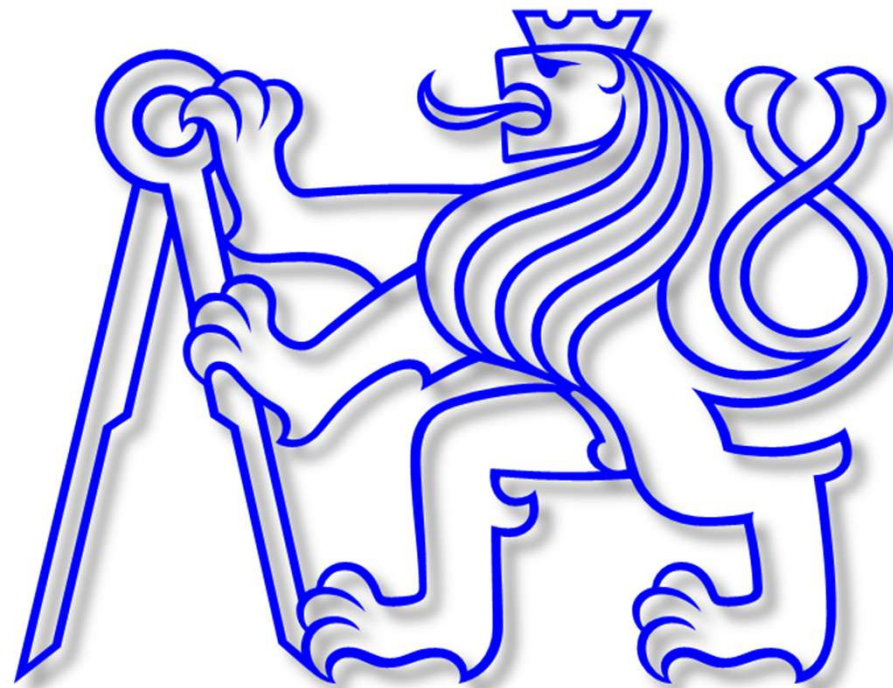


Předmět: DKBU

**Využití experimentálně stanovených charakteristik
vlastního kmitání konstrukce v diagnostice
stavebních konstrukcí**



prof. Ing. Michal POLÁK, CSc.

Fakulta stavební, ČVUT v Praze

© 2002 - 2024

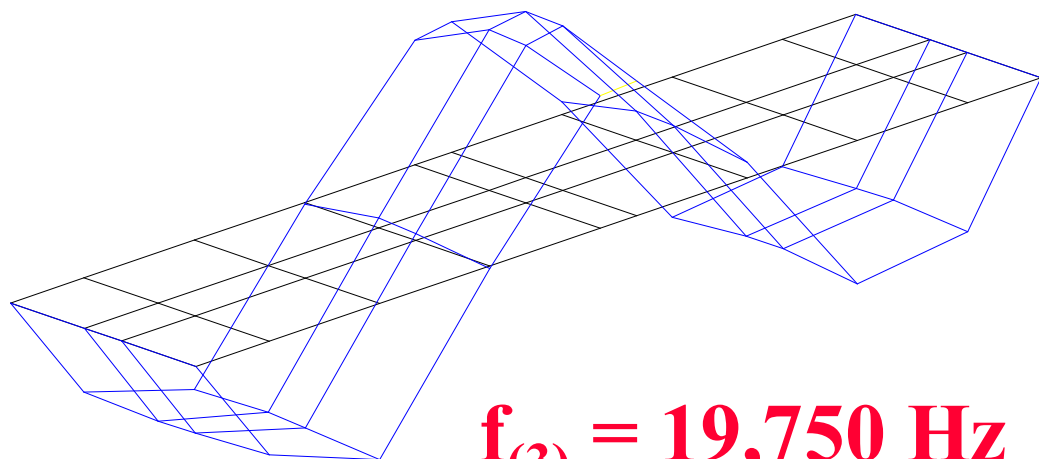
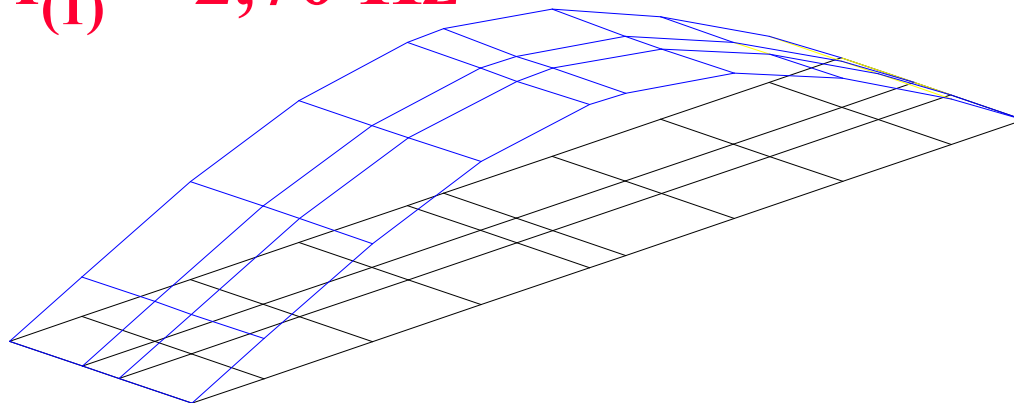
Charakteristiky vlastního kmitání:

- **Přirozené dynamické vlastnosti stavební konstrukce závislé pouze na jejím okamžitém stavu (na aktuální tuhosti, hmotnosti, podmínkách uložení a stavebním stavu).**
- **Charakteristiky vlastního kmitání - experiment:**
 - **frekvence vlastního kmitání,**
 - **tvary vlastního kmitání,**
 - **útlum vlastního kmitání.**
- **Charakteristiky vlastního kmitání – standardní výpočet:**
 - **frekvence vlastního kmitání,**
 - **tvary vlastního kmitání.**

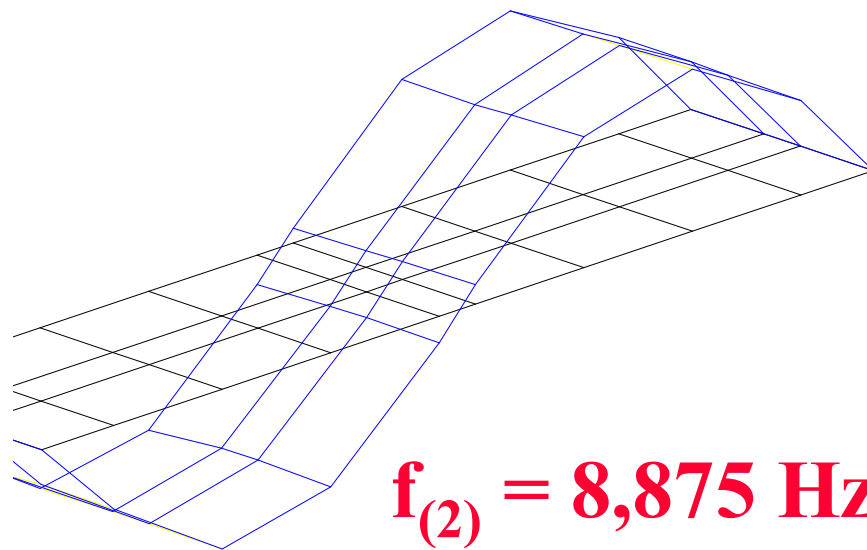
Charakteristiky vlastního kmitání:



$$f_{(1)} = 2,70 \text{ Hz}$$



$$f_{(3)} = 19,750 \text{ Hz}$$

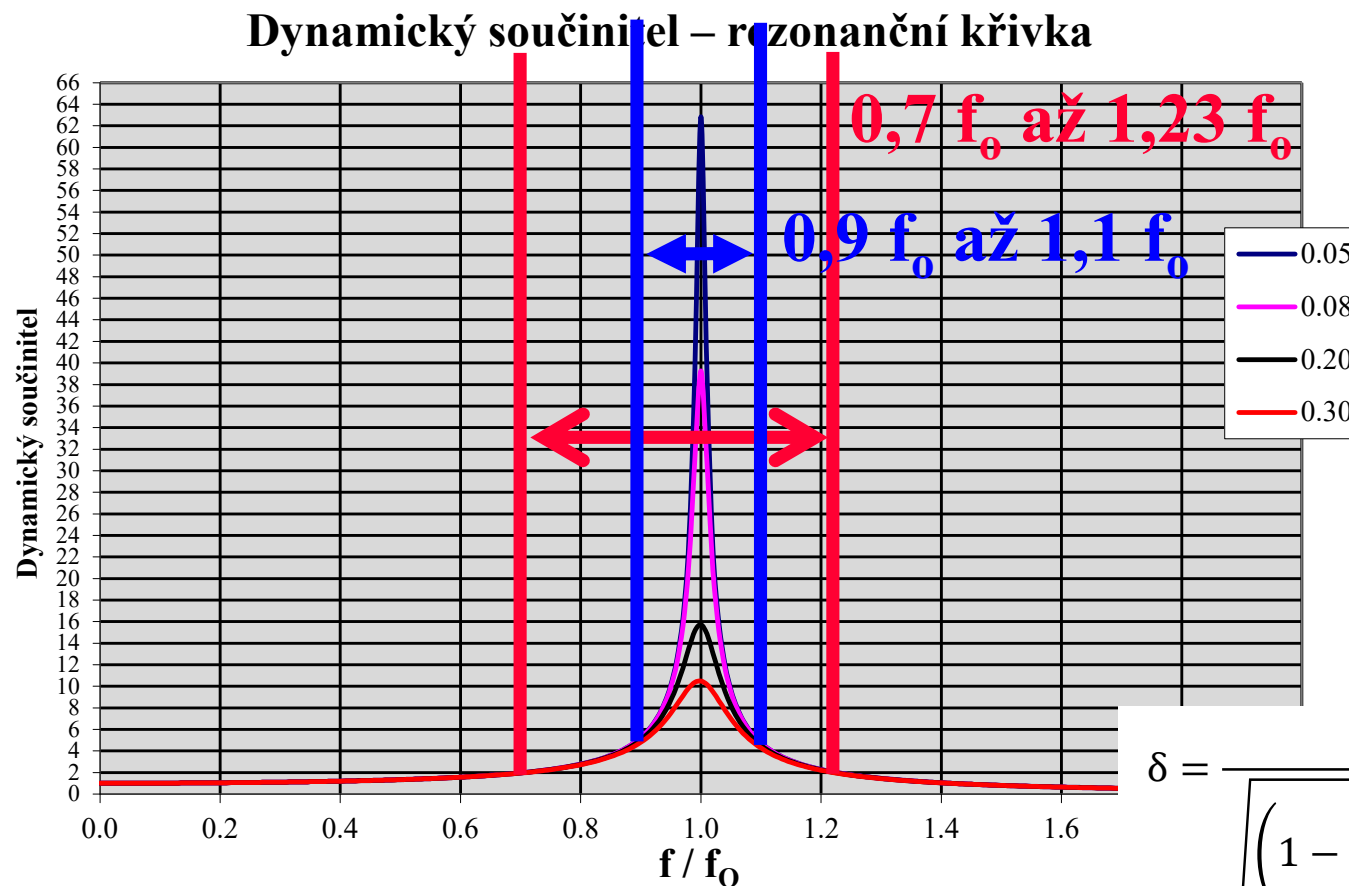


$$f_{(2)} = 8,875 \text{ Hz}$$

Charakteristiky vlastního kmitání:

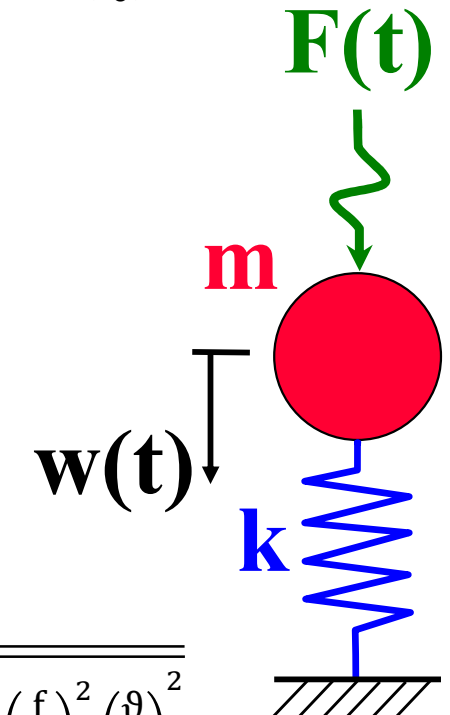
Rezonance, rezonanční oblast:

- Rezonance je stav, kdy je frekvence budící síly blízká nebo rovna některé vlastní frekvenci konstrukce.
- Rezonanční oblast – soustava s jedním stupněm volnosti:



$$\delta = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

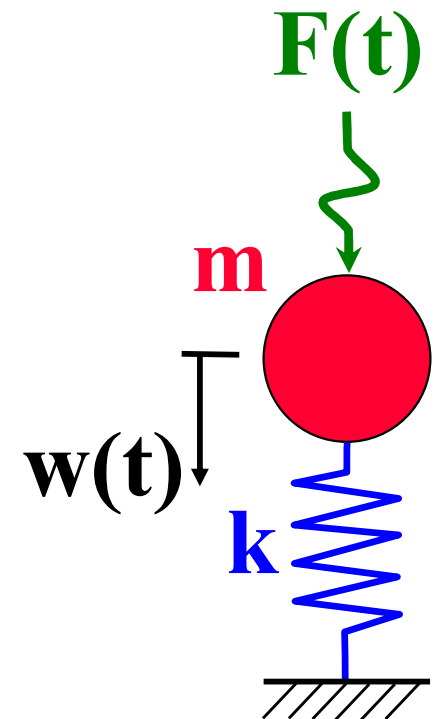
$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 \left(\frac{\vartheta}{\pi}\right)^2}}$$



Charakteristiky vlastního kmitání:

Rezonance, rezonanční oblast:

- Schopnost systému (konstrukce, modelu konstrukce) při určité frekvenci kmitání:
 - nahromadit energii (paralela - houba a voda) a
 - snadno přeměňovat tuto energii mezi potenciální energií deformace a kinetickou energií.
- Schopnost při stejné amplitudě F kmitat s větší amplitudou při kmitání v rezonanční frekvenci než na jiných frekvencích.
- V rezonanci pro dosažení stejného w potřebují menší sílu F než při nerezonančním kmitání.



Charakteristiky vlastního kmitání:

Rezonance, rezonanční oblast, dynamický součinitel:

- **Dynamický součinitel pro netlumené kmitání soustavy s jedním stupněm volnosti:**

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

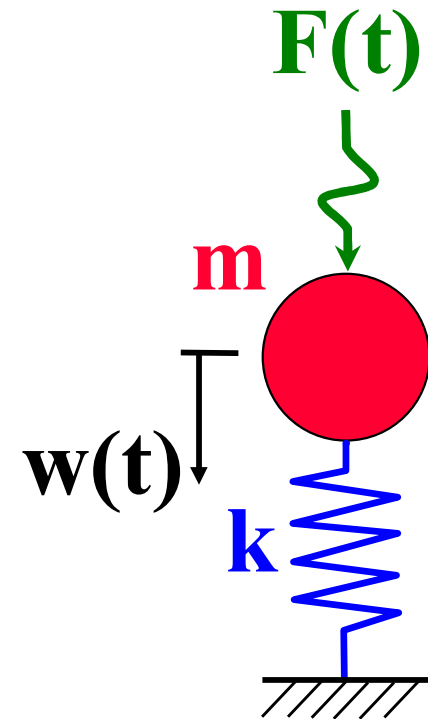
$$F(t) = F_0 \cdot \sin(2 \pi f t)$$

$$w(t) = w_0 \cdot \sin(2 \pi f t)$$

$$w_0 = w_{st} \delta = \frac{F}{k} \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

$$w_{st} = \frac{F}{k}$$

$$\delta = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$



Využitelný pro budící frekvence:

0 Hz až 0,9 f_0 a 1,1 f_0 a vyšší .

Charakteristiky vlastního kmitání:

Rezonance, rezonanční oblast, dynamický součinitel:

- **Dynamický součinitel pro tlumené kmitání soustavy s jedním stupněm volnosti:**

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$F(t) = F_0 \cdot \sin(2\pi f t)$$

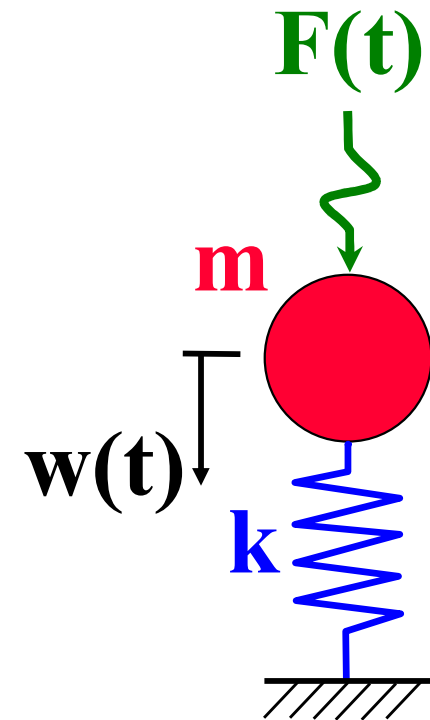
$$w(t) = w_0 \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)$$

$$f_d = f_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta}{2\pi}\right)^2}$$

$$w_0 = w_{st} \delta$$

$$w_{st} = \frac{F}{k}$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 \left(\frac{\vartheta}{\pi}\right)^2}}$$



Využitelný pro budící frekvence:

0,9 f_0 až 1,1 f_0

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **Vlastní frekvence konstrukce limitována podmínkou – omezení potenciálního rizika rezonančního kmitání:**
 - **dynamické účinky instalované strojní technologie,**
 - **stropy, schodiště, lávky – dynamické účinky chodců,**
 - **taneční sály – dynamické účinky tanečníků,**
 - **sportovní sály, tělocvičny – dynamické účinky sportujících osob,**
 - **tribuny stadionů – dynamické účinky fanoušků, návštěvníků koncertů.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **Vlastní frekvence – důležitý prvek návrhu konstrukce:**
 - možnost ztráty aerodynamické stability,
 - možnost vzniku rezonančního kmitání,
 - pohlcovače kmitání – přesné naladění.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **Posuzování stavebně technického stavu nosných konstrukcí:**
 - **Během provozování stavebních konstrukcí dochází k postupné degradaci jejich nosné konstrukce.**
 - **Pro zachování provozuschopnosti určitého stavebního objektu je velmi důležité zjištění vzniku a polohy jeho případné závady nebo poruchy v nejranějším stádiu jejího vývoje.**
 - **Pravidelné kontroly stavebně technického stavu nosných konstrukcí staveb jsou v současnosti založeny především na vizuální prohlídce.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- Čas potřebný pro vytvoření některých poruch a pro jejich další rozvoj je ale velmi často kratší, než je interval těchto prohlídek.
- Proto jsou dnes hledány postupy, které by mohly být aplikovány na stavební konstrukci jako celek, nebo případně na vybrané prvky nosné konstrukce.
- Mimo jiné jsou rozvíjeny postupy pro odhad míry degradace nosné konstrukce nebo vybraných konstrukčních prvků na základě zjištěné změny vybraných experimentálně sledovaných statických a dynamických charakteristik.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **Jednou z metod experimentálního zkoumání dynamického chování stavebních konstrukcí nebo jejich vybraných konstrukčních prvků je experimentální modální analýza.**
- **Modální charakteristiky (charakteristiky vlastního kmitání) - frekvence, tvary vlastního kmitání a odpovídající útlum**
- **zachycují skutečný stav, vlastnosti a prostorové chování sledované konstrukce (nebo jejího konstrukčního prvku) v okamžiku provedení experimentu.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **V současné době jsou rozvíjeny a ověřovány postupy detekce poškození stavebních konstrukcí, které jsou založeny na změně jejich charakteristik vlastního kmitání.**
- **Určování míry degradace nosných konstrukcí staveb se dnes stalo velmi závažným technickým a také ekonomickým problémem.**
- **A naneštěstí v řadě případů také politickým problémem (např. Libeňský most, Výtoňský most).**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

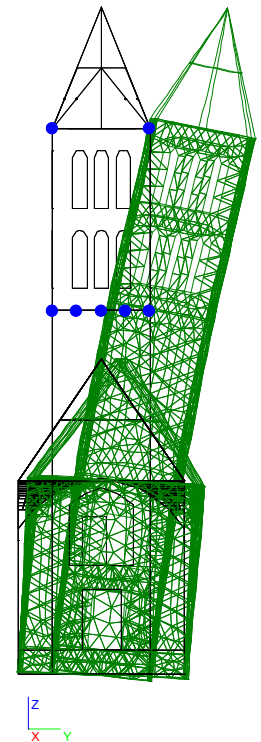
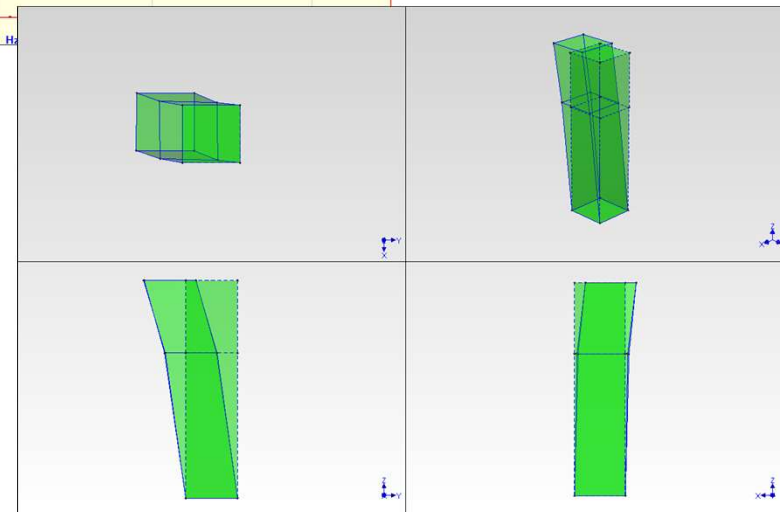
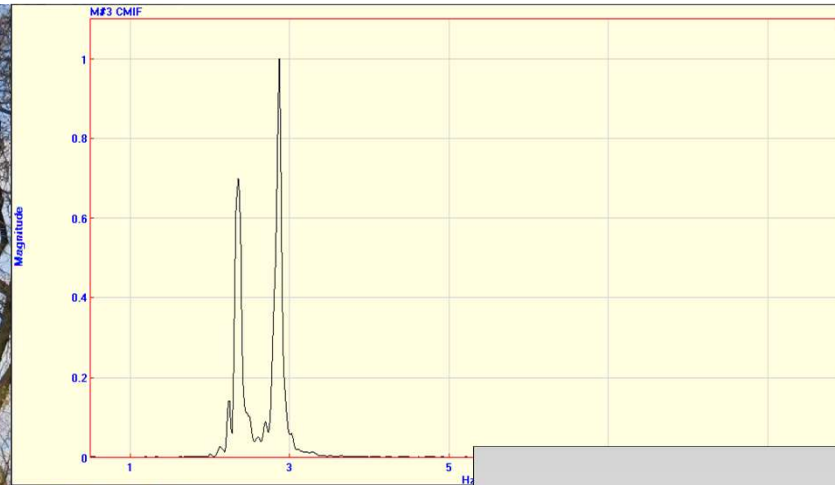
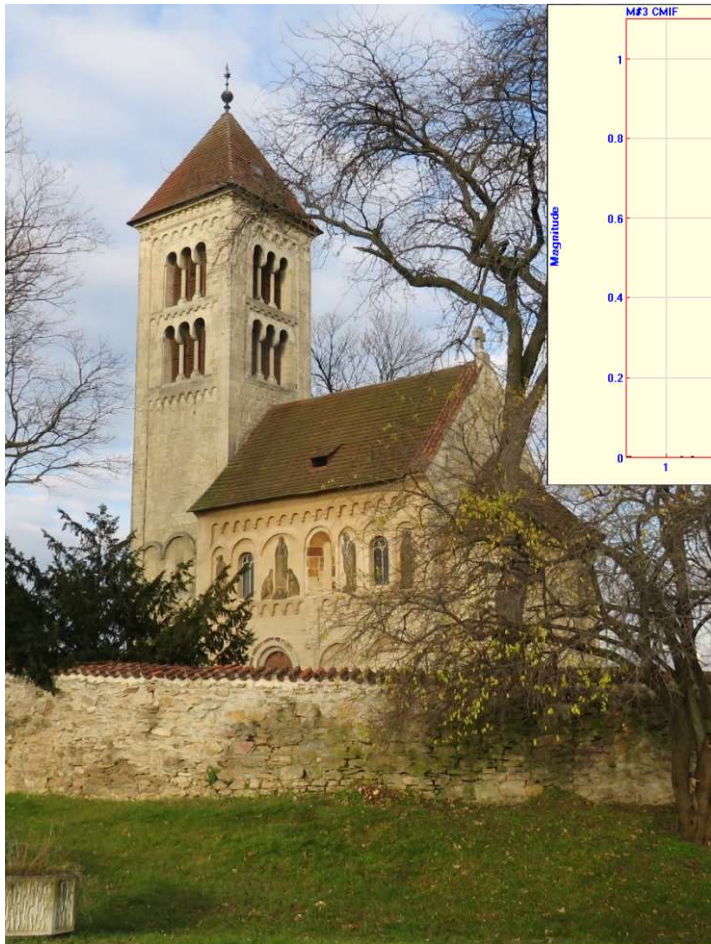
- **Validace, verifikace, specifikace, identifikace, optimalizace výpočtových modelů:**
- **Projektant vytváří výpočtový model stavební konstrukce za určitých fyzikálních a matematických předpokladů.**
- **Pro jednu určitou stavební konstrukci je možné vytvořit celou řadu výpočtových modelů.**
- **Výpočtové modely je možné verifikovat, specifikovat, identifikovat nebo optimalizovat na základě metod diagnostiky.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- **Jednou z diagnostických metod je i experimentální modální analýza.**
- **Experimentálně určené modální charakteristiky stavební konstrukce – frekvence, tvary vlastního kmitání a odpovídající útlum**
- **popisují její dynamické vlastnosti ovlivněné pouze její okamžitou tuhostí, hmotností, vlastnostmi uložení a konstrukčním uspořádáním.**
- **Proto je lze s výhodou použít pro verifikaci, specifikaci, identifikaci nebo optimalizaci výpočtových modelů.**
- **A zejména tehdy, pokud tyto modely mají být použity k dynamickým výpočtům.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

- Nevýhoda – zjednodušeně řečeno: tuhost k je pod odmocninou.
- Výhoda – u existující konstrukce je jakákoliv věrohodná experimentální informace podstatná.



