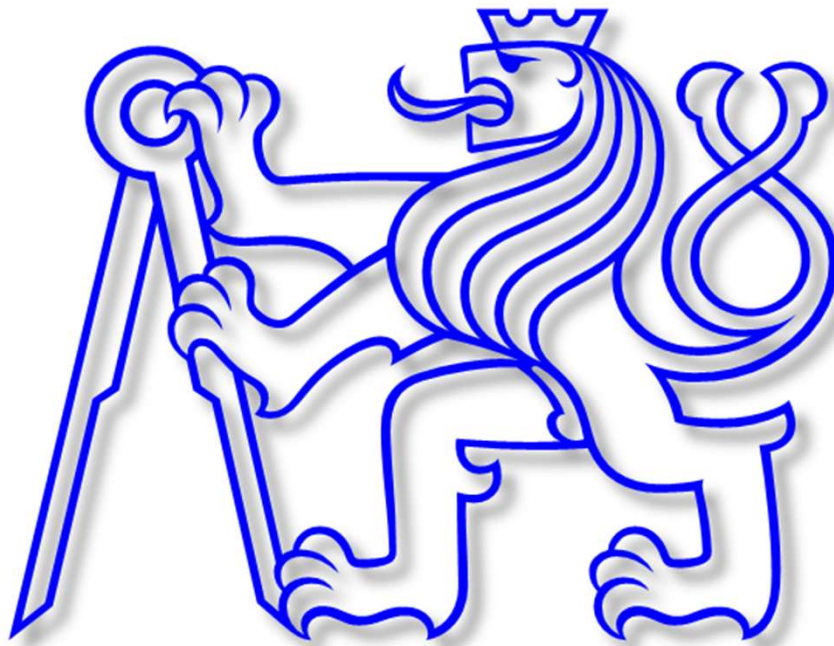


Předmět: D32Ex2

Nejistoty výsledků experimentů



prof. Ing. Michal POLÁK, CSc.

Fakulta stavební, ČVUT v Praze

© 2004 - 2025

Měřicí linka – podmínky nezkresleného zobrazení:

- **Statická měření**

- **Amplitudová charakteristika citlivosti**

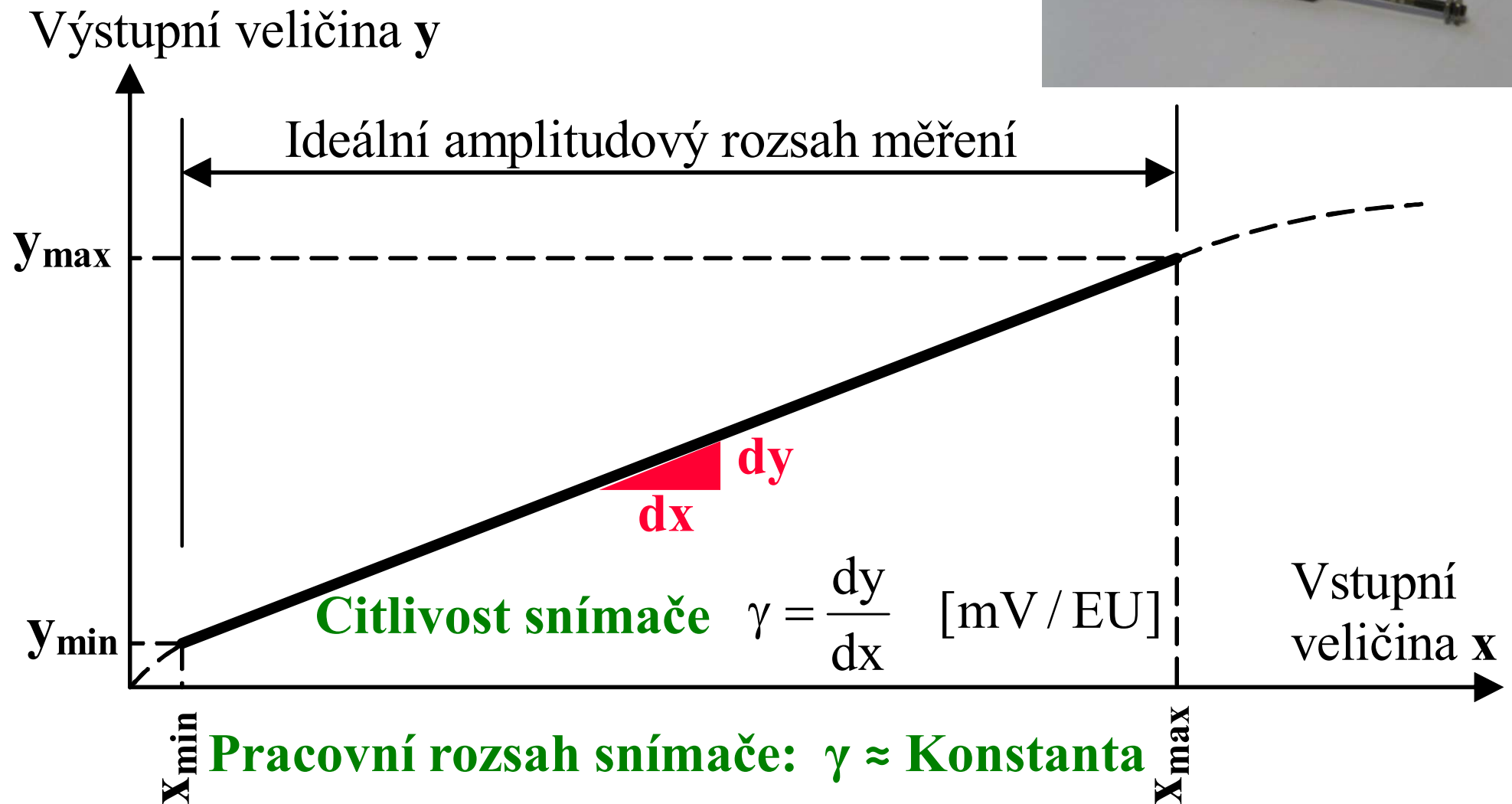
- **Dynamická měření**

- **Amplitudová charakteristika citlivosti**

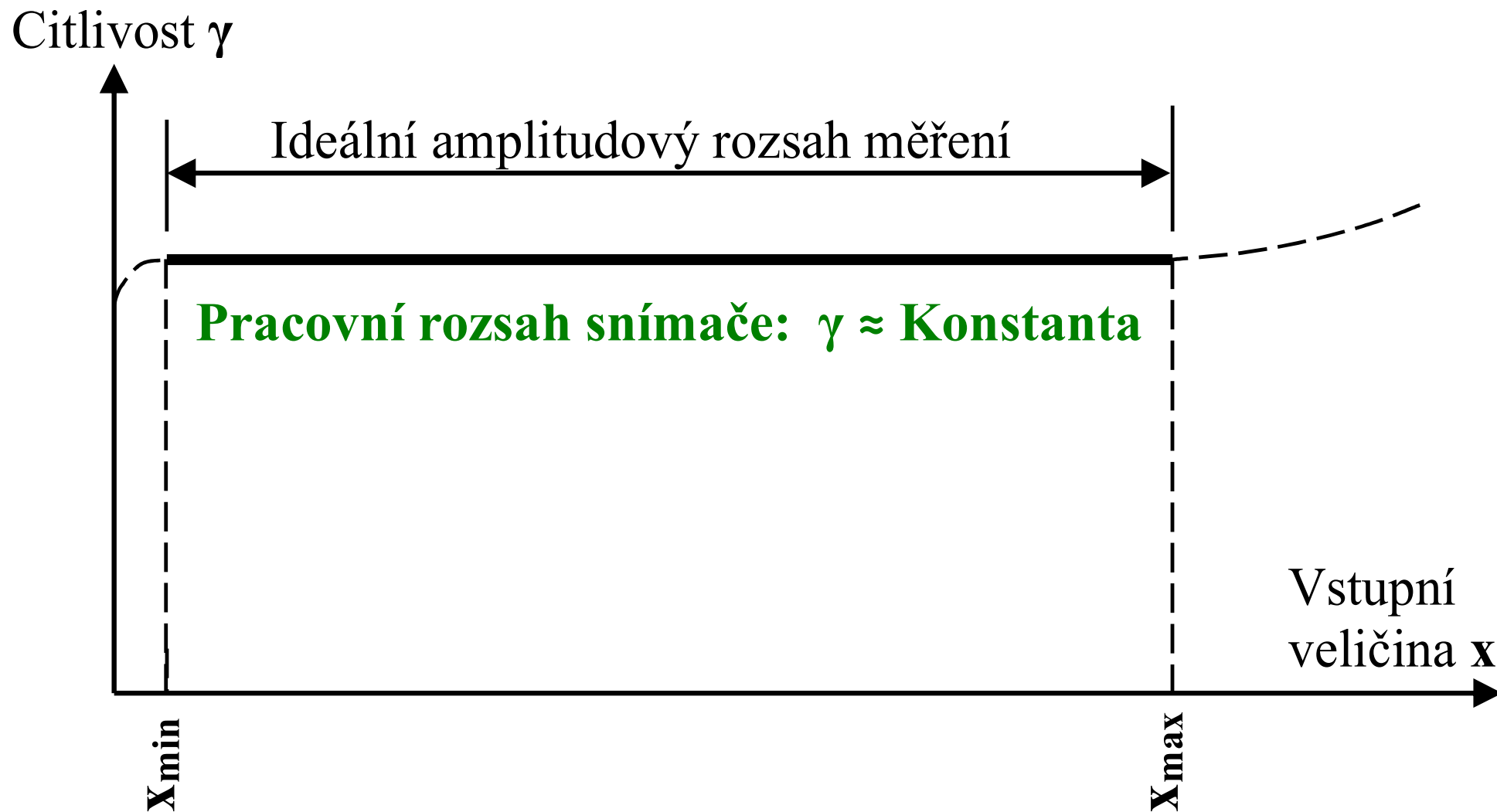
- **Frekvenční charakteristika citlivosti**

- **Frekvenční charakteristika zpoždění**

Amplitudová charakteristika citlivosti



Měřicí linka – podmínky nezkresleného zobrazení:



Amplitudová charakteristika citlivosti – W20:

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK
PRÜFPROTOKOLL WEGAUFNEHMER
test certificate

Ident.-Nr.: 014140135
serial no.

Typ W20
type

Nennmessweg: 20 mm
nominal displacement

Prüfdatum 13.10.1997
test date

Linearitätsabweichung
linearity deviation

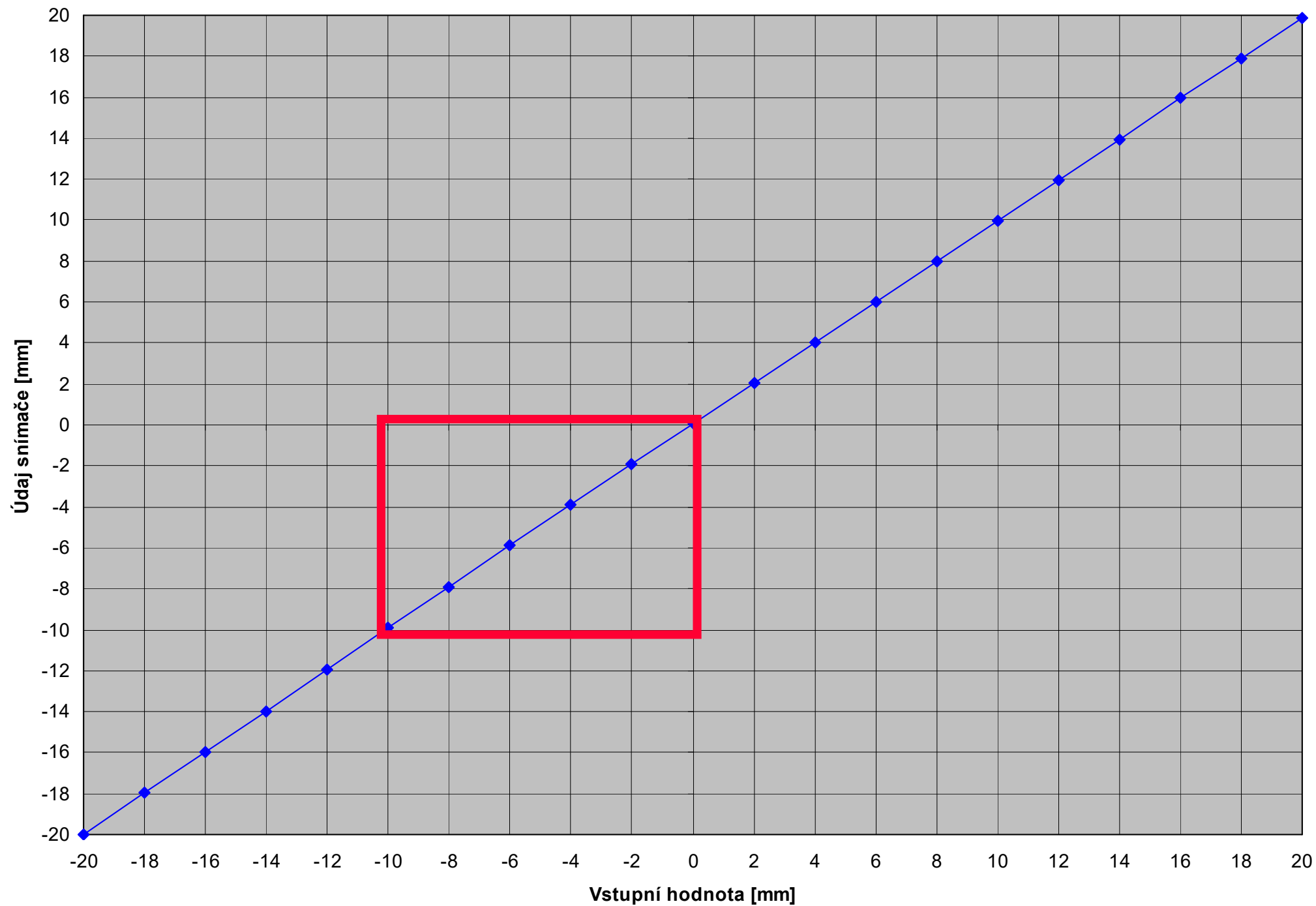
Prüfweg [mm] displacement	Abweichung [mm] deviation
-20.00	-0.000
-18.00	0.026
-16.00	0.023
-14.00	0.037
-12.00	0.058
-10.00	0.080
-8.00	0.102
-6.00	0.109
-4.00	0.109
-2.00	0.098
0.00	0.076
2.00	0.050
4.00	0.019
6.00	-0.007
8.00	-0.028
10.00	-0.042
12.00	-0.045
14.00	-0.047
16.00	-0.057
18.00	-0.083
20.00	-0.109

Kennwert bei : +20.0 mm 79.81 mV/V bei 2.5 V Speisespannung
sensitivity at (f=4800 Hz)

max. Linearitätsabweichung 0.27 %
max. linearity deviation



Kalibrační křivka - amplitudová charakteristika - snímač W20



Kalibrační křivka - amplitudová charakteristika - snímač W20

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK
PRÜFPROTOKOLL WEGAUFNEHMER
test certificate

Ident.-Nr.: 014140135
serial no.

Typ W20
type

Nennmessweg: 20 mm
nominal displacement

Prüfdatum 13.10.1997
test date

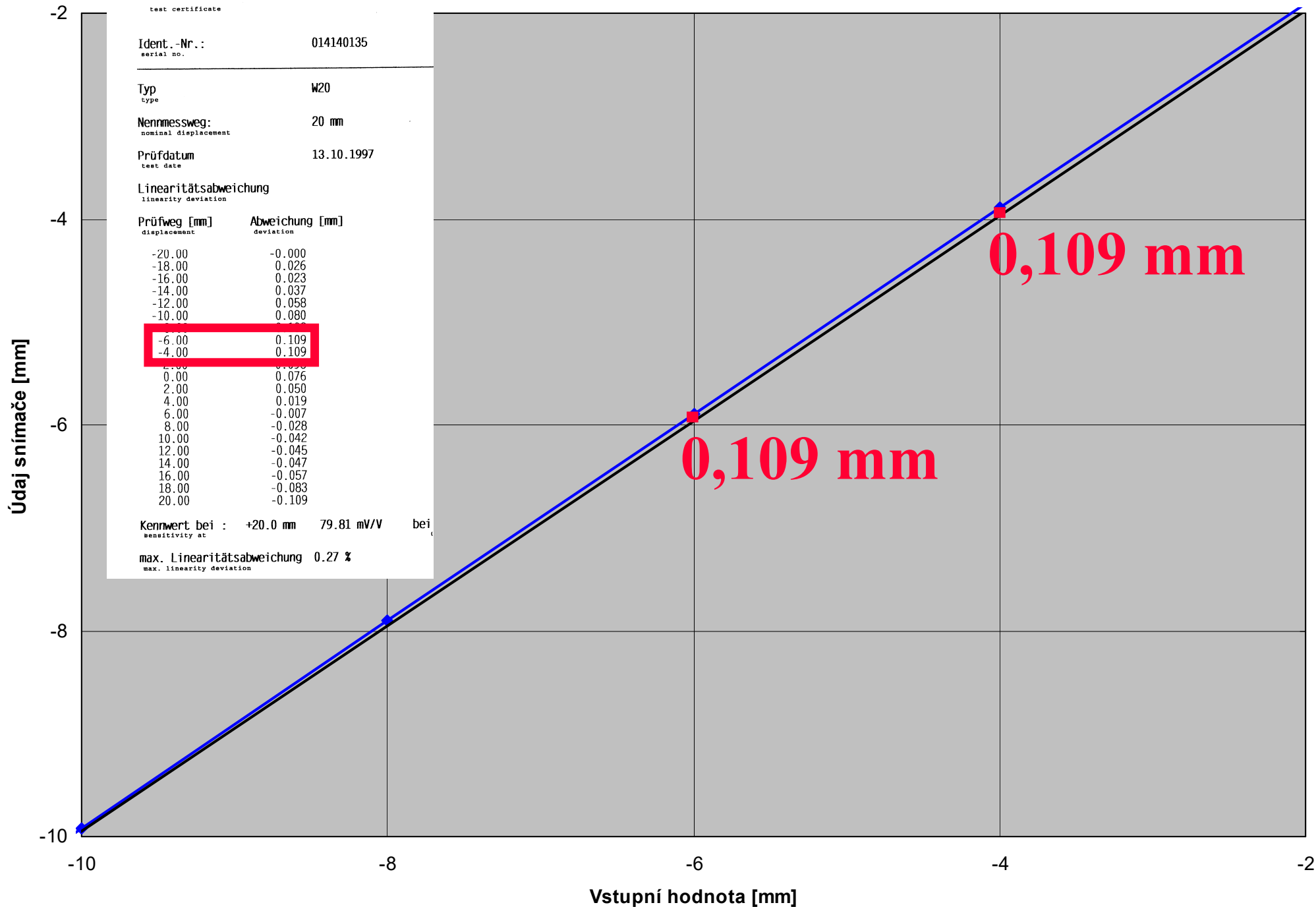
Linearitätsabweichung
linearity deviation

Prüfweg [mm] Abweichung [mm]
displacement deviation

-20.00	-0.000
-18.00	0.026
-16.00	0.023
-14.00	0.037
-12.00	0.058
-10.00	0.080
-8.00	0.109
-6.00	0.109
-4.00	0.109
-2.00	0.090
0.00	0.076
2.00	0.050
4.00	0.019
6.00	-0.007
8.00	-0.028
10.00	-0.042
12.00	-0.045
14.00	-0.047
16.00	-0.057
18.00	-0.083
20.00	-0.109

Kennwert bei : +20.0 mm 79.81 mV/V bei
sensitivity at

max. Linearitätsabweichung 0.27 %
max. linearity deviation



Třída přesnosti snímače



Ident.-Nr.: 014140135
serial no.

Typ W20
type

Nennmessweg: 20 mm
nominal displacement

Prüfdatum 13.10.1997
test date

Linearitätsabweichung
linearity deviation

Prüfweg [mm] Abweichung [mm]
displacement deviation

-20.00	-0.000
-18.00	0.026
-16.00	0.023
-14.00	0.037
-12.00	0.058
-10.00	0.080
-8.00	0.102
-6.00	0.109
-4.00	0.109
-2.00	0.098
0.00	0.076
2.00	0.050
4.00	0.019
6.00	-0.007
8.00	-0.028
10.00	-0.042
12.00	-0.045
14.00	-0.047
16.00	-0.057
18.00	-0.083
20.00	-0.109

Výrobce uvádí třídu přesnosti 0,2

$$\frac{0,109 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} 100 = 0,27 \%$$

Citlivost

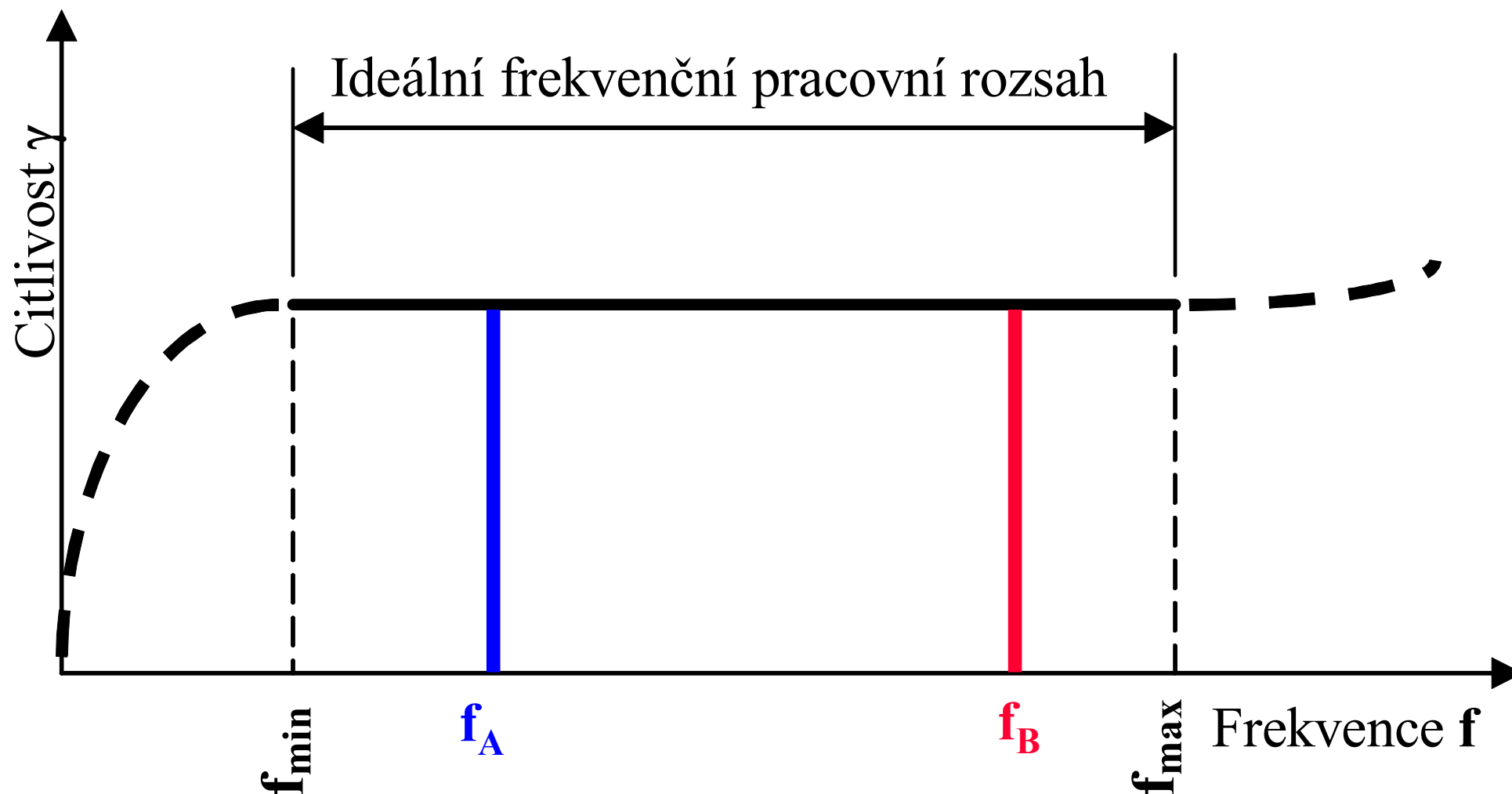
$$\gamma = \frac{79,81 \text{ mV} / \text{V}}{20 \text{ mm}} = 3,991 \text{ mV} / \text{V} / \text{mm}$$

