 2,5                            |
| Dobře ztužené stavby (např. kvalitně provedené železobetonové rámy, kovové konstrukce, dokonale zhotovené dřevěné konstrukce).       | 630                             | 10                             | 380  | 6                              |

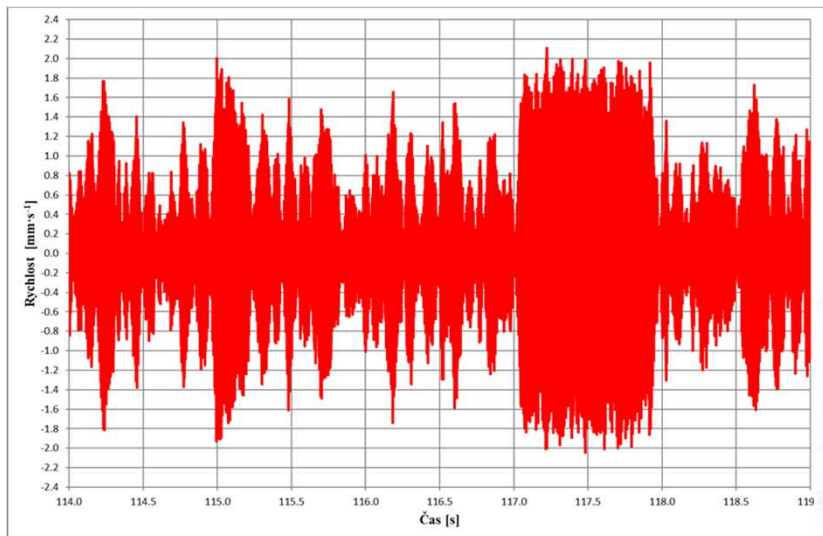
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

### Vyhodnocené maximální úrovně kmitání nosné konstrukce:

| Frekvenční interval<br>vyhodnocení<br>výsledků | Pracovní<br>frekvence<br>čerpadel<br>[Hz] | Výkmity zrychlení         |     |                           |     |                           |      |
|--|---|---------------------------|-----|---------------------------|-----|---------------------------|------|
|  |   | X                         |     | Y                         |     | Z                         |      |
|  |   | a<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Bod | a<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Bod | a<br>[m·s <sup>-2</sup> ] | Bod  |
| 1 až 380 Hz                                    | 43.7                                      | 2.93                      | 704 | 3.31                      | 201 | 3.50                      | 1106 |
| 1 až 10 Hz                                     | 43.7                                      | 0.17                      | 706 | 0.18                      | 601 | 0.17                      | 707  |

**180 mm·s<sup>-2</sup>**



| Frekvenční interval<br>vyhodnocení<br>výsledků | Pracovní<br>frekvence<br>čerpadel<br>[Hz] | Výkmity rychlosti kmitání  |     |                            |     |                            |      |
|--|---|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|------|
|  |   | X                          |     | Y                          |     | Z                          |      |
|  |   | v<br>[mm·s <sup>-1</sup> ] | Bod | v<br>[mm·s <sup>-1</sup> ] | Bod | v<br>[mm·s <sup>-1</sup> ] | Bod  |
| 1 až 380 Hz                                    | 43.7                                      | 2.22                       | 606 | 2.28                       | 201 | 1.74                       | 1106 |
| 1 až 100 Hz                                    | 43.7                                      | 1.64                       | 606 | 1.65                       | 201 | 1.27                       | 1106 |

Tabulka 6 – Mezní hodnoty rychlosti a zrychlení kmitání konstrukcí

| Typ konstrukce  | Při občasném rázovém zatížení   |                                | Při ustáleném periodickém kmitání nebo déle působícím rázovém zatížení |                                |
|---|---------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
|   | Zrychlení (mm·s <sup>-2</sup> ) | Rychlost (mm·s <sup>-1</sup> ) | Zrychlení (mm·s <sup>-2</sup> )  | Rychlost (mm·s <sup>-1</sup> ) |
|   | 1 až 10 Hz                      | 10 až 100 Hz                   | 1 až 10 Hz   | 10 až 100 Hz                   |
| Běžné cihelné stavby, stavby z bloků, hrázdného zdiva, z opracovaného kamene. Budovy bez poruch v dobrém stavebně technickém stavu. | 250                             | 4                              | 150  | 2,5                            |
| Dobře ztužené stavby (např. kvalitně provedené železobetonové rámy, kovové konstrukce, dokonale zhotovené dřevěné konstrukce).      | 630                             | 10                             | 380  | 6                              |

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

### Kontrolní posouzení podle ČSN 73 0040 - Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva:

| Frekvenční interval<br>vyhodnocení<br>výsledků | Pracovní<br>frekvence<br>čerpadel<br>[Hz] | Efektivní hodnoty rychlosti kmitání |            |                                   |            |                                   |            |
|--|---|-------------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|  |   | X                                   |            | Y                                 |            | Z                                 |            |
|  |   | $v_{ef}$<br>[mm·s <sup>-1</sup> ]   | Bod        | $v_{ef}$<br>[mm·s <sup>-1</sup> ] | Bod        | $v_{ef}$<br>[mm·s <sup>-1</sup> ] | Bod        |
| 1 až 380 Hz                                    | 43.7                                      | <b>1.18</b>                         | <b>606</b> | <b>1.40</b>                       | <b>201</b> | <b>0.67</b>                       | <b>108</b> |
|  | 47.0                                      | 0.45                                | 1101       | 0.54                              | 405        | 0.26                              | 806        |
|  | 50.0                                      | 0.45                                | 101        | 0.38                              | 401        | 0.32                              | 910        |
| 1 až 100 Hz                                    | 43.7                                      | <b>0.80</b>                         | <b>606</b> | <b>0.95</b>                       | <b>201</b> | <b>0.45</b>                       | <b>108</b> |
|  | 47.0                                      | 0.35                                | 1101       | 0.43                              | 405        | 0.24                              | 806        |
|  | 50.0                                      | 0.24                                | 106        | 0.26                              | 801        | 0.31                              | 905        |

Tabulka 10 - Kategorizace odezvy konstrukce podle efektivní rychlosti pohybu  $v_{ef}^{(1)}$  v mm·s<sup>-1</sup>

| Třída<br>odol-<br>nosti<br>objektu | $v_{ef}^{(1)}$  |                                       |   |                                       |   |                                       |   |                                       |                             |   |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------|---|
|                                    | Třída významu objektu (podle ČSN 73 0031) <sup>1)</sup> |                                       |   |                                       |   |                                       |   |                                       |                             |   |
|                                    | U   |                                       | I   |                                       | II  |                                       | III   |                                       | Pro všechny třídy významu   |   |
|                                    | není<br>třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpo-<br>čet         | je třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpočet | není<br>třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpo-<br>čet | je třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpočet | není<br>třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpo-<br>čet | je třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpočet | není<br>třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpo-<br>čet | je třeba<br>dyna-<br>mický<br>výpočet | mož-<br>nost<br>po-<br>ruch | 5 % ob-<br>jektů je<br>poško-<br>zeno <sup>2)</sup> |
| A                                  | 0,2   | 0,6                                   | 0,6   | 1,8                                   | 0,8   | 2,2                                   | 1,2   | 3,6                                   | 4,5                         | 7,0   |
| B                                  | 0,4   | 1,6                                   | 1,0   | 3,6                                   | 1,4   | 4,0                                   | 2,0   | 6,0                                   | 9,0                         | 14,0  |
| C                                  | 0,95  | 3,8                                   | 1,8   | 5,0                                   | 2,4   | 6,8                                   | 3,0   | 9,0                                   | 25,0                        | 50,0  |
| D                                  | 1,1   | 4,5                                   | 2,4   | 7,0                                   | 2,8   | 9,0                                   | 4,0   | 12,0                                  | 40,0                        | 80,0  |
| E                                  | 1,6   | 5,0                                   | 3,0   | 10,0                                  | 4,0   | 15,0                                  | 6,0   | 20,0                                  | 60,0                        | 100,0   |
| F                                  | 2,0   | 7,0                                   | 4,0   | 14,0                                  | 6,0   | 17,0                                  | 8,0   | 25,0                                  | 70,0                        | 120,0   |

1) Meziřadé hodnoty tříd významu se posuzují podle úvahy.  
2) Jde o poškození stupně 1, viz tabulka 13.