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Dva způsoby měření a vyhodnocování charakteristik vlastního kmitání:

- **FVT (Forced Vibration Testing)**
 - **měřená odezva konstrukce je normována k budící síle**
- **AVT (Ambient Vibration Testing)**
 - **měřená odezva je normována k odezvě v referenčním bodu.**

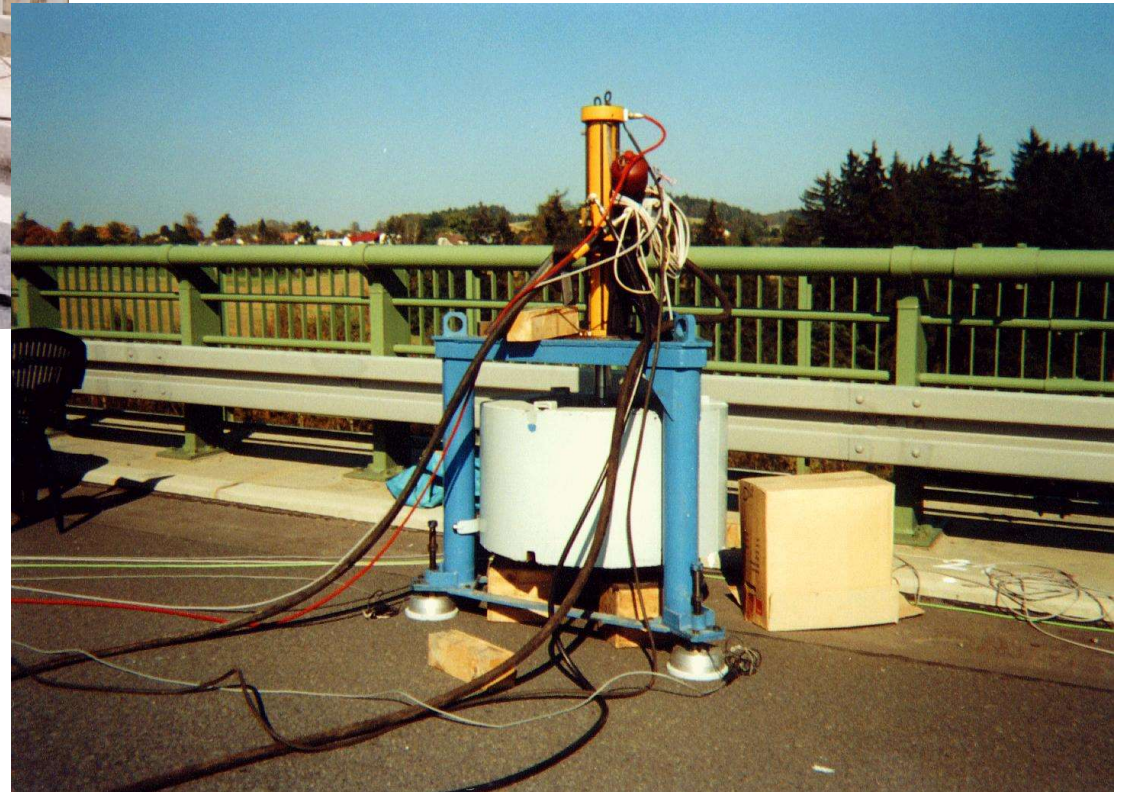
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Způsoby rozkmitávání konstrukce:

- **rázovadla, rázová kladívka,**
- **budiče,**
- **AVT – ambient vibration testing:**
 - **vítr,**
 - **mikroseismicita,**
 - **technická seismicita,**
 - **pohyblivé zatížení,**
 - **obecně jakékoliv frekvenčně širokopásmové dynamické zatížení.**

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Způsoby rozkmitávání konstrukcí - budič na konstrukci:



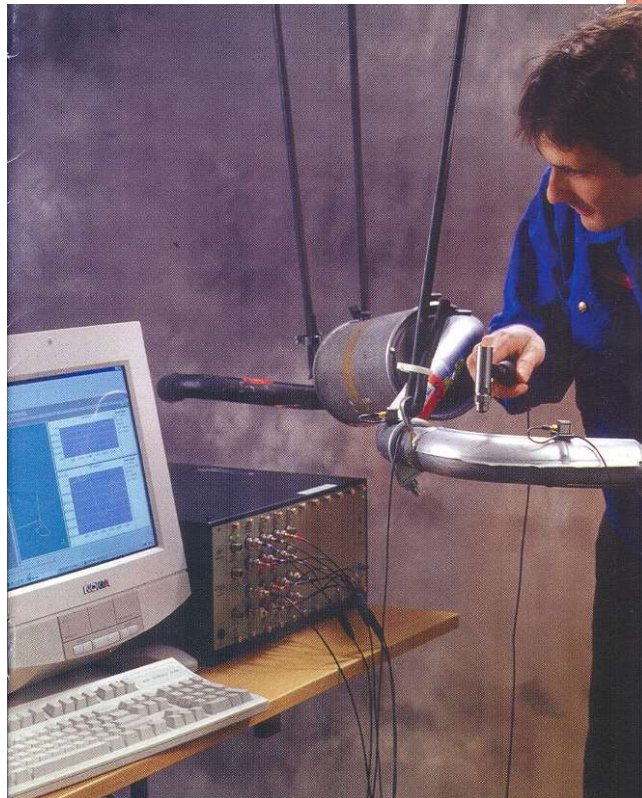
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Způsoby rozkmitávání konstrukcí - budič pod konstrukcí:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Způsoby rozkmitávání konstrukcí – rázová kladívka:



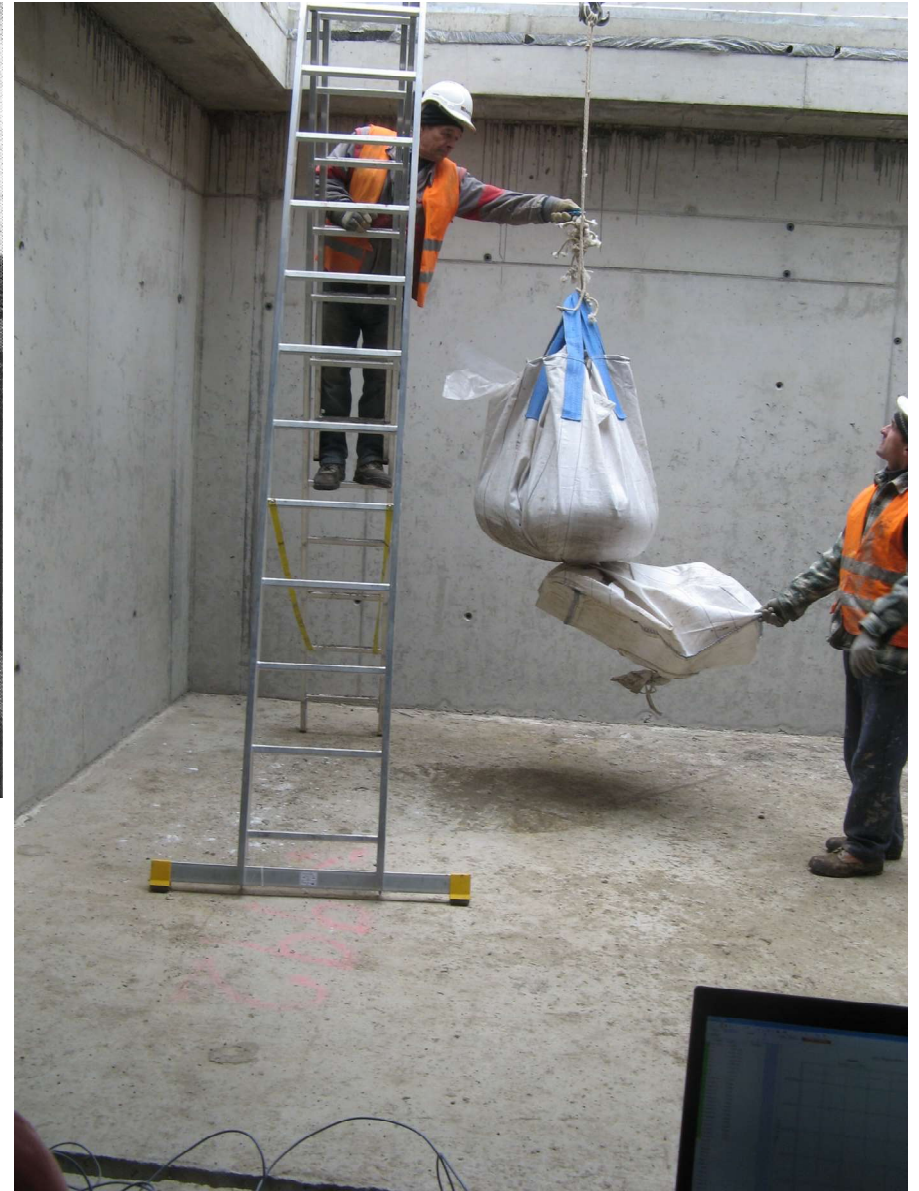
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Způsoby rozkmitávání konstrukcí – rázovadlo:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

AVT – vítr, mikroseizmicita, technická seizmicita:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

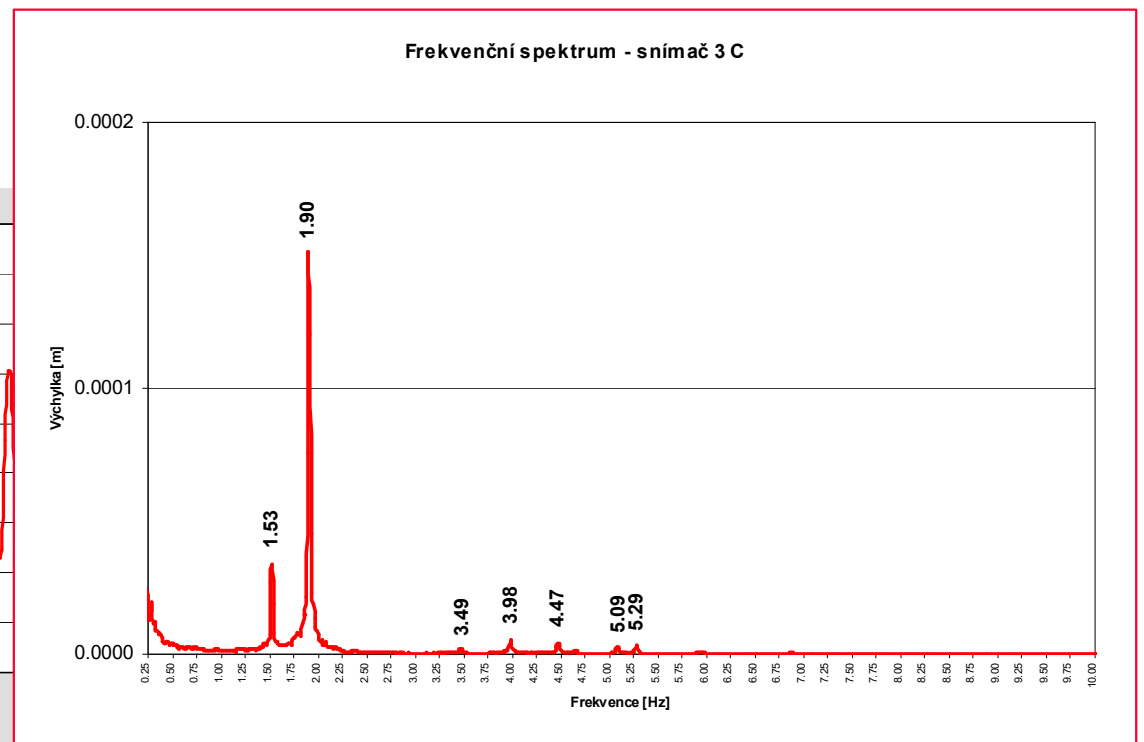
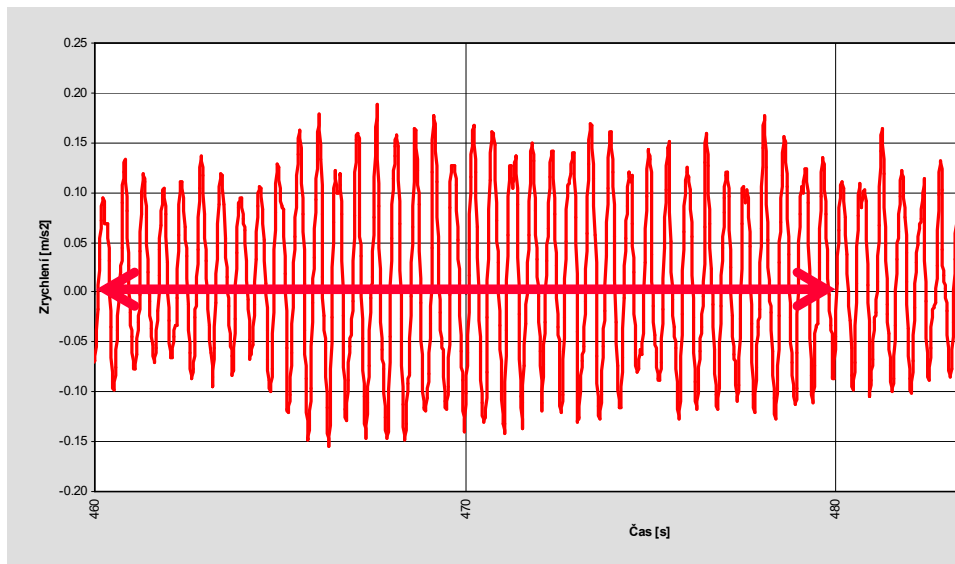
Zpracování naměřeného kmitání pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT):

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} \left(a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right)$$

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

$$B_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{tg } \varphi_n = \frac{a_n}{b_n}$$

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



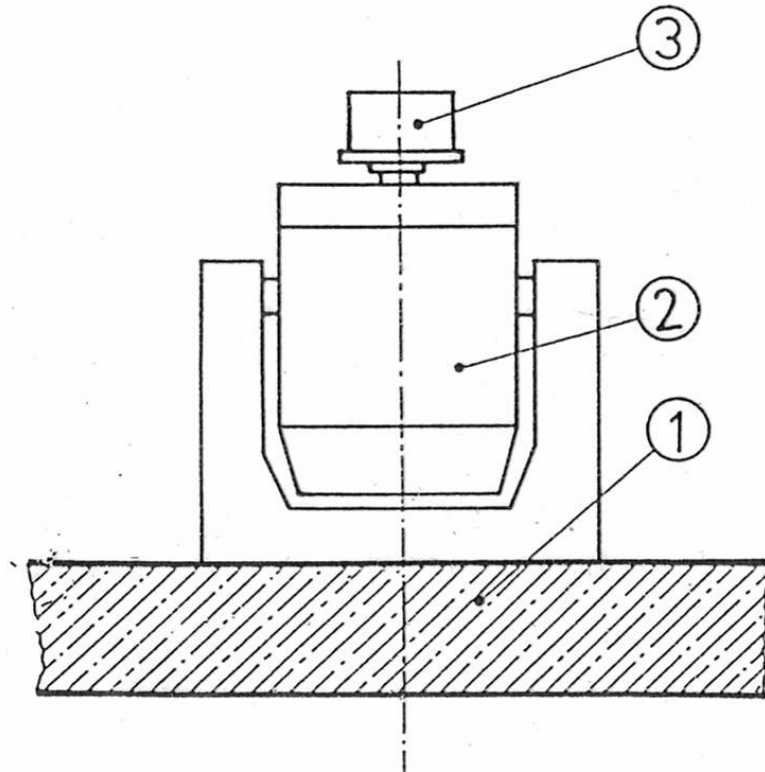
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Druhy budících sil:

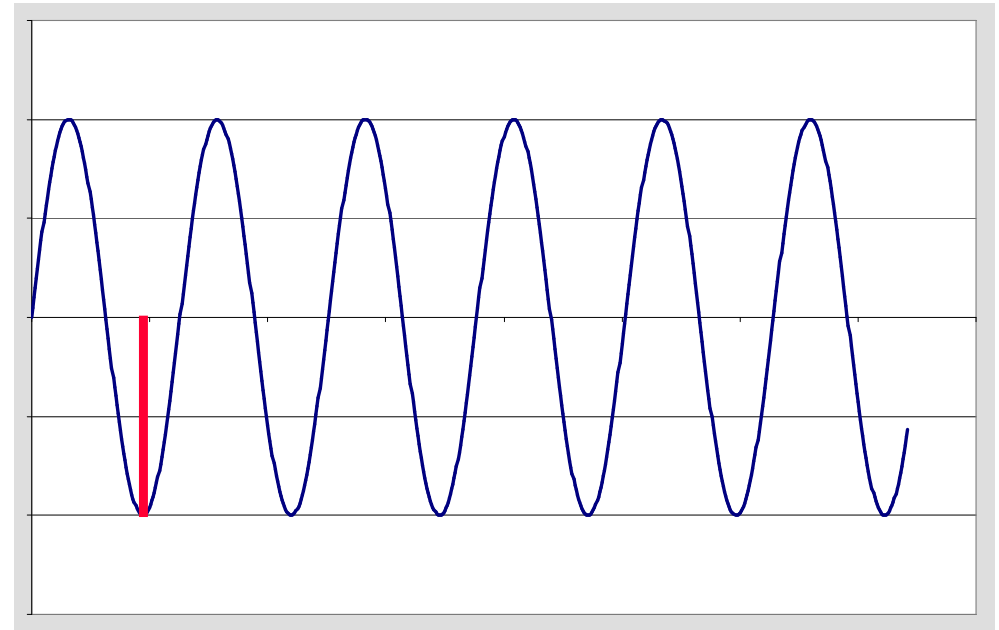
- **Budiče:**
 - harmonická budící síla,
 - sweep, swept (lineárně proměnná budící frekvence),
 - nahodilá budící síla (random).
- **Rázovadla, rázová kladívka:**
 - silový impulz.
- **AVT:**
 - \approx nahodilá budící síla,
 - \approx silový impulz.

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Harmonická budící síla:



$$F(t) = F \sin(2\pi f t)$$

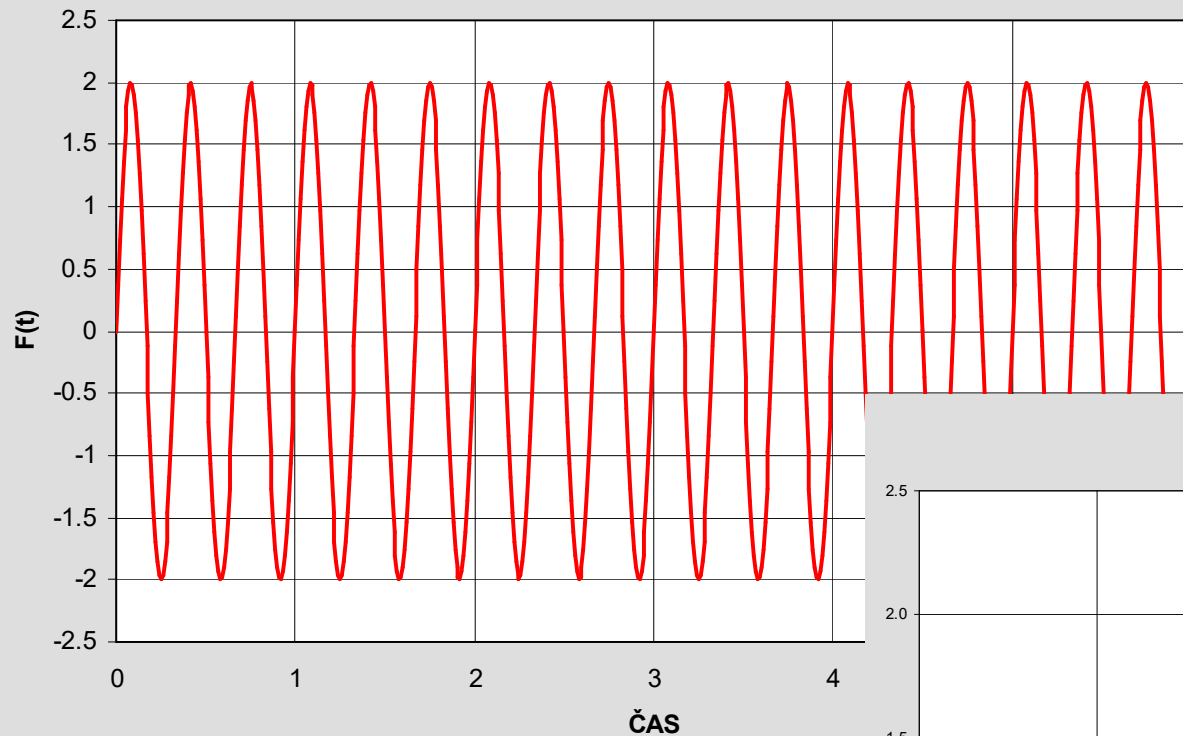


$$F(t) = \left(m 4\pi^2 f^2 v_0 \right) \sin(2\pi f t)$$

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Harmonická budící síla:

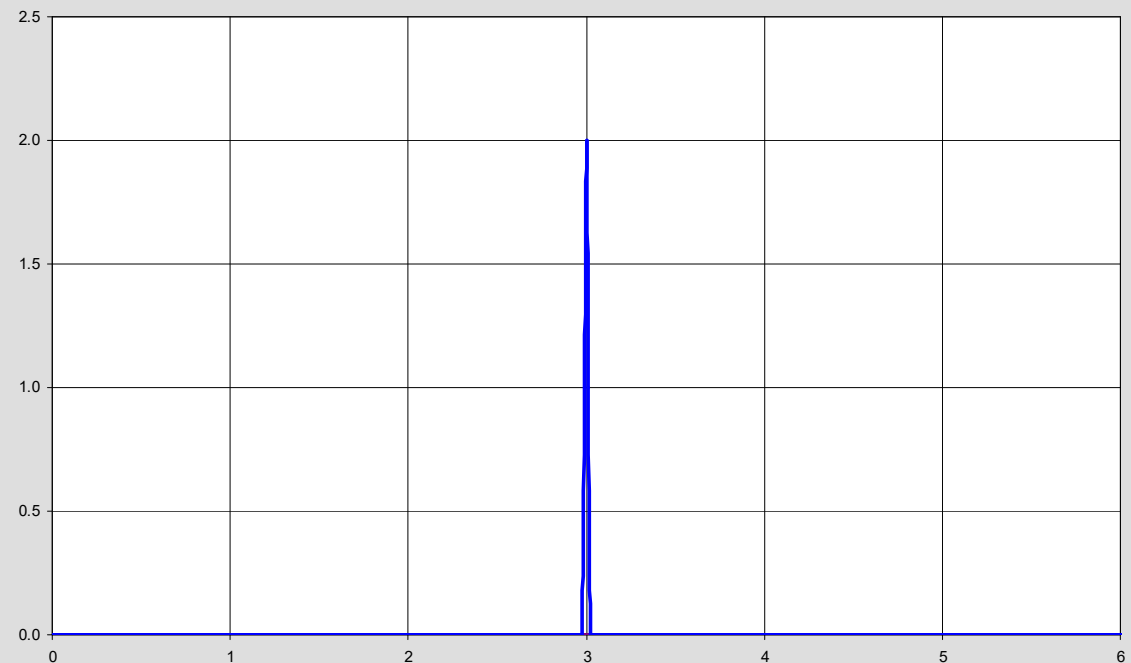
HARMONICKÁ F(t)



$$F(t) = F \sin(2\pi f t)$$

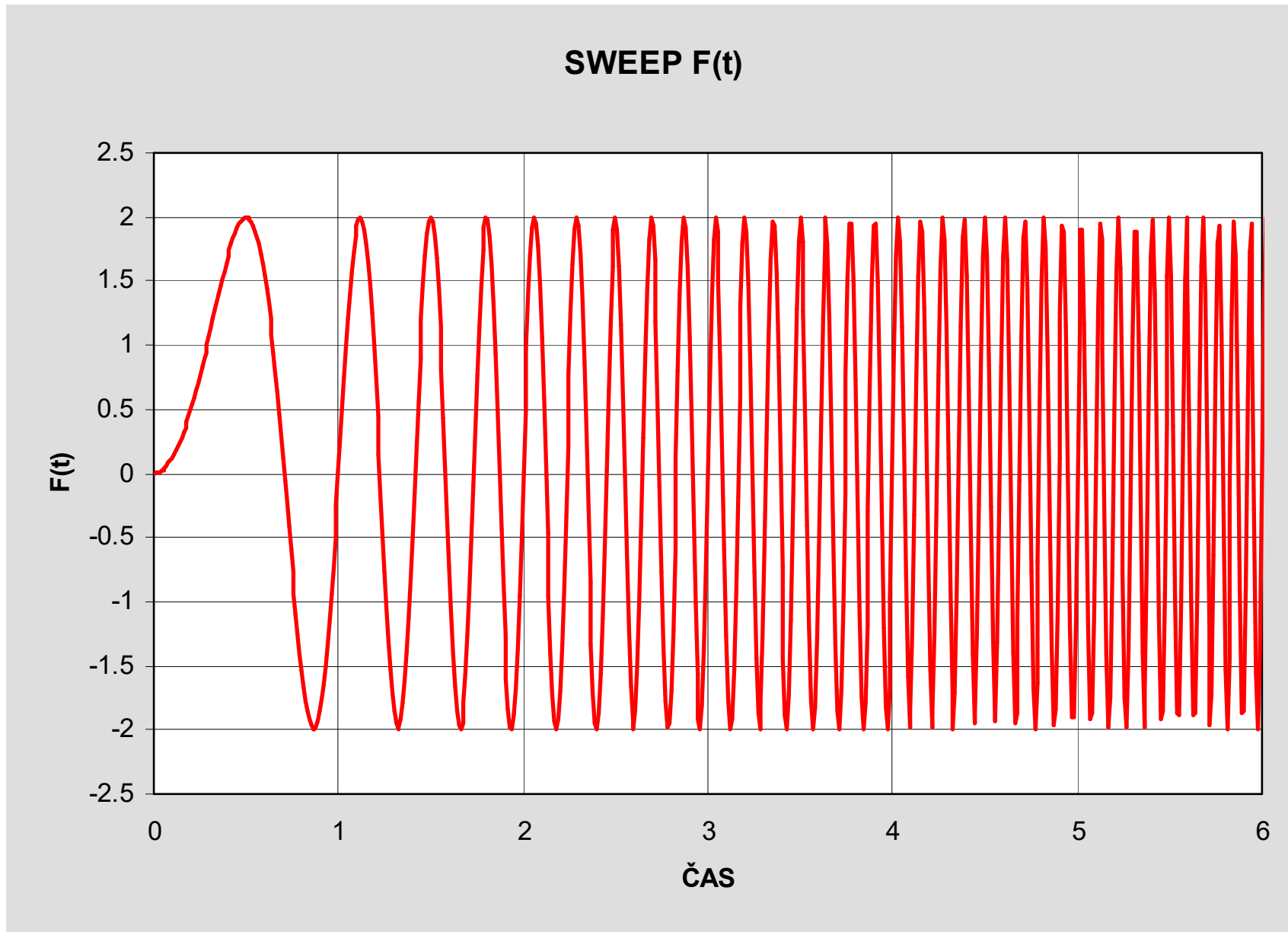
$$F(t) = 2,0 \sin(2\pi 3,0 t)$$

HARMONICKÁ BUDÍCÍ SÍLA - OBRAZ VE FREKVENČNÍ OBLASTI



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

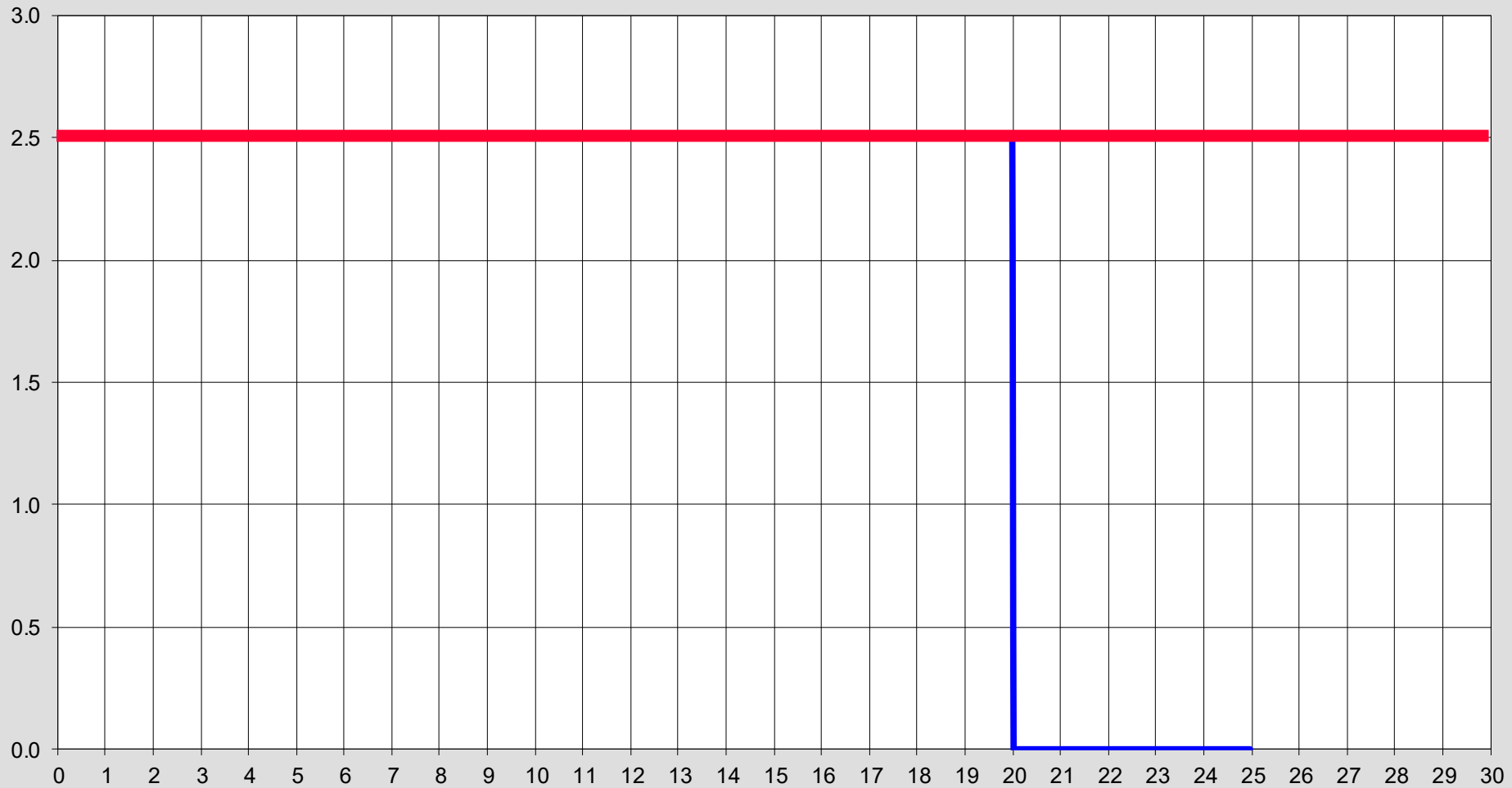
Budící síla typu Sweep:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

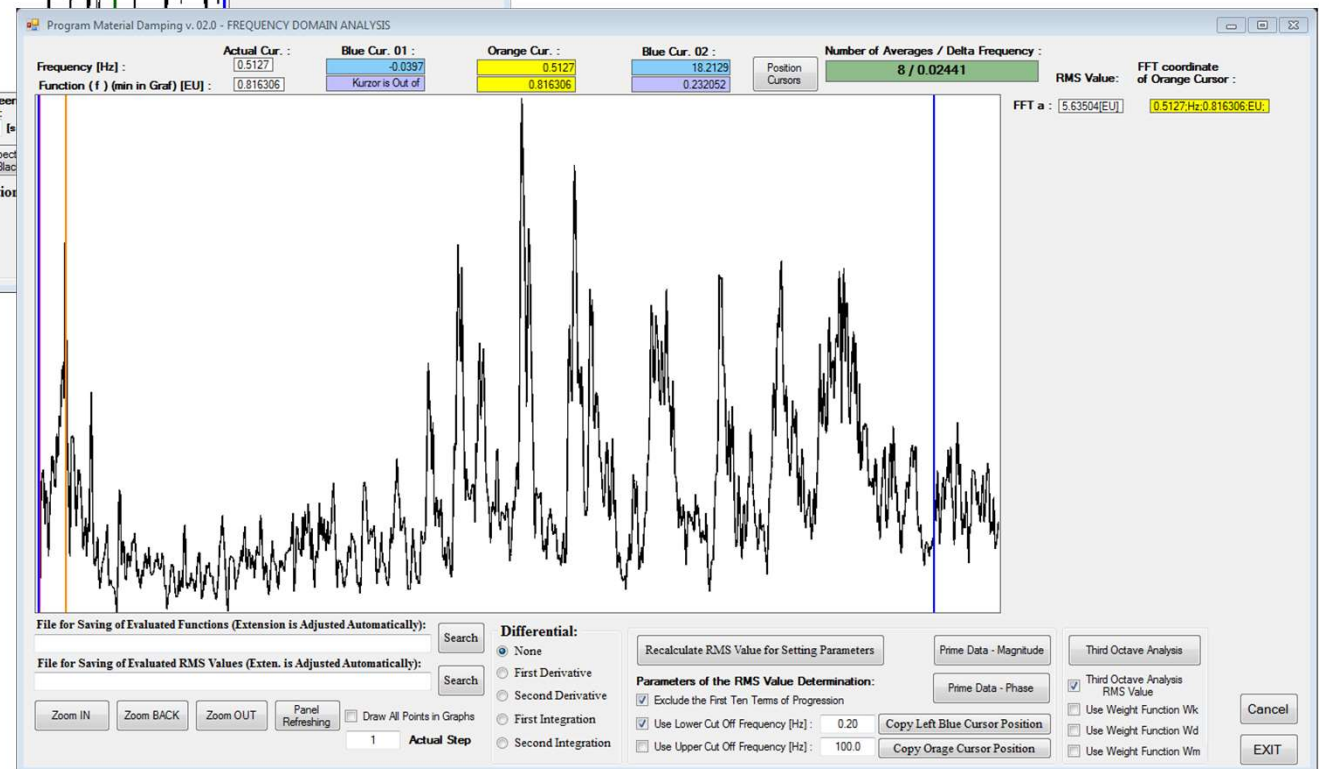
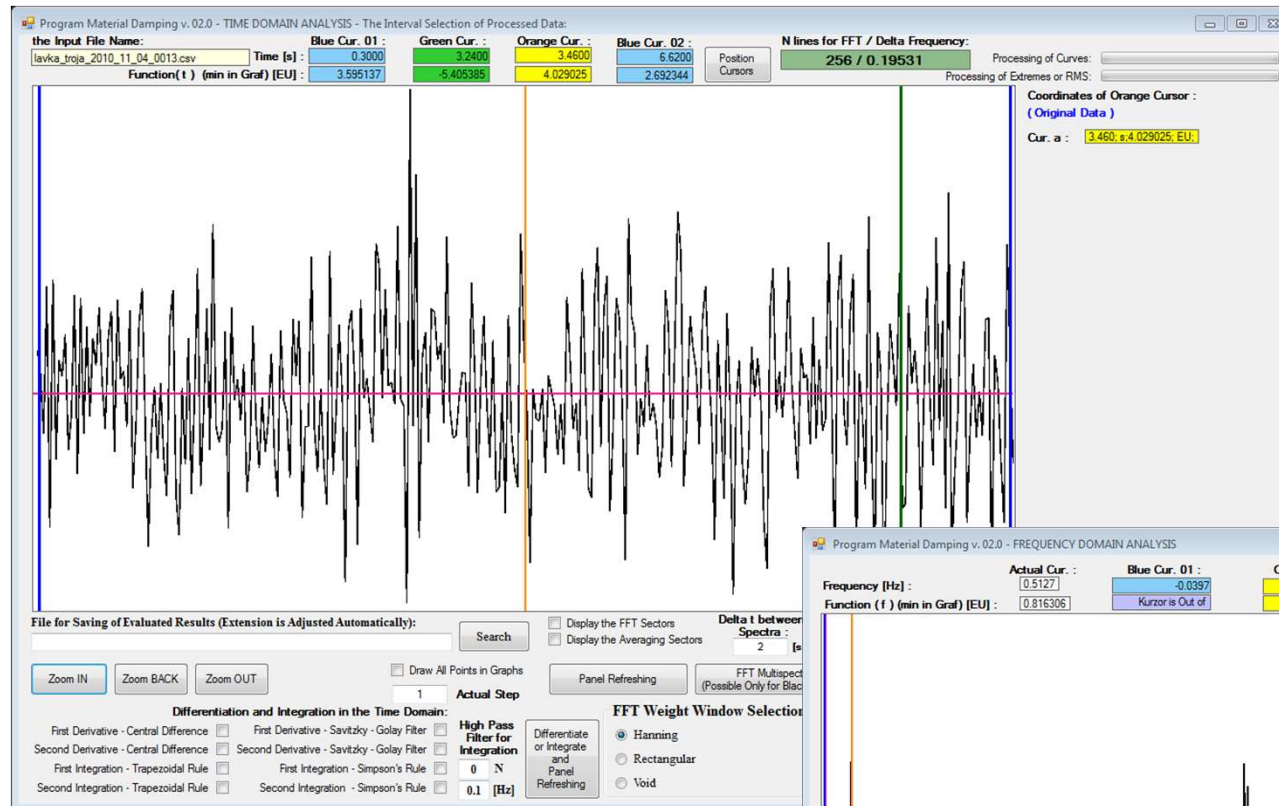
Budící síla typu Random:

Budící síla typu Random - ideální obraz ve frekvenční oblasti



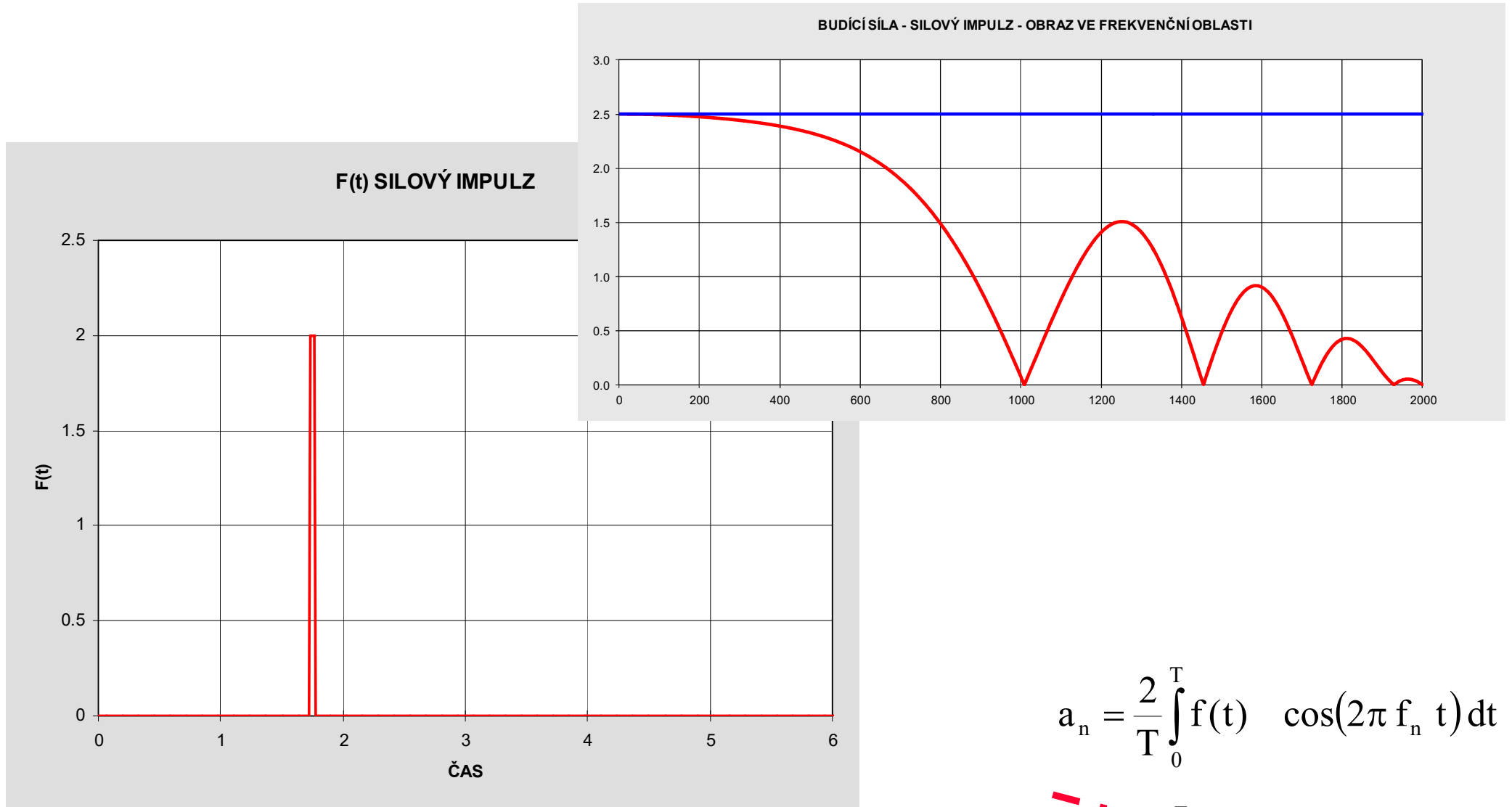
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Budící síla typu Random:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Budící síla typu Silový impulz:



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

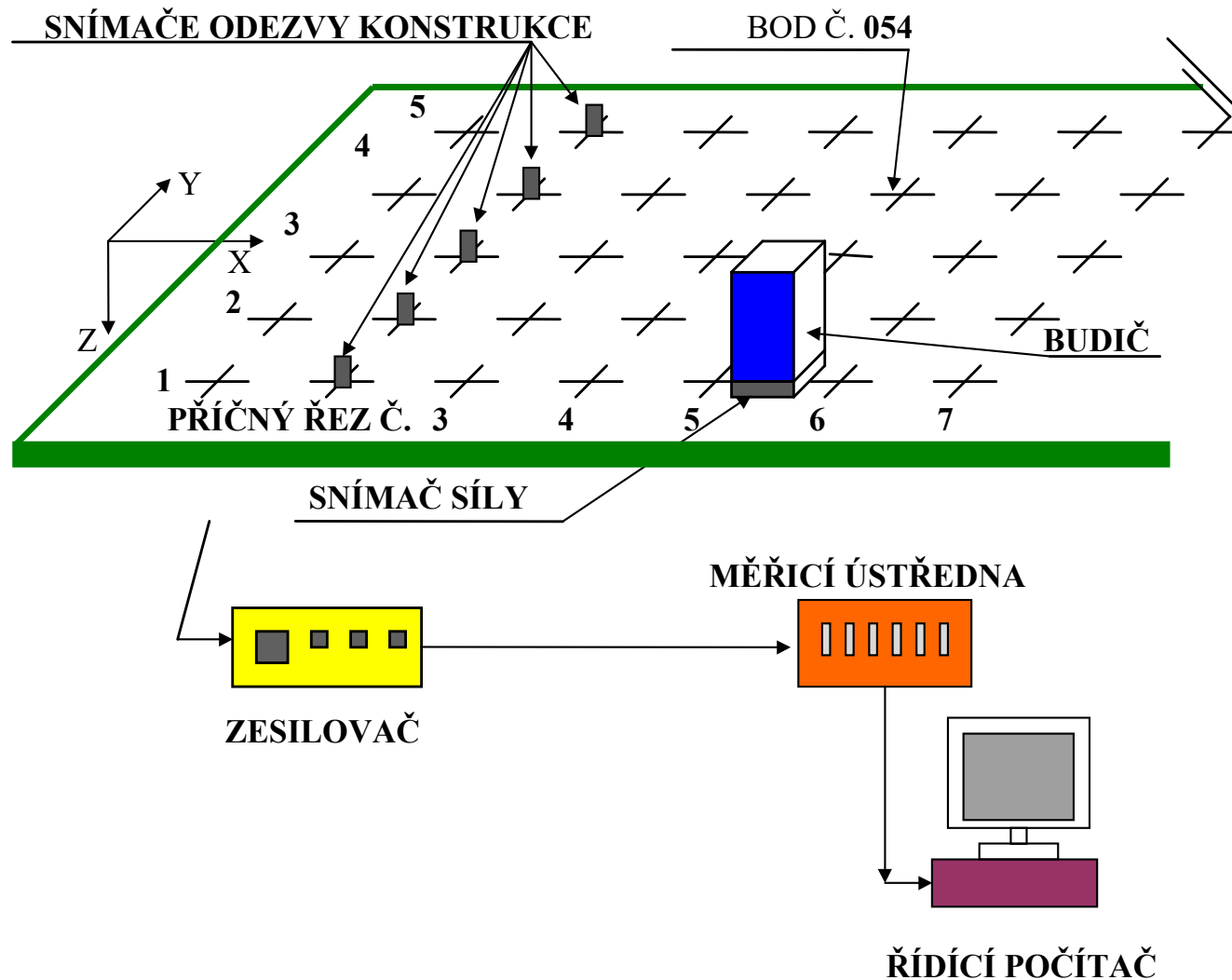
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi f_n t) dt$$

~~$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi f_n t) dt$$~~

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

FVT – stručný popis metodiky experimentálního určování charakteristik vlastního kmitání:

Schéma uspořádání měření:



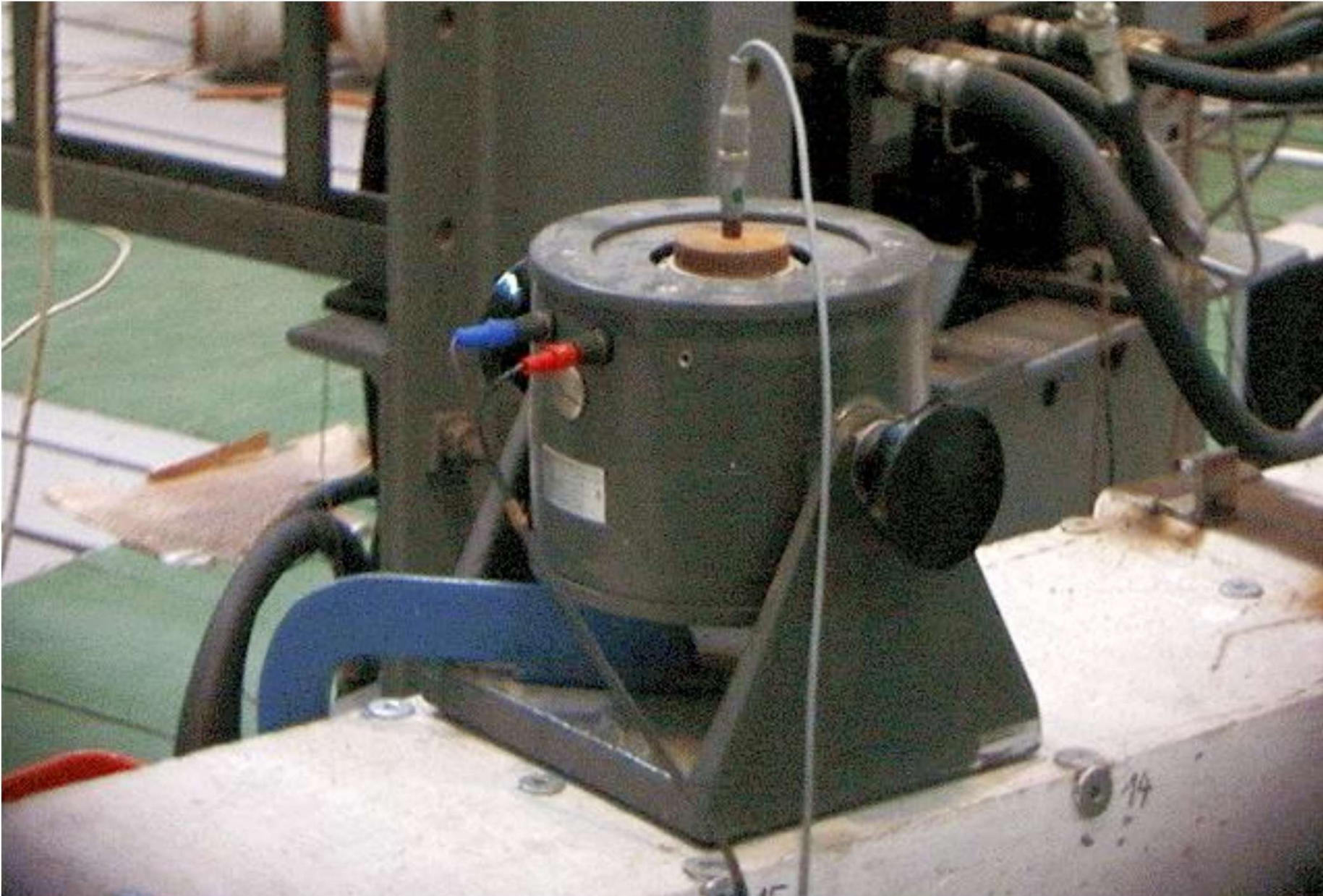
Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Měření budící síly - snímač síly:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

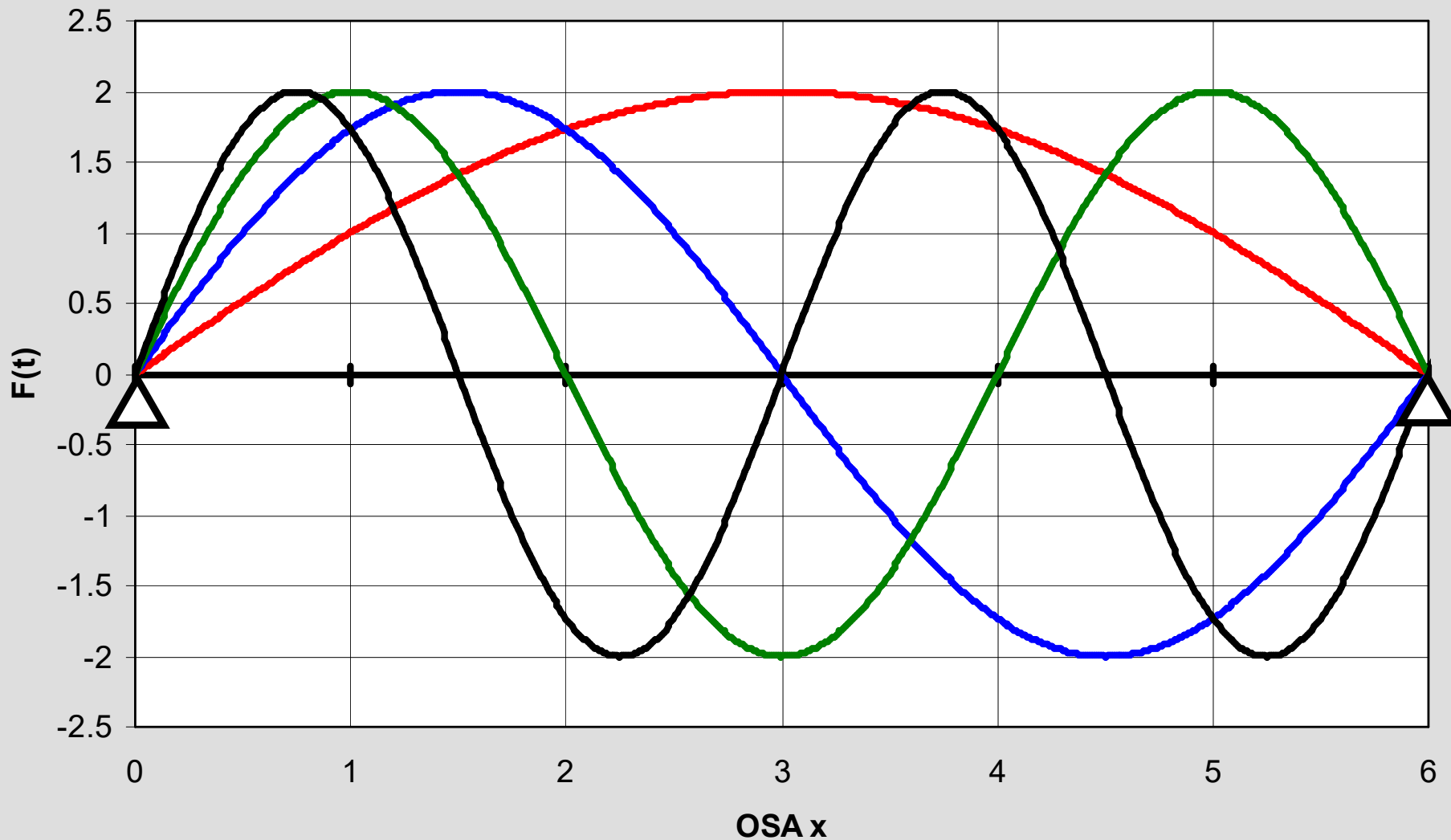
Měření budící síly - snímač zrychlení:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Poloha budícího bodu:

TVARY VLASTNÍHO KMITÁNÍ - PROSTÝ NOSNÍK



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Poloha budícího bodu:

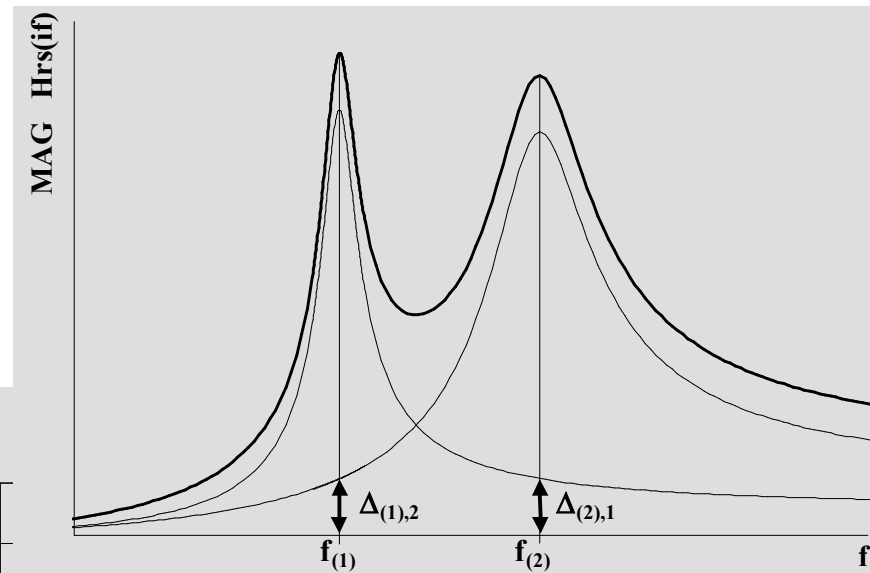
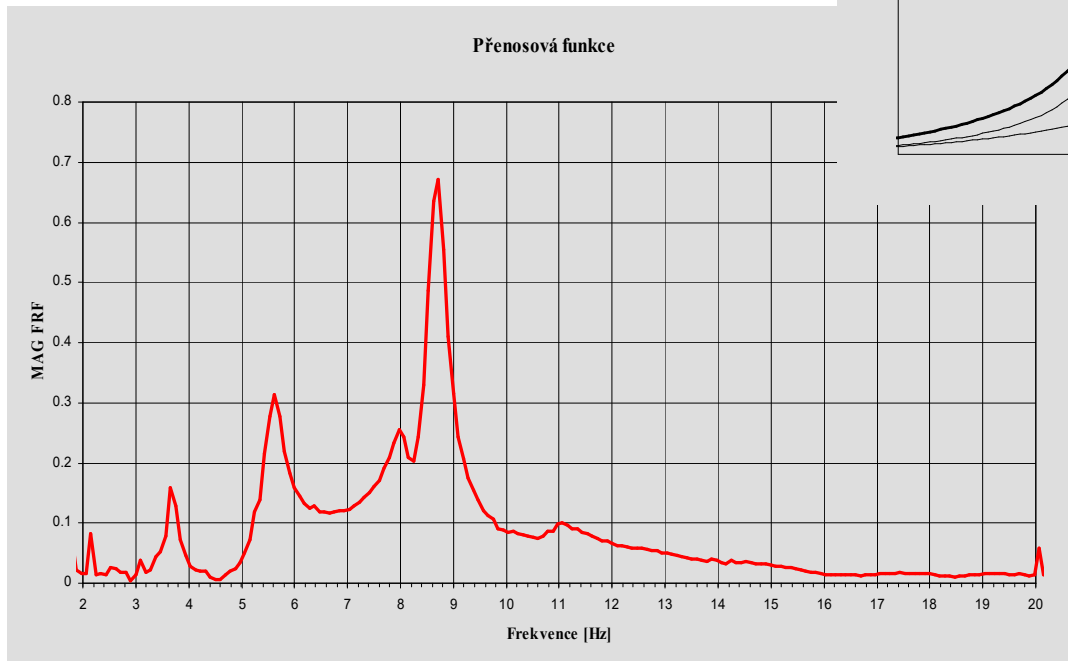
- **Ve zkoumané frekvenční oblasti – zachytit všechny významné tvary vlastního kmitání.**
- **Každý z hledaných vlastních tvarů by v budícím bodu měl mít co největší pořadnici.**
- **Uzel vlastního tvaru => neschopnost vlastní tvar a s ním svázanou vlastní frekvenci vybudit.**
- **Výhodné je vycházet z výsledků výpočtu.**
- **Někdy je potřebné během experimentu použít více budících bodů.**

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

FVT – zpracování výsledků měření a vyhodnocení charakteristik vlastního kmitání:

Přenosová funkce (FRF):

$$H_{rS}(if) = \frac{\ddot{w}_r(if)}{F_S(if)}$$

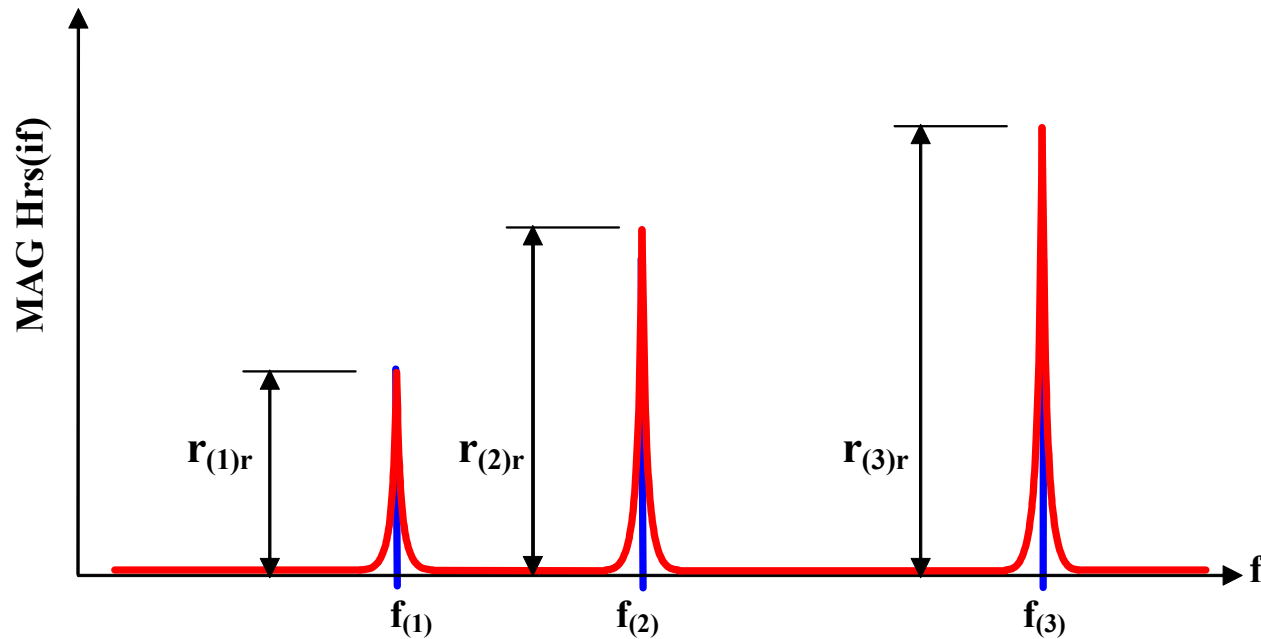


- vlastní frekvence,
- vlastní tvary,
- jim příslušný útlum.

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

FVT – zpracování výsledků měření a vyhodnocení charakteristik vlastního kmitání:

Přenosová funkce (FRF) – vyhodnocení $f_{(j)}$ a $r_{(j)}$:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

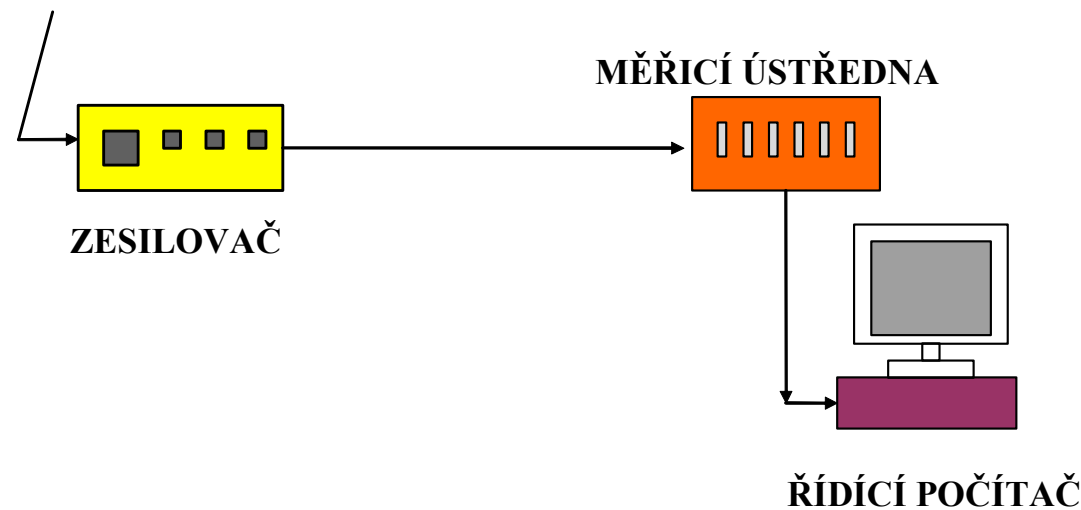
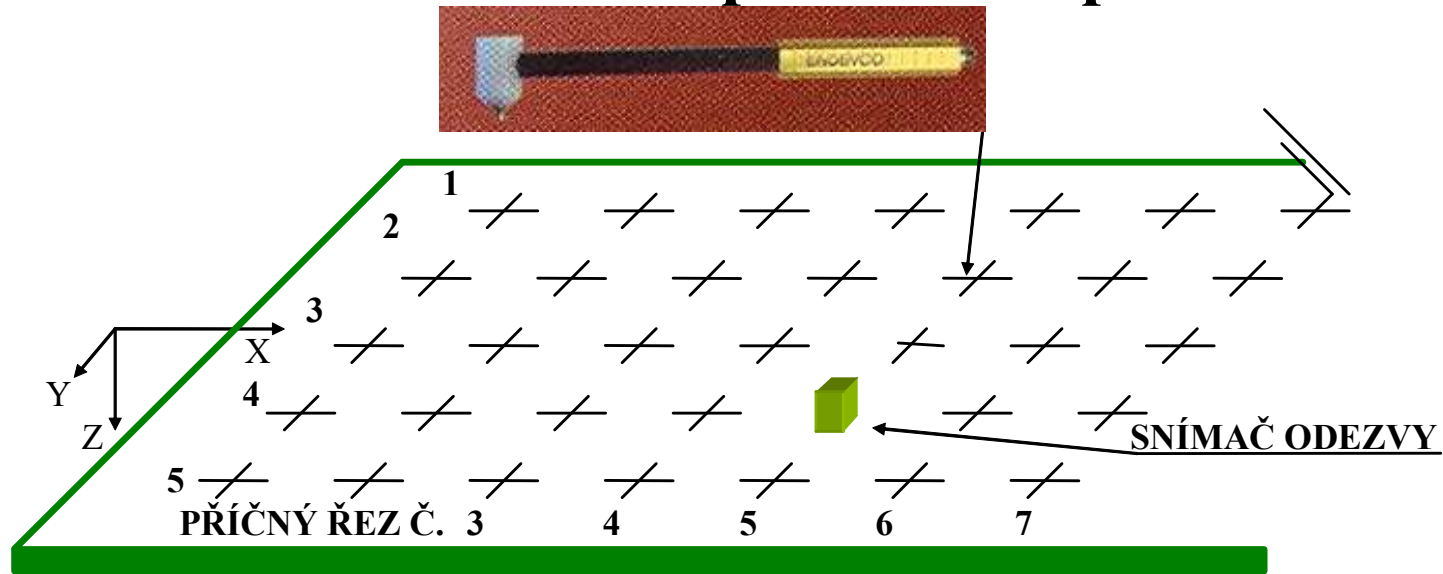
Rozmístění snímačů v příčném řezu konstrukce:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

FVT – stručný popis metodiky experimentálního určování charakteristik vlastního kmitání:

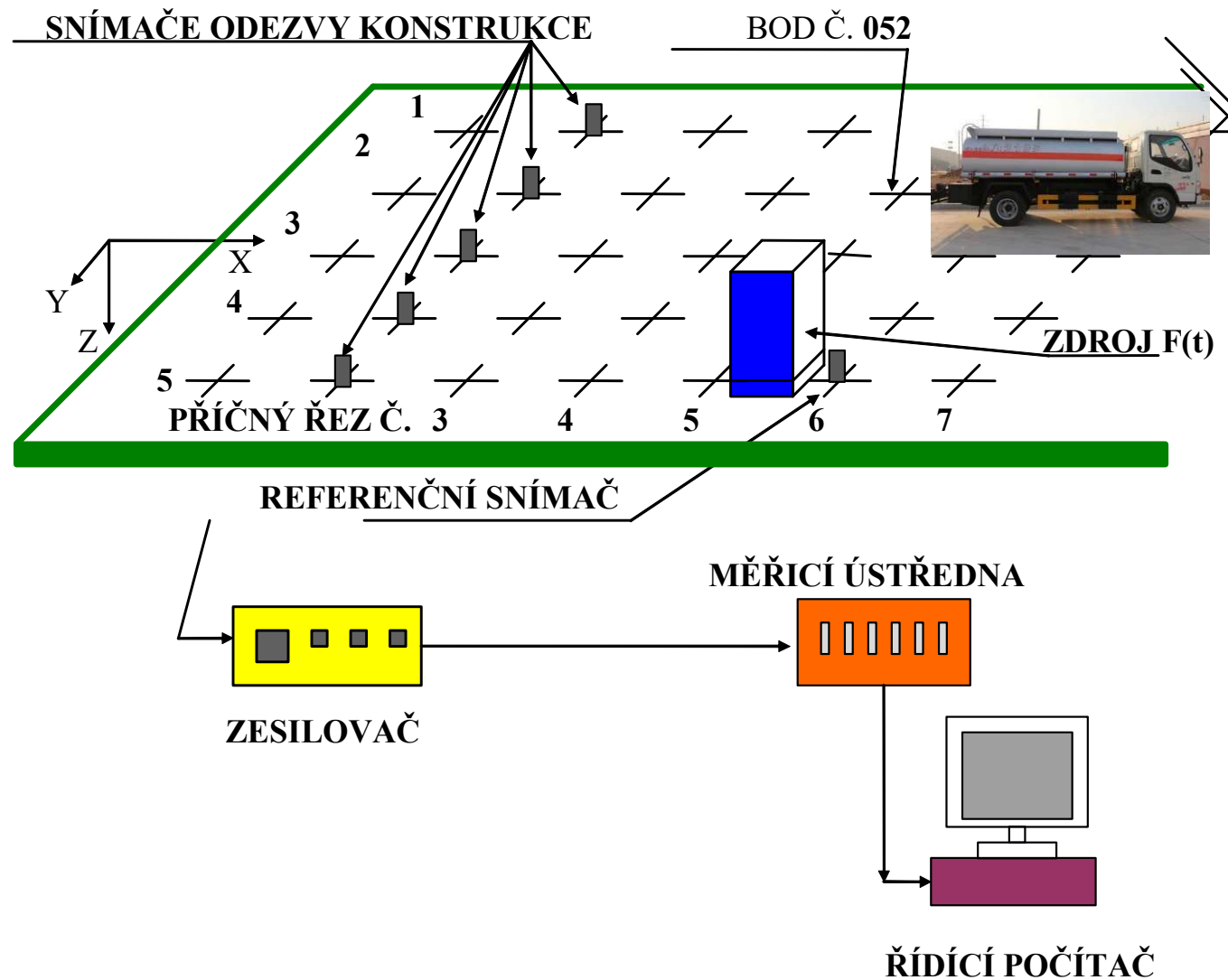
Schéma alternativního uspořádání experimentu:



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

AVT – stručný popis metodiky experimentálního určování charakteristik vlastního kmitání:

Schéma uspořádání experimentu:

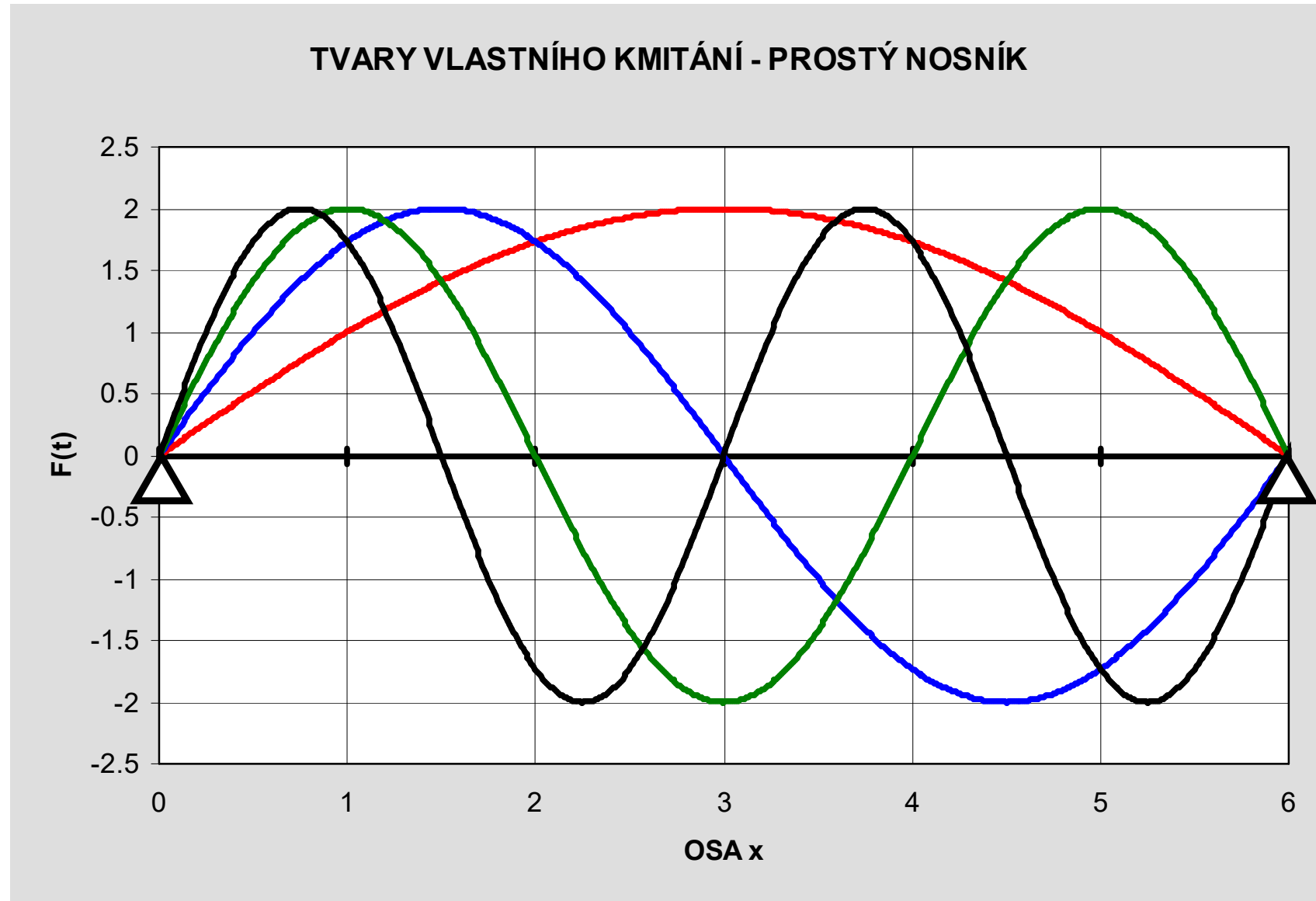


Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Poloha referenčního bodu – podmínky shodné s polohou budícího bodu:

- **Ve zkoumané frekvenční oblasti – zachytit všechny významné tvary vlastního kmitání.**
- **Každý z hledaných vlastních tvarů by v referenčním bodu měl mít co největší pořadnici.**
- **Uzel vlastního tvaru => neschopnost tvar normovat.**
- **Výhodné je vycházet z výsledků výpočtu.**
- **Někdy je potřebné při experimentu použít více referenčních bodů. Výhodné je, že ve všech referenčních bodech je možné měřit současně.**

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání: Poloha referenčního bodu – podmínky shodné s polohou budícího bodu:

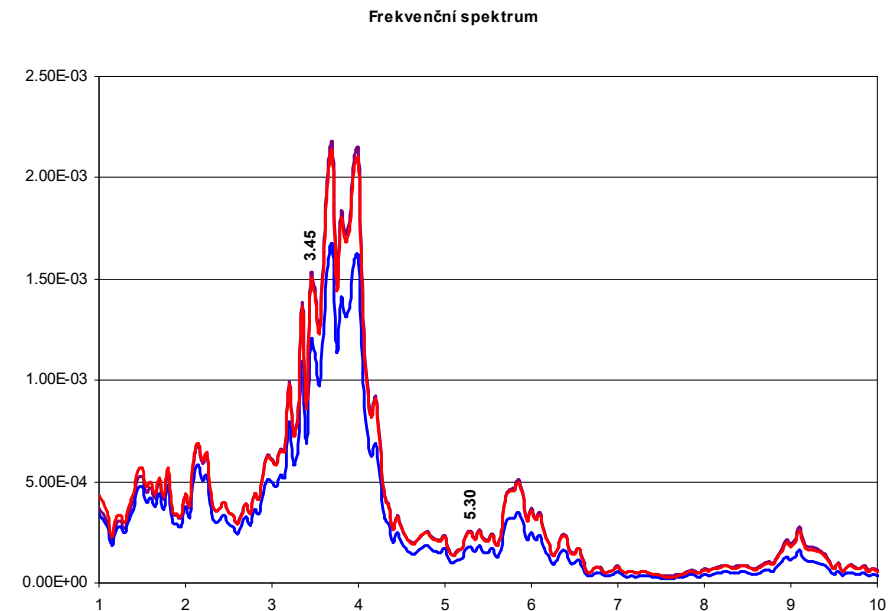
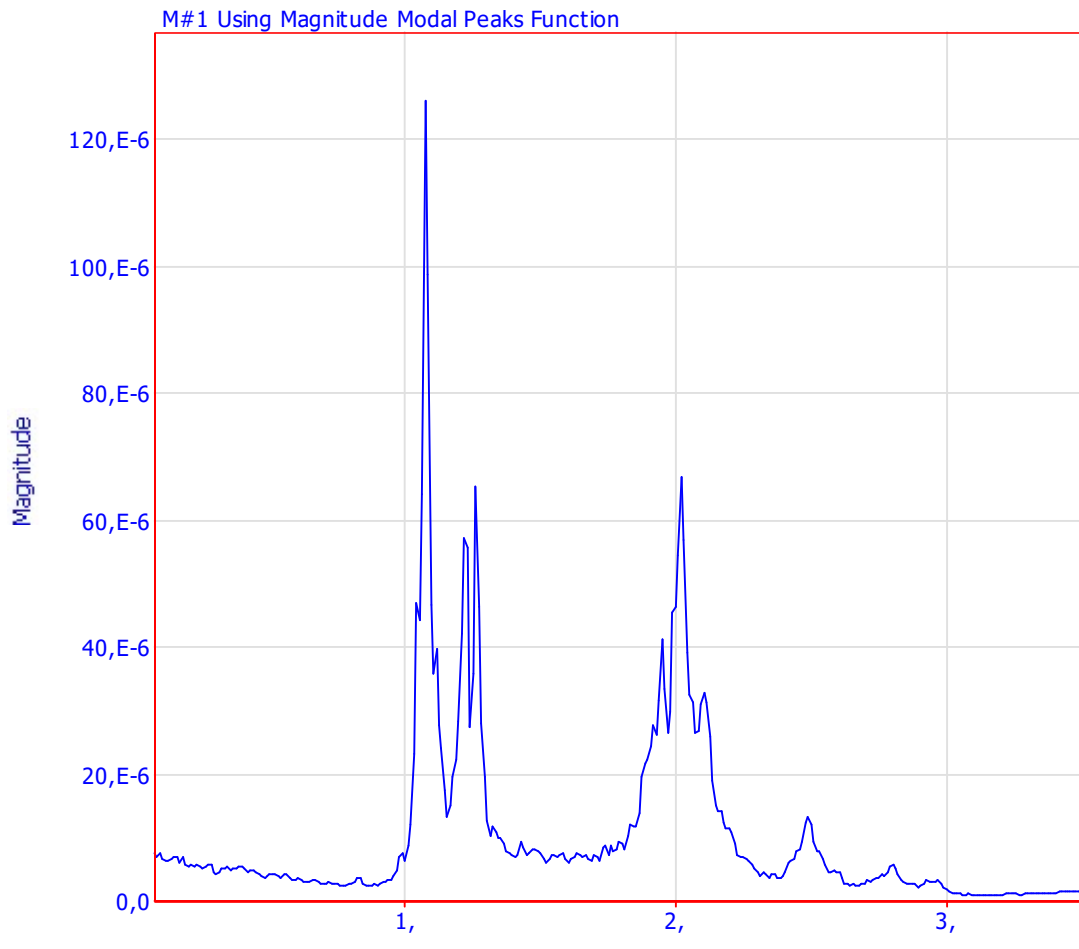


Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

AVT – zpracování výsledků měření a vyhodnocení charakteristik vlastního kmitání:

Vlastní frekvence:

- Průměrovaná frekvenční spektra dynamické odezvy.



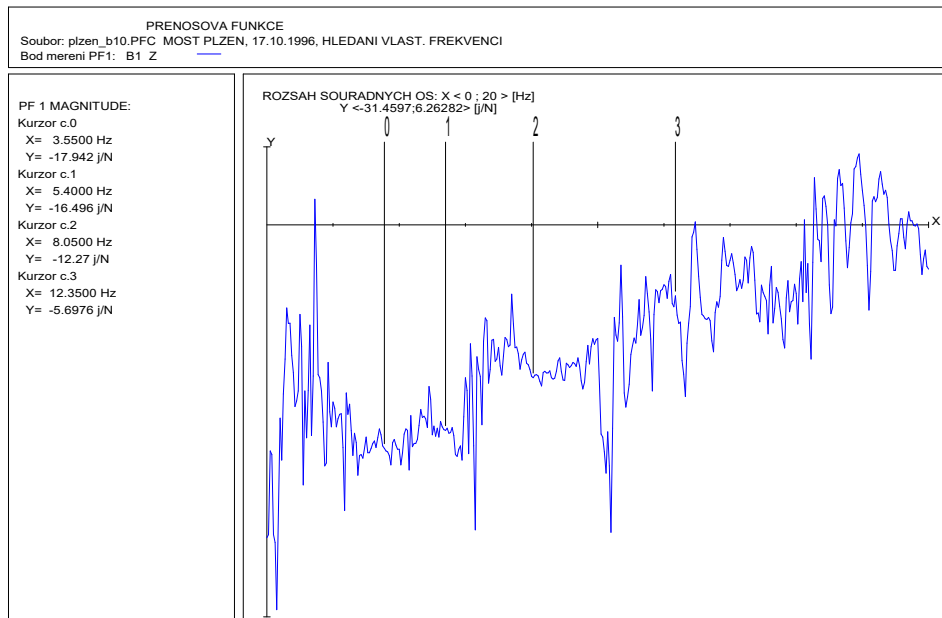
- vlastní frekvence,
- útlum.

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

AVT – zpracování výsledků měření a vyhodnocení charakteristik vlastního kmitání:

„Přenosová“ funkce:

$$\Psi_{rR}(if) = \frac{W_r(if)}{W_R(if)}$$



● **Vlastní tvary**

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

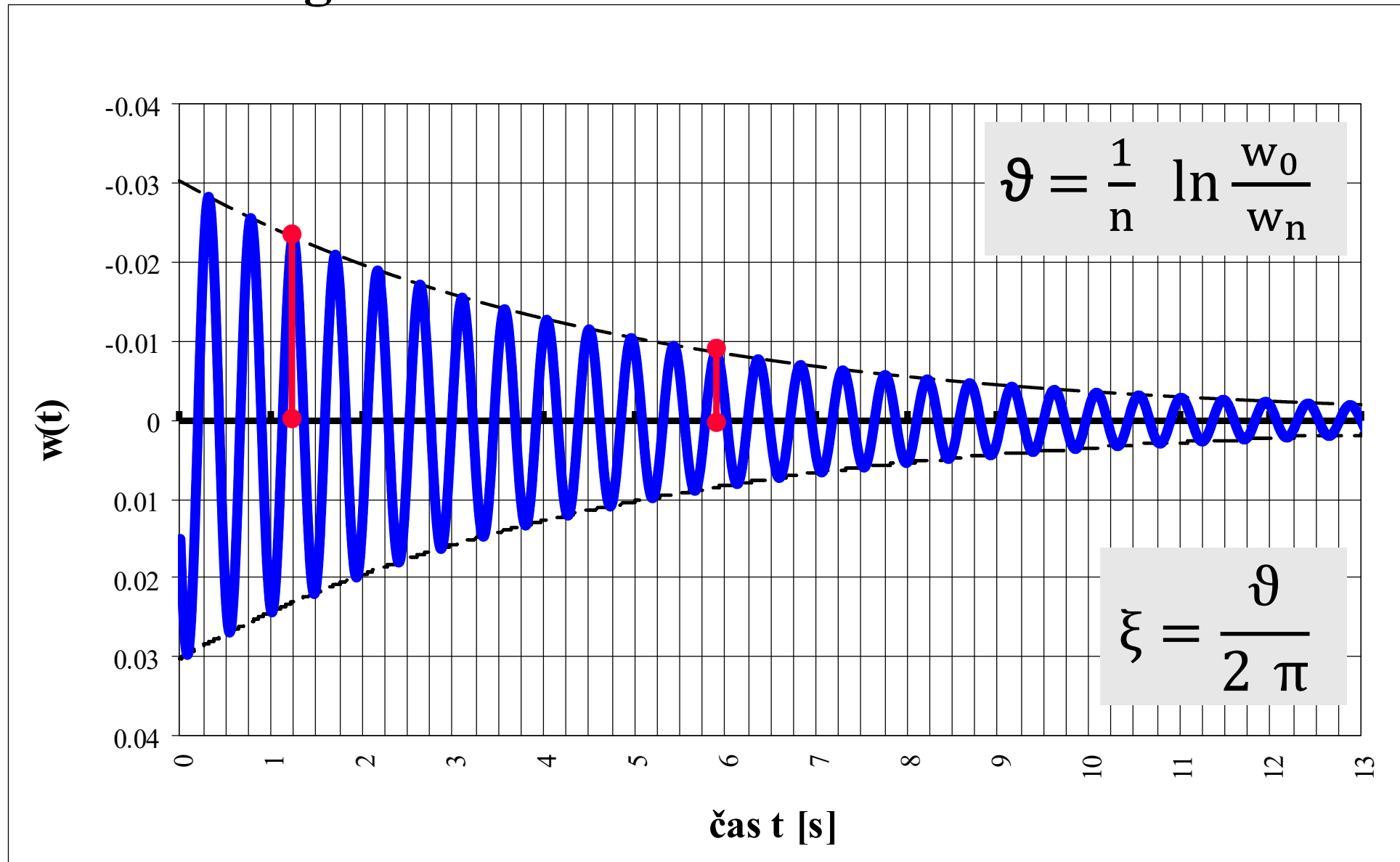
Útlum – vyhodnocení z výsledků experimentu:

- **časový průběh dokmitání konstrukce - volné tlumené kmitání,**
- **šířka rezonančního pásma.**
- **přenosová funkce (FRF) – proložení teoretické křivky,**
- **frekvenční multispektra volného tlumeného kmitání.**

Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Útlum – vyhodnocení z dokmitání konstrukce:

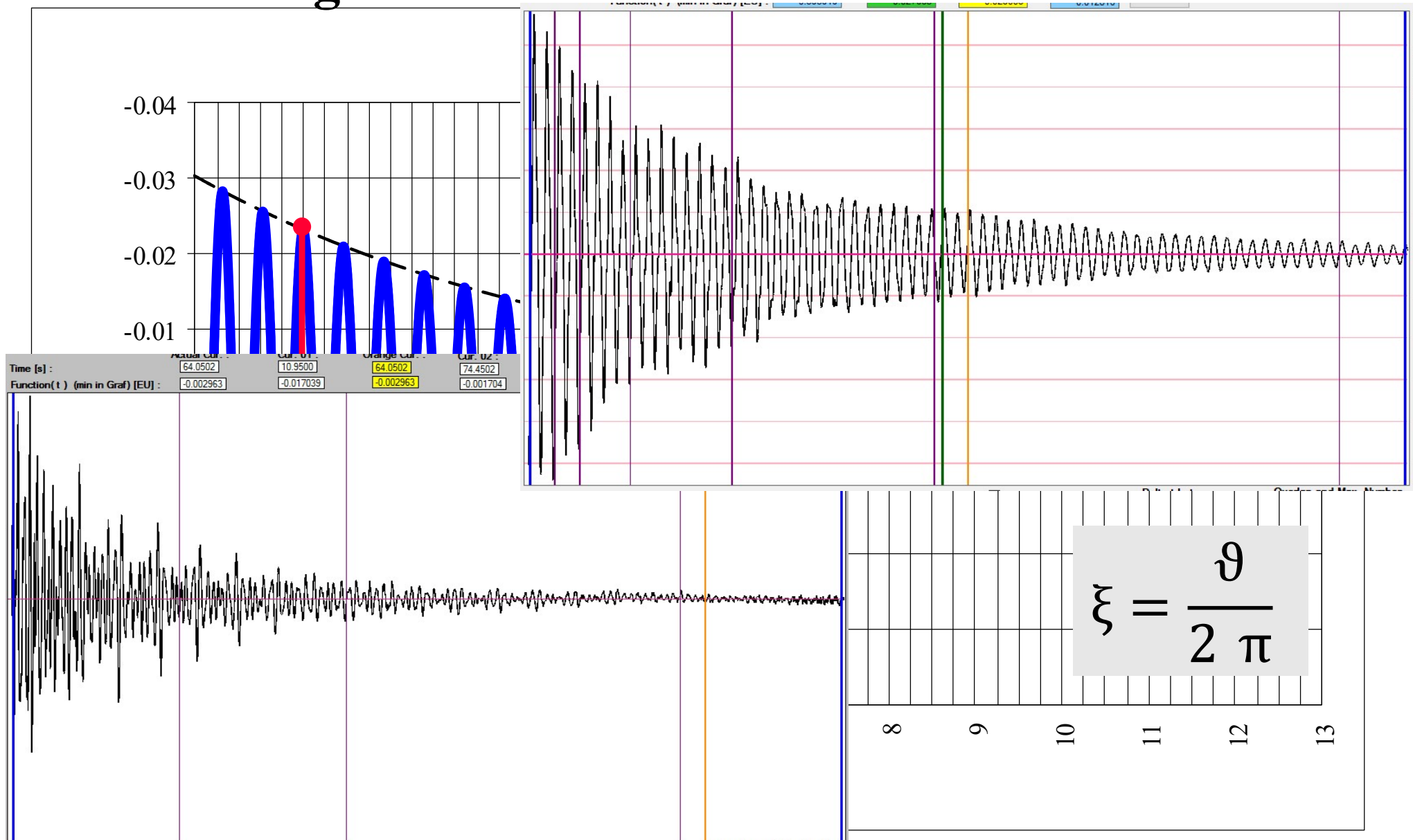
Stanovení logaritmického dekrementu útlumu \mathfrak{D} :



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Útlum – vyhodnocení z dokmitání konstrukce:

Stanovení logaritmického dekrementu útlumu \mathcal{D} :

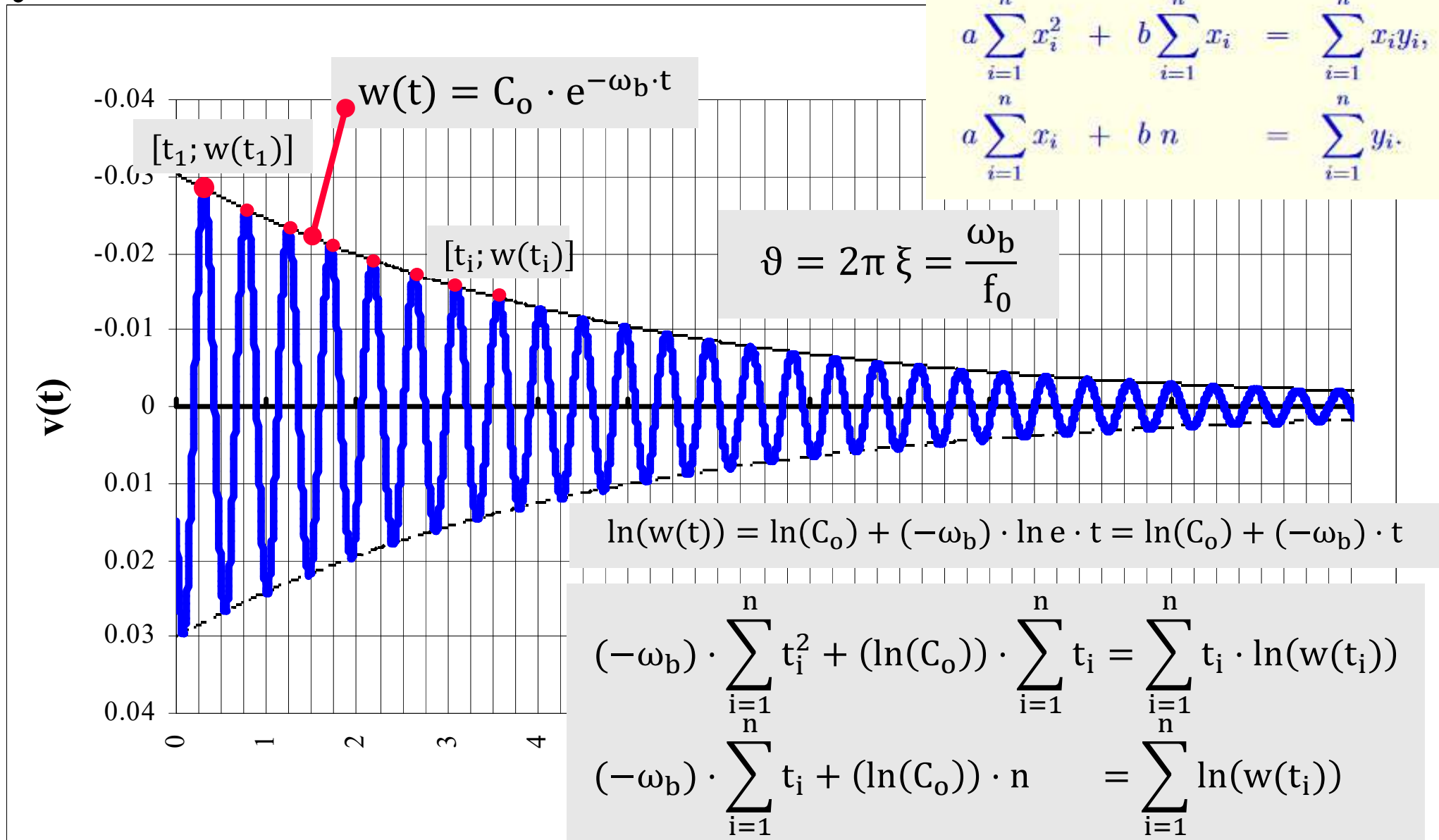


Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Útlum – vyhodnocení z dokmitání konstrukce:

Využití MNČ:

$$y = ax + b$$



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Útlum – ze šířky rezonančního pásma:

$$\text{loss factor} \Rightarrow \eta_n = \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 - 1}} \right) \frac{\Delta f}{f_0} \quad \text{kde} \quad x = 10^{\frac{n}{20}}$$