Kennwert bei : +20.0 mm 79.81 mV/V
sensitivity at

bei 2.5 V Speisespannung
(f=4800 Hz)

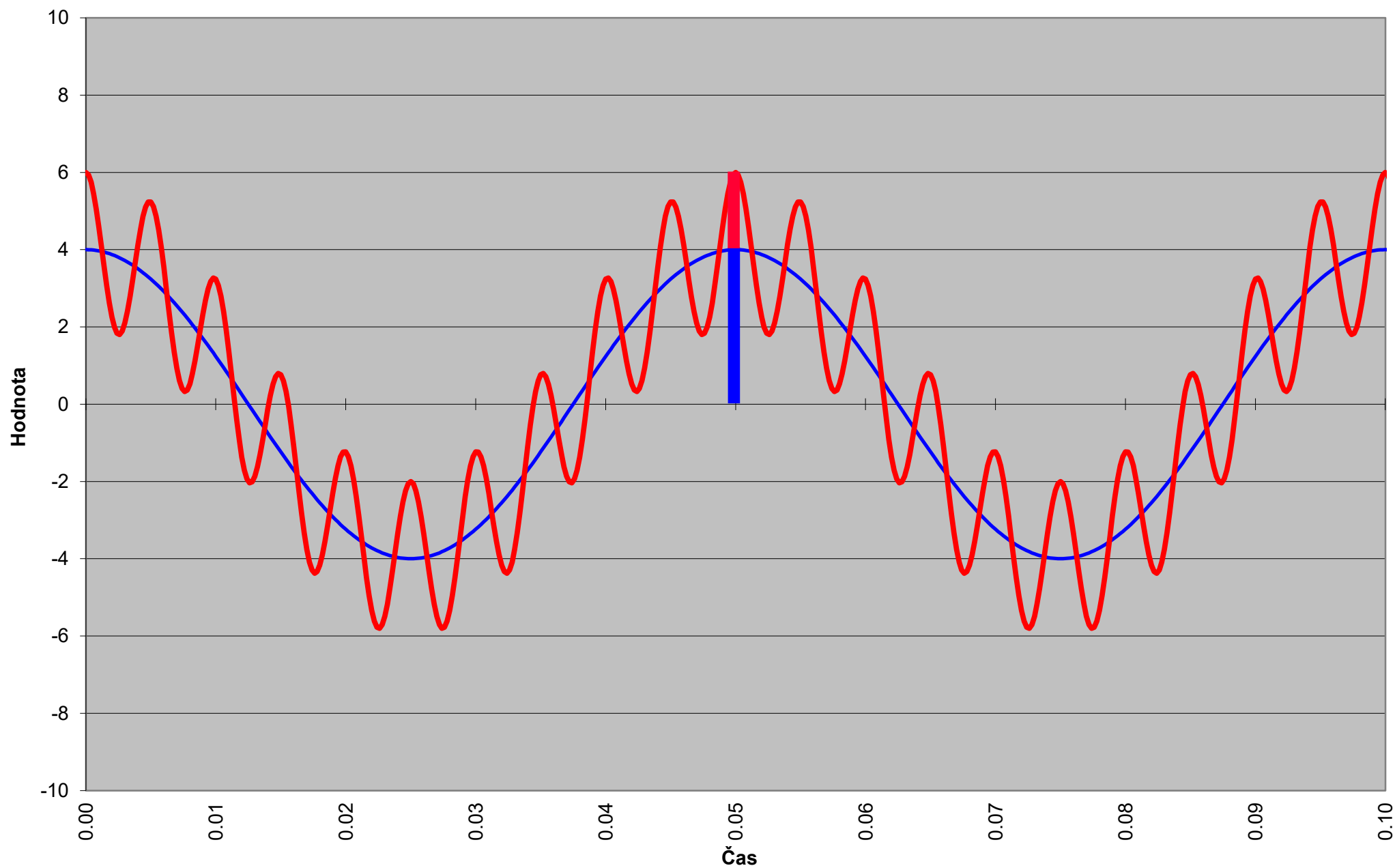
max. Linearitätsabweichung 0.27 %
max. linearity deviation

Frekvenční charakteristika citlivosti



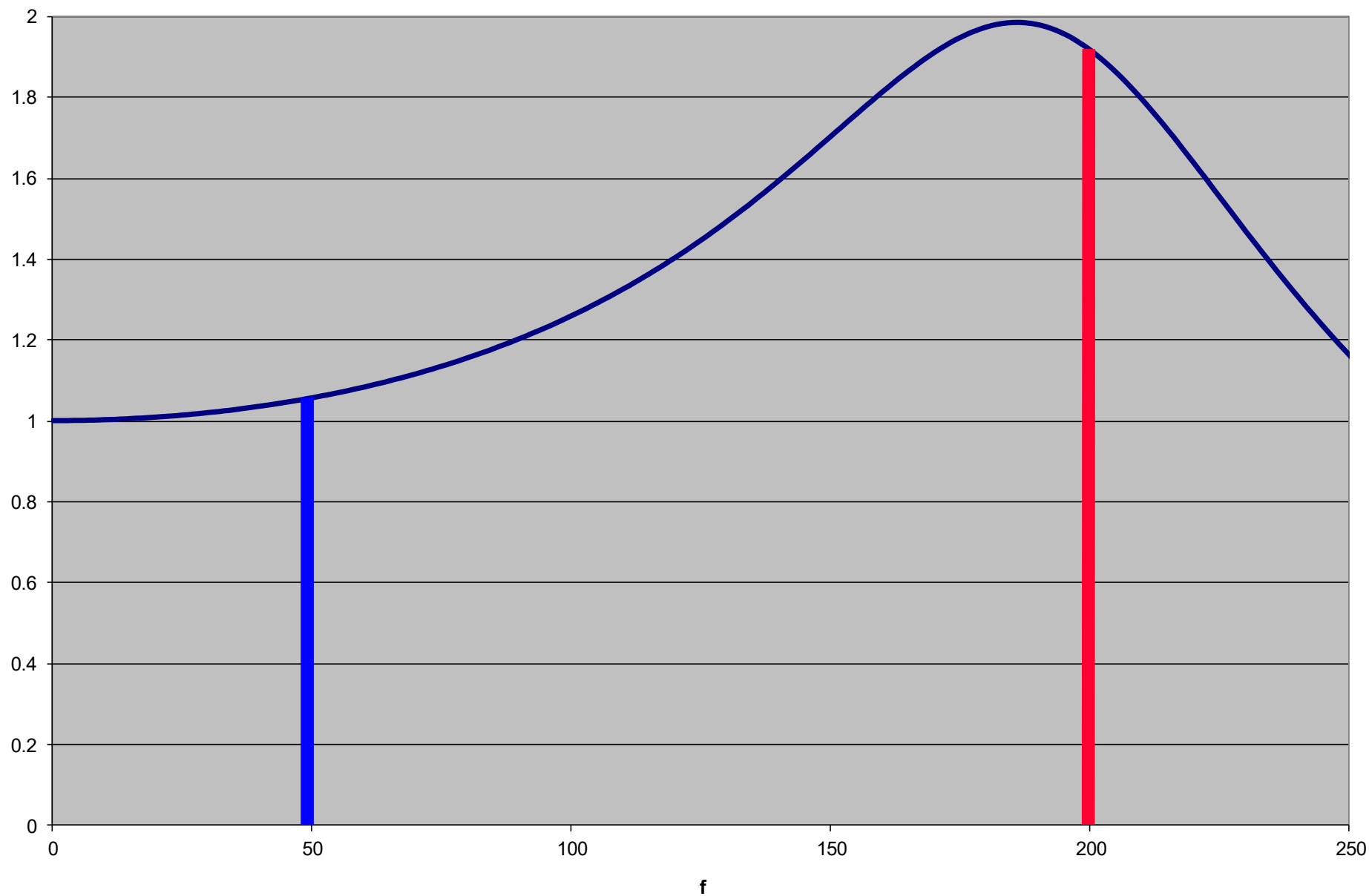
Frekvenční charakteristika citlivosti

Časový průběh - VSTUP



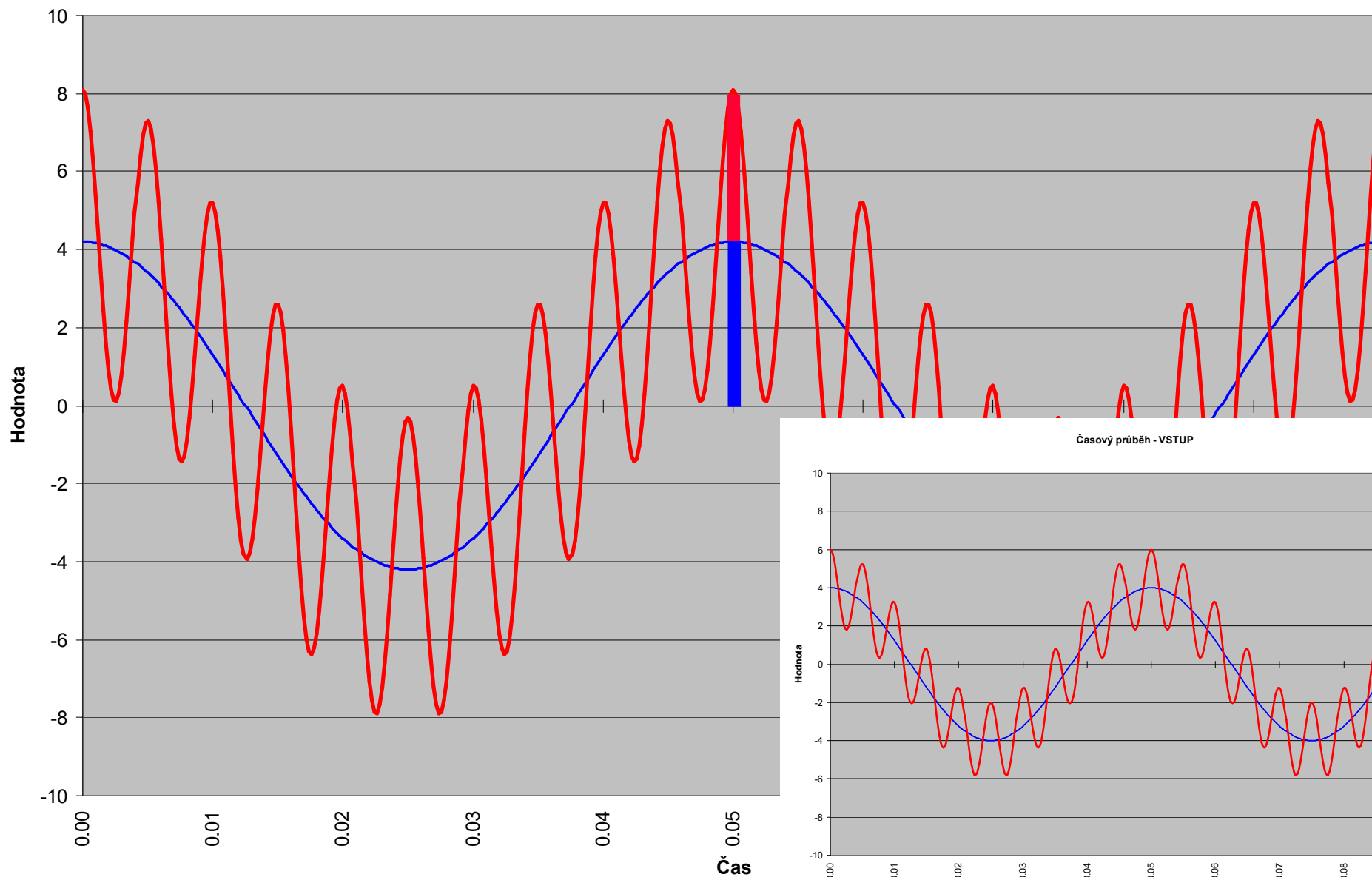
Frekvenční charakteristika citlivosti

FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA CITLIVOSTI

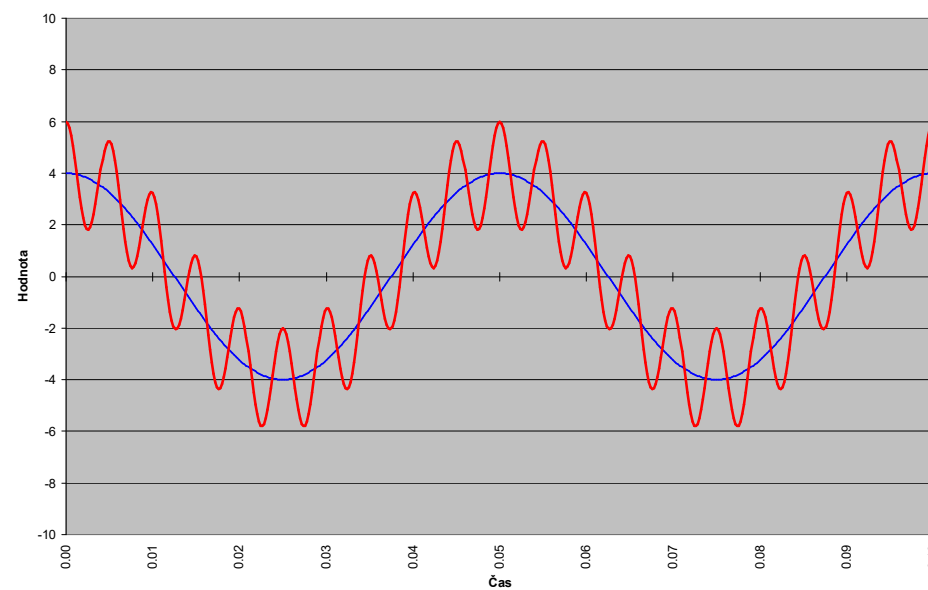


Frekvenční charakteristika citlivosti

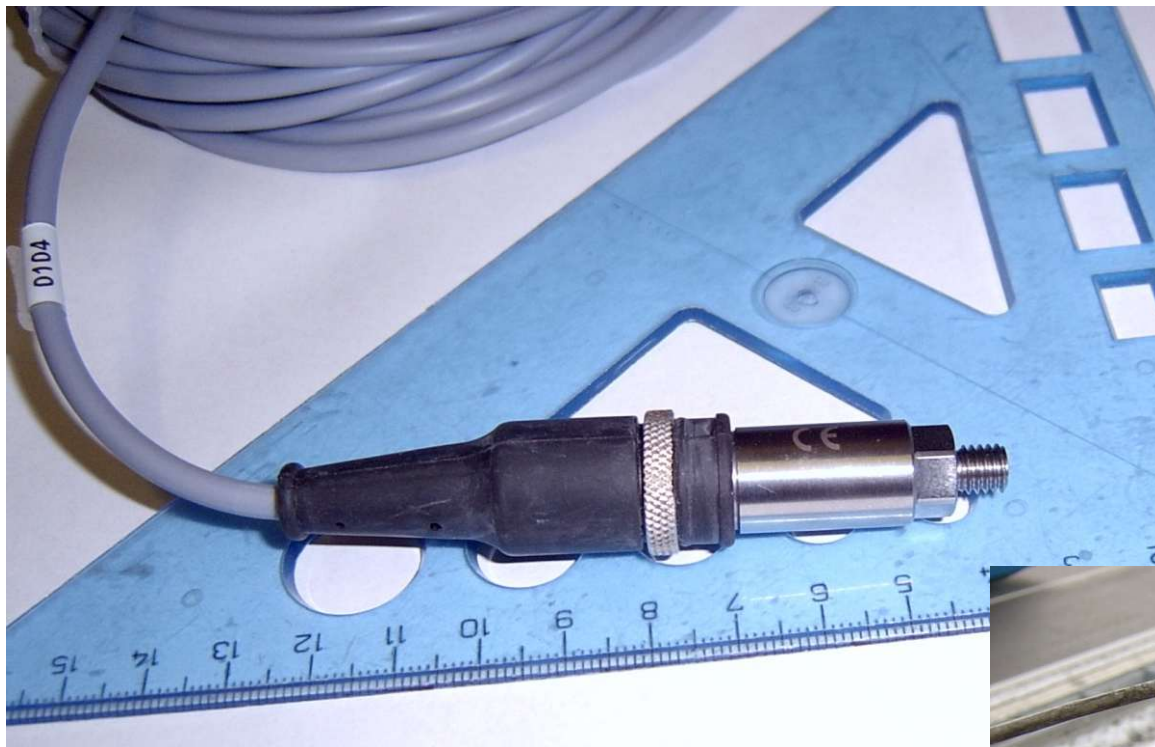
Časový průběh - VÝSTUP ZE SNÍMAČE



Časový průběh - VSTUP

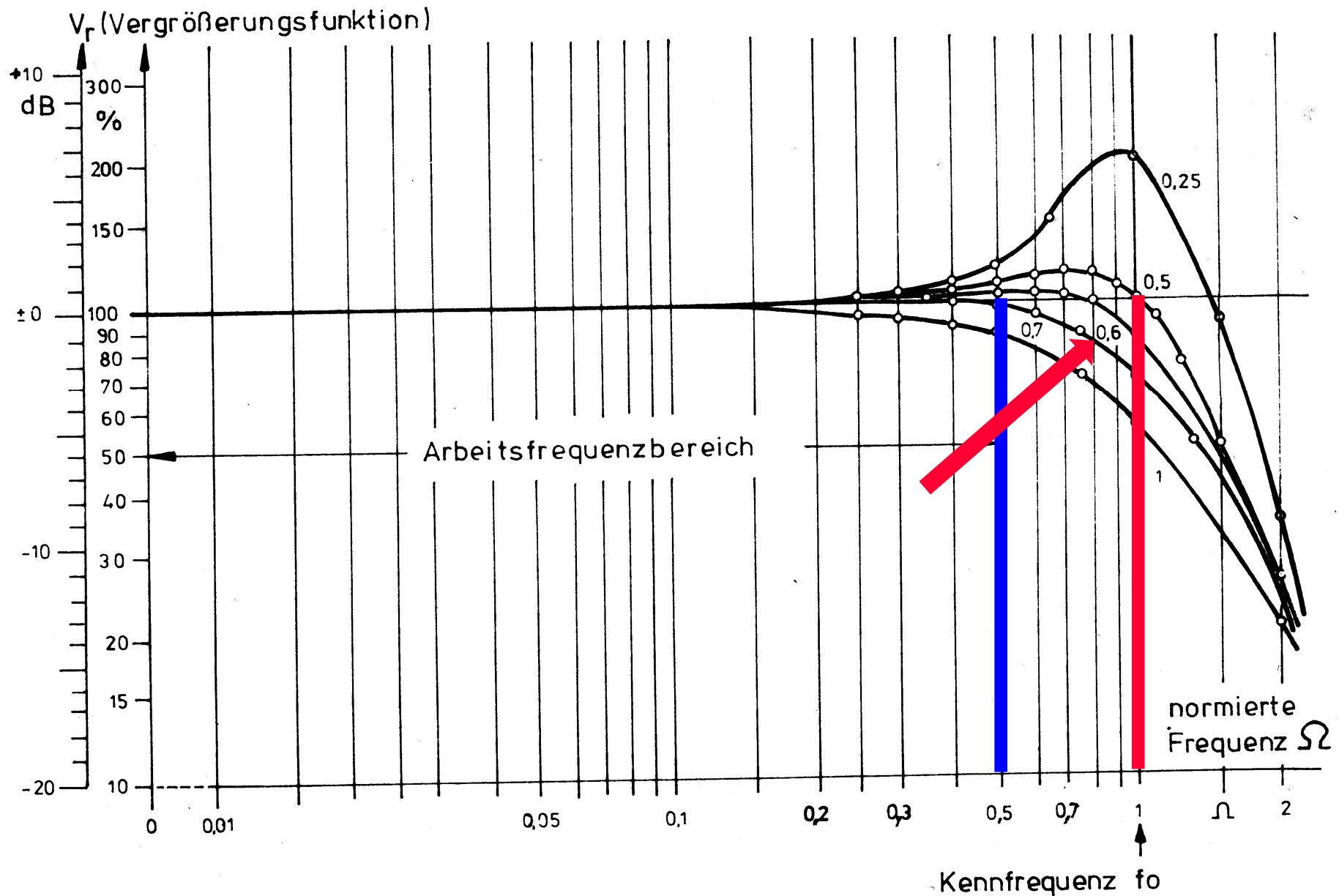


Frekvenční charakteristika citlivosti snímače zrychlení B12/200



Frekvenční charakteristika citlivosti snímače zrychlení B12/200

Abb. 2



Brüel & Kjær
Measuring Object: **WV 48789**
B12/200
59
Rec. No.: **308.07.96**
Date: **30.08.96**
Sign: **[Signature]**
QP 124

Potentiometer Range: **10** dB Rectifier: **RMS** Lower Lim. Freq.: **2** Hz Wr. Speed: **16** mm/sec. Paper Speed: **3** mm/sec.

dB dB

50 25
40 20
30 15
20 10
10 5
0 0

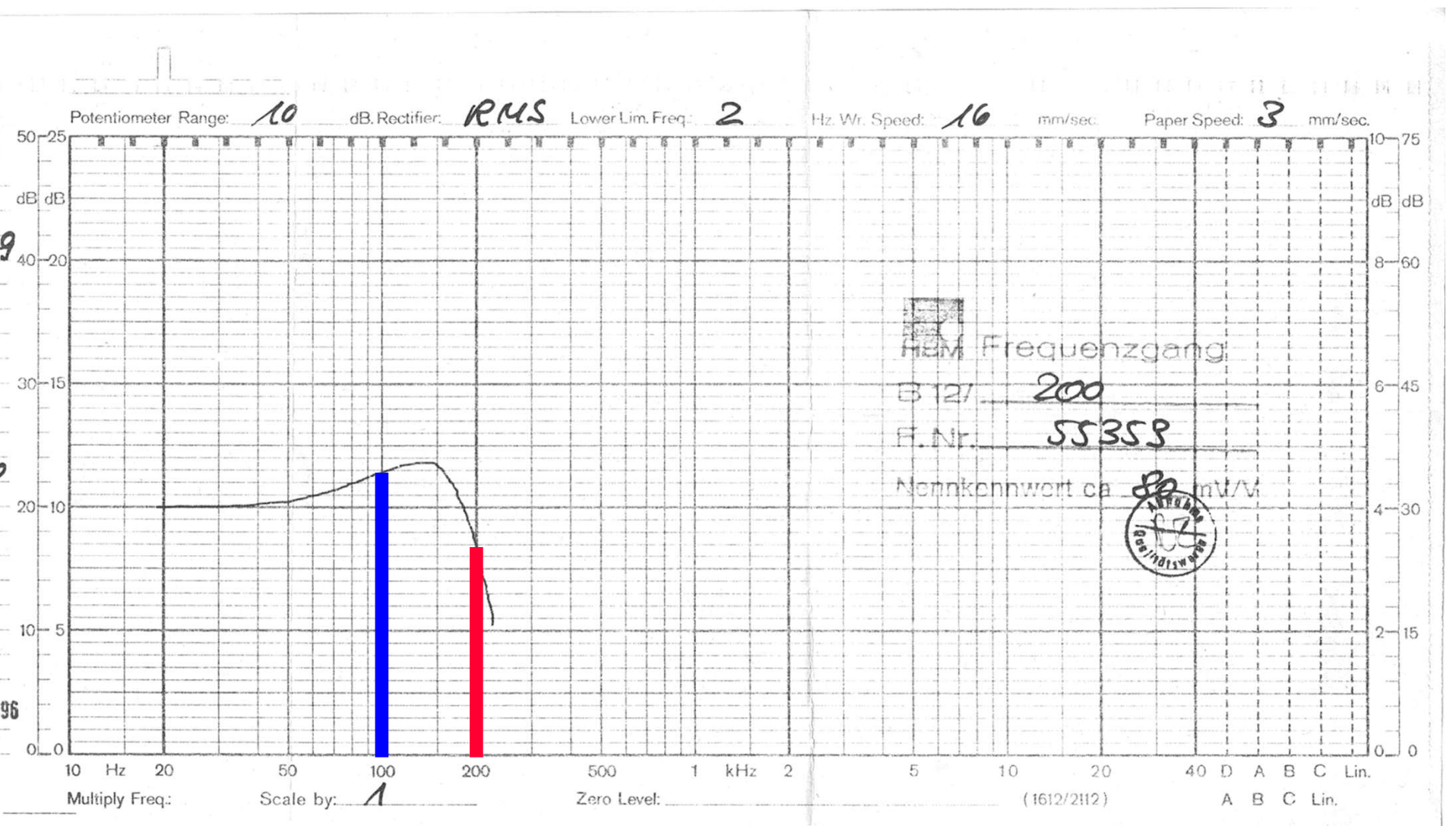
10 Hz 20 50 100 200 500 1 kHz 2 5 10 20 40 D A B C Lin.