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt}$$

$$a_{RMS} = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N B_n^2}$$

$$v_{RMS} = 0,7071 \sqrt{\sum_{n=p}^N \left(\frac{B_n}{2\pi f_n}\right)^2}$$

# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:

Posuzováno mohlo být i kmitání čerpadel kvůli riziku vyšší poruchovosti a nižší životnosti např. podle ČSN ISO 10816-7:

Tabulka A.1 – Meze pásem vibrací na nerotujících částech odstředivých čerpadel o výkonu nad 1 kW, použitelné pro oběžná kola s počtem lopatek  $z_1 \geq 3$

| Pásmo   | Popis<br>(podrobnosti o definicích pásem viz 5.2)         | Mez rychlosti vibrací<br>efektivní hodnota<br>mm/s |          |                            |          |
|---|---|--|----------|----------------------------|----------|
|   |   | Kategorie <sup>a)</sup> I                          |          | Kategorie <sup>a)</sup> II |          |
|   |   | ≤ 200 kW   | > 200 kW | ≤ 200 kW                   | > 200 kW |
| A   | Nové přejímané stroje v doporučeném pracovním rozsahu     | 2,5  | 3,5      | 3,2                        | 4,2      |
| B   | Neomezený dlouhodobý provoz v dovoleném pracovním rozsahu | 4,0  | 5,0      | 5,1                        | 6,1      |
| C   | Omezený provoz  | 6,6  | 7,6      | 8,5                        | 9,5      |
| D   | Riziko poškození  | > 6,6  | > 7,6    | > 8,5                      | > 9,5    |
| Maximální mez VÝSTRAHA<br>(= 1,25násobek horní meze pásma B) <sup>b)</sup>  |   | 5,0  | 6,3      | 6,4                        | 7,6      |
| Maximální mez PŘERUŠENÍ PROVOZU<br>(= 1,25násobek horní meze pásma C) <sup>b)</sup>   |   | 8,3  | 9,5      | 10,6                       | 11,9     |
| Přejímací zkouška <i>in situ</i>  | Doporučený pracovní rozsah                                | 2,5  | 3,5      | 3,2                        | 4,2      |
|   | Dovolený pracovní rozsah                                  | 3,4  | 4,4      | 4,2                        | 5,2      |
| Přejímací zkouška u výrobce   | Doporučený pracovní rozsah                                | 3,3  | 4,3      | 4,2                        | 5,2      |
|   | Dovolený pracovní rozsah                                  | 4,0  | 5,0      | 5,1                        | 6,1      |
| U všech přejímacích zkoušek v doporučeném pracovním rozsahu (viz 3.4) každá z filtrovaných hodnot <sup>c)</sup> při frekvenci otáčení ( $f_n$ ) a frekvenci průchodu lopatek ( $f_n \cdot z_1$ ) má být |   | ≤ 2  | ≤ 2      | ≤ 3                        | ≤ 3      |

<sup>a)</sup> Definice viz 5.1.  
<sup>b)</sup> Doporučené hodnoty. Velikosti vibrací mají být nad těmito mezemi asi 10 s před tím, než se spustí VÝSTRAHA nebo PŘERUŠENÍ PROVOZU, aby se vyloučily falešné poplachu a vypnutí.  
<sup>c)</sup> U přejímacích zkoušek v dovoleném rozsahu, avšak mimo doporučený pracovní rozsah lze očekávat, že filtrované hodnoty při frekvenci otáčení ( $f_n$ ) a při frekvenci průchodu lopatek ( $f_n \cdot z_1$ ) budou vyšší (1,3krát) než hodnoty pro doporučený pracovní rozsah.

Limitní hodnoty:

Efektivní hodnoty  
rychlosti kmitání

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$



# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

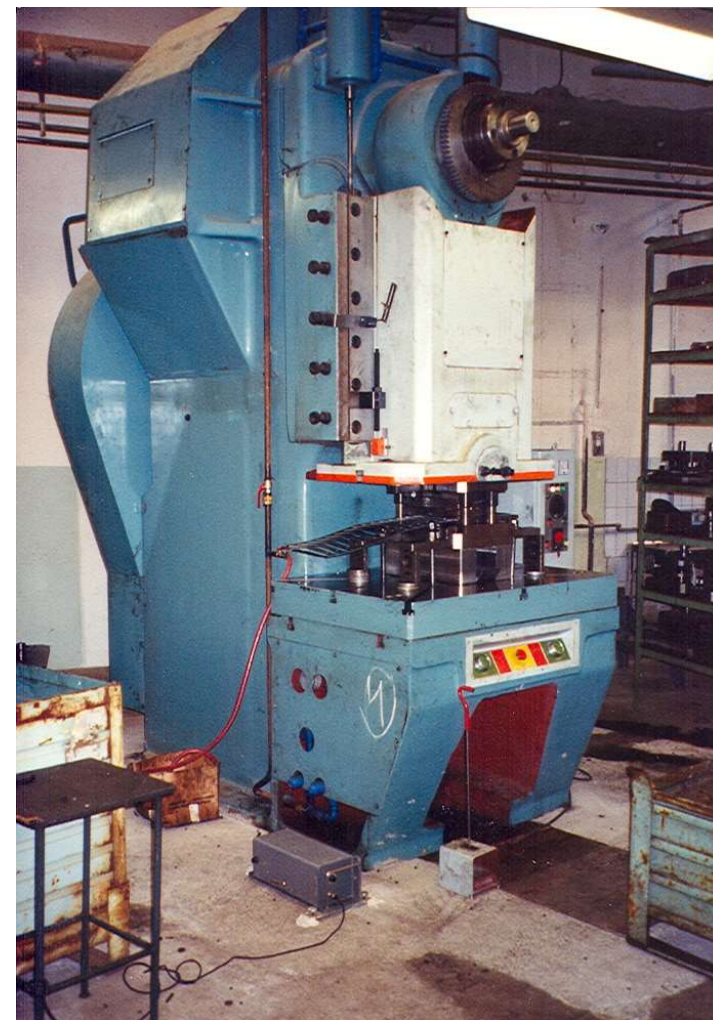
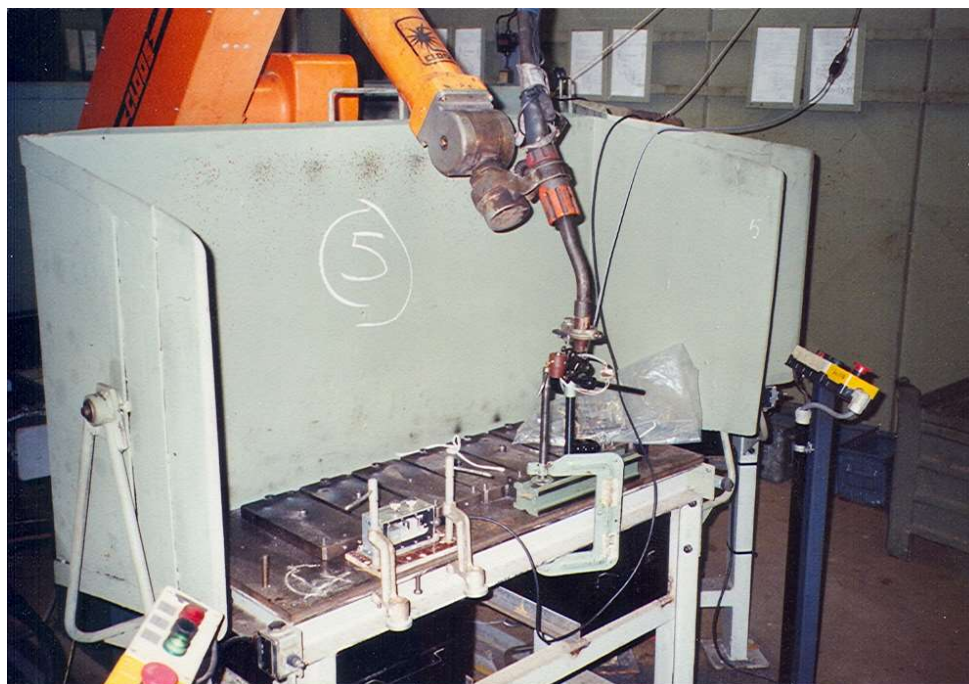
## **Dynamická zatěžovací zkouška v úpravně vody:**