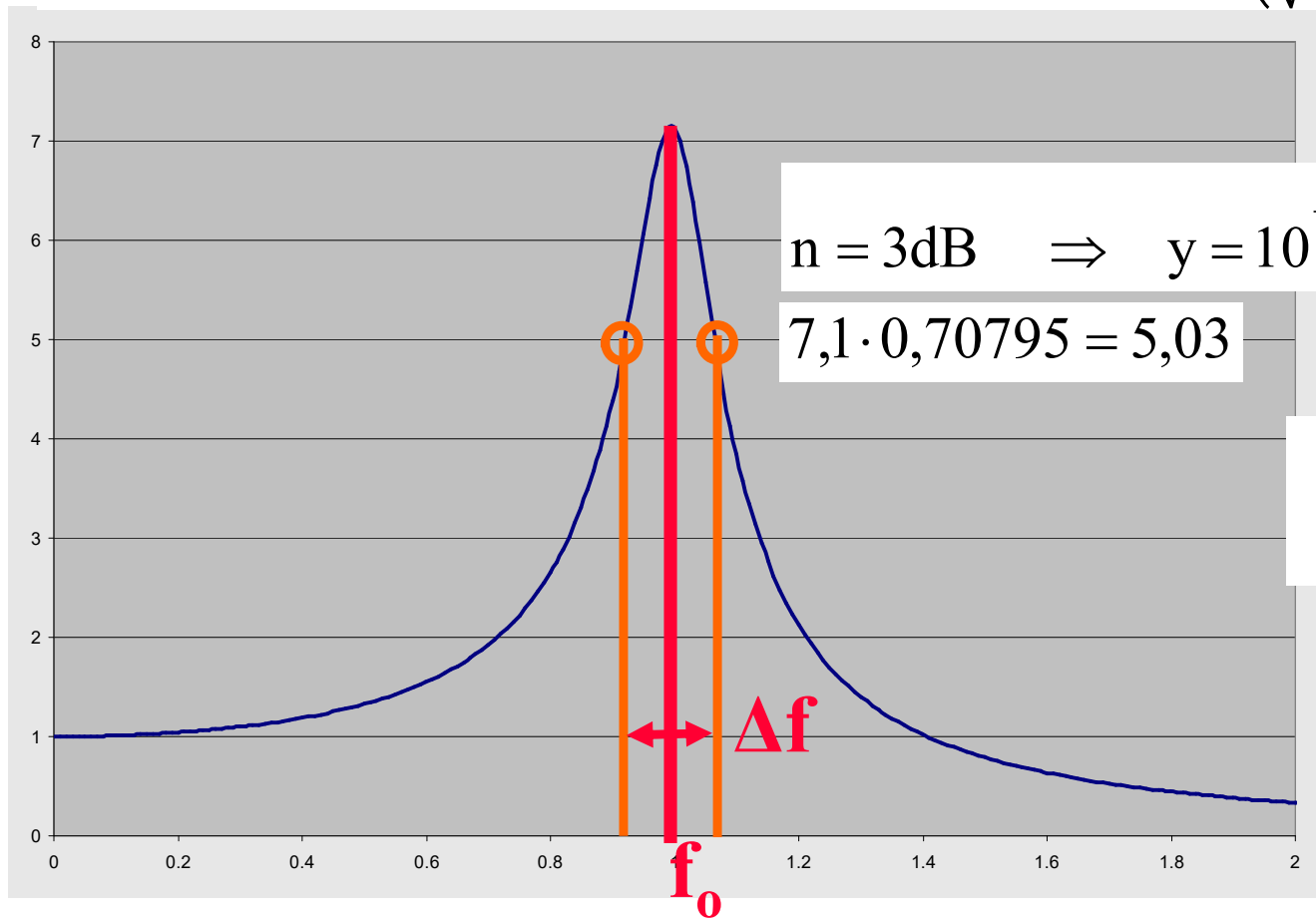
$$n = 3\text{dB} \Rightarrow x = 10^{+\frac{3}{20}} = 1,4125 \quad \eta_{n=3} = \left(\frac{1}{\sqrt{1,4125^2 - 1}} \right) \frac{\Delta f}{f_0} = 1,002 \frac{\Delta f}{f_0}$$

$$\eta_{n=3} = \frac{\Delta f}{f_0}$$

$$n = 3\text{dB} \Rightarrow y = 10^{-\frac{3}{20}} = 0,70795$$

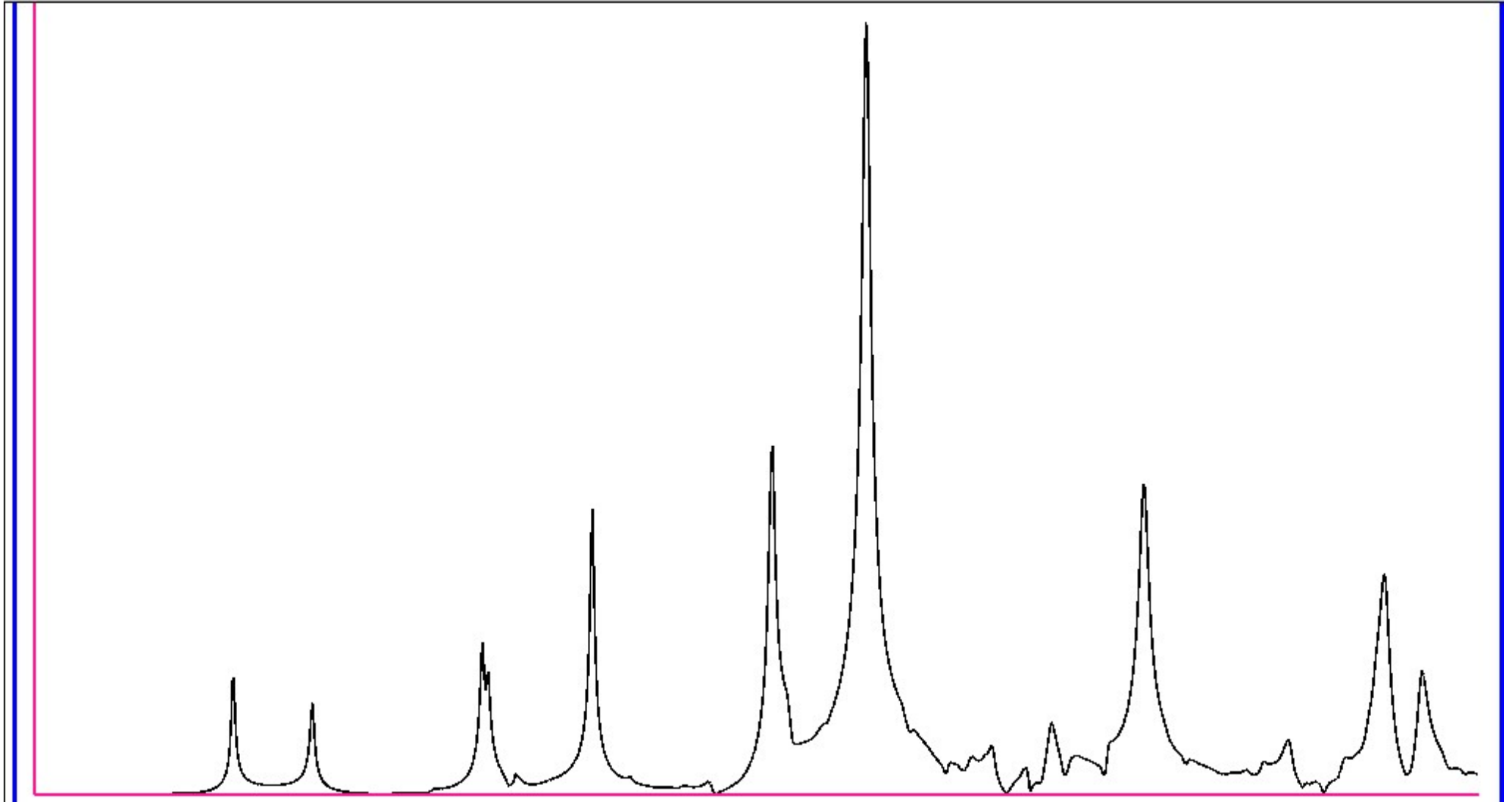
$$7,1 \cdot 0,70795 = 5,03$$

$$\vartheta = \pi \eta = 2\pi \xi = \frac{\omega_b}{f_0} = \frac{\pi \Delta f}{f_0}$$



Experimentální stanovení charakteristik vl. kmitání:

Útlum – ze šířky rezonančního pásma:

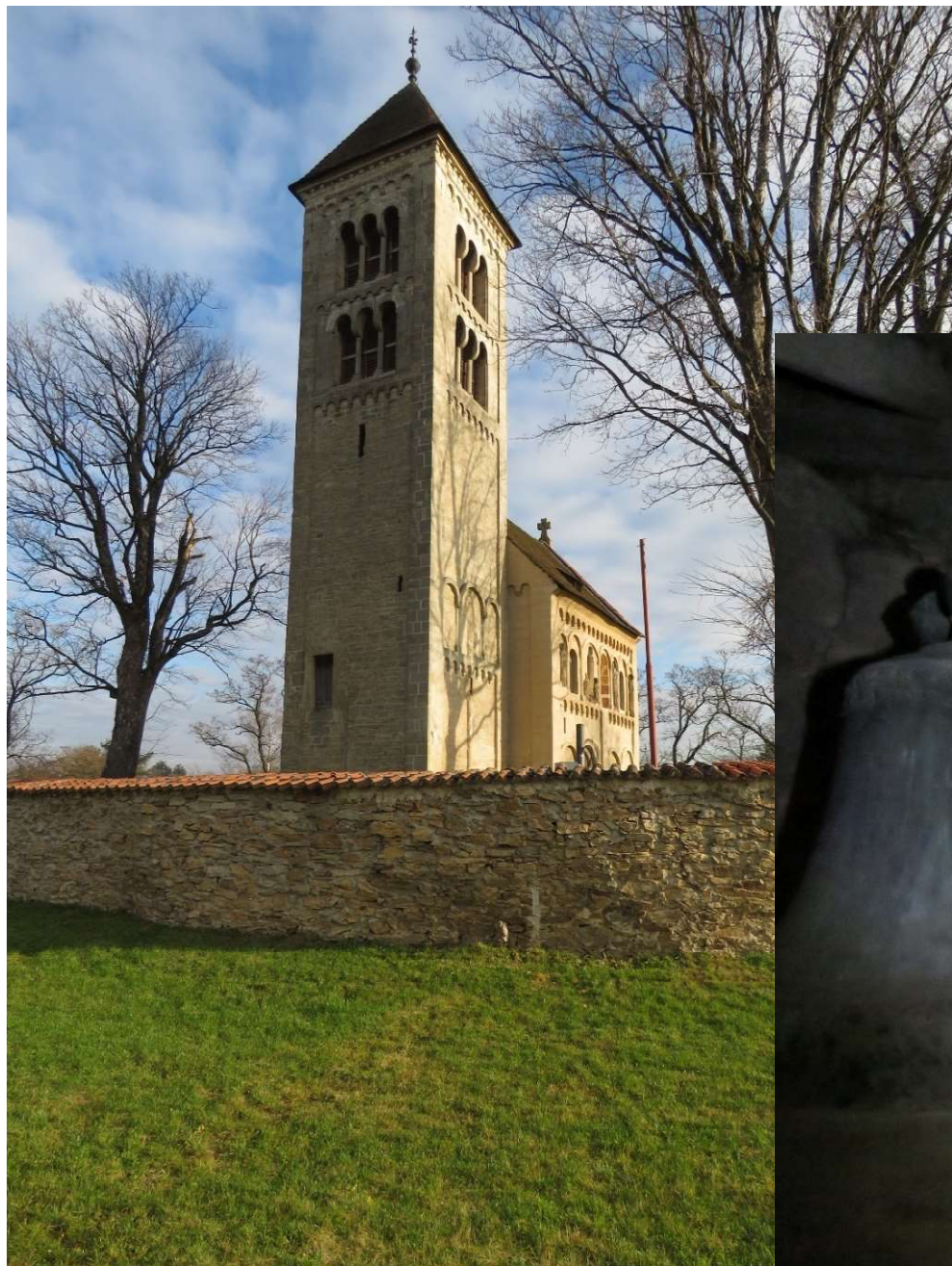


Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:
Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:



**Vysvěcen pražským
biskupem v roce 1165.**

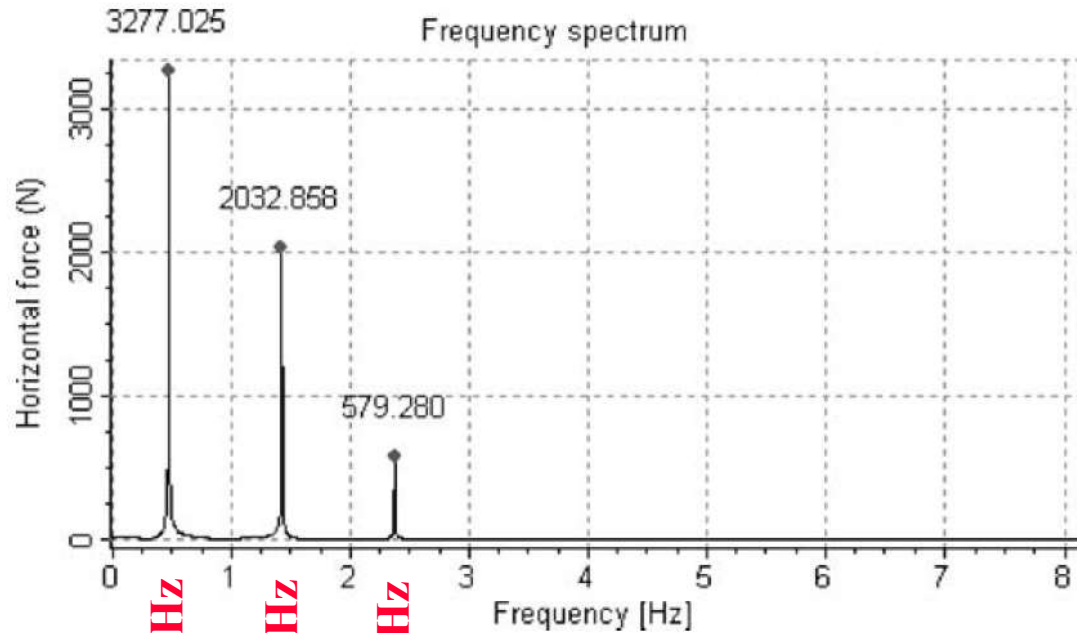
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:



**Je možné znovu zavěsit
zvony a začít s nimi
zvonit?**



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Románský kostel v Církvici u Kutné Hory: Systém uchycení zvonu – střední Evropa:



f = 0,473 Hz
f = 1,419 Hz
f = 2,365 Hz

Figure 17. Bell (3c), frequency analysis.

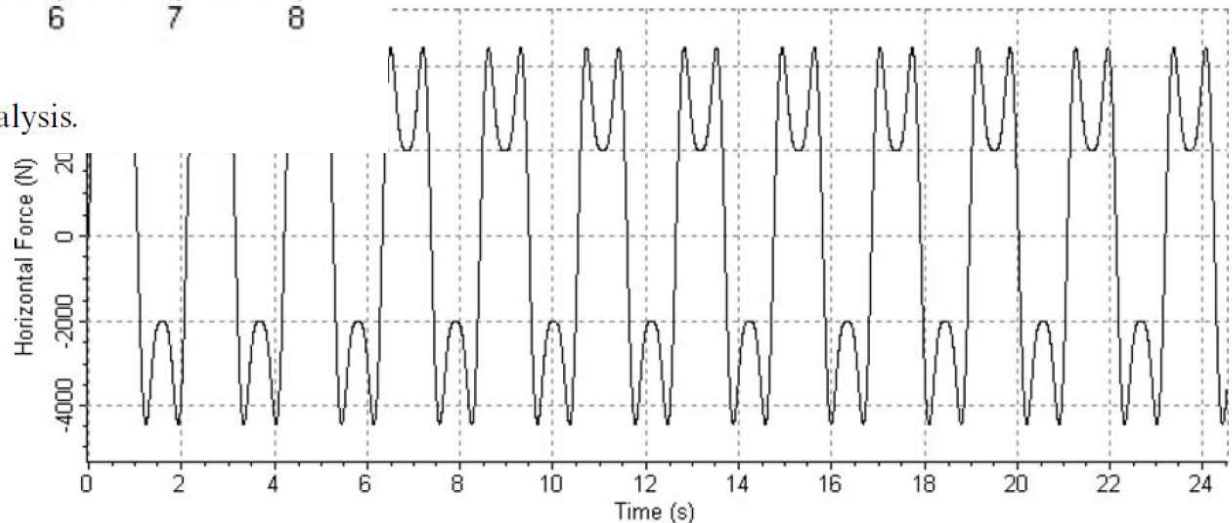


Figure 18. Time variation of the horizontal force induced by bell (3c).

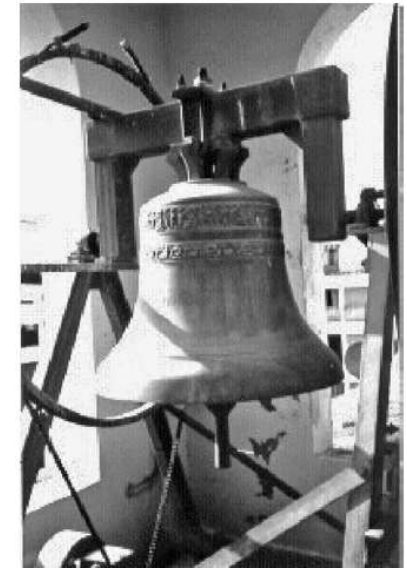


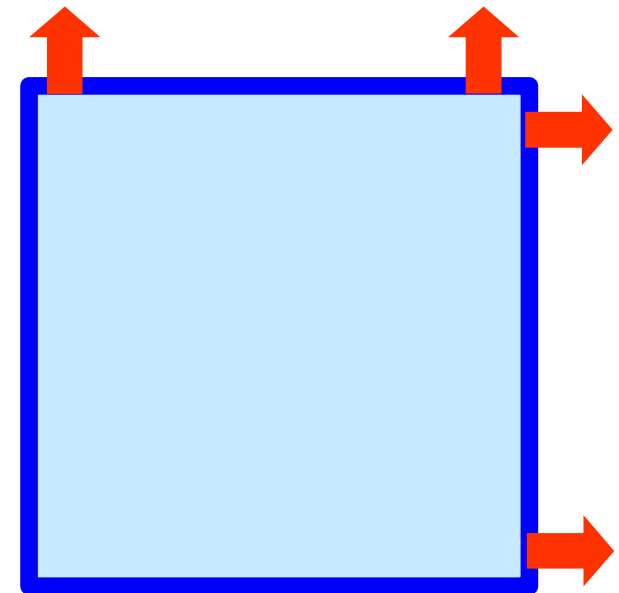
Figure 1. Central European system to swing bells.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:
Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:
Frekvence a tvary vlastního kmitání věže:



Dvě úrovně měření

Čtyři snímače na každé úrovni

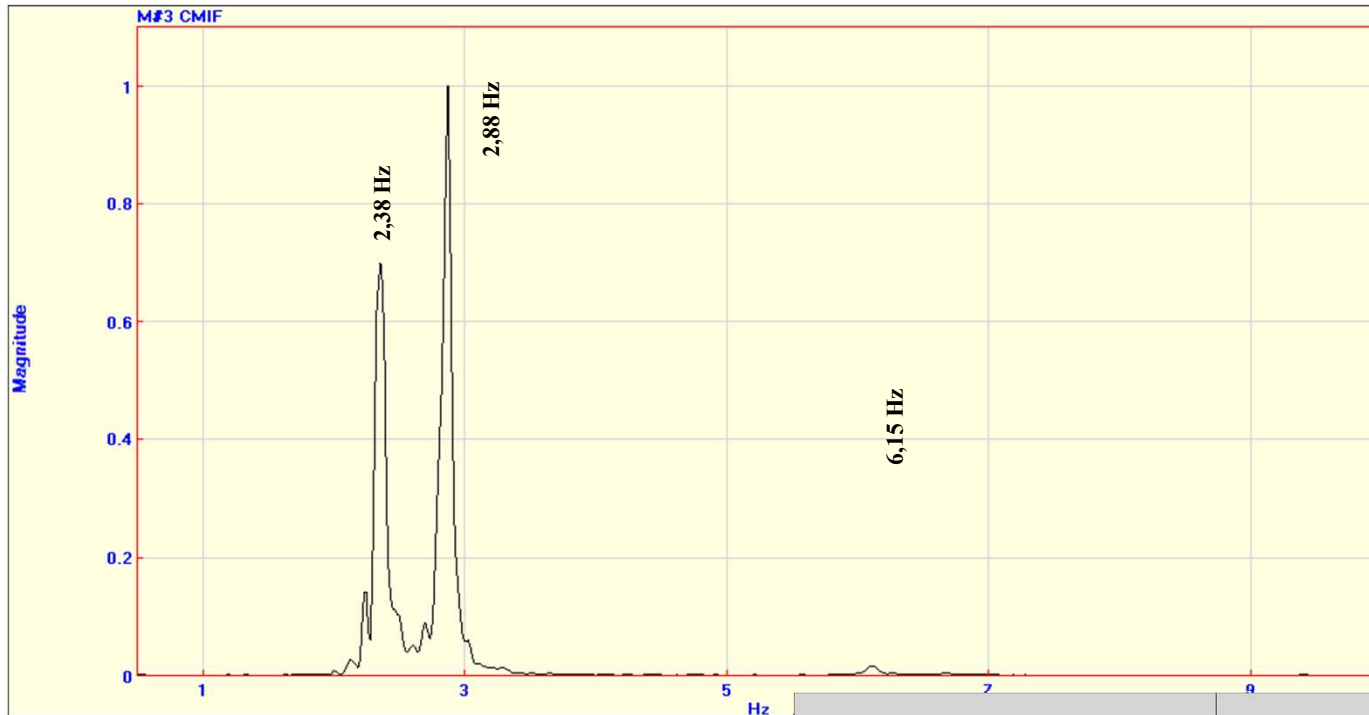


Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:
Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:
Použit systém AVT, rozkmitávání věže:

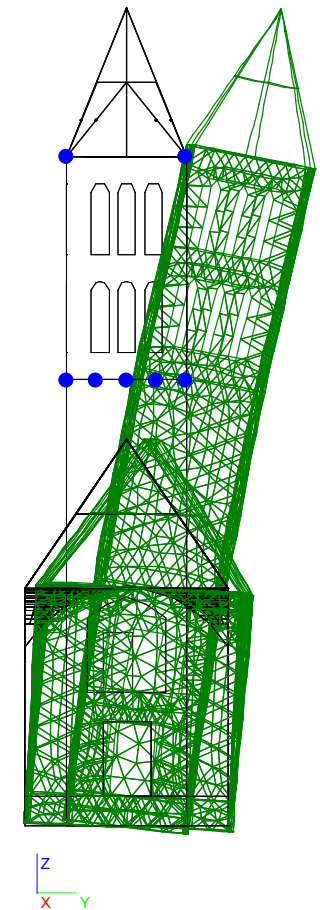
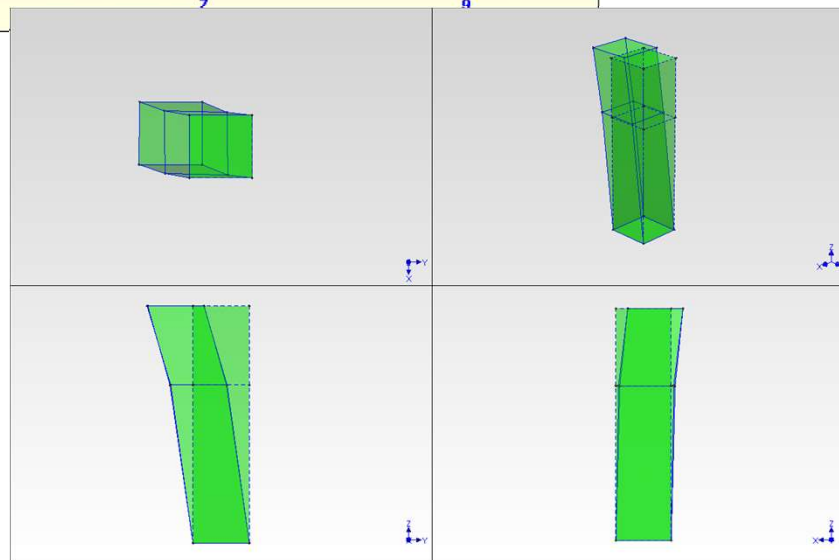


Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

1. vlastní frekvence a vlastní tvar kmitání věže:



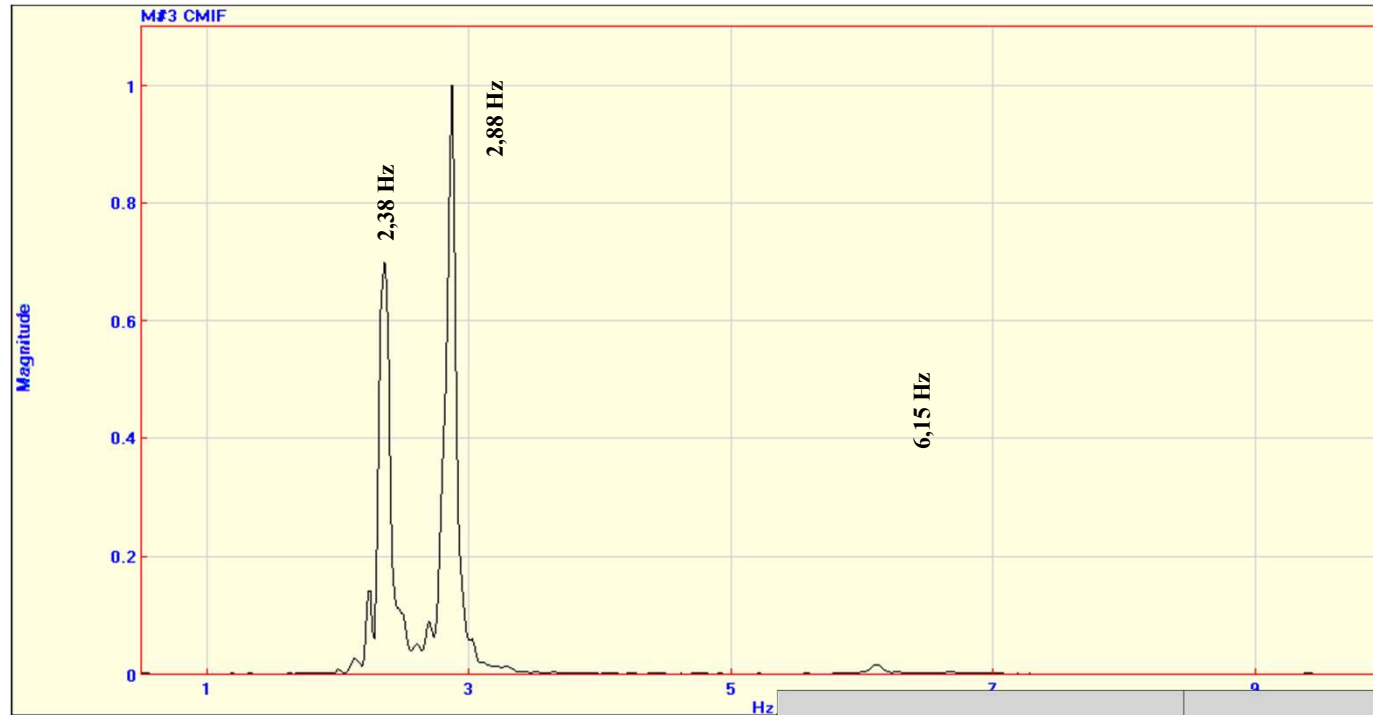
$$f_{(1)} = 2,38 \text{ Hz}$$



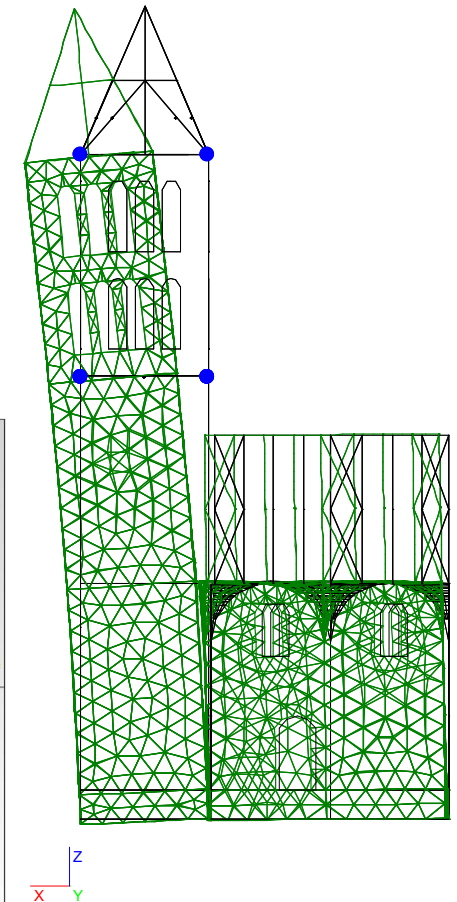
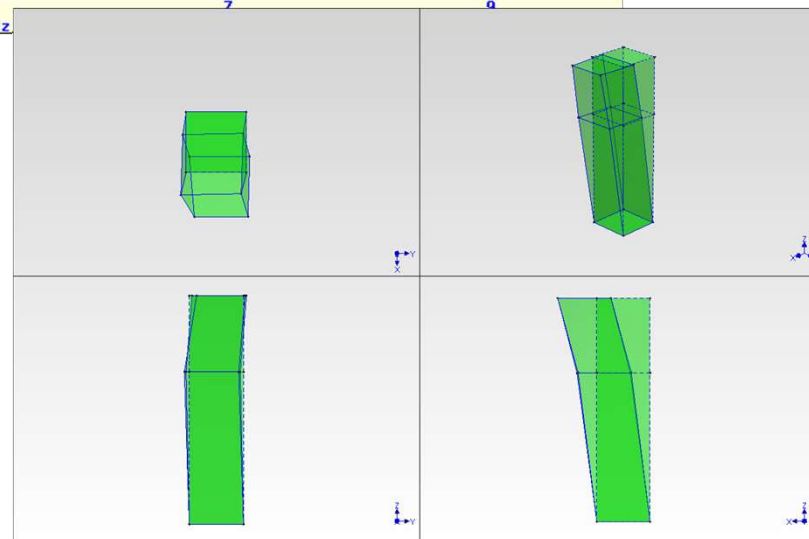
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

2. vlastní frekvence a vlastní tvar kmitání věže:



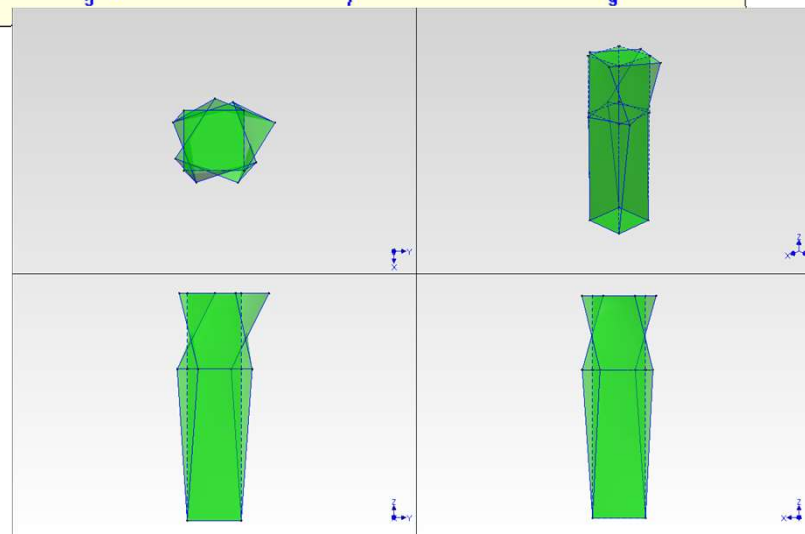
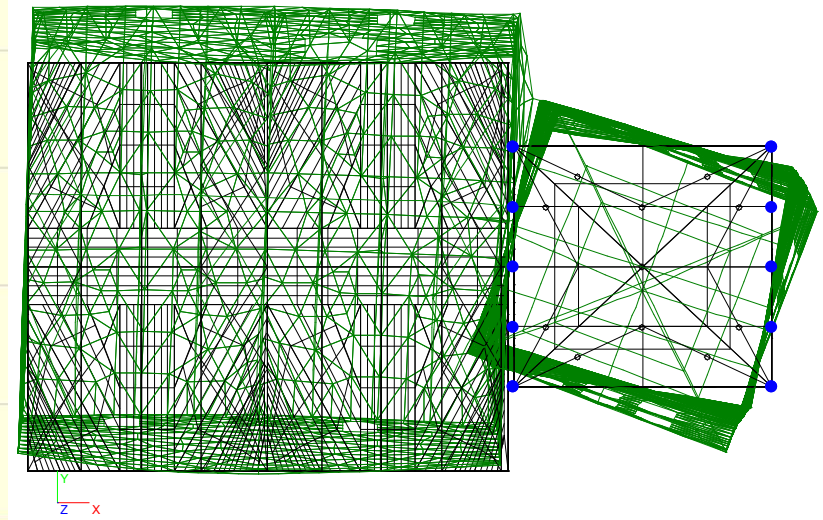
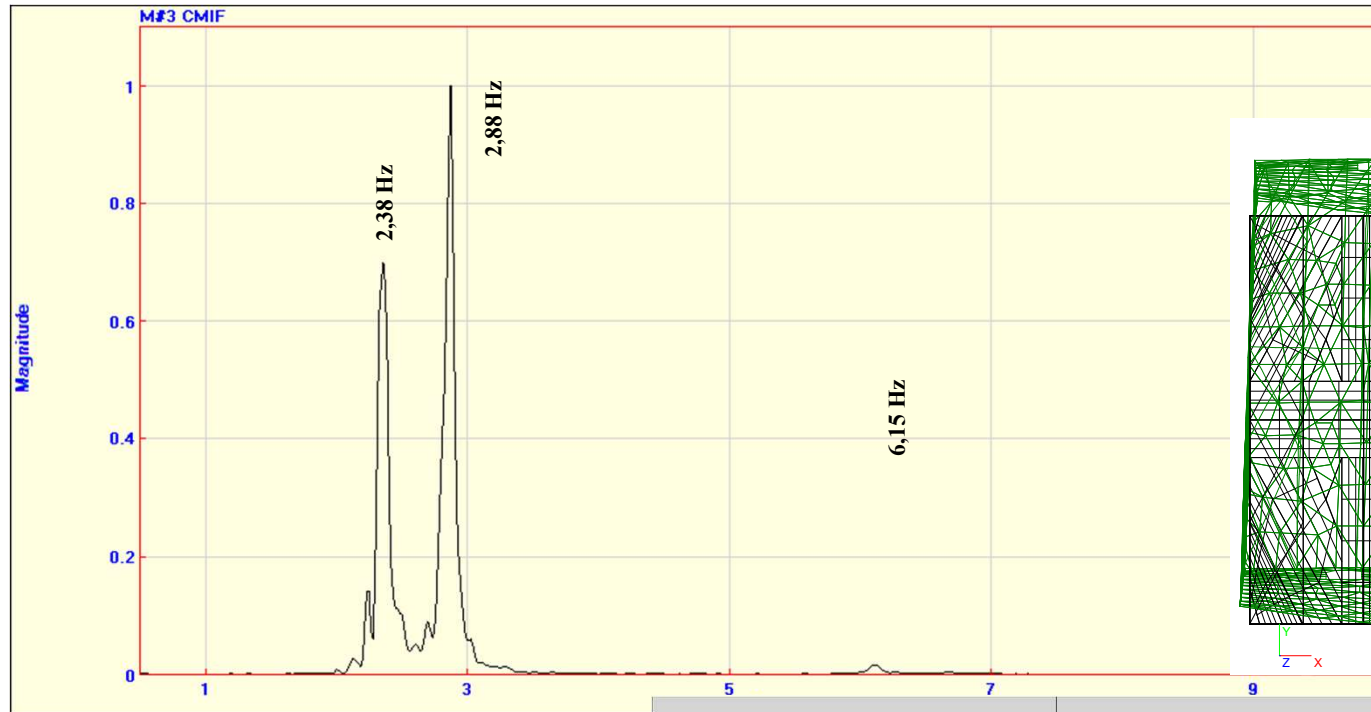
$$f_{(2)} = 2,88 \text{ Hz}$$



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

3. vlastní frekvence a vlastní tvar kmitání věže:



$$f_{(3)} = 6,15 \text{ Hz}$$

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

Odhad úrovně kmitání věže vyvolaného zvony:

$$f_z = 0,46 \text{ Hz}; 1,38; \mathbf{2,30};$$

$$f_z = 0,57 \text{ Hz}; 1,70; \mathbf{2,84};$$

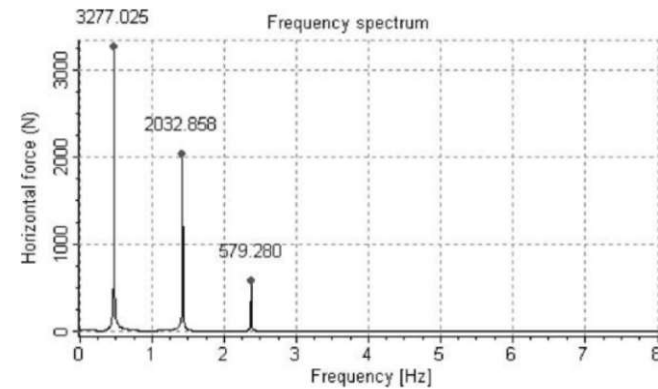
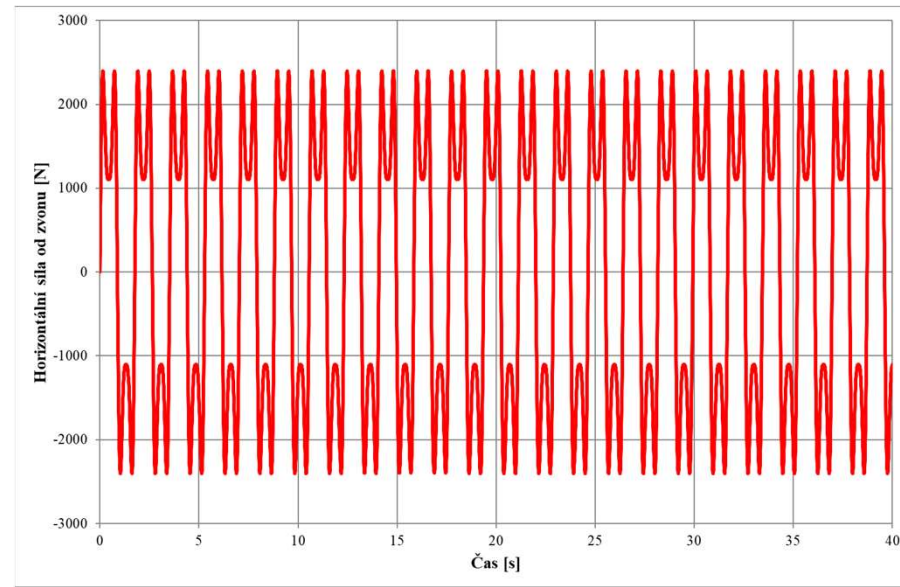
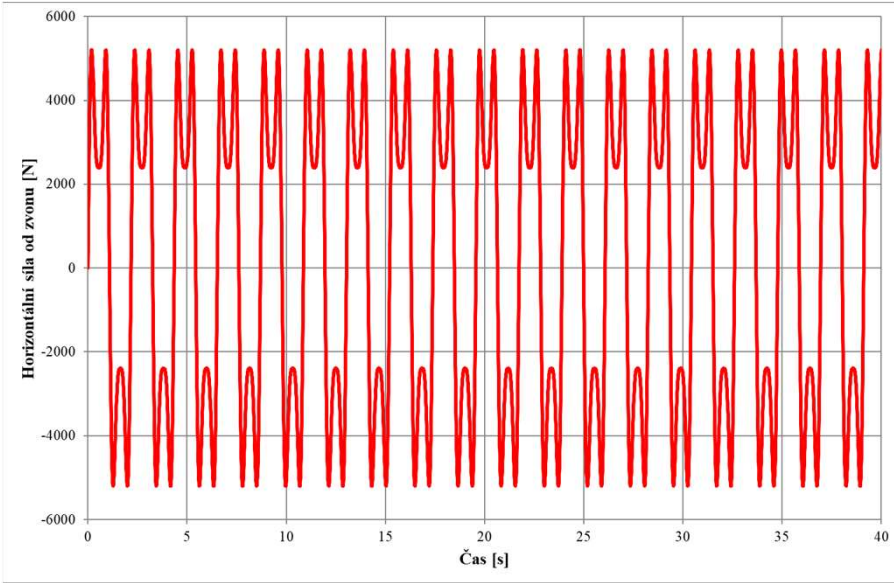


Figure 19. Bell (3c), frequency analysis.

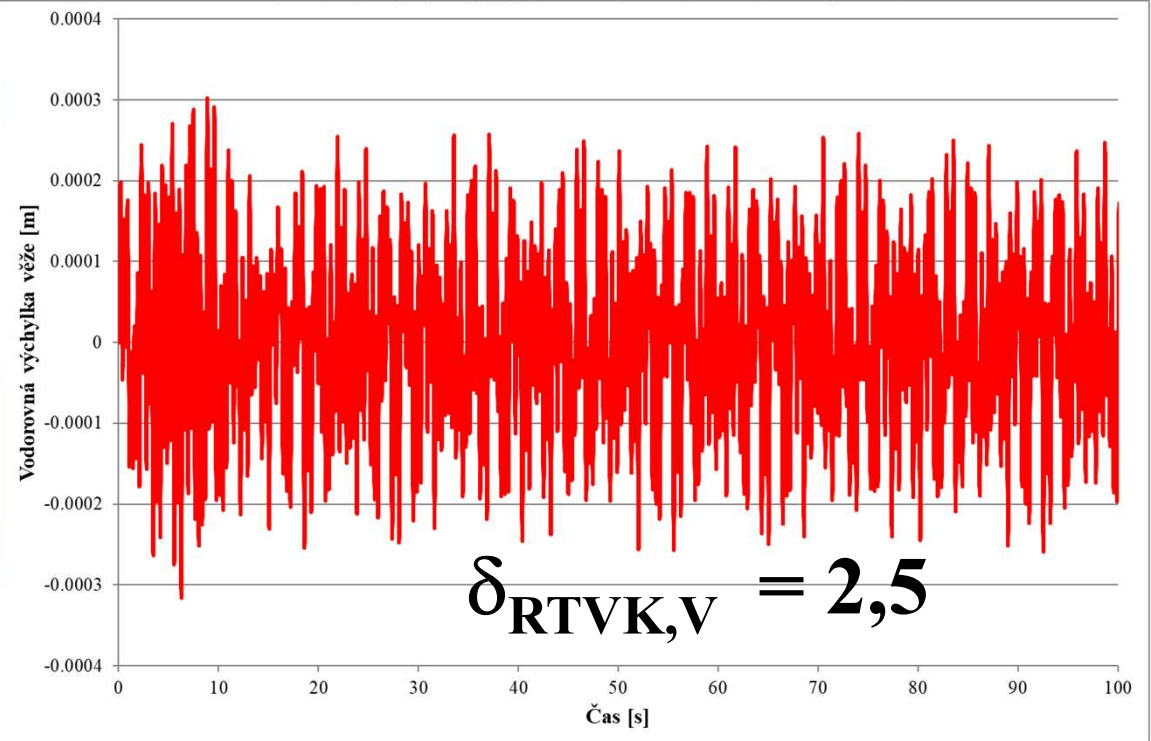
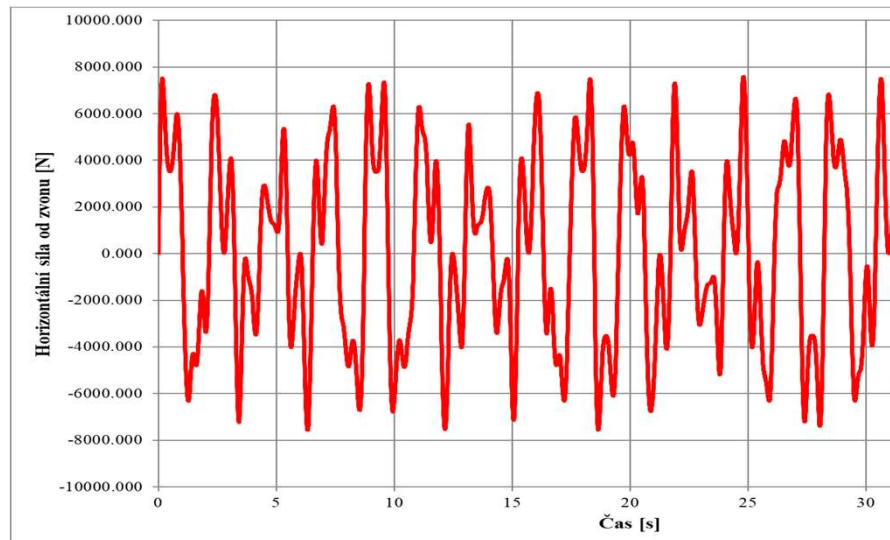
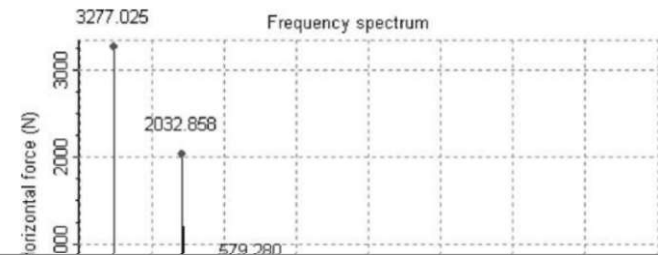


Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

Odhad úrovně kmitání věže vyvolaného zvony:

$$f_z = 0,46 \text{ Hz}; 1,38; \mathbf{2,30};$$

$$f_z = 0,57 \text{ Hz}; 1,70; \mathbf{2,84};$$



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Románský kostel v Církvici u Kutné Hory:

- **Dynamické zatížení věže od zvonu je malé a v porovnání s ostatními účinky (od větru, vlastní tíhy) je zanedbatelné.**
- **Pro doporučené parametry zvonu se dynamický součinitel pohybuje do max. hodnoty 2,5.**
- **Po instalaci zvonů do věže doporučujeme sledovat chování konstrukce věže při zvonění zvonů. Pokud bude docházet k větším pohybům věže, bude nutné ihned upozornit statika a provést dodatečná dynamická měření respektive učinit dodatečná opatření pro snížení úrovně kmitání věže.**

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:



Farnost u Jákovova žebříku.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:



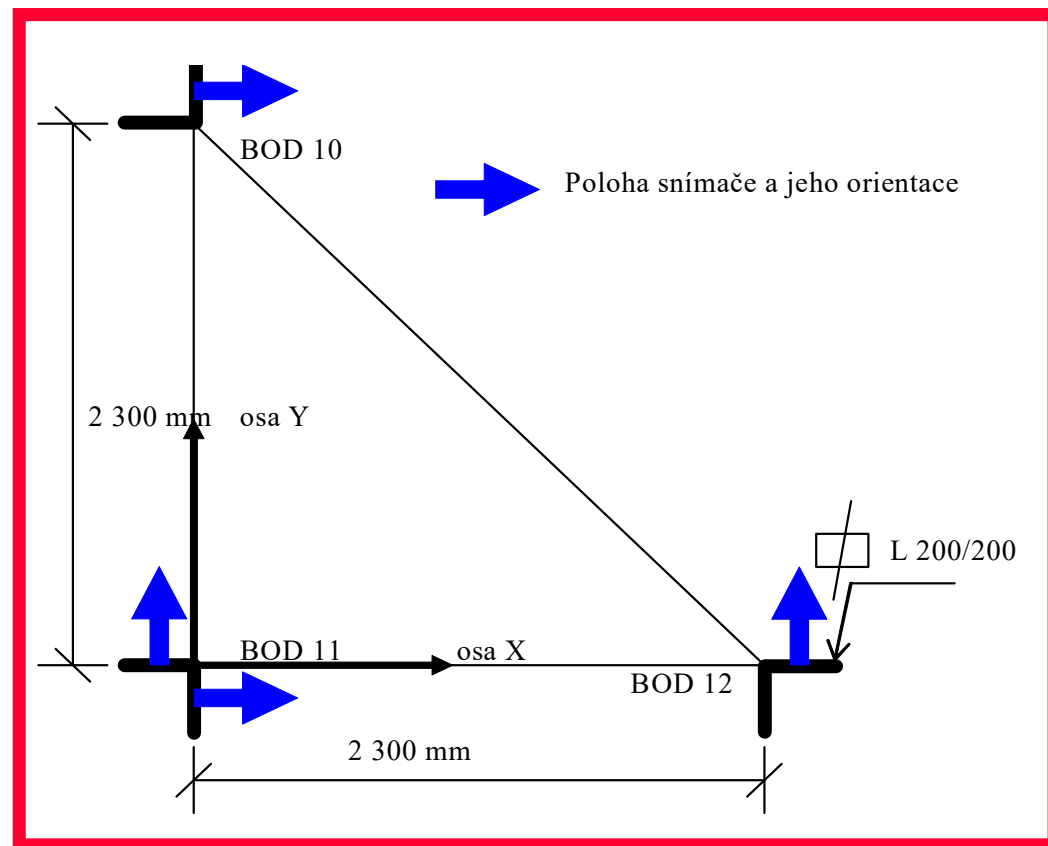
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:



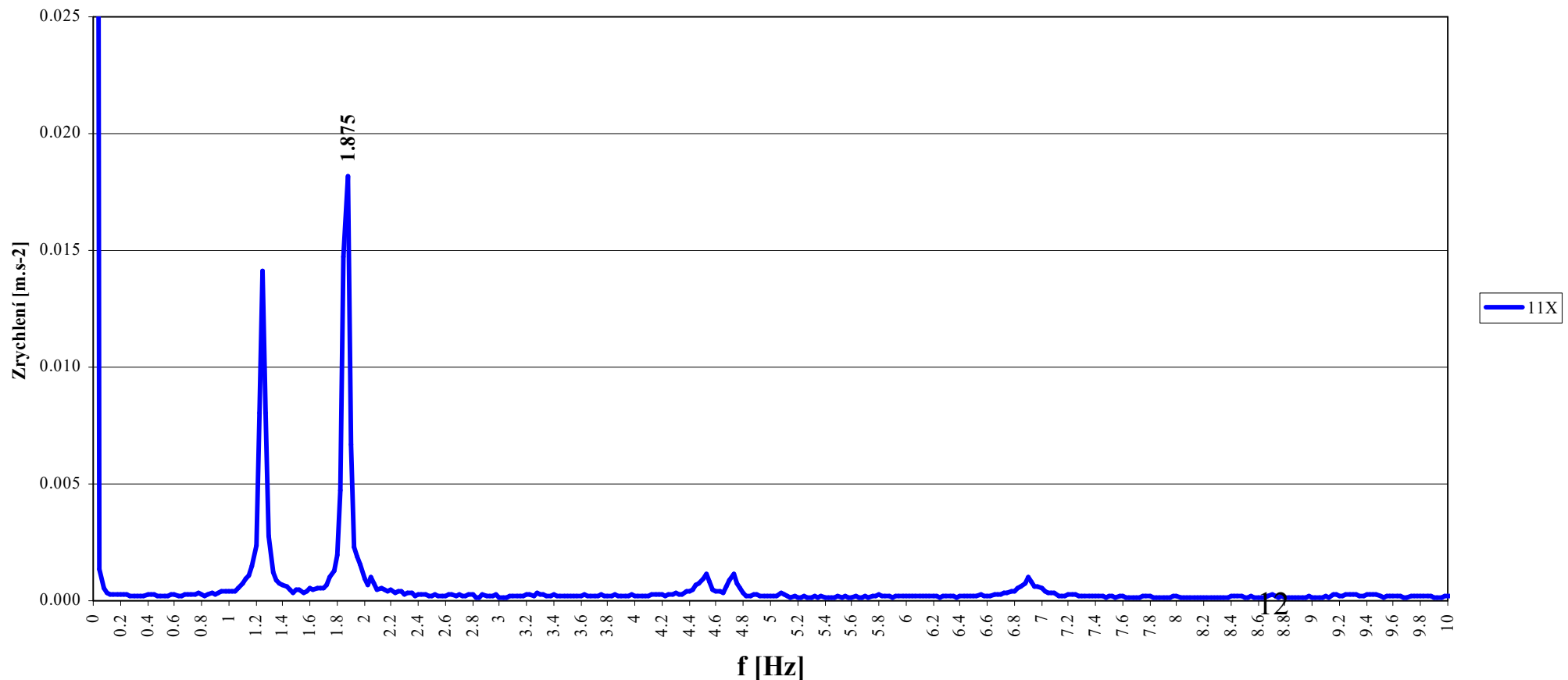
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobyliších:

Vlastní frekvence - použit byl systém AVT, využito bylo kmitání vyvolané dynamickými účinky větru:

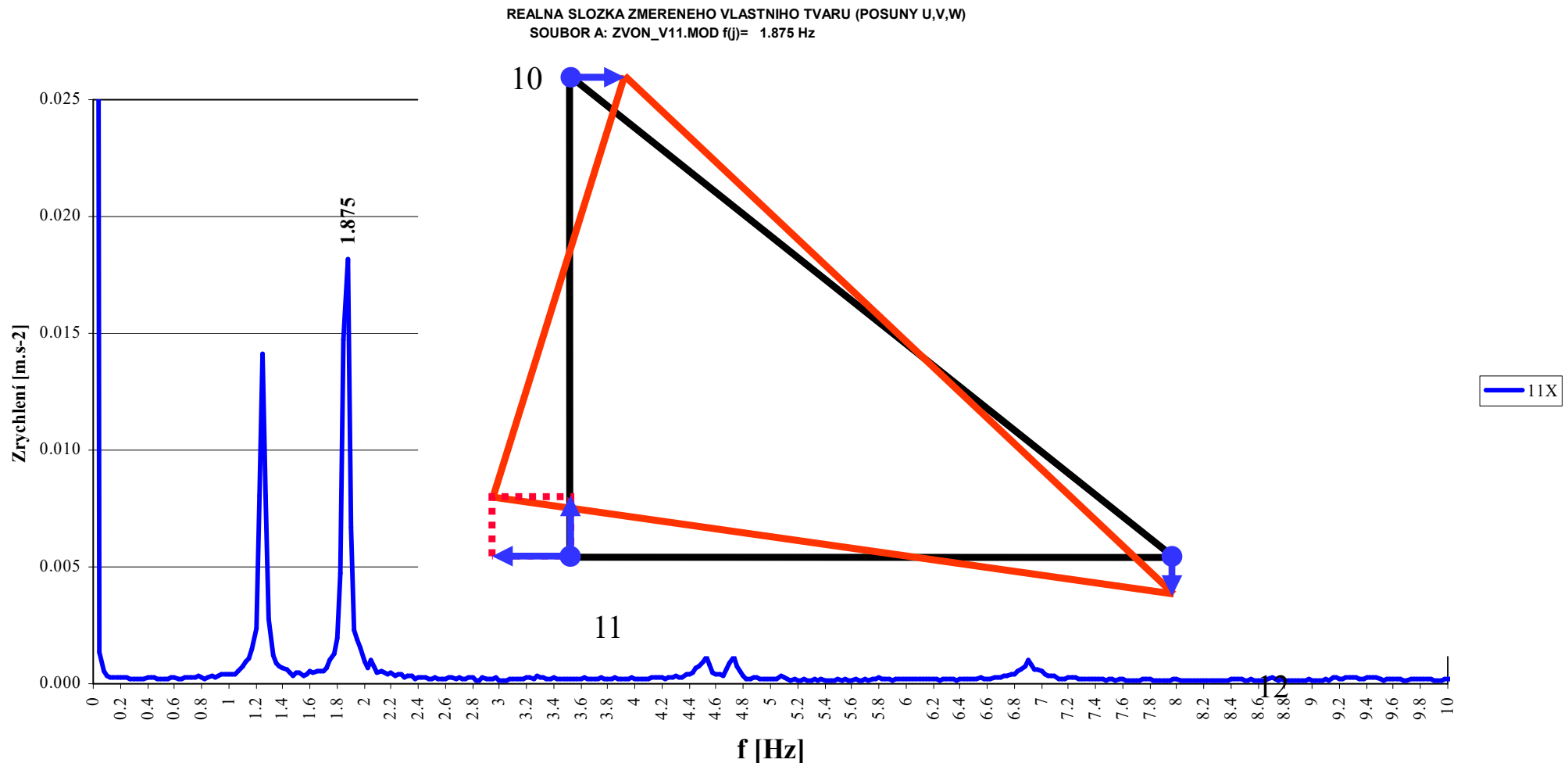
FFT - kmitání vyvolané dynamickými účinky větru



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobyliších:

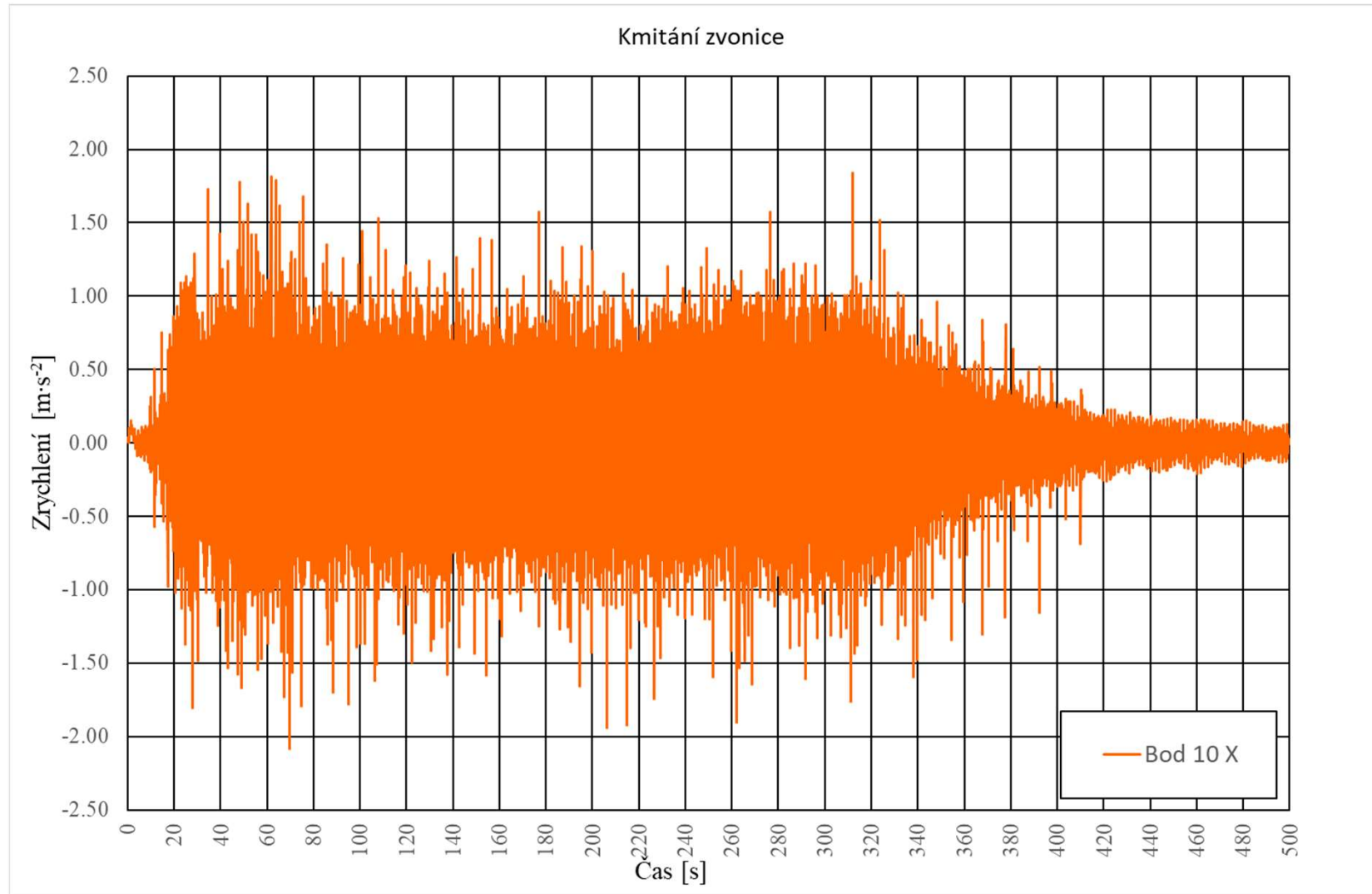
2. vlastní frekvence a vlastní tvar kmitání věže:

$$f_{(2)} = 1,875 \text{ Hz}$$



Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:

Vynucené kmitání vyvolané zvonem, útlum kmitání:



$$\vartheta = 0,015$$
$$\xi = 0,2 \%$$

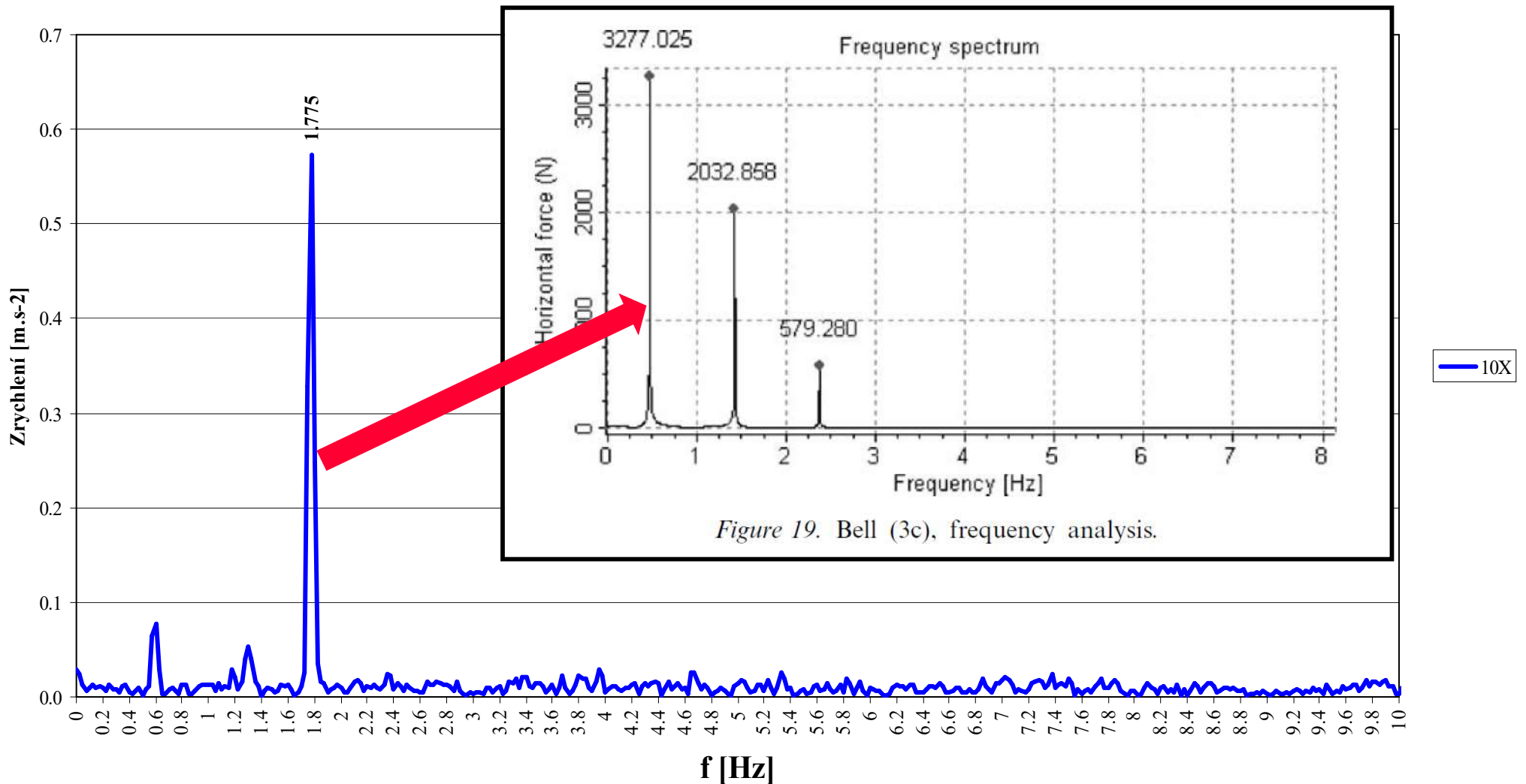
Kmitání zvonice, zvonění profesionálního zvoníka, bod 10 X – záznam č. 010.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Zvonice v Kobyliších:

Vynucené kmitání vyvolané zvonem:

FFT - vynucené kmitání - účinek pohyblivého zvonu



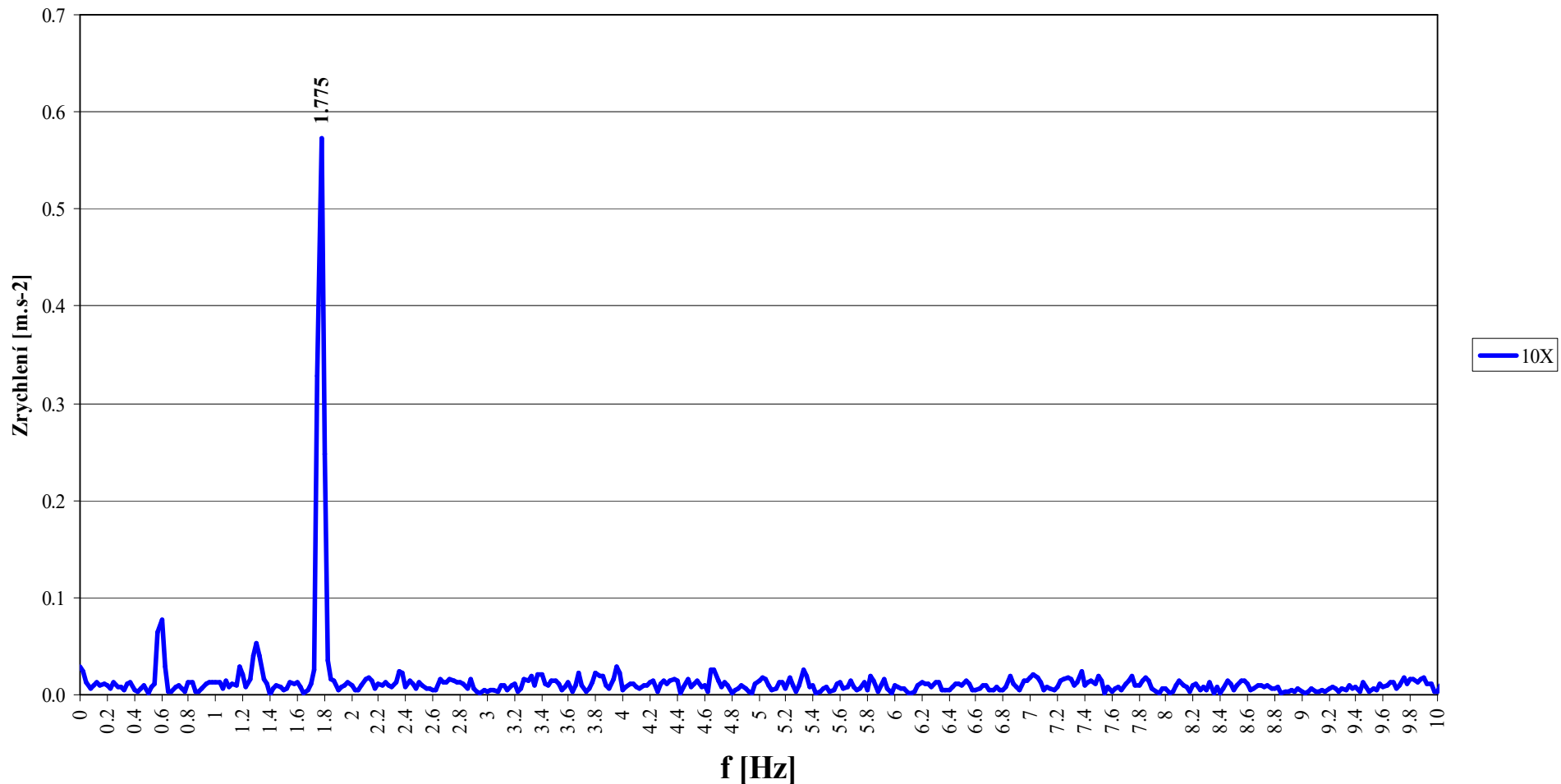
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Zvonice v Kobyliších:

Frekvence vynuceného ustáleného kmitání věže:

$$f = 1,775 \text{ Hz}$$

FFT - vynucené kmitání - účinek pohyblivého zvonu



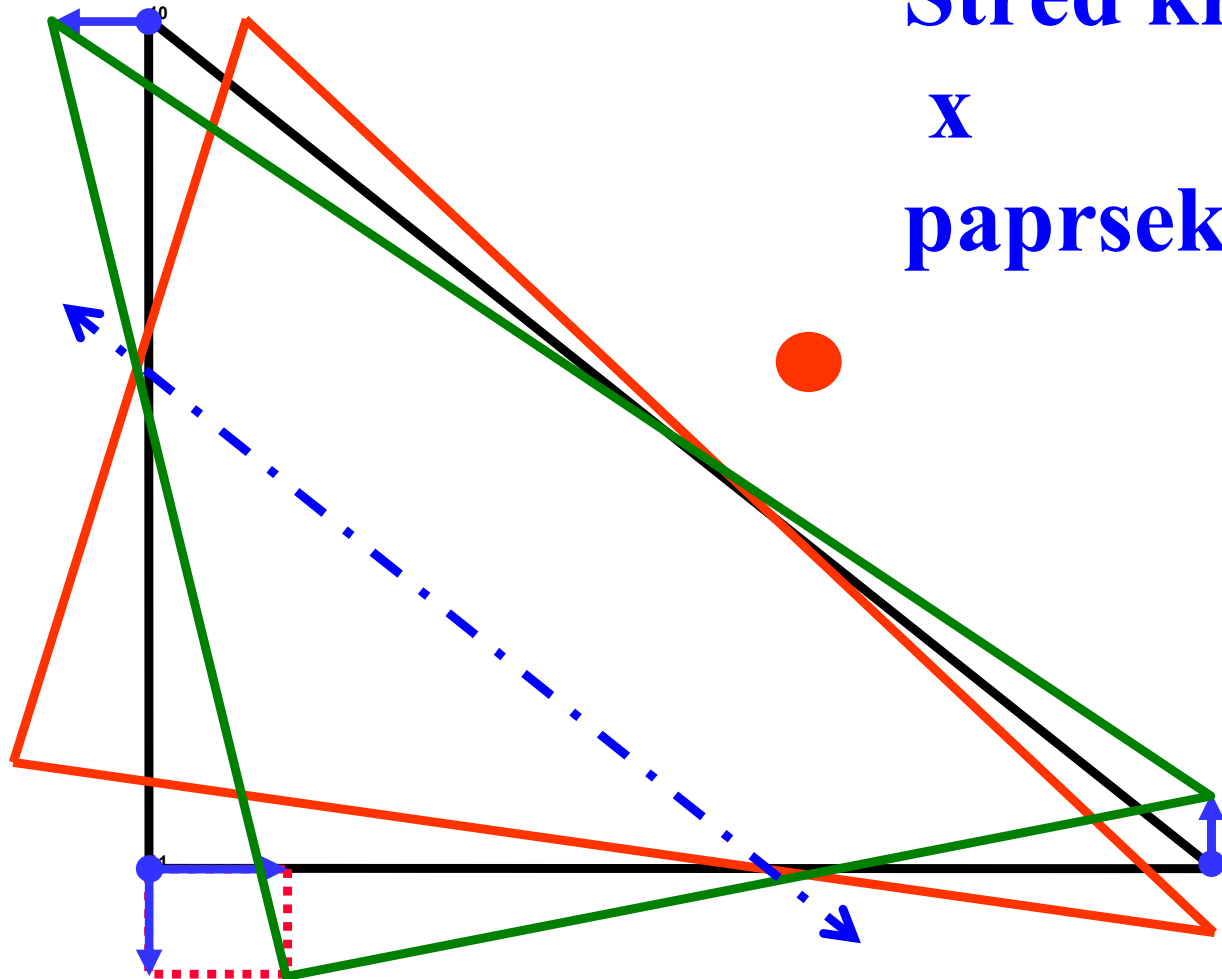
Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice:

Zvonice v Kobylisích:

Tvar vynuceného ustáleného kmitání věže:

$f = 1,775 \text{ Hz}$

REALNA SLOZKA ZMEREHO VYNUCENEHO TVARU (POSUNY U,V,W)
SOUBOR A: ZVON_V11.MOD f(j)= 1.775 Hz

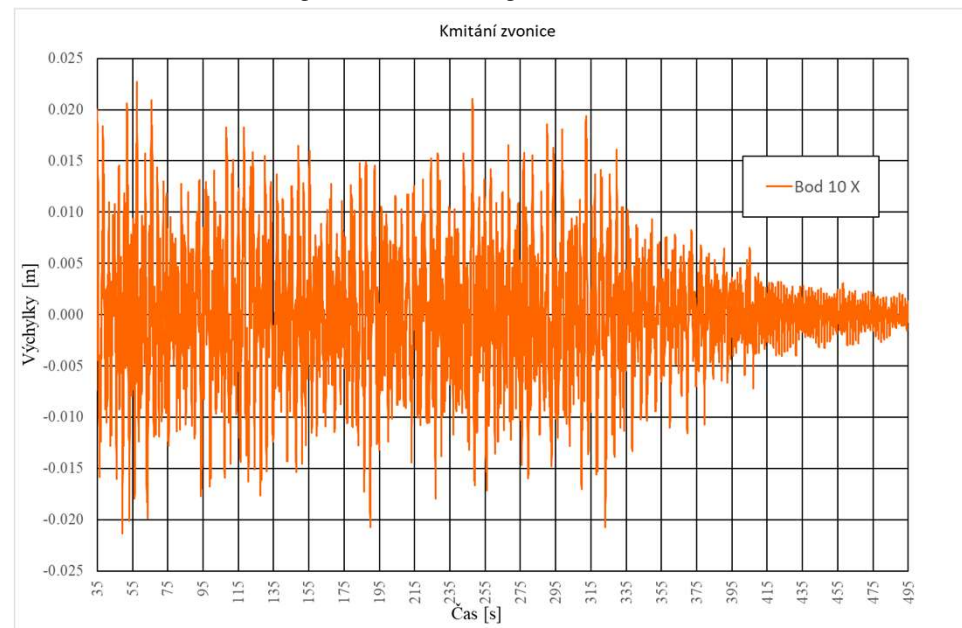


Střed kroucení
 \times
paprsek budící síly.

Využití charakteristik vlastního kmitání v diagnostice: Zvonice v Kobylisích:

Shrnutí:

- Rozkmit kmitání nepřekročil hodnotu 50 mm (bod 10 x - max. výkmity -24,7 mm a + 26,2 mm a bod 11 x - max. výkmity -27,3 mm a + 27,5 mm)



- Pokud fotografie neklamou, tak pohlcovač nebyl instalován.

Konec