Multiply Freq.: Scale by: **1** Zero Level: (1612/2112) A B C Lin.

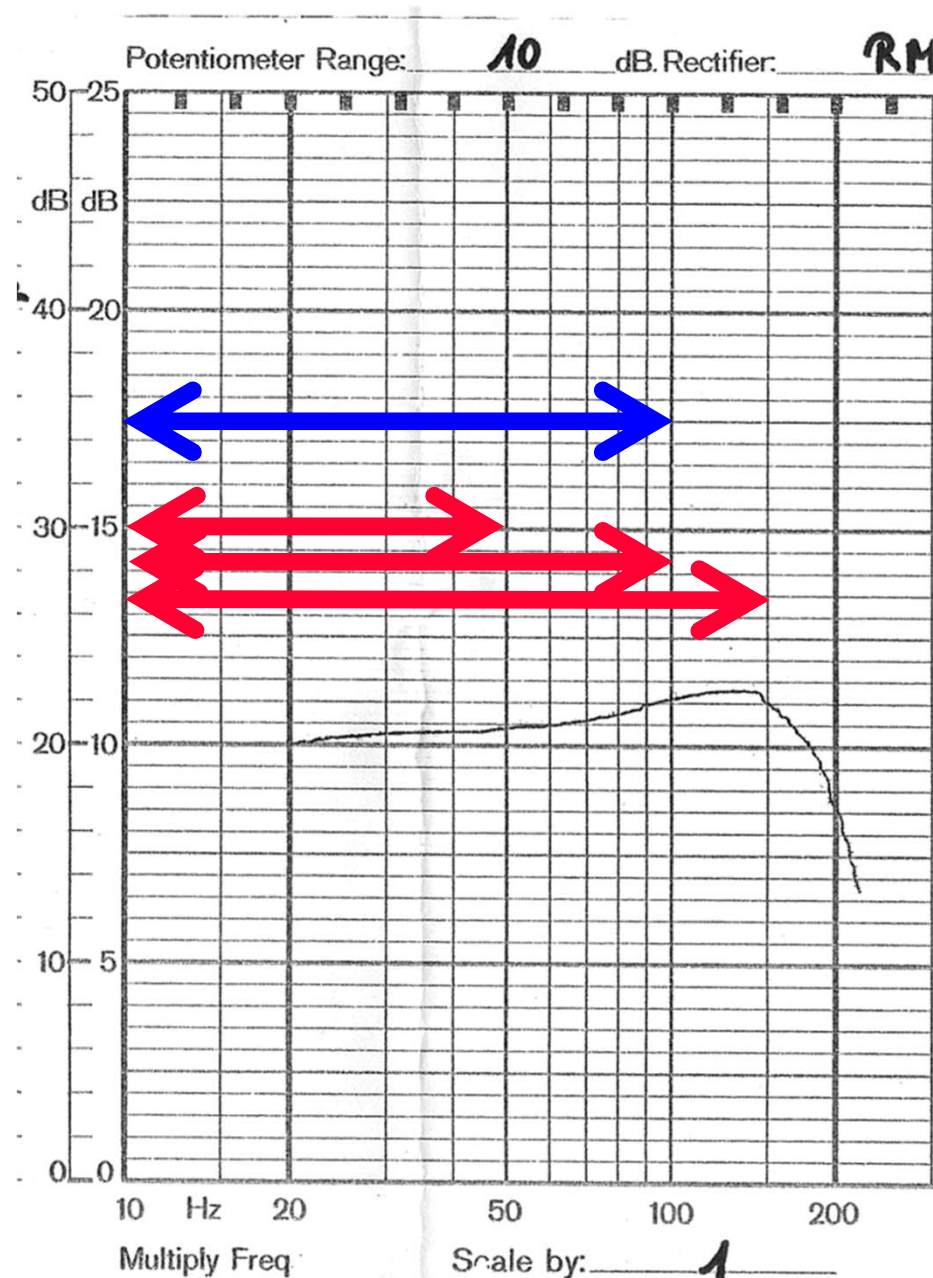
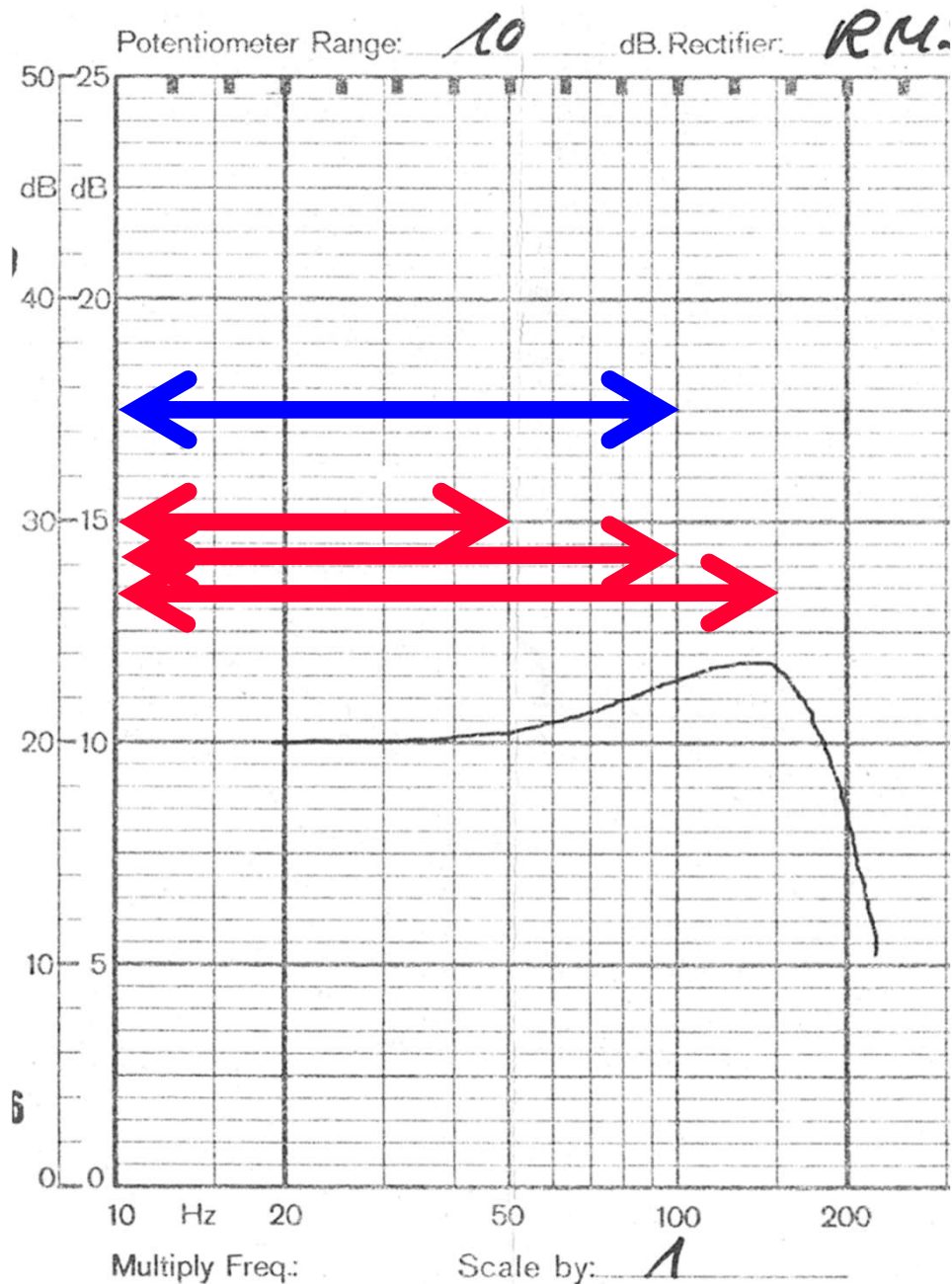
REM Frequenzgang
B12/ **200**
F.Nr. **55359**
Nennkennwert ca. **80** mV/V

[Circular Stamp]

Frequency (Hz)	Amplitude (dB)
10	20
20	20
50	22
100	25
200	10



Frekvenční charakteristika citlivosti snímače zrychlení B12/200



Frekvenční charakteristika citlivosti snímače zrychlení 8344

Calibration Chart for DeltaTron® Accelerometer Type 8344

Serial No.: 30230



Brüel & Kjær

Reference Sensitivity ¹⁾ at 159.2 Hz ($m = 1000 s^{-1}$), 20 ms⁻² RMS,
4 mA supply current and 24.6 °C: 269.0 mV/ms² (2638 mV/g)

Frequency Range: Amplitude (±10%): 0.2 Hz to 3 kHz

Mounted Resonance Frequency: > 10 kHz

Transverse Sensitivity:
Maximum (at 30 Hz, 100 ms⁻²): < 5% re Reference Sensitivity

Transverse Resonance Frequency: 3.5 kHz

Calculated values for TEDS ²⁾:

Resonance frequency:	11.4 kHz
Quality factor @ f _{res} :	10.6
Amplitude slope:	-1.4 %/decade
High pass cut-off frequency:	0.021 Hz
Low pass cut-off frequency:	1430 kHz

Measuring Range: ± 26 ms⁻² peak (± 2.6 g peak)

Polarity of the electrical signal is positive for an acceleration in the direction of the arrow on the drawing.

Electrical:

Bias Voltage: at 25°C and 4 mA: 13 V ± 1 V

Power Supply requirements: Constant Current: T < 100°C: +2 to +20 mA
Unloaded Supply Voltage: +24 V to +30 V

Output Impedance: < 30 Ω

Start-up time (to final bias ± 10%): < 30 s

Inherent Noise (RMS): Spectral:

1 Hz:	1.1x10 ⁻⁴ ms ⁻² /√Hz	(11 μg/√Hz)
10 Hz:	7.75x10 ⁻⁶ ms ⁻² /√Hz	(0.78 μg/√Hz)
100 Hz:	7.75x10 ⁻⁷ ms ⁻² /√Hz	(0.078 μg/√Hz)
1000 Hz:	3.46x10 ⁻⁷ ms ⁻² /√Hz	(0.035 μg/√Hz)

Environmental:

Temperature Range:

Temperature Coefficient of Sensitivity

Temp. Transient Sensitivity (3 Hz Low:

Magnetic Sensitivity (50 Hz, 0.038 T):

Acoustic Sensitivity (154 dB SPL):

Base Strain Sensitivity (at 250 με in ba

Max. Non-destructive Shock:

Humidity:

Mechanical:

Case Material:

Sensing Element:

Construction:

Sealing:

Weight:

Electrical Connector:

Mounting Thread:

Mounting Surface Flatness:

Mounting Torque:

Hermetically sealed

176 gram (6.2 oz)

10-32 UNF

M5. Depth 4.5 mm

< 3 μm

Max. 3.5 Nm (31 lbf-in). Min. 0.5 Nm (4.4 lbf-in)



Mounting Technique:

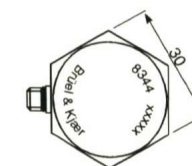
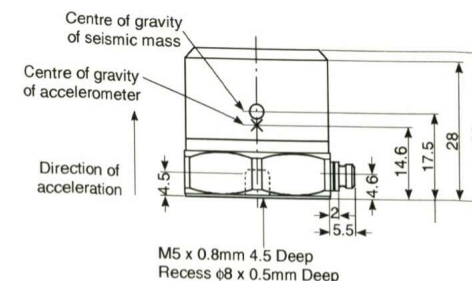
Examine the mounting surface for cleanliness and smoothness.

If necessary, machine surface to a flatness < 10 μm and a roughness < 2 μm.

Fasten the accelerometer using the appropriate stud. Take care not to exceed the recommended mounting torque and that the stud does not bottom in the mounting hole.

A thin film of oil or grease between the accelerometer and the mounting surface helps achieve good contact and improves mounting stiffness.

See also ISO 5348. For other types of mounting, see the Brüel & Kjær handbook "Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers" (available from your local Brüel & Kjær representative).



All dimensions in millimetres

Date 10 Jul 2013, 07:40 Operator KC

Specifications obtained in accordance with ANSI S2.11-1969 and parts of ISO 5347.

All values are typical at 25°C (77°F) unless measurement uncertainty is specified.

Serial No.: 30230

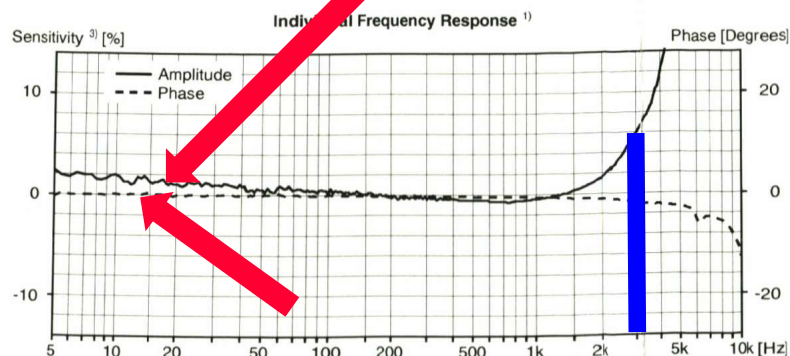
¹⁾ This calibration is obtained on a modified Brüel & Kjær Calibration System Type 9610 System No.: 150157, 1... and is traceable (amplitude only) to the National Institute of Standards and Technology, USA and Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany.

The expanded uncertainty 5 Hz to 4 kHz: 1.0%, 4 kHz to 7 kHz: 1.4% and 7 kHz to 10 kHz: 2.0% is determined in accordance with EAL-R2. A coverage factor k=2 is used. This corresponds to a coverage probability of 95% for a normal distribution.

²⁾ Transducer Electronic Data Sheet according to IEEE P1451.4. Built-in ID-information not included.

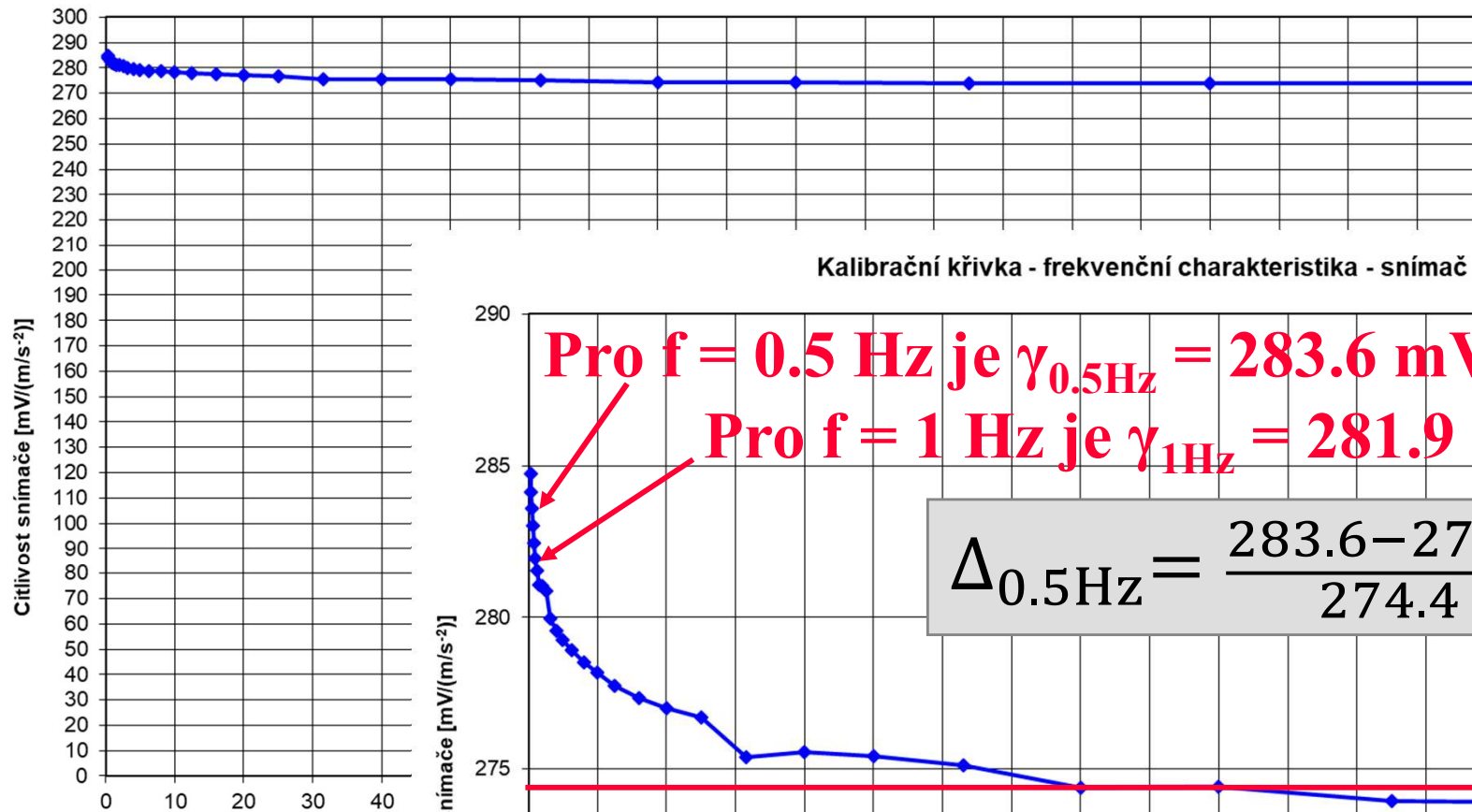
³⁾ Deviation from Reference Sensitivity.

For further information, please see <http://www.bksv.com> and Product Data Sheet BP 1288 and BP 1849.