### **Shrnutí výsledků:**

- **Vyhodnocené maximální hodnoty výkmitů zrychlení ve frekvenčním intervalu 1 Hz až 10 Hz jsou nižší než mezní hodnota zrychlení  $380 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$  z ČSN 73 0032.**
- **Vyhodnocené maximální hodnoty výkmitů rychlosti kmitání sledované nosné konstrukce jsou menší než mezní hodnota  $6 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  z ČSN 73 0032.**
- **Kontrolní posouzení kmitání podle ČSN 73 0040 (technická seismická). Vyhodnocené efektivní hodnoty rychlosti kmitání jsou nižší než kategorizační hodnota  $2,4 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pro kterou ještě není třeba dynamický výpočet.**
- **Z výsledků dynamické zatěžovací zkoušky vyplývá, že dynamické namáhání nosné konstrukce nesoucí čerpadla je malé. Není nutné provádět dodatečné posouzení dynamické složky vnitřních sil.**

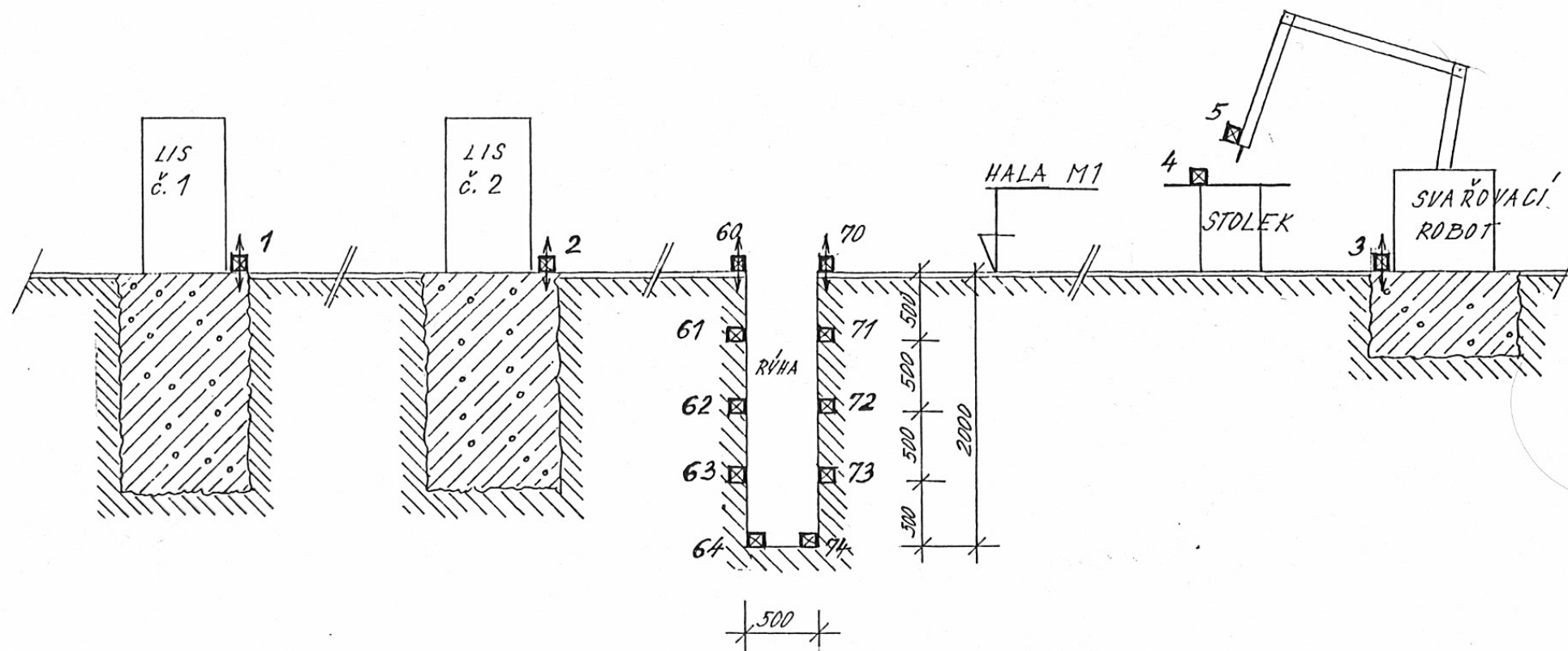
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