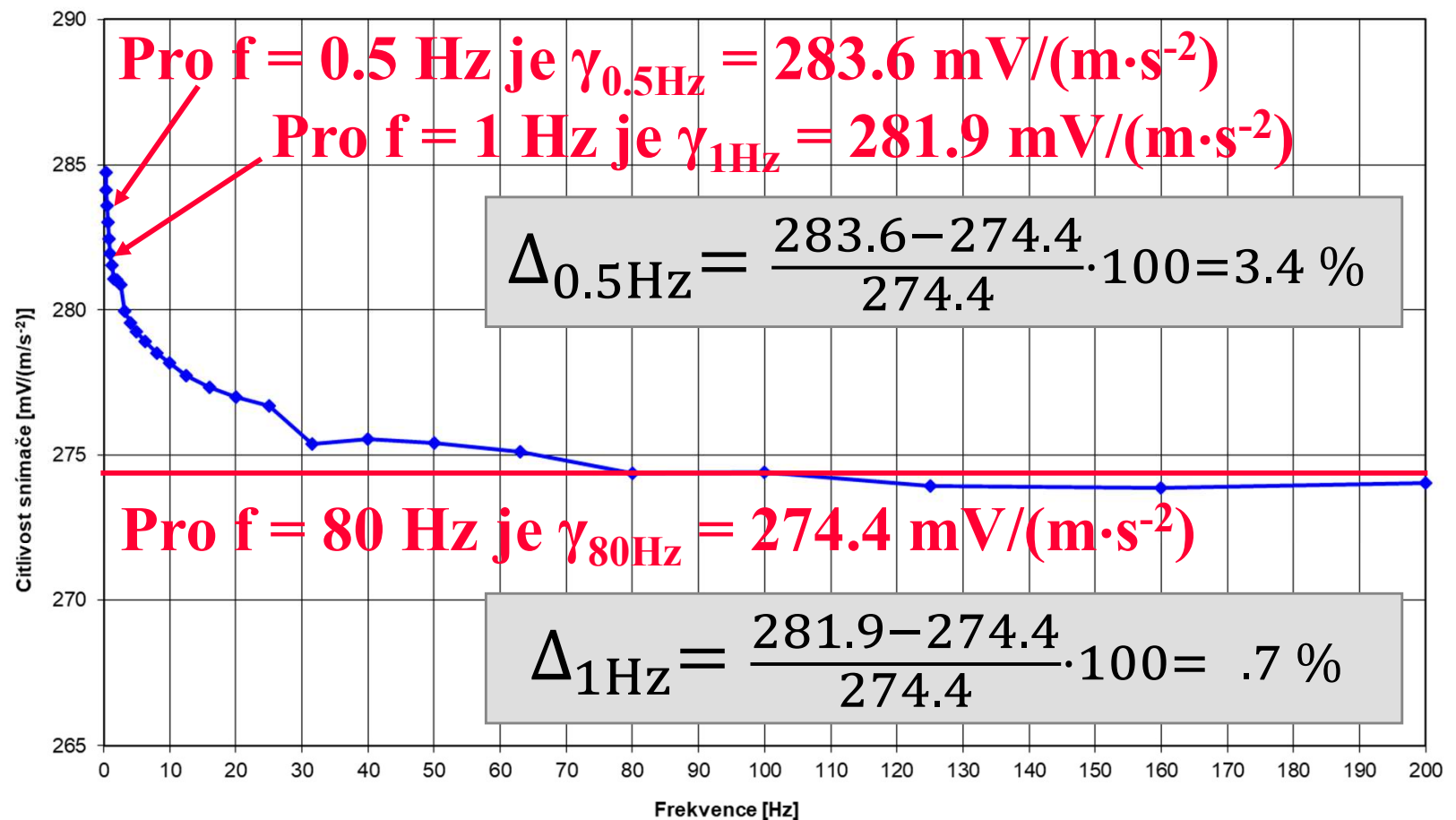


Frekvenční charakteristika citlivosti snímače zrychlení 8344

Kalibrační křivka - frekvenční charakteristika - snímač B&K 8344



Kalibrační křivka - frekvenční charakteristika - snímač B&K 8344



Příčná citlivost snímače :

- **schopnost měřit pohyb nebo deformaci i v příčném směru,**
- **nežádoucí vlastnost,**
- **ideálně 0 %,**
- **reálně do 3 % až 5 %.**

Příčná citlivost snímače zrychlení – B12/200 HBM

6. Technische Daten

Meßgrößen:	Schwing- und Schockbeschleunigung, konstante Beschleunigung, (m. B12/200 auch Neigung im Schwerfeld)
Meßrichtung (f. Beschl.):	selektiv in Richtung der Gehäuseachse beliebig im Schwerfeld orientiert
Art des Bezugssystems:	Absolutschwingmesser
Befestigungsart:	anschraubbar mit Gewindestutzen M6x6
Bereich der Betriebstemperatur:	- 10°C... + 60°C
Temp:Fehler der Empfindlkt.(typ.):	$\leq \pm 0,2 \% \text{ pro } 10^\circ \text{ C}$
Dämpfung:	durch Silikonölfüllung, $D=0,6 \pm 0,1$ bei +20°C
Temperaturabhängigkeit der Dämpfung	siehe Seite 7
Amplituden-Linearitätsfehler	$\leq 2 \%$
zulässige Querbeschleunigung	100 % des axialen Nennwertes
Querempfindlichkeit	$\leq 3 \%$



Příčná citlivost snímače zrychlení – 8344 B&K

Calibration Chart for DeltaTron® Accelerometer Type 8344



Brüel & Kjær

Serial No.: 30230

Reference Sensitivity ¹⁾ at 159.2 Hz ($\omega = 1000 \text{ s}^{-1}$), 20 ms^{-2} RMS,
4 mA supply current and 24.6°C : 269.0 mV/ ms^{-2} (2638 mV/g)

Frequency Range: Amplitude ($\pm 10\%$): 0.2 Hz to 3 kHz

Mounted Resonance Frequency: > 10 kHz

Transverse Sensitivity:
Maximum (at 30 Hz, 100 ms^{-2}): < 5% re Reference Sensitivity

Transverse Resonance Frequency: 3.5 kHz

Calculated values for TEDS ²⁾: Resonance frequency: 11.4 kHz
Quality factor @ f_{res} : 10.6
Amplitude slope: -1.4 %/decade
High pass cut-off frequency: 0.021 Hz
Low pass cut-off frequency: 1430 kHz

Measuring Range: $\pm 26 \text{ ms}^{-2}$ peak ($\pm 2.6 \text{ g}$ peak)

Polarity of the electrical signal is positive for an acceleration in the direction of the arrow on the drawing.

Electrical:

Bias Voltage: at 25°C and 4 mA: $13 \text{ V} \pm 1 \text{ V}$

Power Supply requirements: Constant Current: $T < 100^\circ\text{C}$: + 2 to + 20 mA
Unloaded Supply Voltage: + 24 V to + 30 V

Output Impedance: < 30 Ω

Start-up time (to final bias $\pm 10\%$): < 30 s

Inherent Noise (RMS):

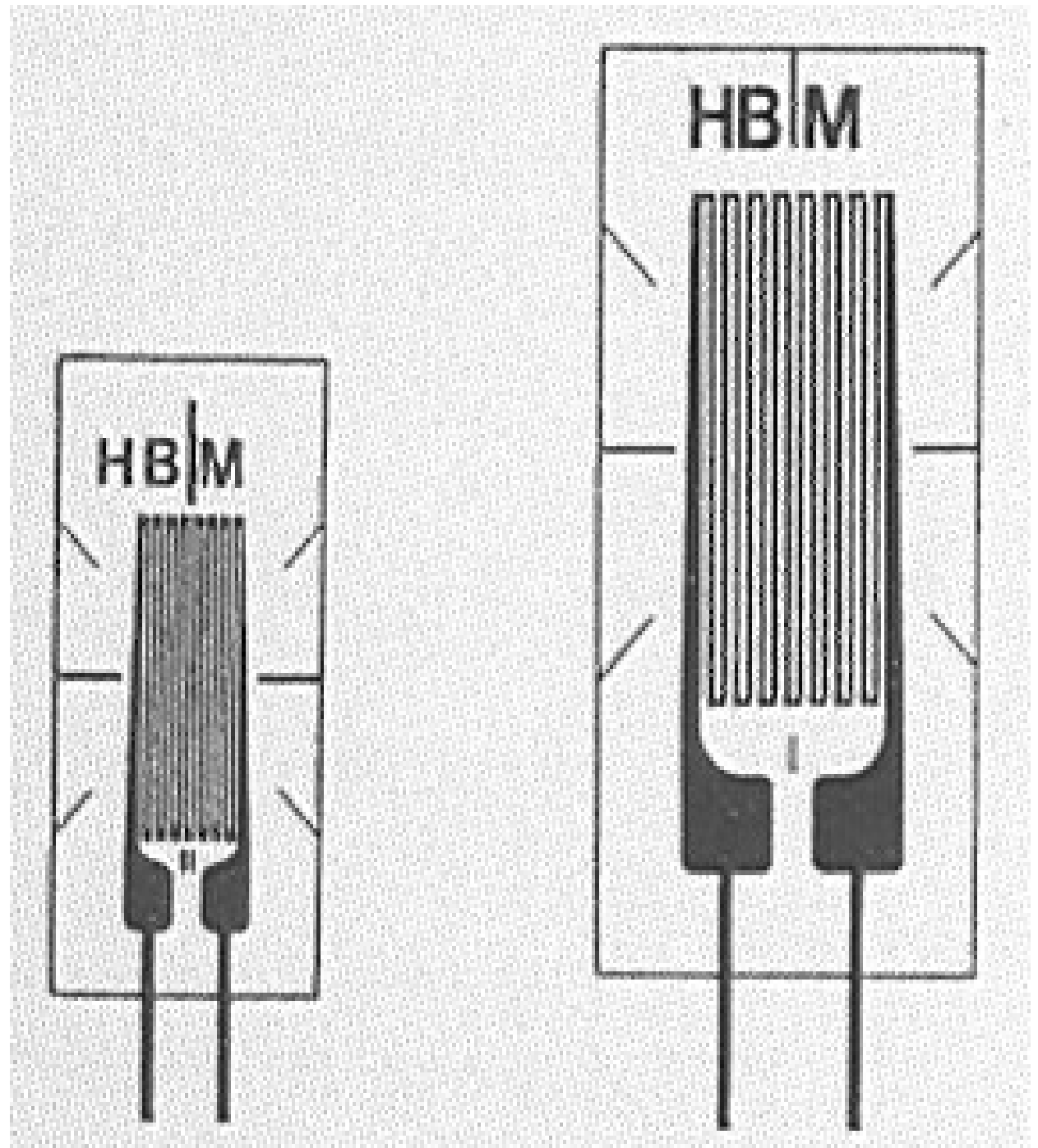
Spectral: 1 Hz: $1.1 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ (11 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$)
10 Hz: $7.75 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ (0.78 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$)
100 Hz: $7.75 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ (0.078 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$)
1000 Hz: $3.46 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-2}/\sqrt{\text{Hz}}$ (0.035 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$)



Příčná citlivost snímače – odporové tenzometry

LY 11 10/120

Příčná citlivost -0,5 %

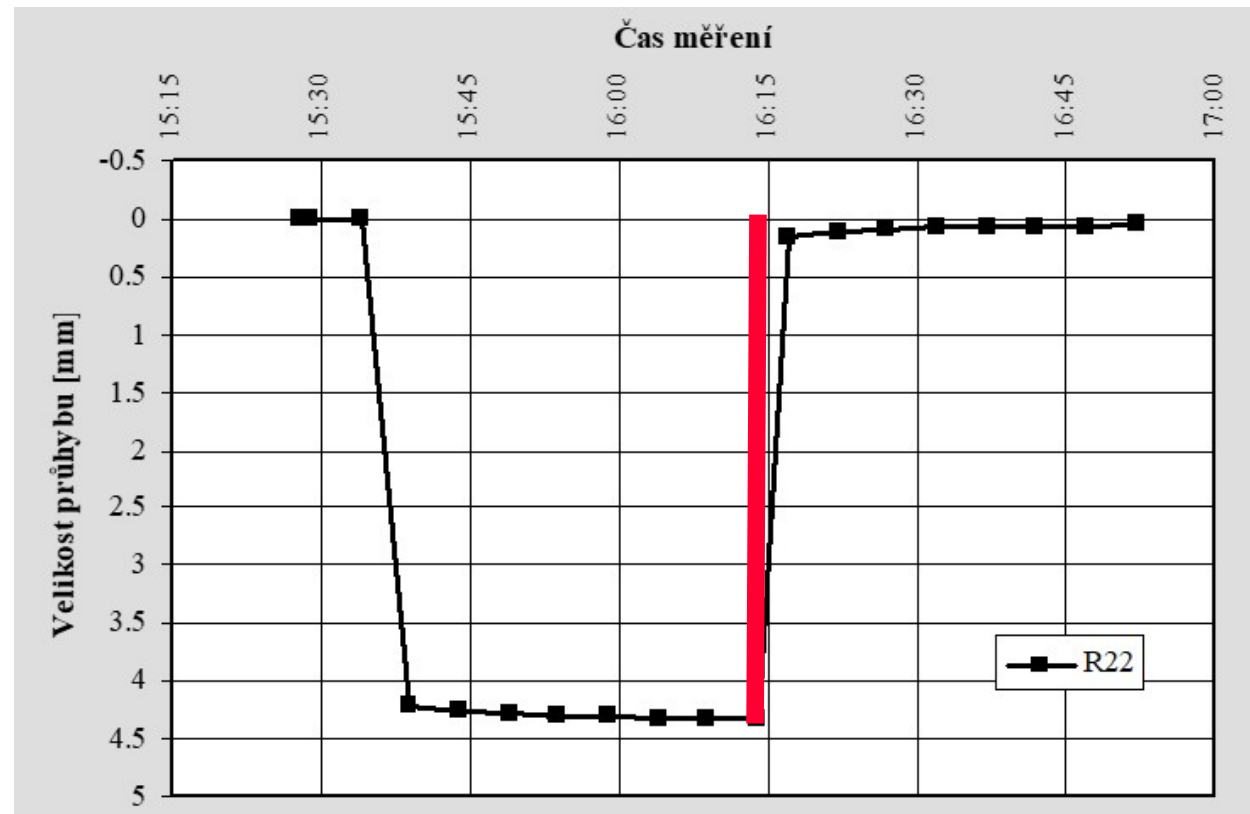


Výběr snímačů pro experiment:

- Na základě výsledků výpočtu
- Na základě zkušeností s obdobným měřením
- Rozbor
 - Maximálních hodnot (výkmitů) posunů, deformací, rychlosti, zrychlení
 - Požadovaného rozlišení (přesnosti, nejistoty)
 - Frekvenčního složení

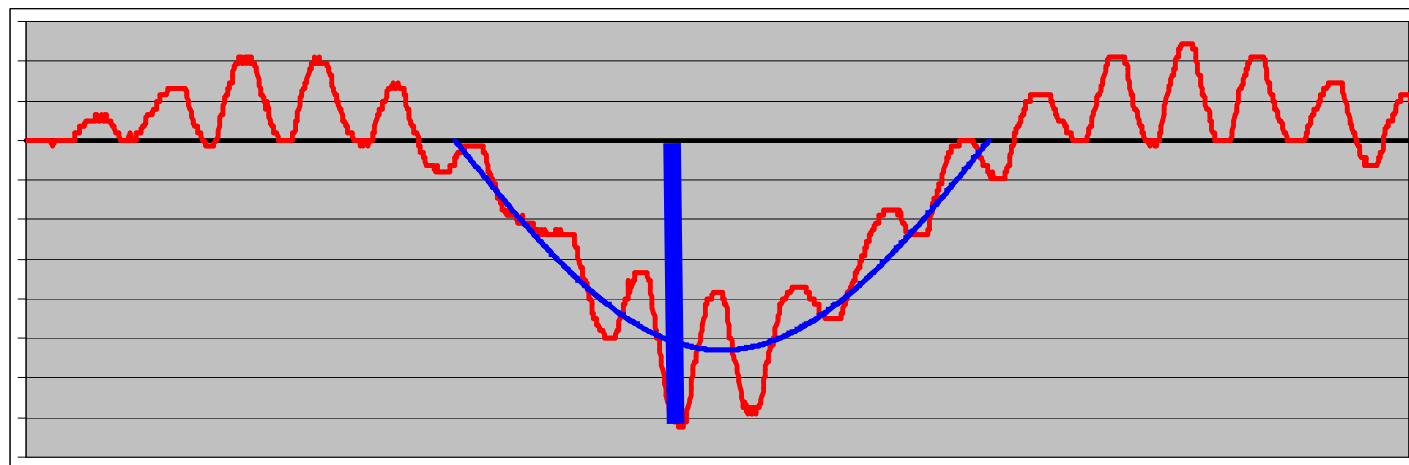
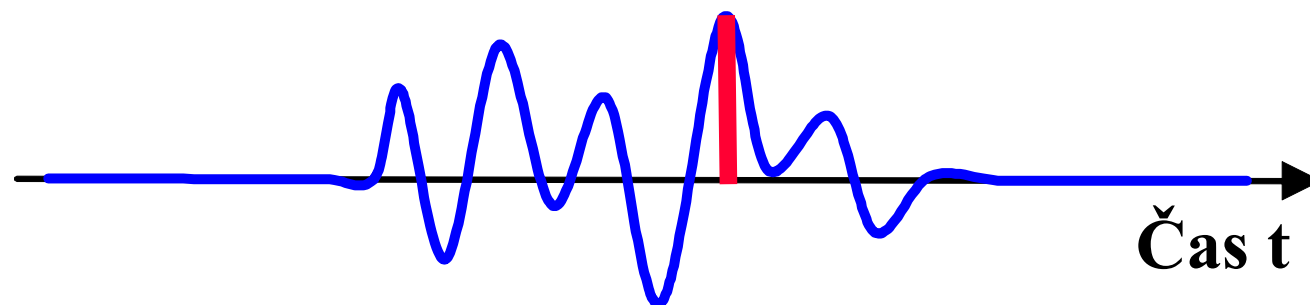
Výběr snímačů pro experiment:

- Měření průhybu:
- Statická zkouška – očekávaný ustálený průhyb 15,1 mm
- Snímače s rozsahem:
 - +/- 5 mm
 - +/- 10 mm
 - +/- 20 mm
 - +/- 50 mm

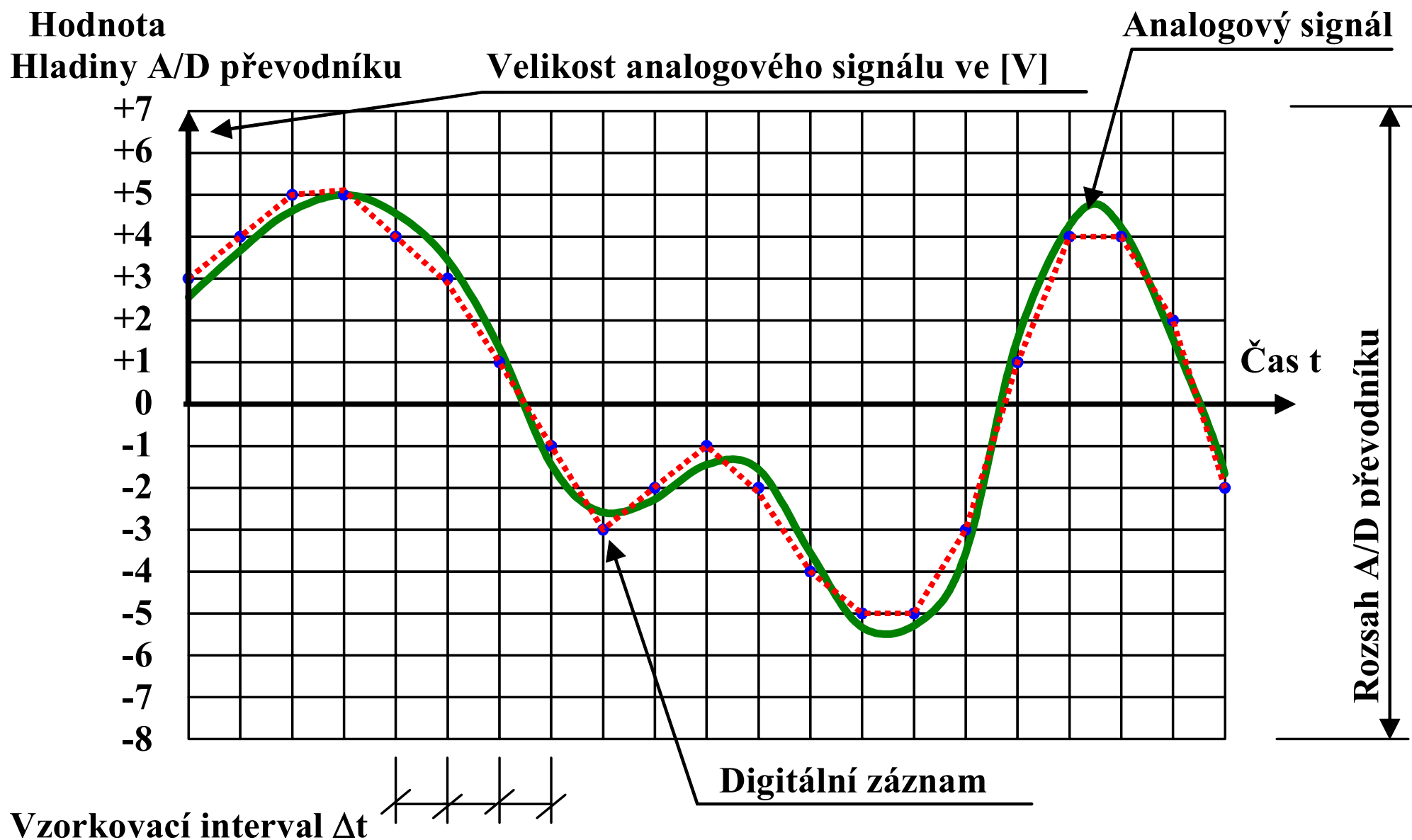


Výběr snímačů pro experiment:

- **Měření průhybu:**
- **Dynamická zkouška – očekávaný výkmit průhybu 12,5 mm**
- **Snímače s rozsahem:**
 - +/- 5 mm
 - +/- 10 mm
 - +/- 20 mm
 - +/- 50 mm

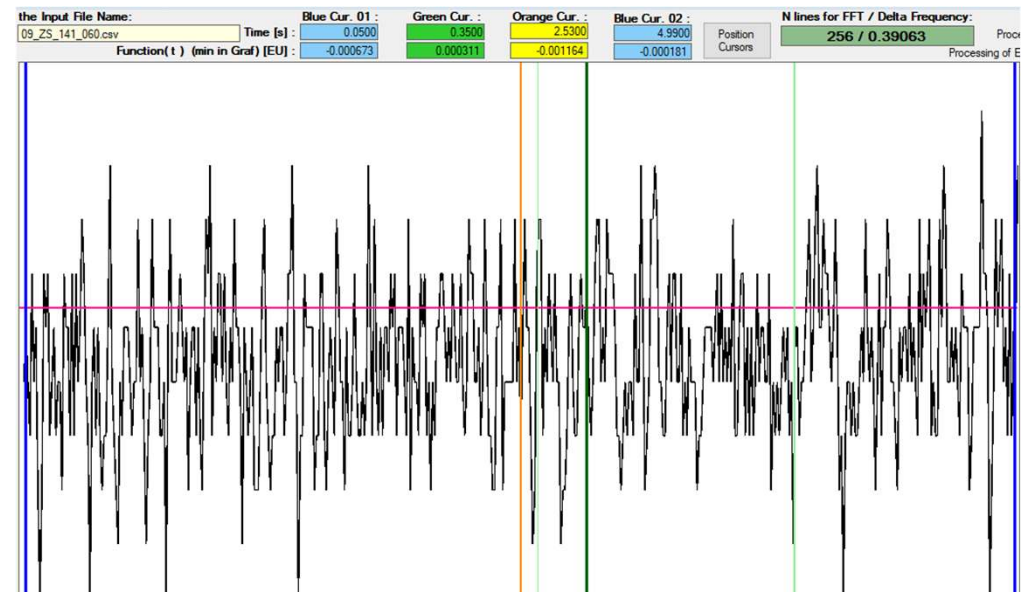
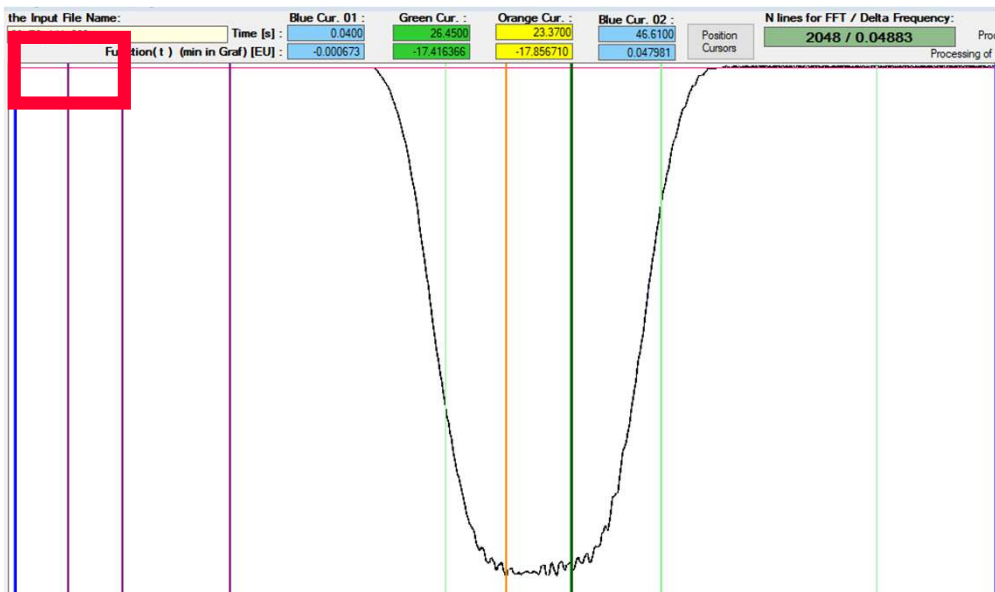