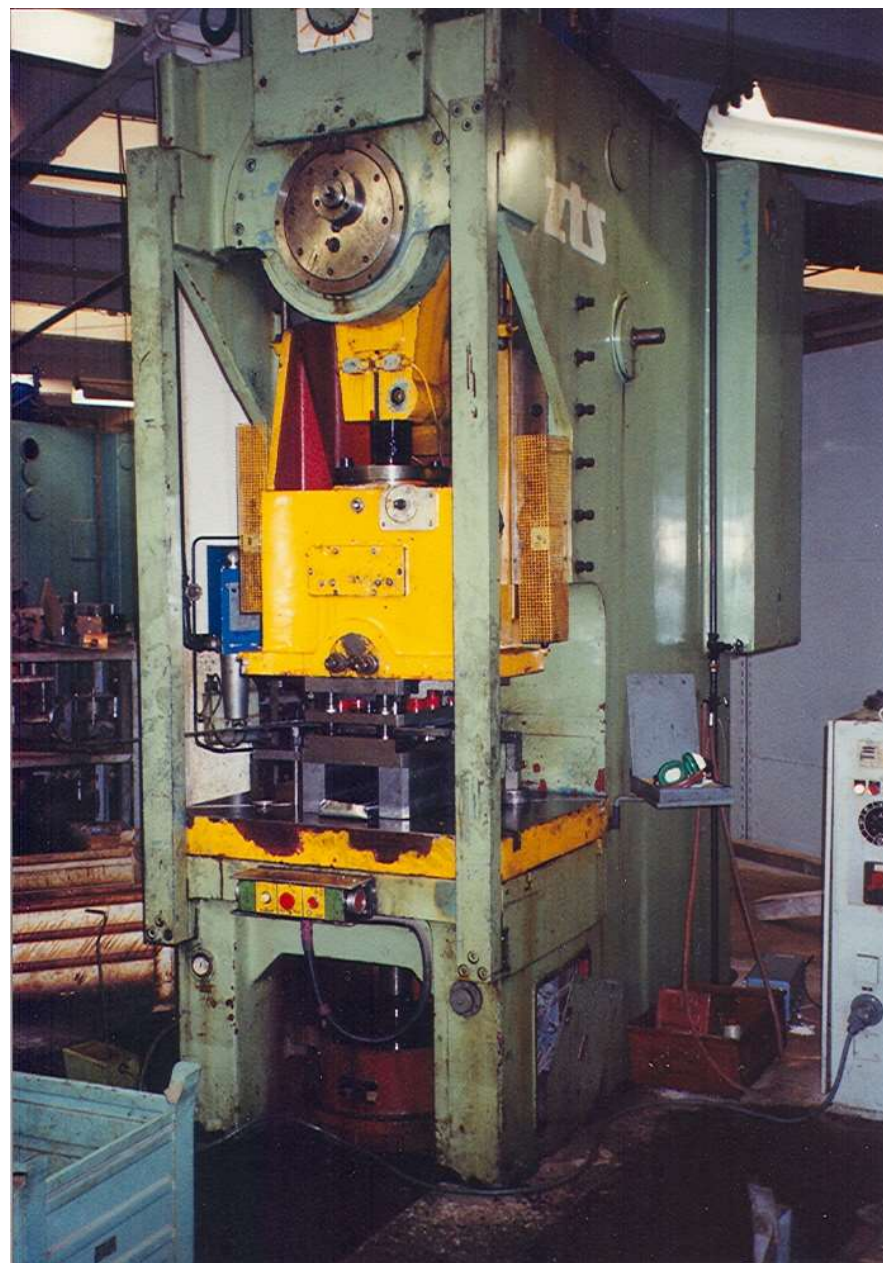
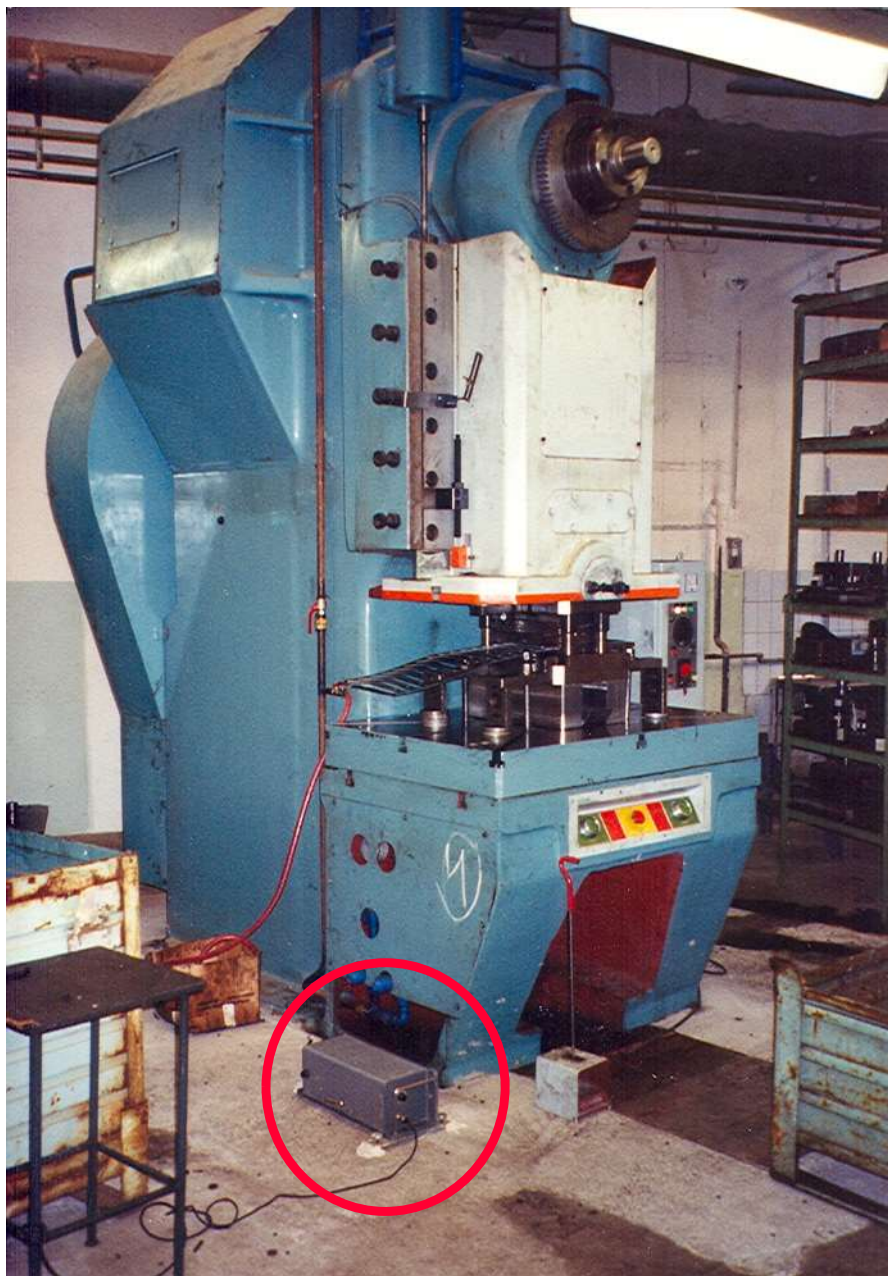
## Výrobní hala v Rakovníku:





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:





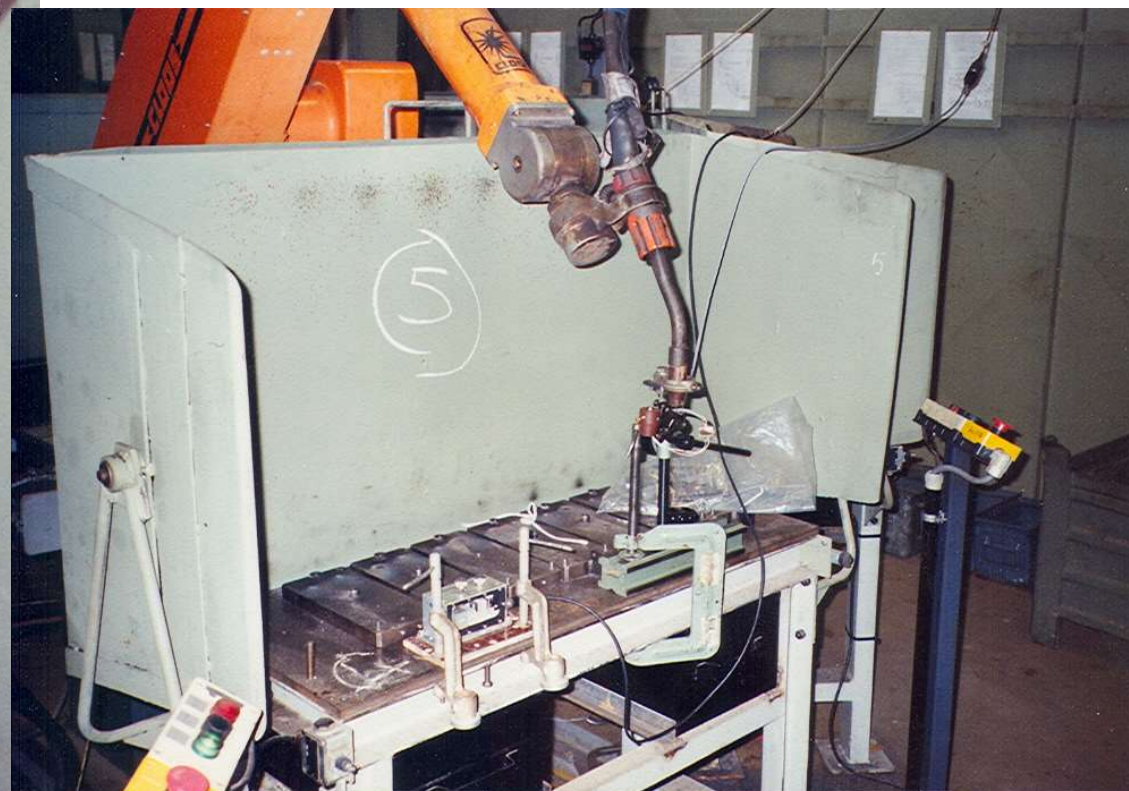
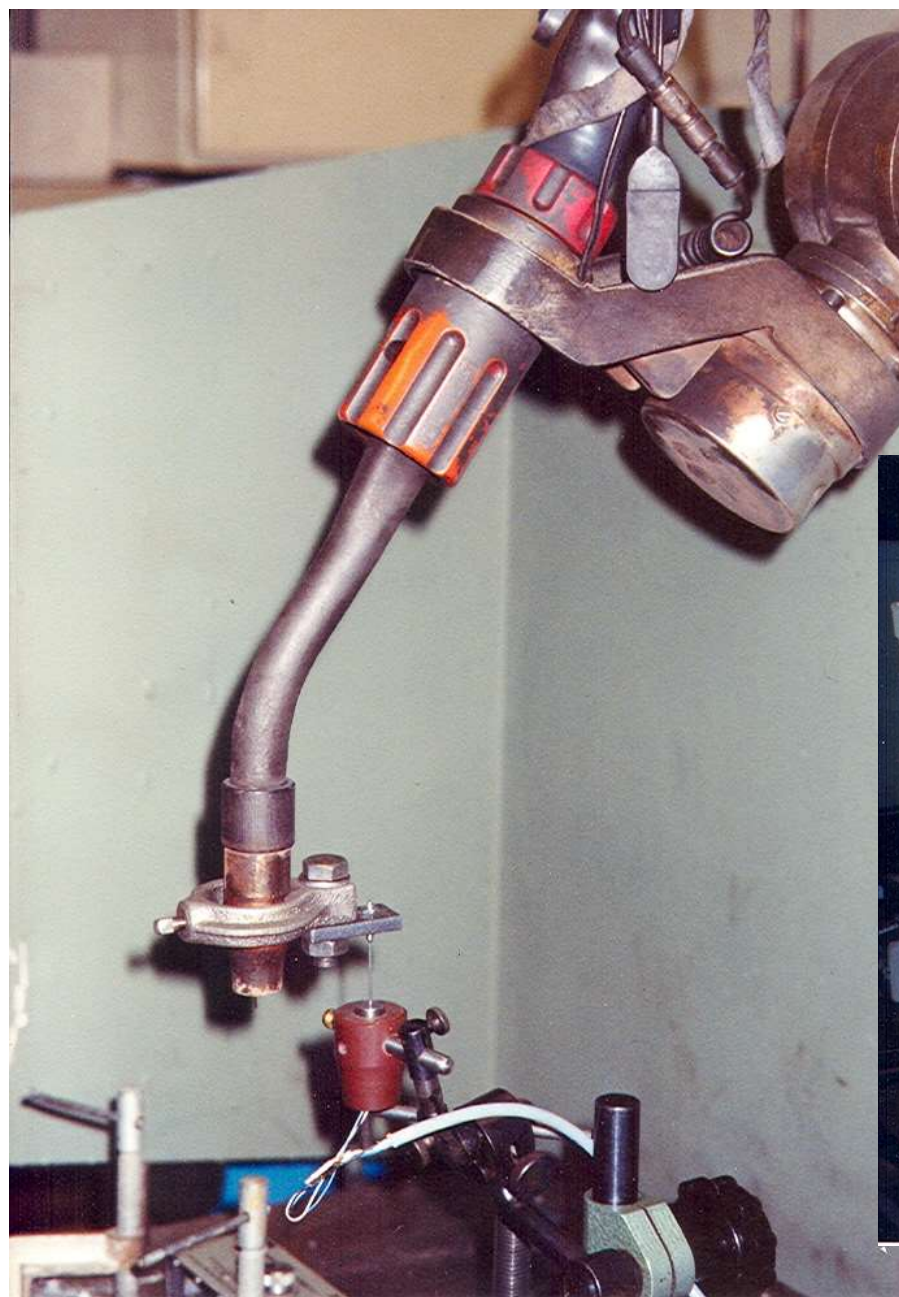
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:



# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Výrobní hala v Rakovníku:**

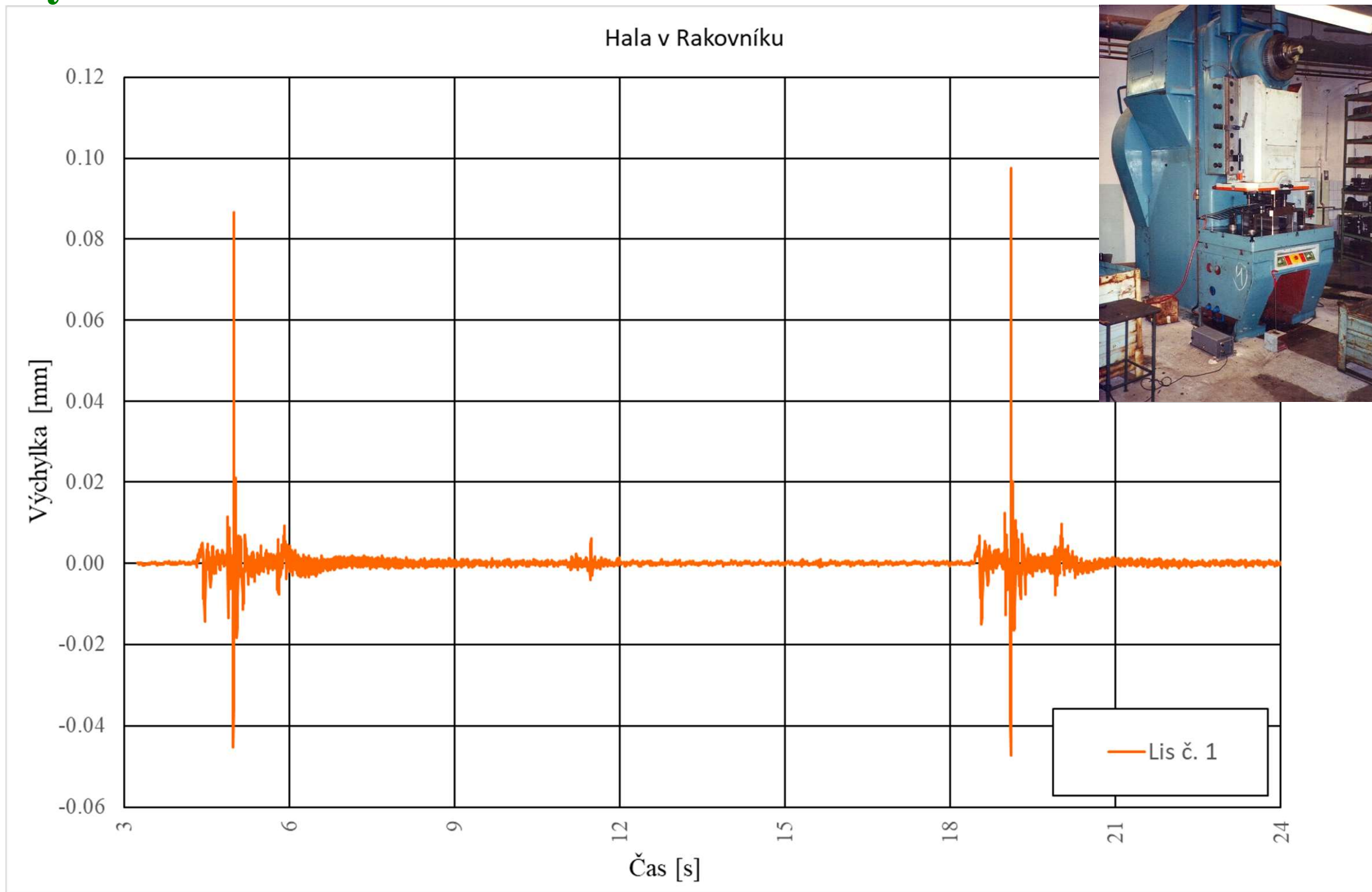
**Vyzkoušet pokud možno všechny možné nepříznivé stavy buzení kmitání:**

- **práce lisu č. 1,**
- **práce lisu č. 2,**
- **současná práce obou lisů.**



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

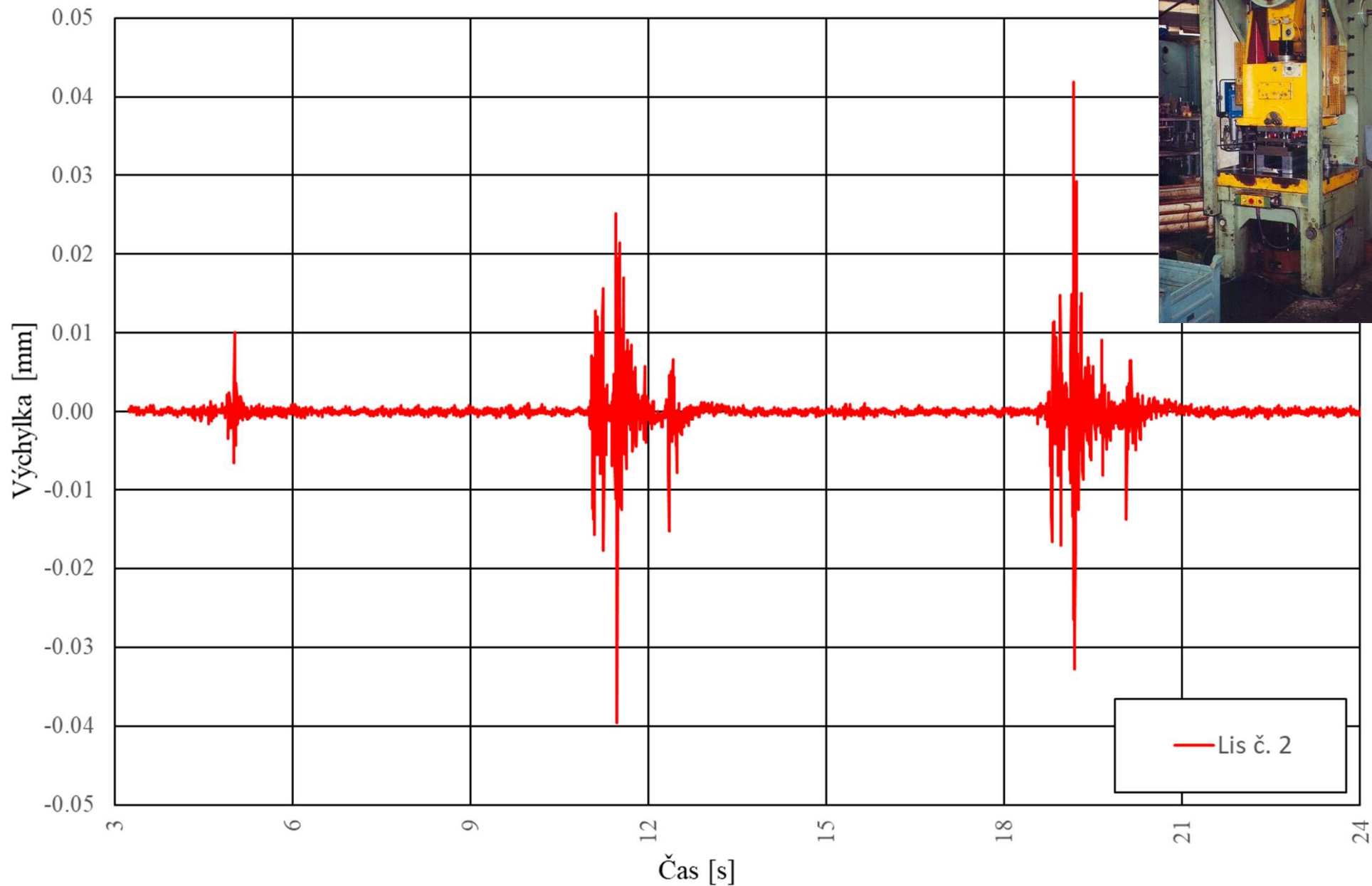
## Výrobní hala v Rakovníku:



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

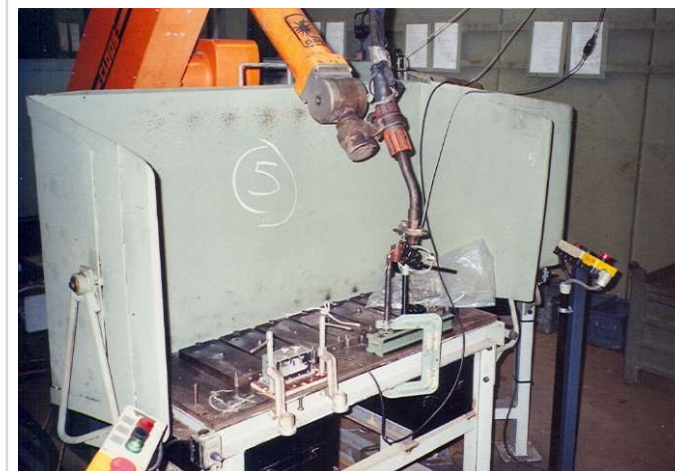
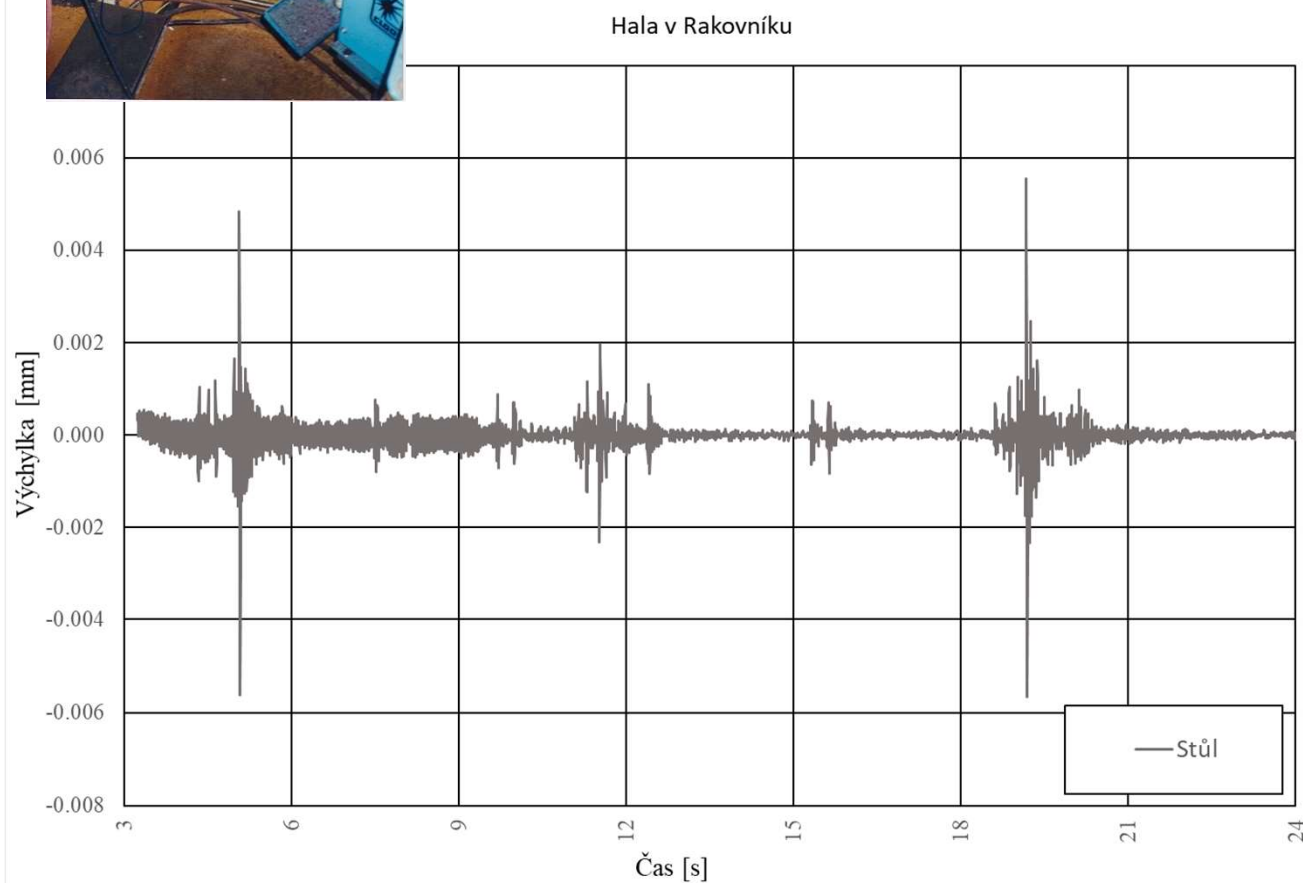
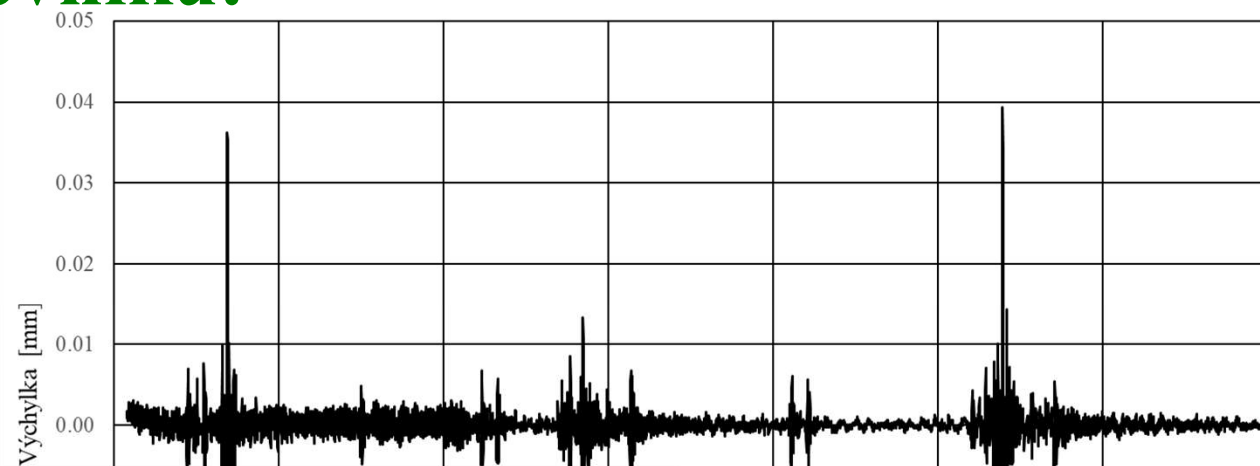
## Výrobní hala v Rakovníku:

Hala v Rakovníku



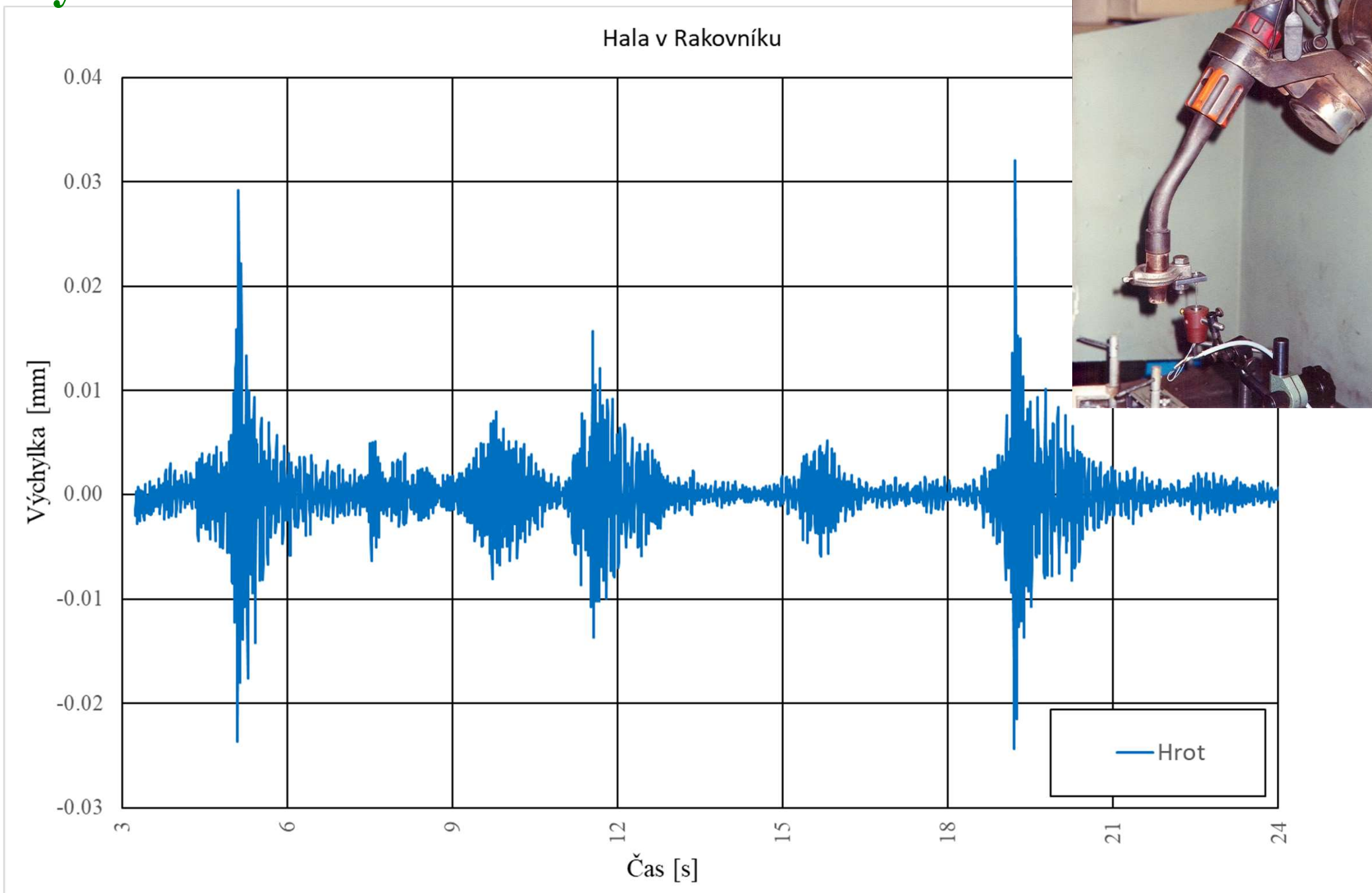
# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:



# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

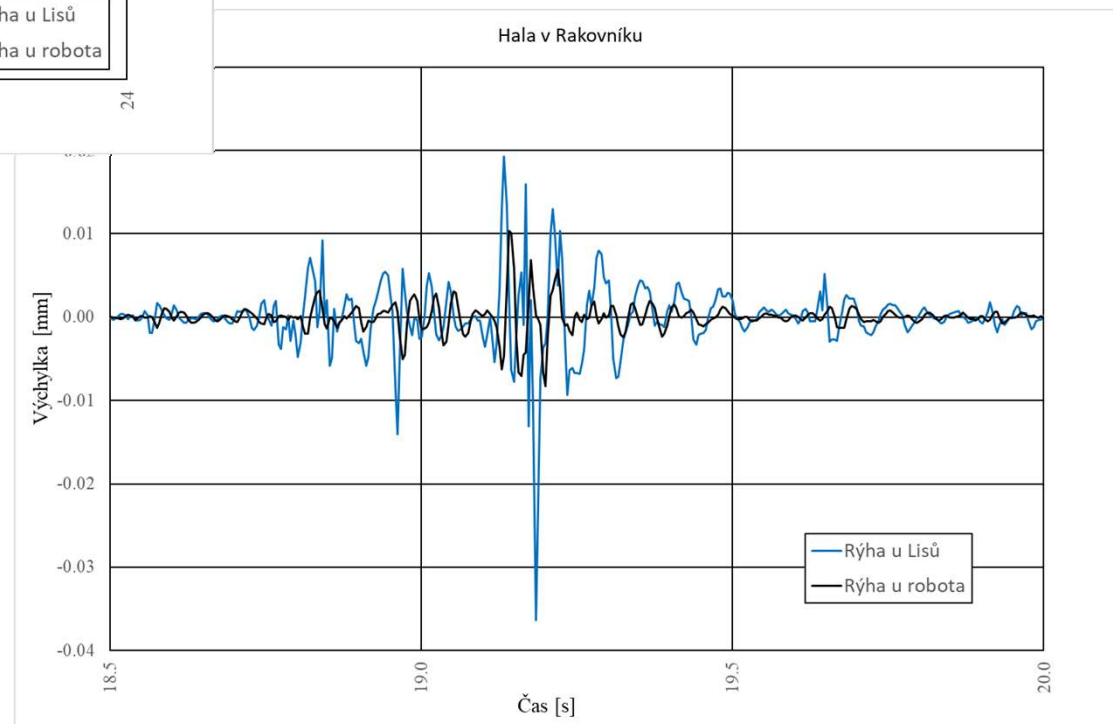
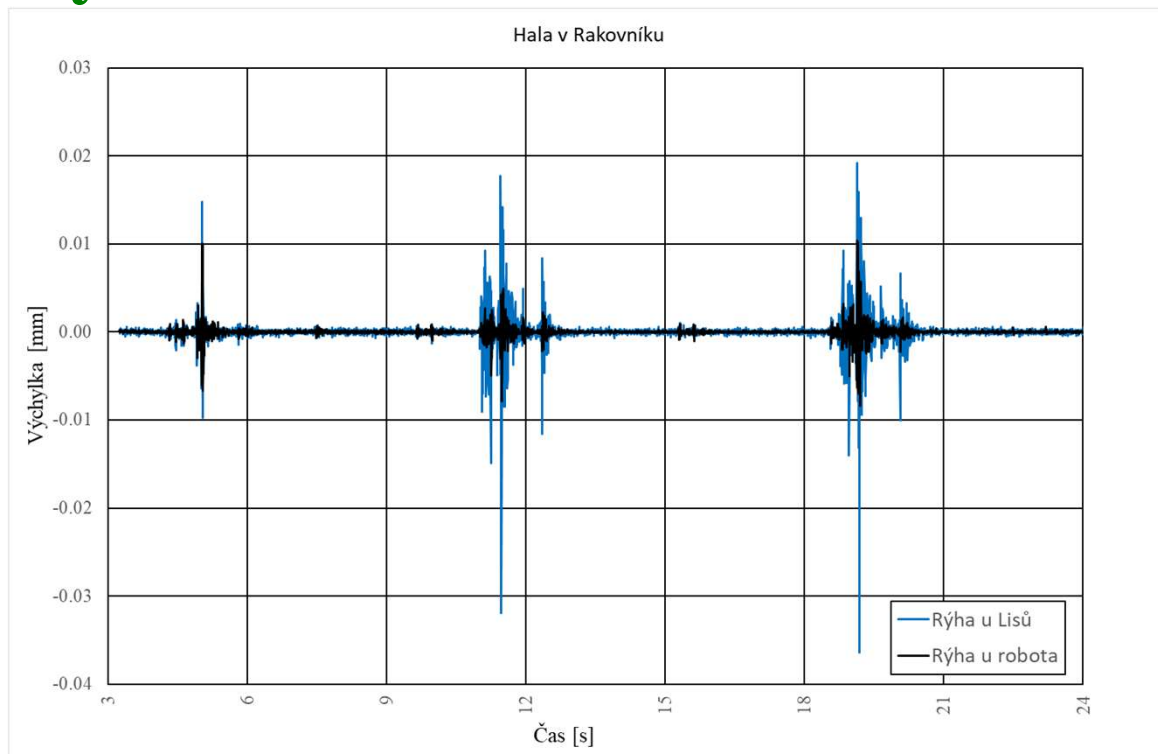
## Výrobní hala v Rakovníku:





# Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:

## Výrobní hala v Rakovníku:



# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Výrobní hala v Rakovníku:**

### **Shrnutí:**

- **Svařovací robot je rozkmitáván kinematicky seismickými účinky vyvolanými prací lisů.**
- **Z měření na hranách vyhloubené rýhy vyplývá, že rýha snižuje velikost svislých výchylek 2 krát až 3 krát.**

# **Dynamické zatěžovací zkoušky v diagnostice stavebních konstrukcí:**

## **Výrobní hala v Rakovníku:**

### **Doporučení:**

- **Úprava základů lisů (pružné uložení - pasivní)**
- **Vyhloubit rýhu**
  - **hloubka 3m**
  - **odvodněná**
  - **možno zasypat štěrkem**
- **Vybudovat nové základy svařovacího robota**
  - **společný základ robot - stůl**
  - **pasivní izolace tohoto základu**
- **Přestěhovat robota do sousední haly + základ s pasivní izolací.**

**Konec přednášky**