Volba vzorkovacího intervalu (vzorkovací frekvence) :



Volba vzorkovacího intervalu (vzorkovací frekvence) :

- **Statická zatěžovací zkouška:**
 - **Max. Δt stanovené normou**
 - **Vhodné provádět odečítání v kratším intervalu (např. 30 s)**
 - **Doba integrace signálu (např. 20 ms, 100 ms)**



Volba vzorkovacího intervalu (vzorkovací frekvence) :

Dynamická zkouška - volba Δt :

Aby nebyly pomínuty významné frekvence odezvy pro vyhodnocení f_{MAX} pomocí FFT:

$$\Delta t = \frac{1}{2,56 \cdot f_{MAX}} \qquad f_s = \frac{1}{\Delta t}$$

$f_{MAX} = 20 \text{ Hz}$:

$$\Delta t = \frac{1}{2,56 \cdot 20} = 0,01953 \text{ s}$$

$$f_s = \frac{1}{0,01953} = 51,203 \text{ Hz}$$

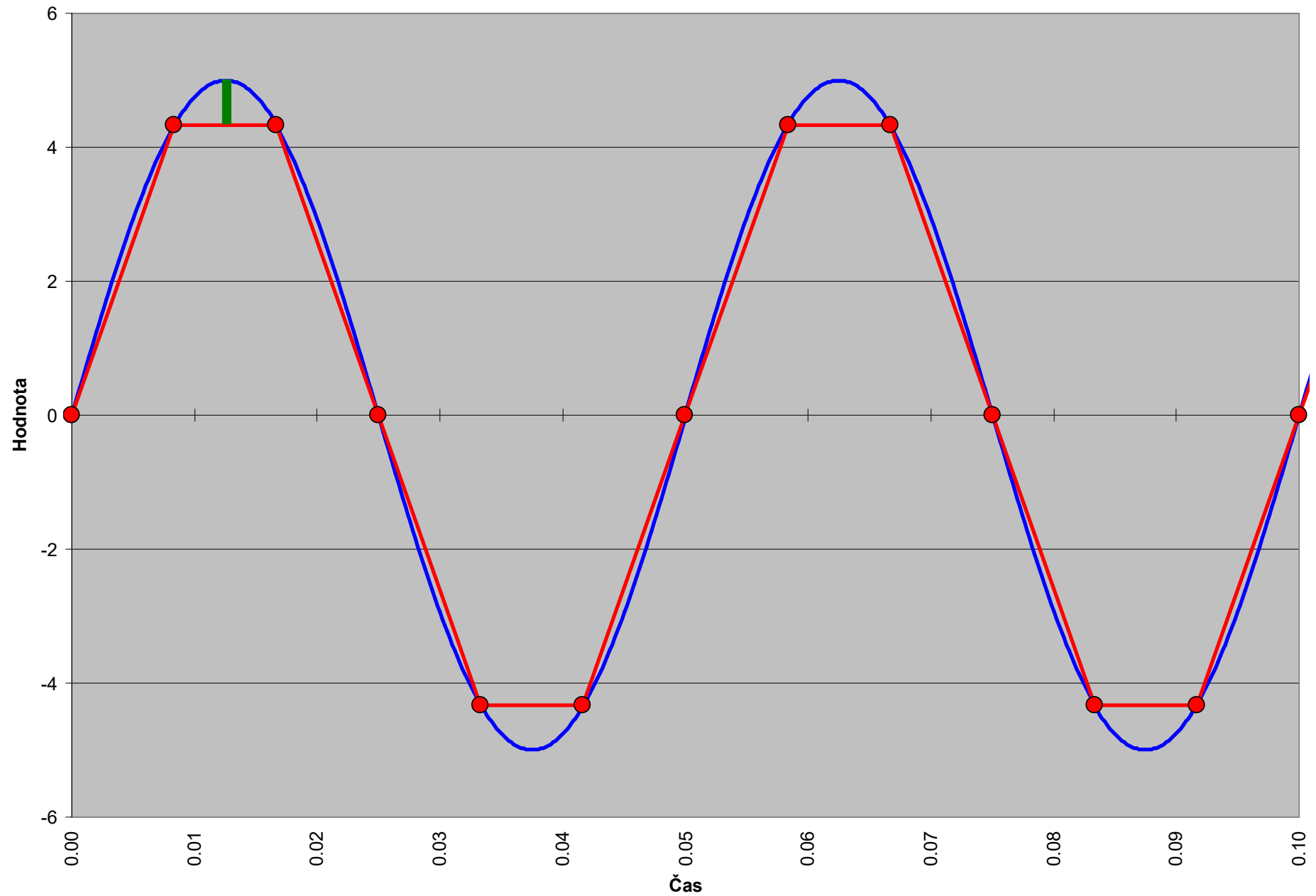
Volba vzorkovacího intervalu (vzorkovací frekvence) :

**Aby byla dostatečně přesně popsána
amplituda harmonické složky f_{MAX} v časové
oblasti:**

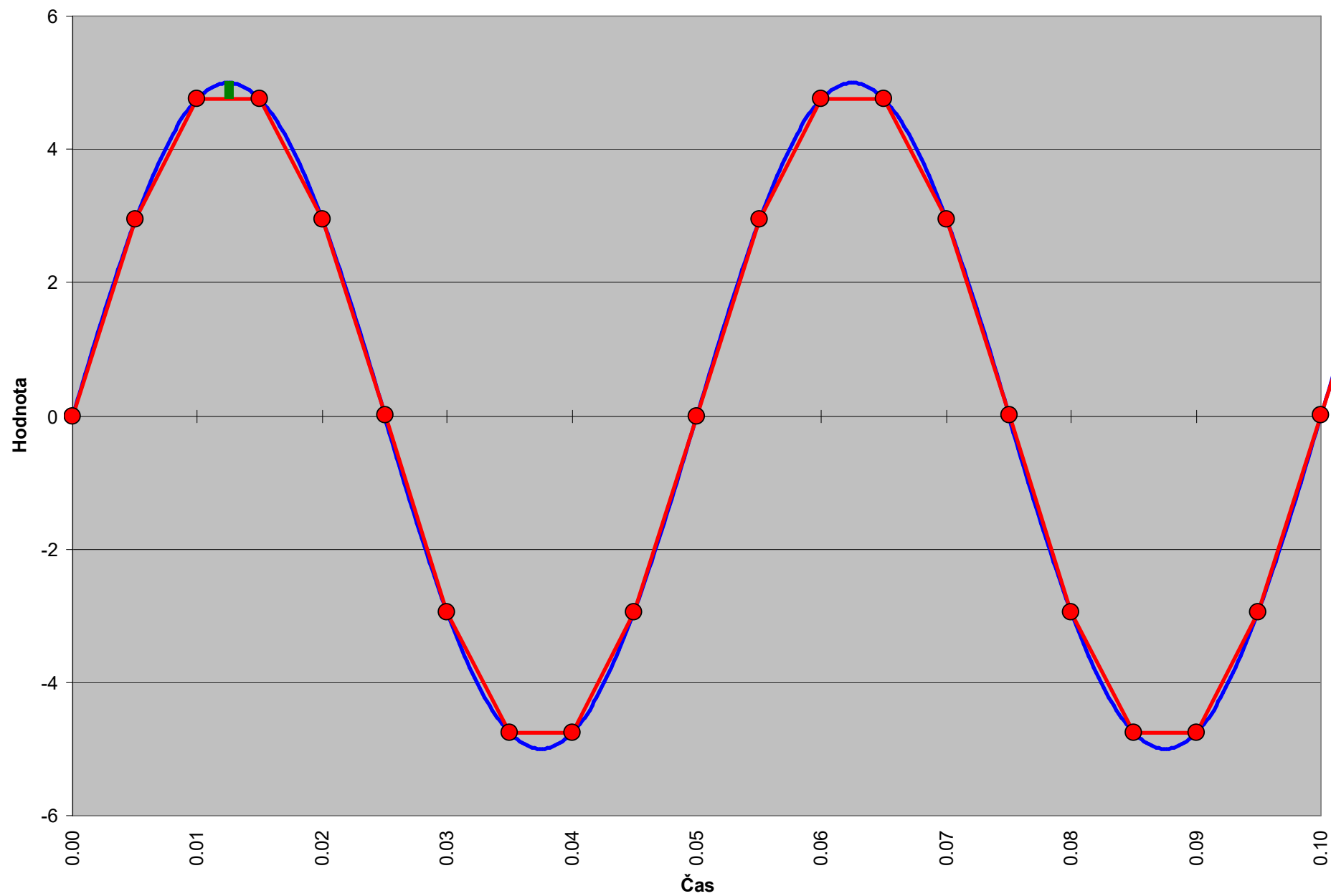
$$\Delta t = \frac{1}{N f_{MAX}} \qquad f_s = \frac{1}{\Delta t}$$

- **N počet bodů na jednu periodu harmonické složky f_{MAX}**

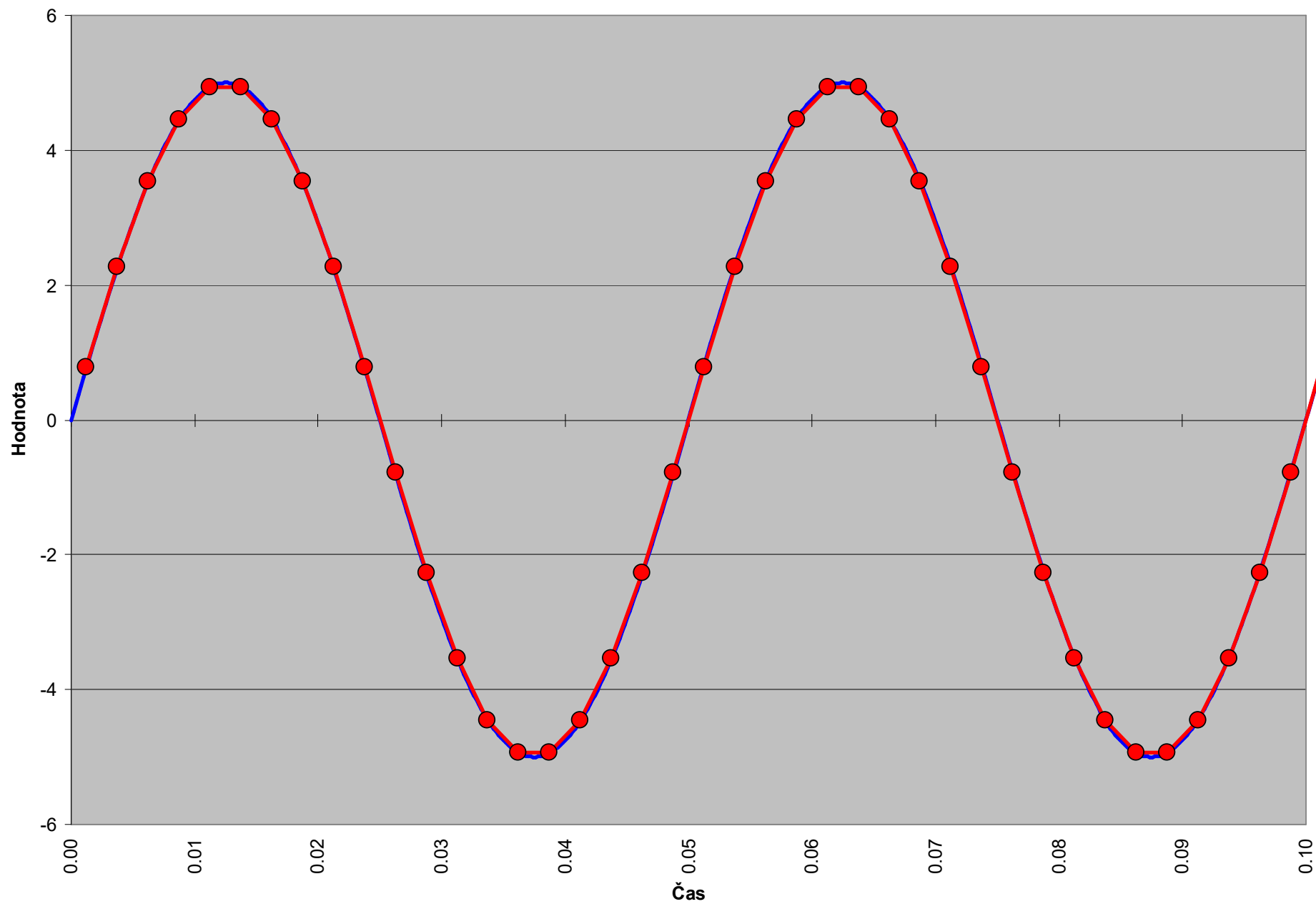
N = 6 BODŮ NA PERIODU (Časový průběh - frekvence 20 Hz)



N = 10 BODŮ NA PERIODU (Časový průběh - frekvence 20 Hz)



N = 20 BODŮ NA PERIODU (Časový průběh - frekvence 20 Hz)



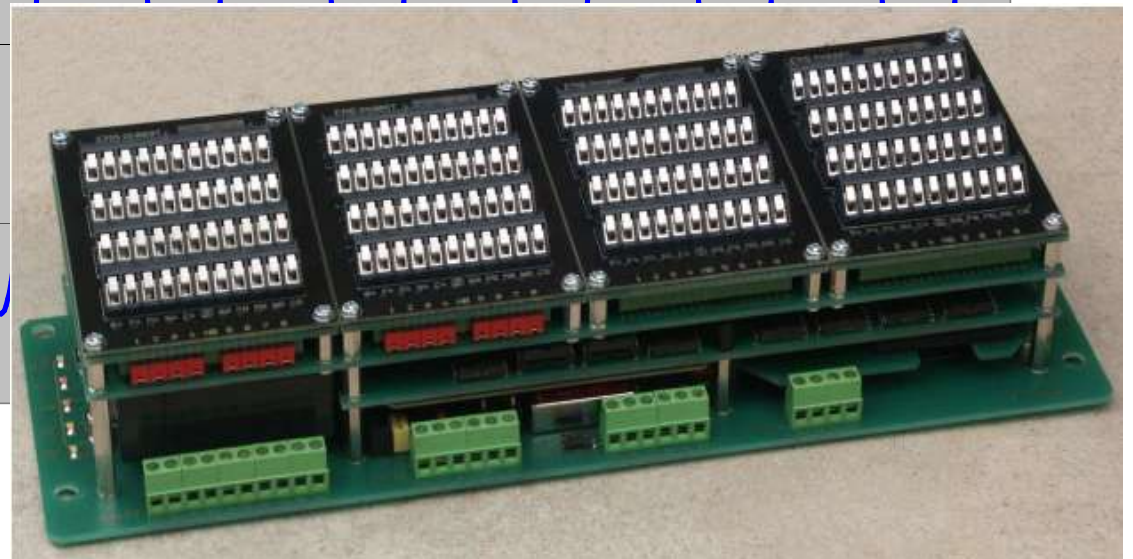
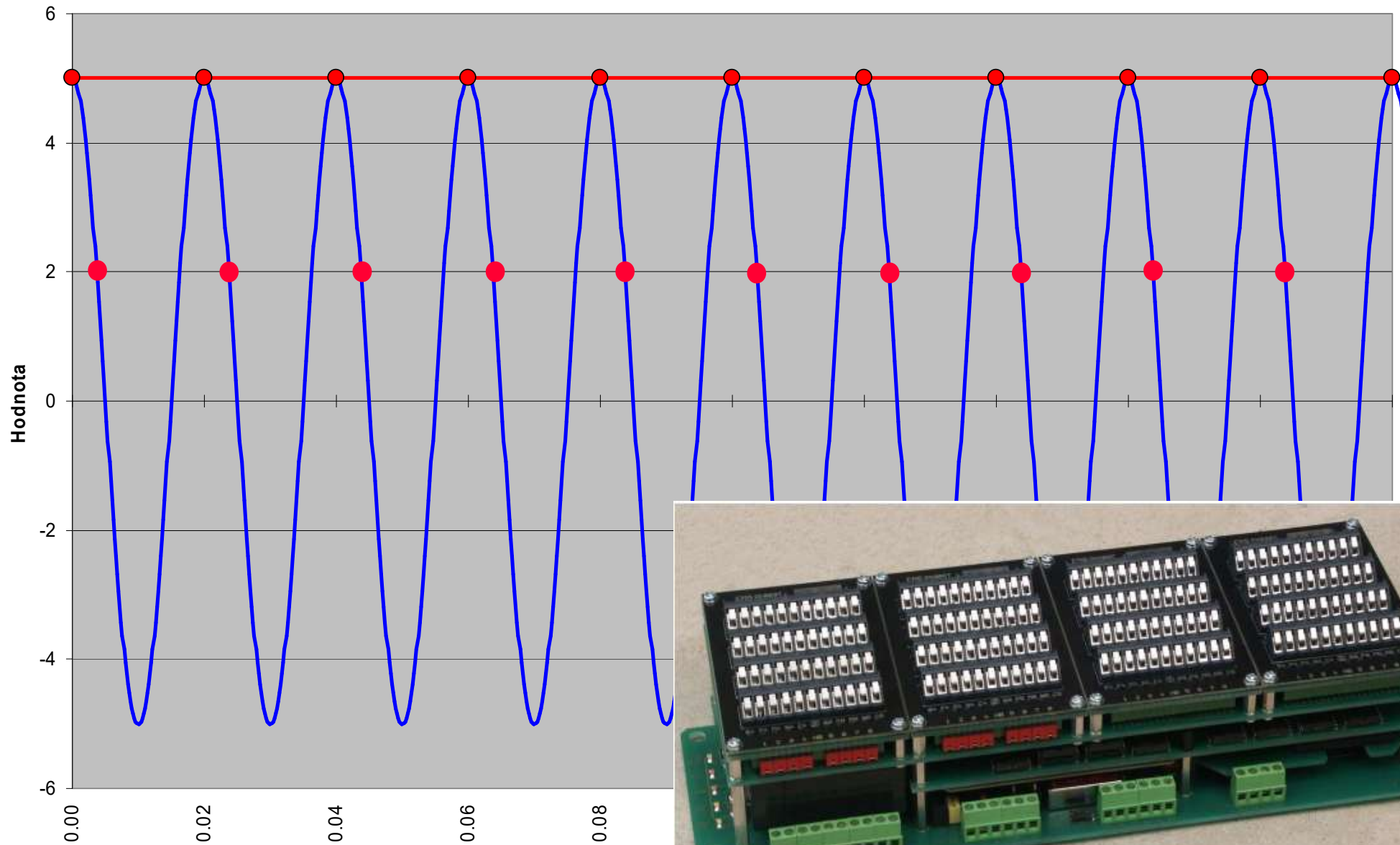
Volba vzorkovacího intervalu (vzorkovací frekvence) :

Extrémní chyba určení amplitudy frekvence f_{MAX} :

- **$N = 5 \rightarrow$ chyba amplitudy $\approx 19,1 \%$**
- **$N = 10 \rightarrow$ chyba amplitudy $\approx 4,9 \%$**
- **$N = 20 \rightarrow$ chyba amplitudy $\approx 1,2 \%$**
- **$N = 30 \rightarrow$ chyba amplitudy $\approx 0,5 \%$**

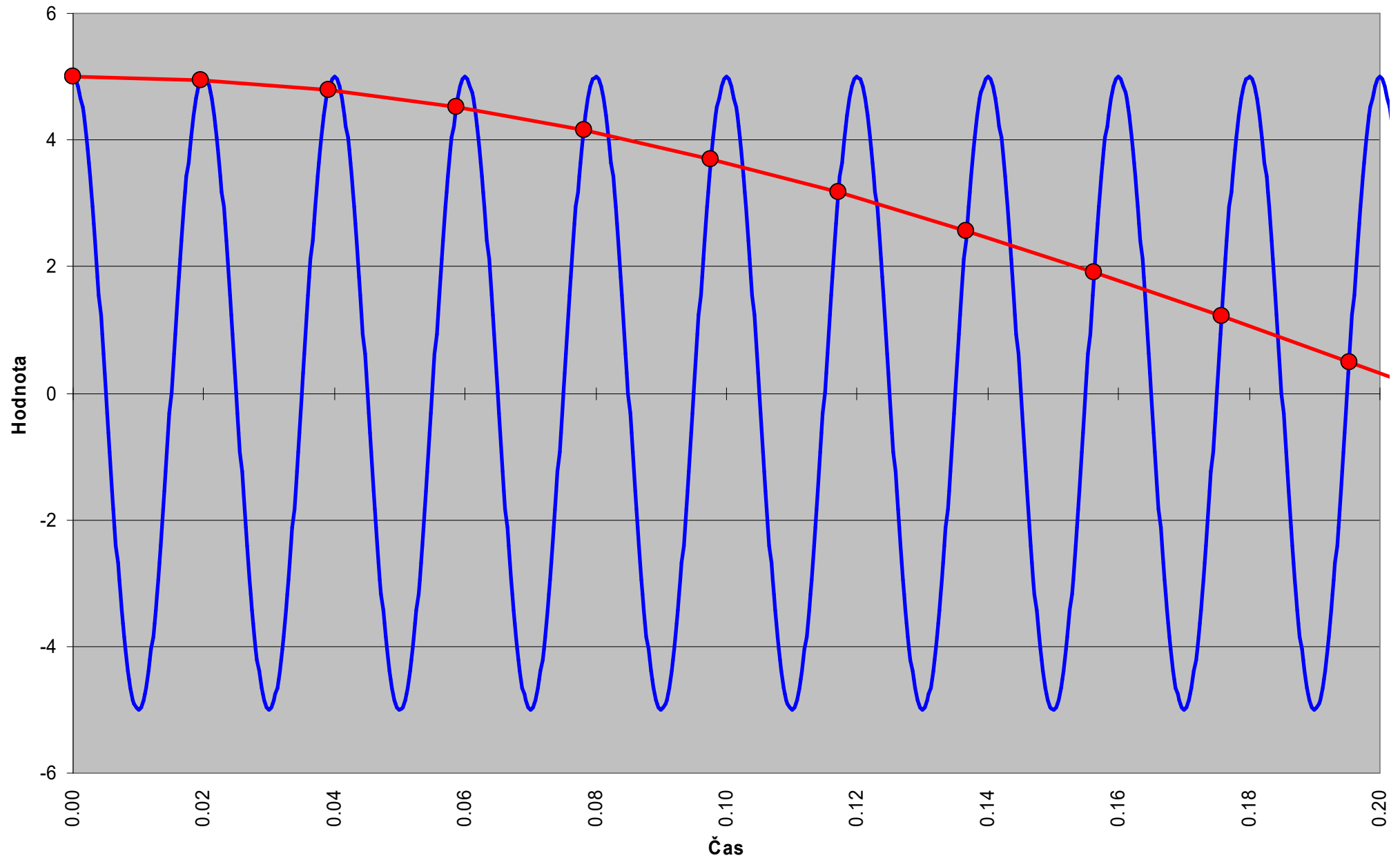
Rušení měřeného signálu - 50 Hz:

Časový průběh - frekvence 50 Hz



Aliasing

Časový průběh - frekvence 50 Hz

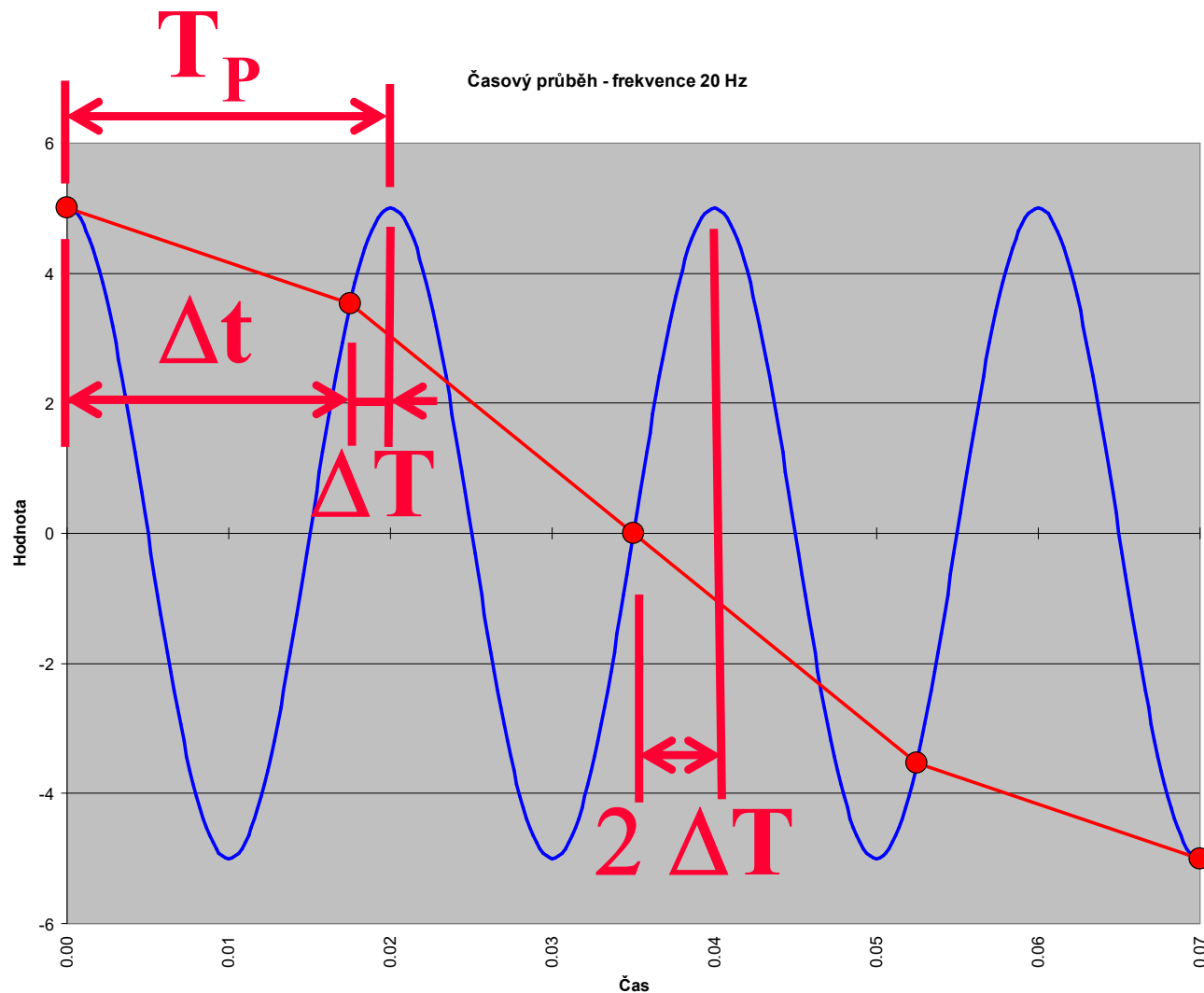


Zdánlivá frekvenční složka f_{ZD}

$$\Delta T = T_P - \Delta t$$

$$T_{\text{ZD}} = \left(\frac{T_P}{\Delta T} - 1 \right) T_P$$

$$f_{\text{ZD}} = \frac{1}{T_{\text{ZD}}}$$



Zdánlivá frekvenční složka f_{ZD}

Rušení z rozvodné sítě: $f_{\text{P}} = 50 \text{ Hz}$

Vzorkování pro FFT: $f_{\text{MAX}} = 20 \text{ Hz}$

$$T_{\text{P}} = \frac{1}{f_{\text{P}}} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$$

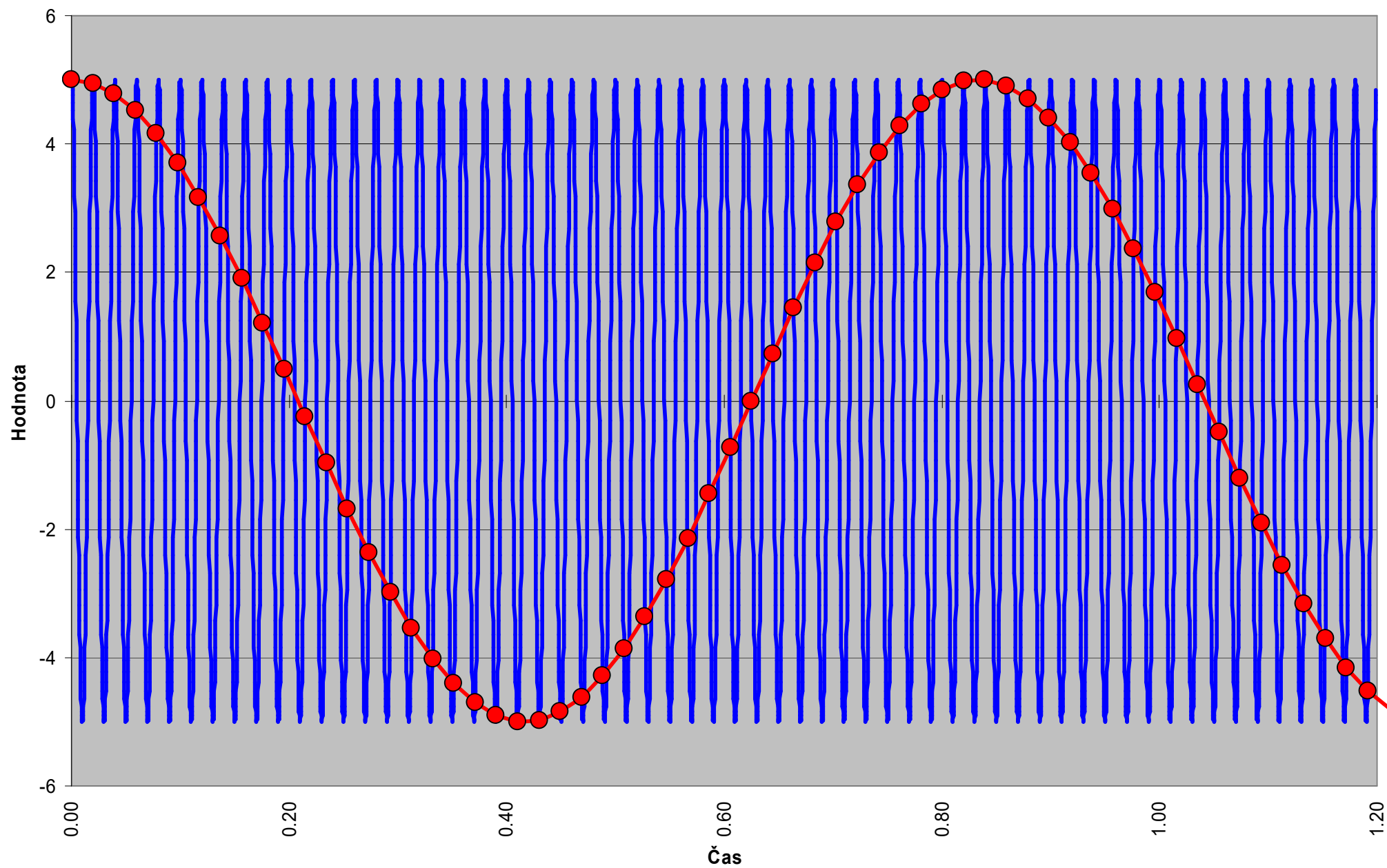
$$\Delta t = \frac{1}{2,56 \cdot f_{\text{MAX}}} = \frac{1}{2,56 \cdot 20} = 0,019531 \text{ s}$$

$$\Delta T = T_{\text{P}} - \Delta t = 0,02 - 0,019531 = 0,000469 \text{ s}$$

$$T_{\text{ZD}} = \left(\frac{T_{\text{P}}}{\Delta T} - 1 \right) T_{\text{P}} = \left(\frac{0,02}{0,000469} - 1 \right) 0,02 = 0,8329 \text{ s}$$

$$f_{\text{ZD}} = \frac{1}{T_{\text{ZD}}} = \frac{1}{0,8329} = 1,20 \text{ Hz}$$

Časový průběh - frekvence 50 Hz

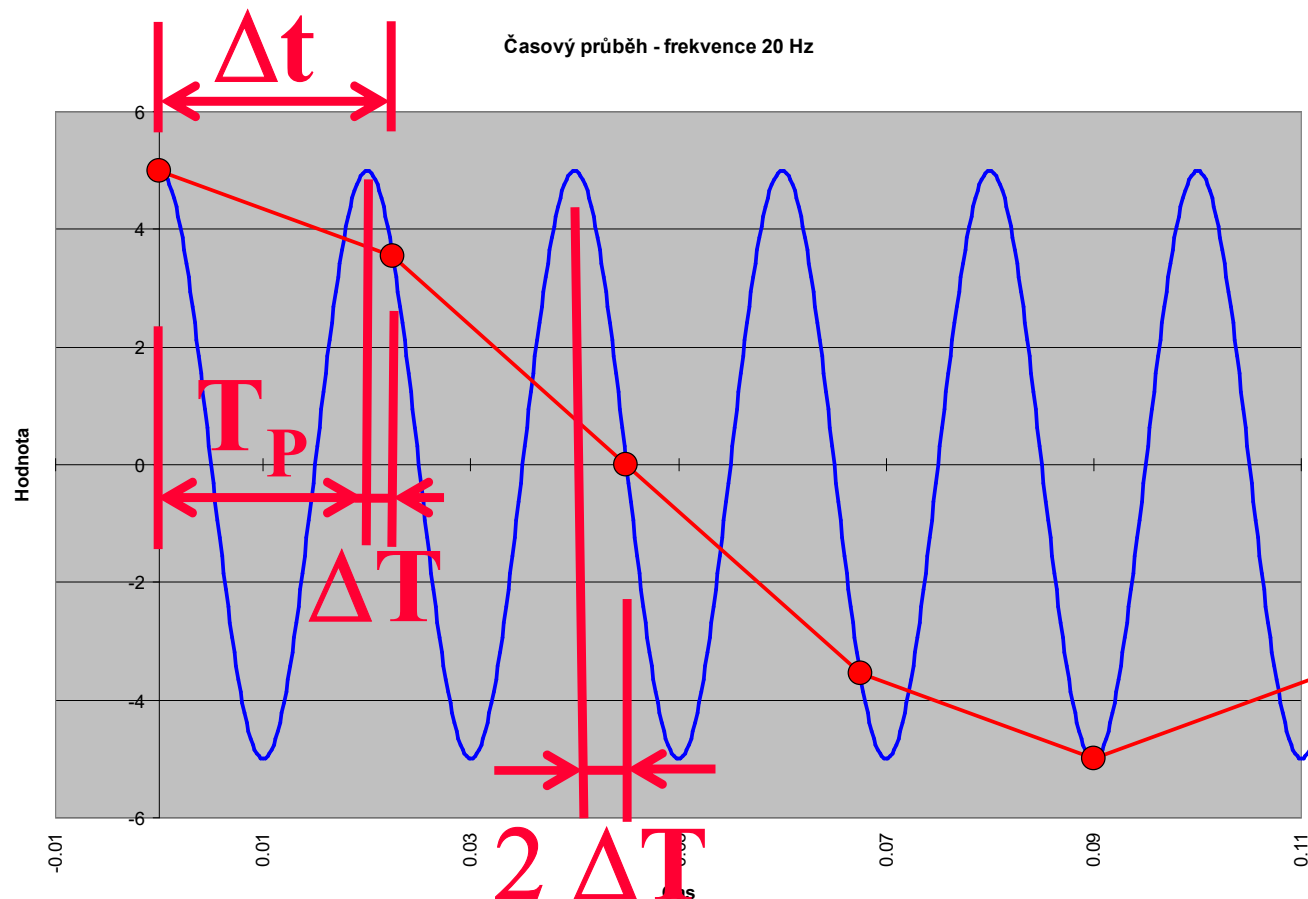


Zdánlivá frekvenční složka f_{ZD}

$$\Delta T = \Delta t - T_P$$

$$T_{\text{ZD}} = \left(\frac{T_P}{\Delta T} + 1 \right) T_P$$

$$f_{\text{ZD}} = \frac{1}{T_{\text{ZD}}}$$



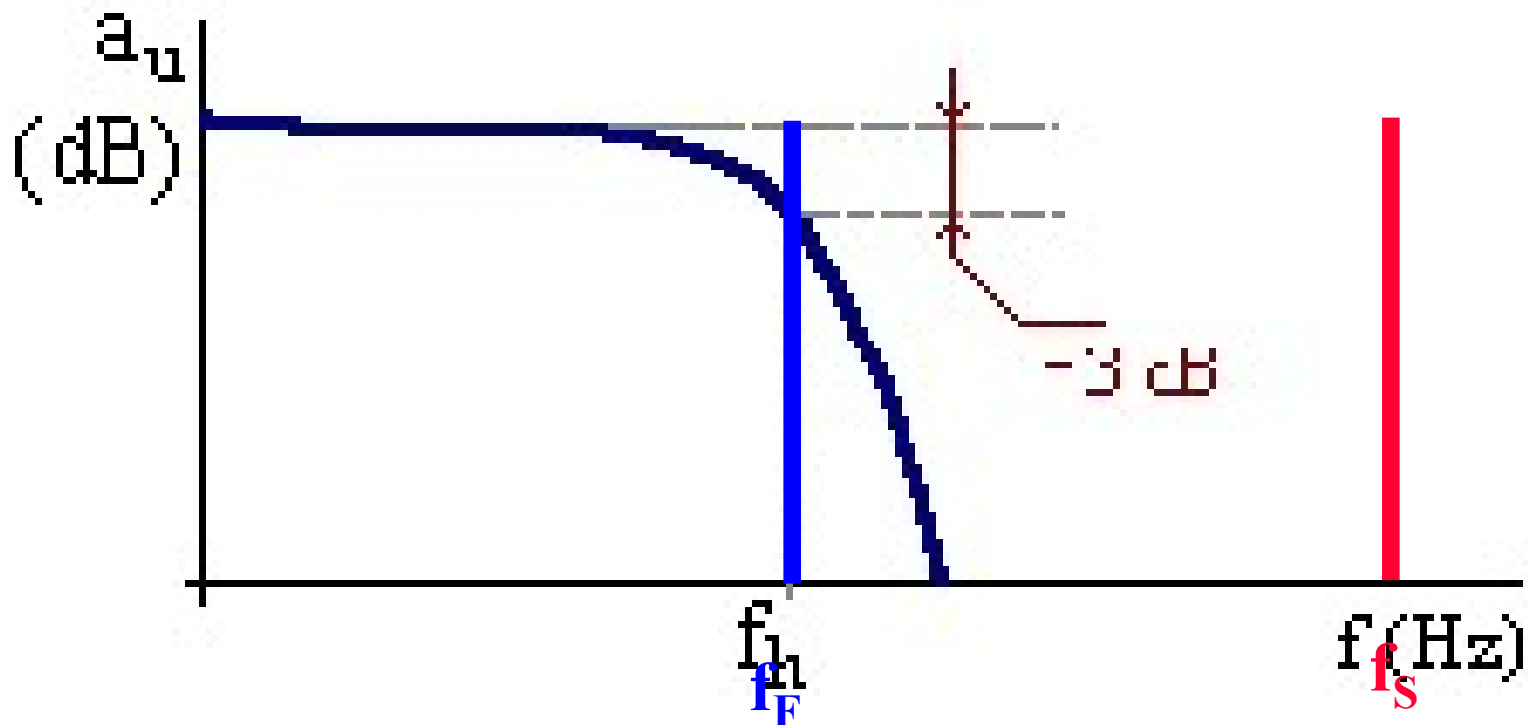
Ochrana proti aliasingu:

- **Shannonův teorém:**

- Vzorkovací frekvence f_s větší než dvojnásobek nejvyšší frekvence obsažené ve vzorkovaném signálu

- **Antialiasingový filtr:**

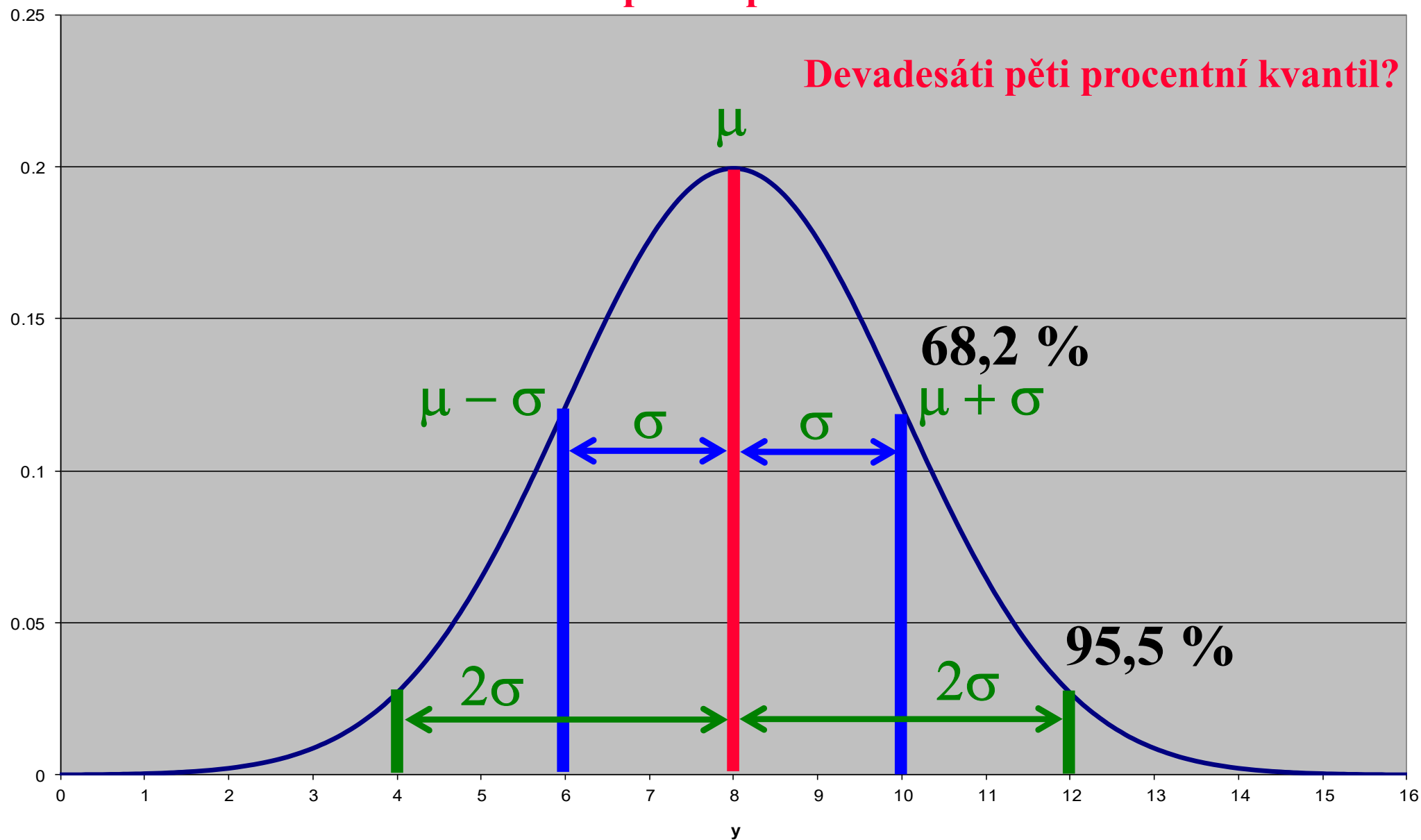
- Frekvenční filtr s dolní propustí
- Horní hranice filtru – $0,5 \cdot f_s = 0,5 \cdot 1/\Delta t$



Nejistoty výsledků měření:

GAUSSOVO NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ PRAVDĚPODOBNOSTI

Hustota pravděpodobnosti



Nejistoty výsledků měření:

- **Standardní nejistota u_y**
 - Standardní nejistota vymezuje interval, ve kterém leží výsledná hodnota měřené veličiny s pravděpodobností $\sim 68 \%$
- **Rozšířená nejistota $U_{k=2}$**
 - $U_{k=2} = k \cdot u_y = 2 u_y$
 - Rozšířená nejistota vymezuje interval, ve kterém leží výsledná hodnota vyhodnocované veličiny s pravděpodobností $\sim 95 \%$

Nejistoty výsledků měření:

- **Standardní nejistota u_y**
 - **u_{yA} - standardní nejistota typu A**
 - **u_{yB} - standardní nejistota typu B**
 - **u_y - kombinovaná standardní nejistota**

Nejistoty výsledků měření:

- **Standardní nejistota typu A - u_{yA}**
 - Je způsobována náhodnými vlivy
 - veličinu **y** lze stanovit opakovaným měřením za stále shodných podmínek
 - stanovení délky pásmem, mikrometrickým šroubem, posuvným měřítkem,
 - stanovení hmotnosti vážením
 - Proveďte se ideálně 10 měření
 - $u_{yA} = k_y \cdot s_y$
 s_y - směrodatná odchylka aritmetického průměru veličiny **y**
 - $k_y = 1,0$ ($n \geq 10$)
 - $k_y = 1,4$ ($n = 5$)
 - $k_y = 2,3$ ($n = 3$)

Počet naměřených hodnot n	Součinitel k_x
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2

Nejistoty výsledků měření:

- **Standardní nejistota typu B - u_{yB}**
 - Systematické nejistoty
 - Určují se také statistickým přístupem z předem stanovených zdrojů nejistot x_i
 - nepřesnost měřicích přístrojů,
 - nepřesnost zkušebních strojů,
 - vliv lidského činitele – např. odečet měřené hodnoty odhadem mezi dílky stupnice,
 - vliv teploty apod.
- Stanoví se maximální hodnota nejistot
 - převezme se **standardní** (nebo **rozšířená**) **nejistota** z kalibračního listu měřicího přístroje,
 - Odhadne se max. hodnota $\pm \Delta x_{i,max}$ nepřesnosti měření (např. na základě informací od výrobce měřidla, z odborné literatury, z mezilaboratorních testů)

Nejistoty výsledků měření:

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK
PRÜFPROTOKOLL WEGAUFNEHMER
test certificate

Ident.-Nr.: 014140135
serial no.



Typ W2
type

Nennmessweg: 20
nominal displacement

Prüfdatum 13
test date

Linearitätsabweichung
linearity deviation

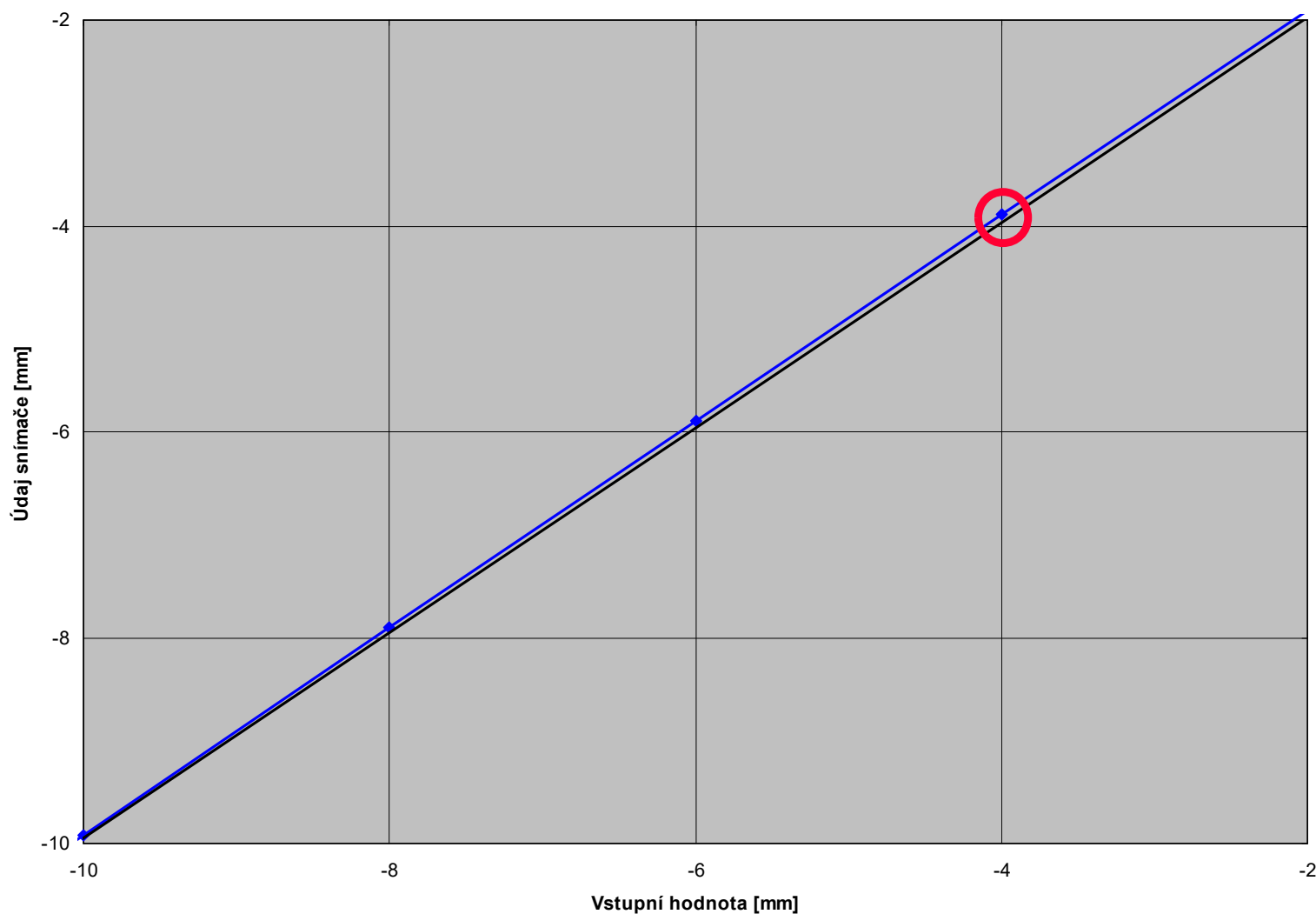
Prüfweg [mm] Abweichung [mm]
displacement deviation

-20.00	-0.000
-18.00	0.026
-16.00	0.023
-14.00	0.037
-12.00	0.058
-10.00	0.080
-8.00	0.102
-6.00	0.109
-4.00	0.109
-2.00	0.098
0.00	0.076
2.00	0.050
4.00	0.019
6.00	-0.007
8.00	-0.028
10.00	-0.042
12.00	-0.045
14.00	-0.047
16.00	-0.057
18.00	-0.083
20.00	-0.109

Kennwert bei : +20.0 mm 7
sensitivity at

max. Linearitätsabweichung 0.
max. linearity deviation

Kalibrační křivka - amplitudová charakteristika - snímač W20



Nejistoty výsledků měření:



Jmen. hodnota	Naměřená hodnota	Zjištěná odchylka
10,00	9,97	-0,03
8,10	8,09	-0,01
6,30	6,32	0,02
4,50	4,53	0,03
1,90	1,91	0,01
0,00	0,00	0,00
1,90	1,92	0,02
4,50	4,53	0,03
6,30	6,33	0,03
8,10	8,10	0,00
10,00	10,00	0,00
evidenční číslo 014940019		

Nejistota měření $U = \pm (6 + 42 L) \text{ um, } L / \text{m/}$

Uvedená rozšířená nejistota je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02

$$U_{(k=2)} = \pm(6 + 42 \cdot 0,0063) = \pm 6,3 \text{ } \mu\text{m} = \pm 0,0063 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 1,900 \pm 0,026 \text{ mm} \Rightarrow 1,900 + 0,026 \text{ mm} \\ (0,03 + 0,0063)$$

$$\Rightarrow 6,300 \pm 0,037 \text{ mm} \Rightarrow 6,300 + 0,037 \text{ mm}$$

$$U_{(k=2)} = \pm 0,037 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow u_{y,B} = \pm \frac{0,037}{2} = \pm 0,019 \text{ mm}$$

Nejistoty výsledků měření:

- Pro odhad maximální hodnoty nepřesnosti $\Delta x_{i,\max}$ se vypočte standardní nejistota typu B

$$u_{xiB} = \frac{\Delta x_{i,\max}}{\chi}$$

- pro stejnoměrné rozdělení

$$\chi = \sqrt{3}$$

- pro trojúhelníkové rozdělení

$$\chi = \sqrt{6}$$

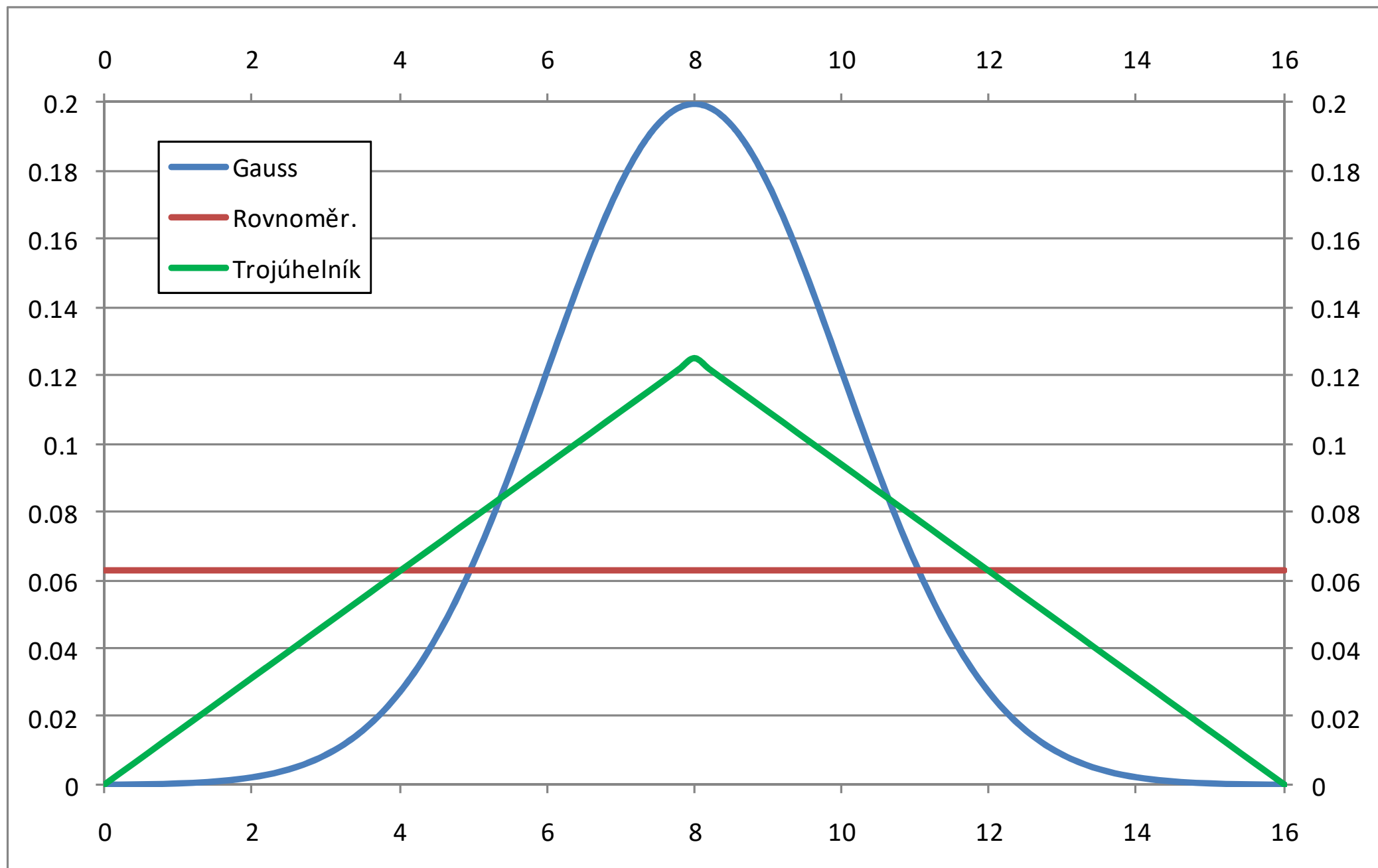
- pro Gaussovo normální rozdělení

$$\chi = 3$$

- Nejčastěji se předpokládá stejnoměrné rozdělení, při kterém je stejná pravděpodobnost výskytu libovolné hodnoty v daném intervalu $\pm \Delta x_{i,\max}$

Nejistoty výsledků zkoušek

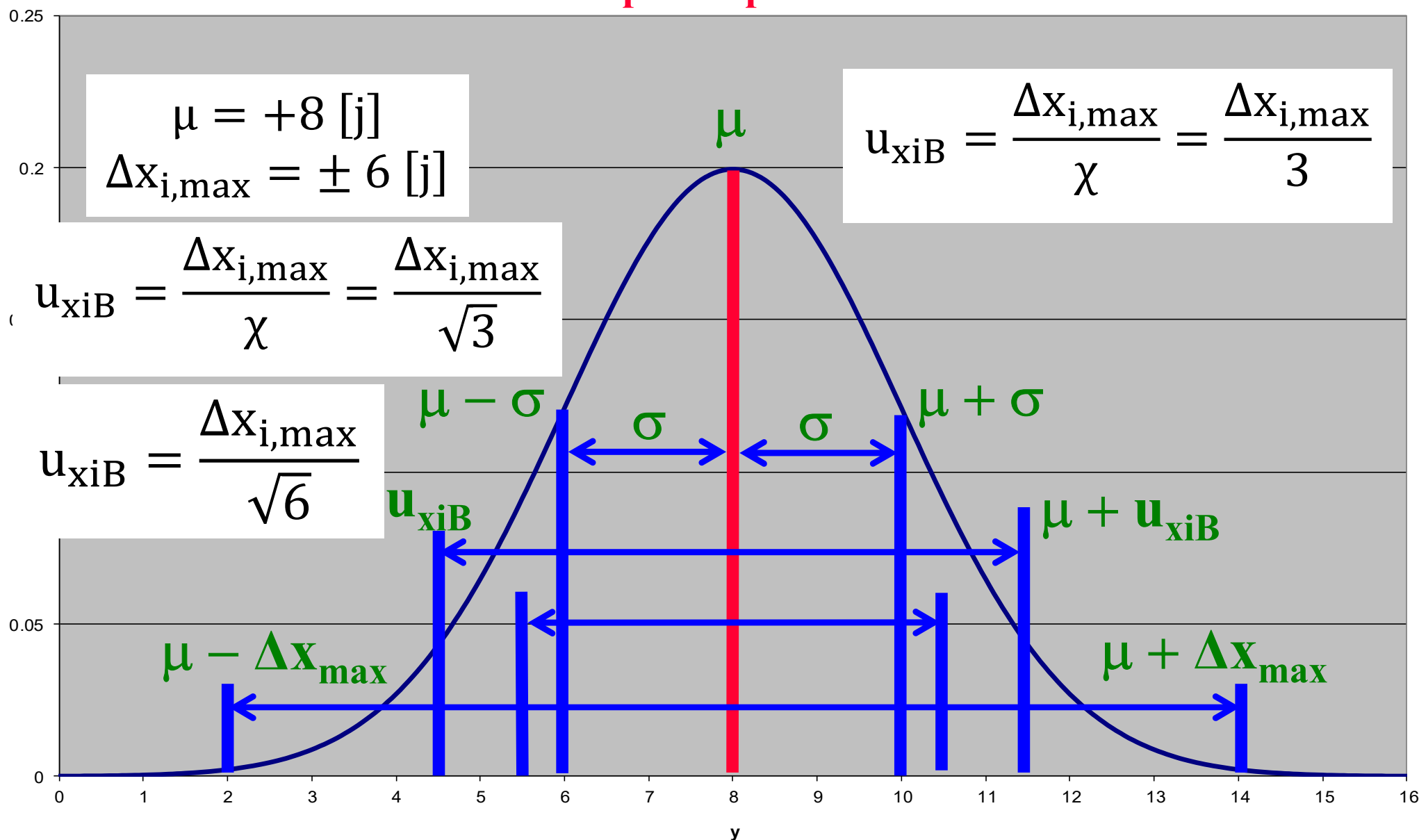
Hustota pravděpodobnosti:



Nejistoty výsledků měření:

GAUSSOVO NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ PRAVDĚPODOBNOSTI

Hustota pravděpodobnosti



Nejistoty výsledků měření:

- **Standardní nejistota typu B - u_{yB}**

$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{xiB}^2}$$

Gaussův zákon o přenášení chyb

Je možno zanedbat složky nejistot, které jsou menší než 20 % největší složky nejistot (vliv na celkovou standardní nejistotu je do 2 %). $u_c = \sqrt{(1.0 u)^2 + (0.2 u)^2} = u \sqrt{1.04} = 1.02 \cdot u$

- **Kombinovaná standardní nejistota - u_y**

$$u_y = \sqrt{u_{yA}^2 + u_{yB}^2}$$

Nejistoty výsledků měření:

- **Kombinovaná standardní nejistota - u_y**

$$u_y = \sqrt{u_{yA}^2 + u_{yB}^2}$$

- **Rozšířená nejistota – pro součinitel rozšíření k**

$$U_{(k=xy)} = k \cdot u_y$$

Pravděpodobnost pokrytí cca 95 % $\Rightarrow k = 2$

$$U_{(k=2)} = k \cdot u_y = 2 \cdot u_y$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

Stanovení nejistoty výsledku zkoušky získaného nepřímým měřením.

Stanovení standardní nejistoty v případě, že některé veličiny lze přímo měřit opakovaně.

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- Zkouška – krychelná pevnost betonu

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$



Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

Plocha krychle A_c :

● Kalibrační list – posuvné měřítko

Měřidlo:

Pracovní měřidlo nestanovené, posuvné měřítko s hloubkoměrem, se stavítkem, délky 30 cm, nonická difference 0,02 mm, oboustranné

Evidenční číslo měřidla: 6084/2; CL/18

Výsledky měření (pomocí ramen pro měření vnějších rozměrů):

Nominální hodnota (mm)	Měřená hodnota (odečtená – neredukovaná) (mm)
0	0,00
60	59,98
120	119,98
180	179,98
240	239,99
300	299,99
25*	24,87
20**	20,18

$U = 20\mu\text{m}$

*) Ramena pro vnitřní měření

**) Hloubkoměr

Rozšířená nejistota měření je $U = 36\mu\text{m}$.

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardních nejistot měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, který při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.



Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

Plocha krychle A_c :

- **Zkouška – krychelná pevnost betonu:**

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

- **Standardní nejistota rozměrů krychle a, b**
 - **Standardní nejistota typu B - vychází z údajů v kalibračním listu použitého posuvného měřítka :**

$$U_{k=2,x1} = 0,036 \text{ mm}$$

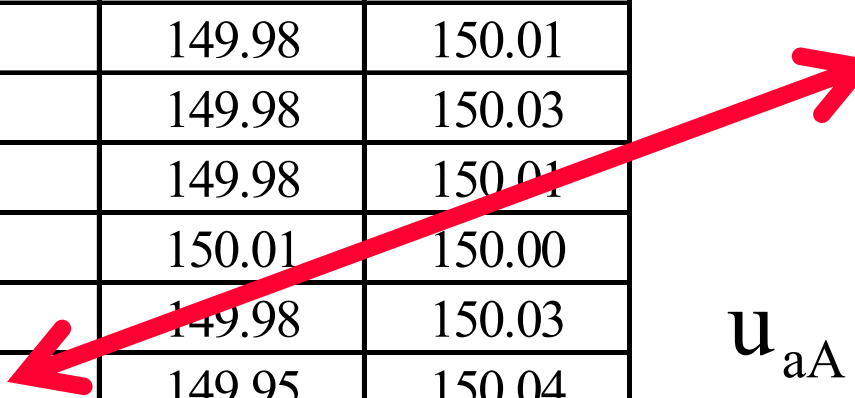
$$u_{x1B} = \frac{U_{k=2,x1}}{2} = \frac{0,036}{2} = 0,018 \text{ mm} \cong 0,02 \text{ mm}$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- Standardní nejistota rozměrů betonové krychle a, b
- Standardní nejistota typu A

Číslo měření	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]
1	150.00	149.98
2	149.96	149.95
3	150.05	150.04
4	150.04	150.01
5	149.98	150.01
6	149.98	150.03
7	149.98	150.01
8	150.01	150.00
9	149.98	150.03
10	149.95	150.04
Průměr	149.99	150.01
Sm.odch.	0.03	0.03

Počet naměřených hodnot n	Součinitel k_y
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2


$$k_y = 1,0$$

$$u_{aA} = 0,03 \text{ mm}$$

$$u_{bA} = 0,03 \text{ mm}$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- Kombinovaná standardní nejistota u_a , u_b**

$$u_a = \sqrt{u_{aA}^2 + u_{aB}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,02^2} = 0,04 \text{ mm}$$

$$u_b = \sqrt{u_{bA}^2 + u_{bB}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,02^2} = 0,04 \text{ mm}$$

- Rozšířená nejistota u_a , u_b**

$$U_{k=2,a} = 2 u_a = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ mm}$$

$$U_{k=2,b} = 2 u_b = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ mm}$$

$$a = 149,99 \pm 0,08 \text{ mm} \quad a \in \langle 149,91 \text{ mm}; 150,07 \text{ mm} \rangle$$

$$b = 150,01 \pm 0,08 \text{ mm} \quad b \in \langle 149,93 \text{ mm}; 150,09 \text{ mm} \rangle$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- **Kombinovaná standardní nejistota plochy A_C**

$$A_C = a \cdot b$$

$$\frac{\partial A_C}{\partial a} = b \quad \frac{\partial A_C}{\partial b} = a$$

$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{xiB}^2}$$

$$u_{A_C} = \sqrt{b^2 u_a^2 + a^2 u_b^2} = \sqrt{150,01^2 \cdot 0,04^2 + 149,99^2 \cdot 0,04^2} = 8,5 \text{ mm}^2$$

- **Rozšířená nejistota plochy A_C**

$$U_{k=2, A_C} = 2 u_{A_C} = 2 \cdot 8,5 = 17 \text{ mm}^2$$

$$A_C = a \cdot b = 149,99 \cdot 150,01 = 22500 \pm 17 \text{ mm}^2$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

Síla F:

● Kalibrační list – zkušební lis:

Označení předmětu kalibrace (měřidla): zkušební list ADR - Auto
Výrobce: ELE International, Anglie
Výrobní číslo: lis č.1887-1-1531, lámačka č.1638-7-1376
Rozsahy stupnic: 0 - 100 - 3 000 kN
Měřicí zařízení síly: elektromechanický snímač tlaku oleje

$$F = 1215,3$$



Rozsah: 0 - 3000 kN								
Zatížení	(F ± U) [kN]			a[%]	b[%]	f _d [%]	q[%]	p[%]
400	399,8	±	2,2	0,025	0,12	0,002	0,05	95
600	600,2	±	3,4	0,017	0,13	0,002	-0,03	95
900	899,4	±	3,3	0,011	0,10	0,002	0,07	95
1200	1 199,0	±	5,2	0,008	0,17	0,002	0,08	95
1500	1 499,0	±	5,5	0,007	0,13	0,002	0,07	95
2000	2 001,7	±	7,5	0,005	0,15	0,002	-0,08	95
2500	2 503	±	10	0,004	0,16	0,002	-0,13	95
3000	3 005	±	12	0,003	0,17	0,002	-0,16	95

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- Rozšířená nejistota síly F z kalibračního listu:

$$U_{k=2,F} = 5,5 \text{ kN}$$

- Měřená hodnota při experimentu:

$$F = 1215,3 \pm 5,5 \text{ kN}$$

- Standardní nejistota typu B - u_{FB}

$$u_{FB} = \frac{U_{k=2,F}}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ kN}$$

- Standardní nejistotu typu A - u_{FA} není možné získat.

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- **Standardní nejistota typu B pevnosti f_c** $f_c = F \cdot A_c^{-1}$

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad \frac{\partial f_c}{\partial F} = \frac{1}{A_c} \quad \frac{\partial f_c}{\partial A_c} = (-1) F \cdot A_c^{-2} = -\frac{F}{A_c^2}$$

$$u_{f_{cB}} = \sqrt{\left(\frac{1}{A_c}\right)^2 u_{FB}^2 + \left(-\frac{F}{A_c^2}\right)^2 u_{Ac}^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{22500}\right)^2 (2,75 \cdot 10^3)^2 + \left(-\frac{1215,3 \cdot 10^3}{22500^2}\right)^2 8,5^2} =$$
$$= 0,12 \text{ N/mm}^2 = 0,12 \text{ MPa}$$

- **Rozšířená nejistota f_c**

$$U_{k=2, f_c} = 2 u_{f_c} = 2 \cdot 0,12 = 0,24 \text{ MPa}$$

$$f_c = \frac{F}{A_c} = \frac{1215,3 \cdot 10^3}{22500} = 54,01 \pm 0,24 \text{ MPa}$$

$$f_c = 54,01 \text{ MPa} \pm 0,44\%$$

Příklad – nejistoty výsledků zkoušek:

- Kombinovaná standardní nejistota pevnosti f_c vyhodnocené ze sady N vzorků:

$$f_{C,S} = \frac{1}{N} (f_{C,1} + f_{C,2} + \dots + f_{C,N})$$

$$u_{fc,s,A} = k_{fc} s_{fc,s}$$

Počet naměřených hodnot n	Součinitel k_x
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2

$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2} u_{xiB}$$

$$\frac{\partial f_{C,S}}{\partial f_{C,1}} = \frac{1}{N} \Rightarrow \frac{\partial f_{C,S}}{\partial f_{C,i}} = \frac{1}{N} \quad u_{fc,s,B} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N} \right)^2} u_{fc,i}$$

$$u_{fc,s,B} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N u_{fc,i}^2} \quad u_{fc,i} = K = u_{fc} \Rightarrow u_{fc,s,B} = \frac{\sqrt{N}}{N} u_{fc}$$

$$u_{fc,s} = \sqrt{u_{fc,s,A}^2 + u_{fc,s,B}^2}$$

$$U_{k=2, fc,s} = 2 u_{fc,s}$$

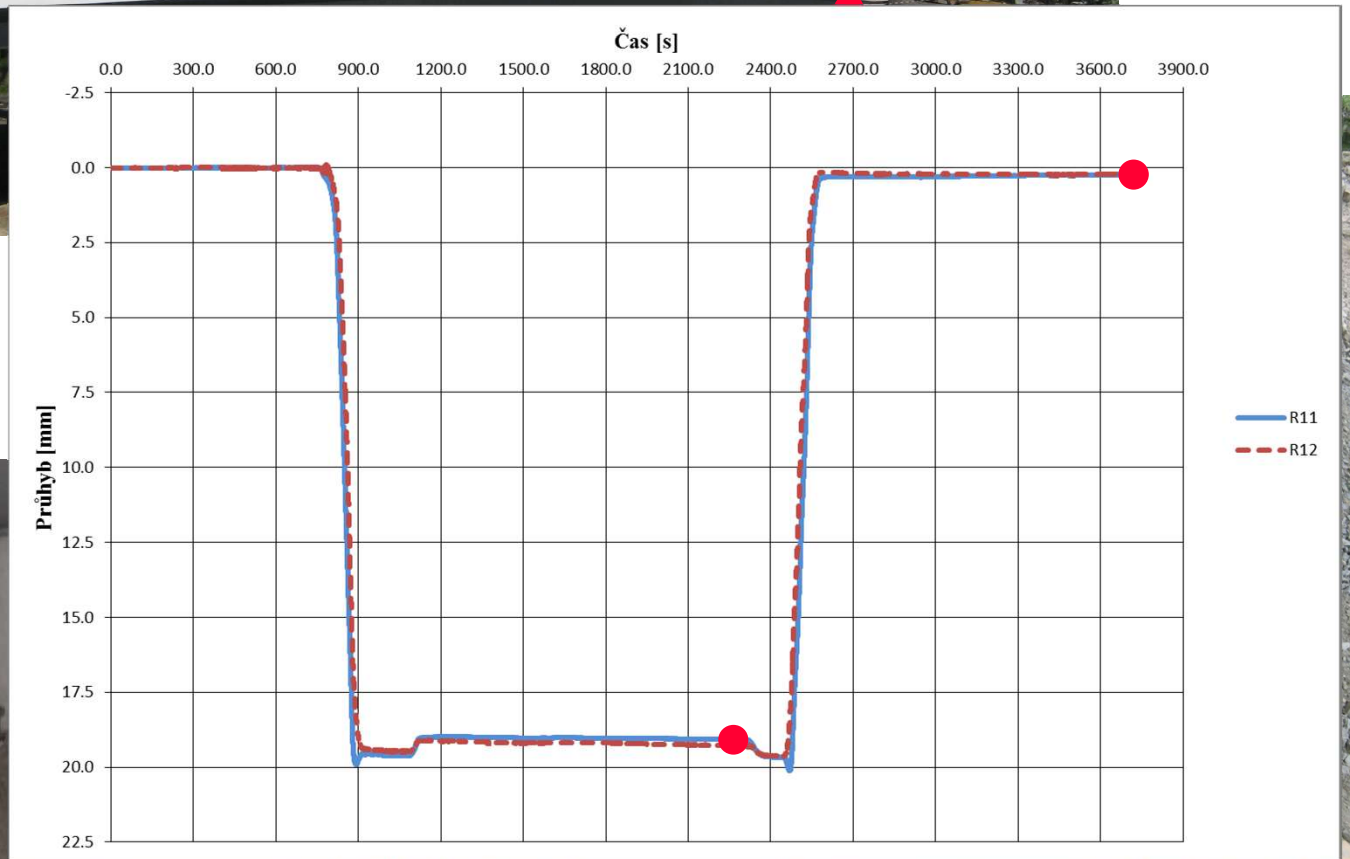
Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:



Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

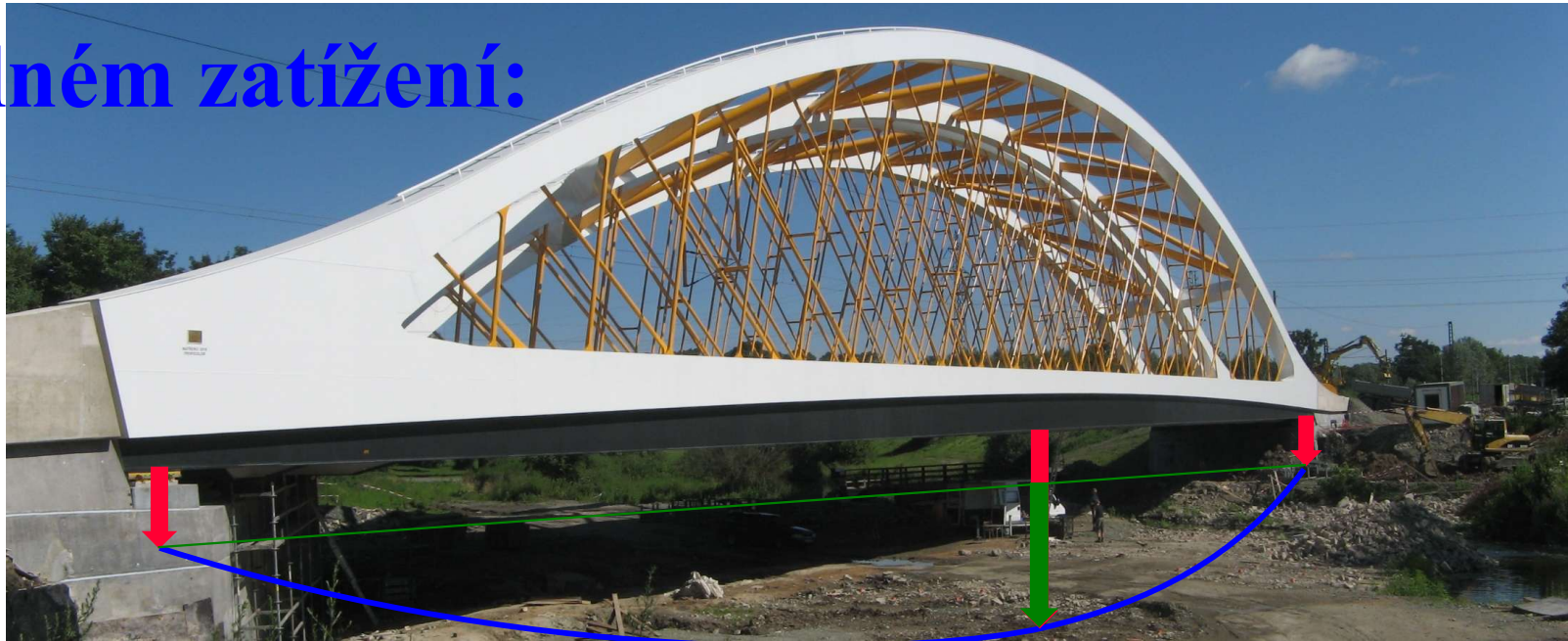
Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:



Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:

Při plném zatížení:



$$P12 = 0,293 \text{ mm} \pm 0,004 \text{ mm}$$

$$P22 = 0,374 \text{ mm} \pm 0,006 \text{ mm}$$

$$R12 = 19,258 \text{ mm} \pm 0,070 \text{ mm}$$

$$S_{\text{tot}} = R12 - \left(\frac{P12 + P22}{2} \right) = R12 - \frac{P12}{2} - \frac{P22}{2}$$

$$\frac{\partial S_{\text{tot}}}{\partial R12} = 1 \quad \frac{\partial S_{\text{tot}}}{\partial P12} = -\frac{1}{2} \quad \frac{\partial S_{\text{tot}}}{\partial P22} = -\frac{1}{2}$$

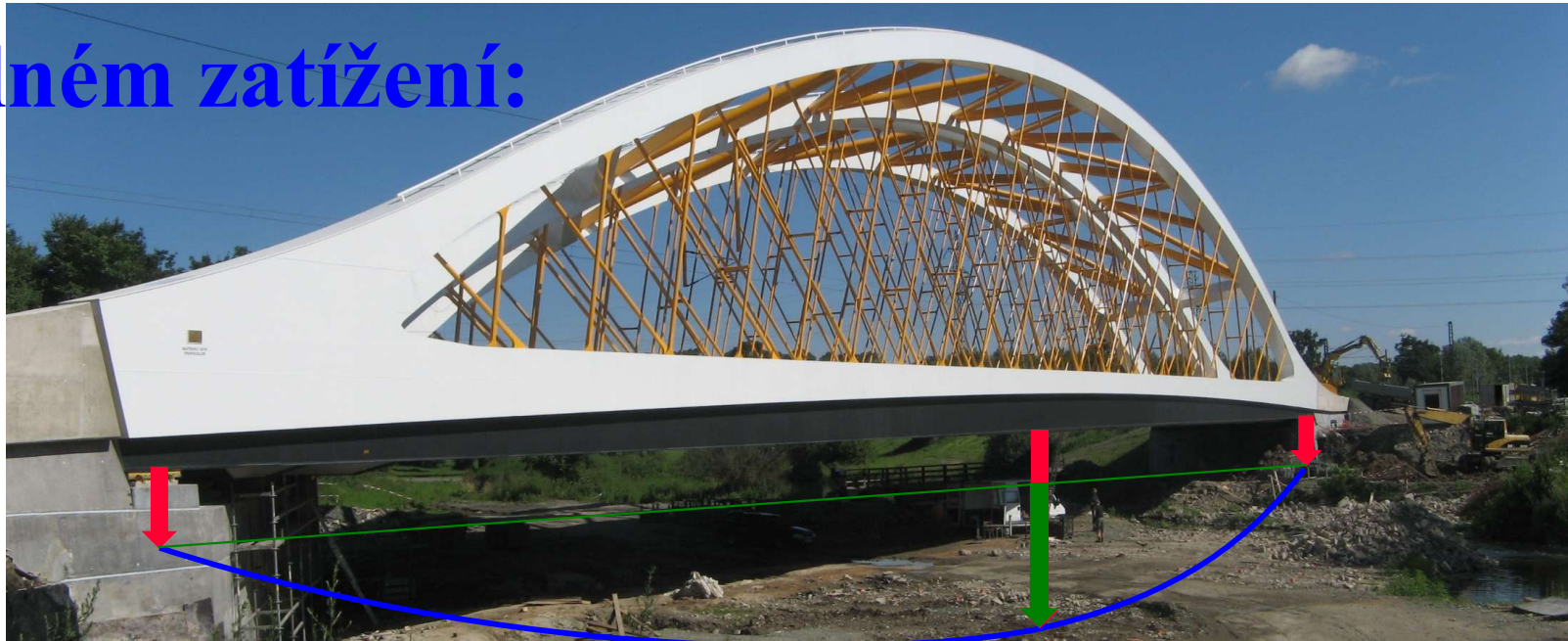
$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{xiB}^2}$$

$$u_{S_{\text{tot}},B} = \sqrt{(1)^2 u_{R12}^2 + \left(-\frac{1}{2} \right)^2 u_{P12}^2 + \left(-\frac{1}{2} \right)^2 u_{P22}^2} = \sqrt{(1)^2 0,035^2 + \left(-\frac{1}{2} \right)^2 0,002^2 + \left(-\frac{1}{2} \right)^2 0,003^2} = 0,035 \text{ mm}$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:

Při plném zatížení:



$$P12 = 0,293 \text{ mm} \pm 0,004 \text{ mm}$$

$$P22 = 0,374 \text{ mm} \pm 0,006 \text{ mm}$$

$$R12 = 19,258 \text{ mm} \pm 0,070 \text{ mm}$$

$$U_{k=2, \text{Stot}} = 2 u_{\text{Stot}, B} = 2 \cdot 0,035 = 0,070 \text{ mm}$$

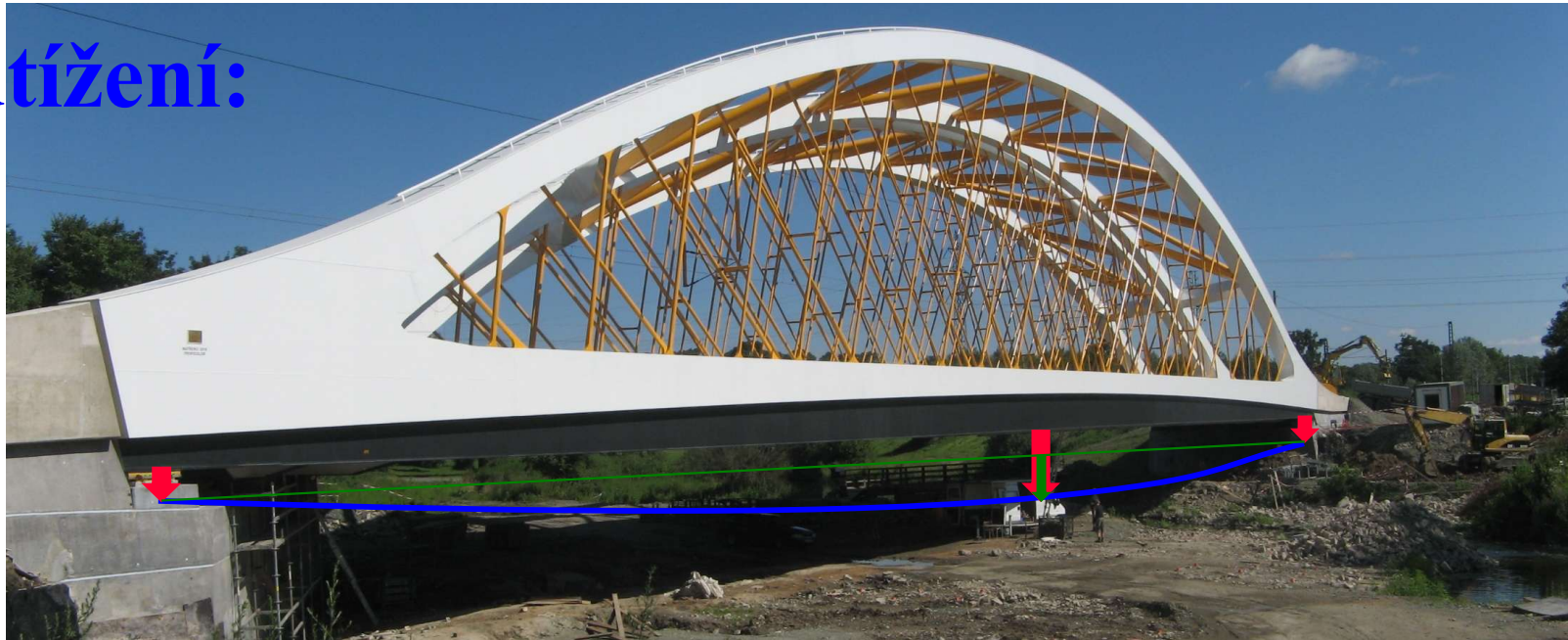
$$S_{\text{tot}} = 19,258 - \left(\frac{0,293 + 0,374}{2} \right) = 18,925$$

$$S_{\text{tot}} = 18,925 \text{ mm} \pm 0,070 \text{ mm}$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:

Po odtížení:



$$P12 = 0,072 \text{ mm} \pm 0,004 \text{ mm}$$

$$P22 = 0,044 \text{ mm} \pm 0,006 \text{ mm}$$

$$R12 = 0,222 \text{ mm} \pm 0,070 \text{ mm}$$

$$U_{k=2, Sr} = U_{k=2, Stot} = 2 u_{Stot, B} = 2 \cdot 0,035 = 0,070 \text{ mm}$$

$$S_r = 0,222 - \left(\frac{0,072 + 0,044}{2} \right) = 0,164 \text{ mm}$$

$$S_r = 0,164 \text{ mm} \pm 0,070 \text{ mm}$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:

Výsledné hodnoty:



$$S_e = S_{\text{tot}} - S_r = 18,925 - 0,164 = 18,761 \text{ mm}$$

$$\frac{\partial S_e}{\partial S_{\text{tot}}} = 1 \quad \frac{\partial S_e}{\partial S_r} = -1$$

$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{xiB}^2}$$

$$u_{S_r, B} = \sqrt{(1)^2 u_{S_{\text{tot}}}^2 + (-1)^2 u_{S_r}^2} = \sqrt{(1)^2 u_{S_{\text{tot}}}^2 + (-1)^2 u_{S_r}^2} = u_{S_{\text{tot}}} \sqrt{(1)^2 + (-1)^2} =$$

$$= u_{S_{\text{tot}}} \sqrt{2} = 0,035 \cdot \sqrt{2} = 0,049 \text{ mm}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial S_e} = \frac{1}{S_{\text{cal}}}$$

$$U_{k=2, Se} = 2 u_{Se, B} = 2 \cdot 0,049 = 0,098 \text{ mm}$$

$$S_e = 18,761 \text{ mm} \pm 0,098 \text{ mm}$$

$$U_{k=2, Se/Scal} = 2 u_{Z, B} = 2 \cdot \frac{1}{20,2} 0,098 = 0,0097$$

$$\beta < \frac{S_e}{S_{\text{cal}}} \leq \alpha \quad \frac{S_e}{S_{\text{cal}}} = \frac{18,761}{20,2} = 0,928 \pm 0,010 \quad \Leftrightarrow \frac{S_e}{S_{\text{cal}}} \in \langle +0,918 ; +0,938 \rangle$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Vyhodnocení výsledků statické zatěžovací zkoušky:

Výsledné hodnoty:



$$\frac{S_r}{S_{\text{tot}}} \leq \alpha_1 \quad \frac{S_r}{S_{\text{tot}}} = S_r \cdot S_{\text{tot}}^{-1} \quad u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2} u_{xiB}^2$$

$$\frac{\partial Z}{\partial S_r} = S_{\text{tot}}^{-1} \quad \frac{\partial Z}{\partial S_{\text{tot}}} = S_r \cdot (-1) \cdot S_{\text{tot}}^{-2}$$

$$u_{Z,B} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_{\text{tot}}} \right)^2 u_{S_r}^2 + \left(\frac{S_r}{S_{\text{tot}}^2} \right)^2 u_{S_{\text{tot}}}^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{18,925} \right)^2 0,035^2 + \left(-\frac{0,164}{18,925^2} \right)^2 0,035^2} = 0,0019$$

$$U_{k=2, S_r/S_{\text{tot}}} = 2 u_{Z,B} = 2 \cdot 0,0019 = 0,0038$$

$$\frac{S_r}{S_{\text{tot}}} = \frac{0,164}{18,925} = 0,0087 \pm 0,0038 \quad \Leftrightarrow \frac{S_r}{S_{\text{tot}}} \in \langle +0,0049 ; +0,0125 \rangle$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

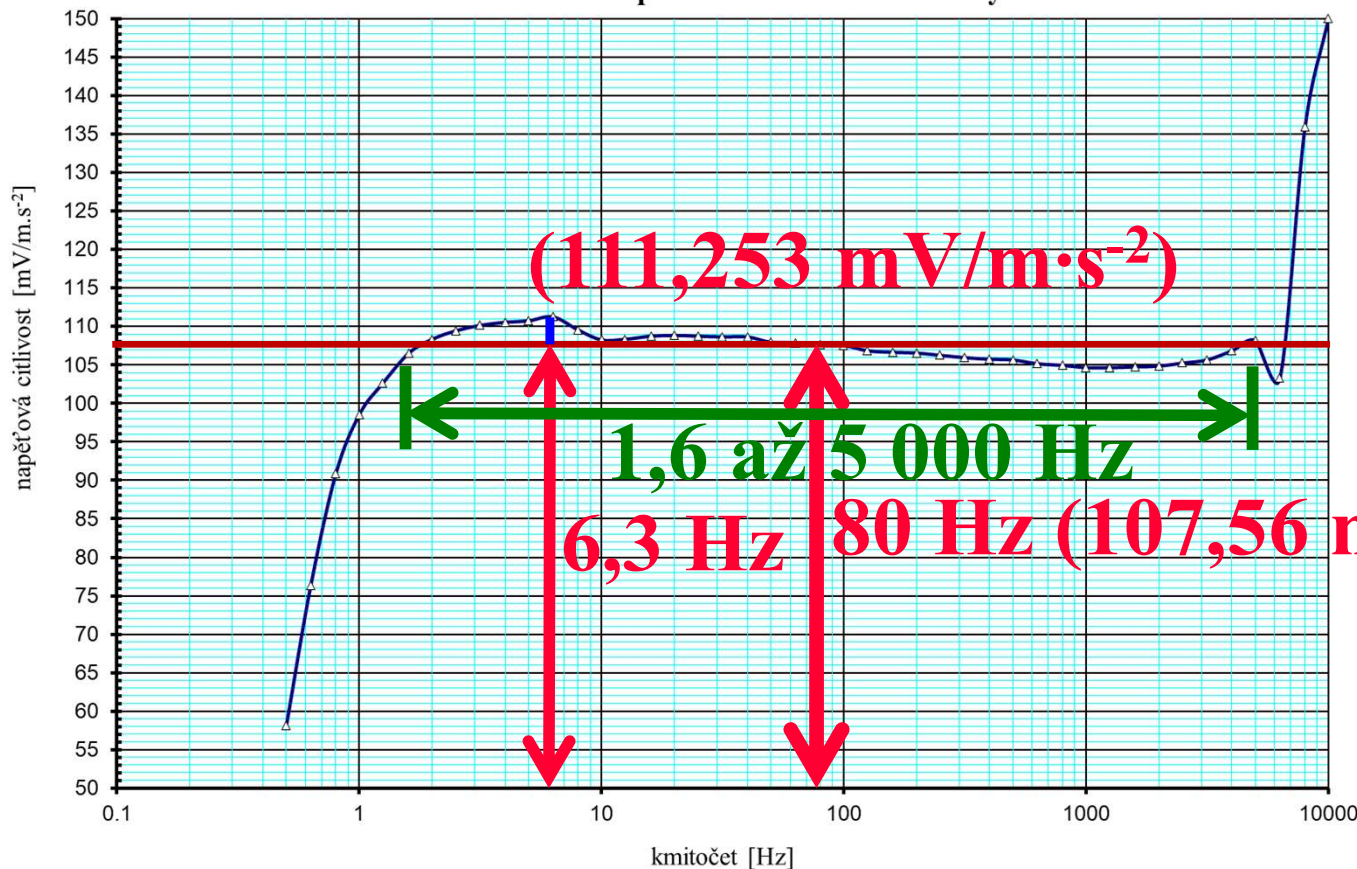
Dynamická měření snímači zrychlení

Kalibrační list

8012-KL-50174-10

List 3 ze 3 listů

Kmitočtová závislost napěťové citlivosti snímače zrychlení



BK 4507 B 005

$$\Delta_{6,3\text{Hz}} = \frac{(111,253 - 107,560)}{107,560} \cdot 100 = +3,43 \%$$

Nejistota kalibrace:

Kalibrace měřidla byla provedena s rozšířenou relativní nejistotou 1,0 %.

$$U_{S,k=2} = 0,01 \Leftrightarrow 1,0\%$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

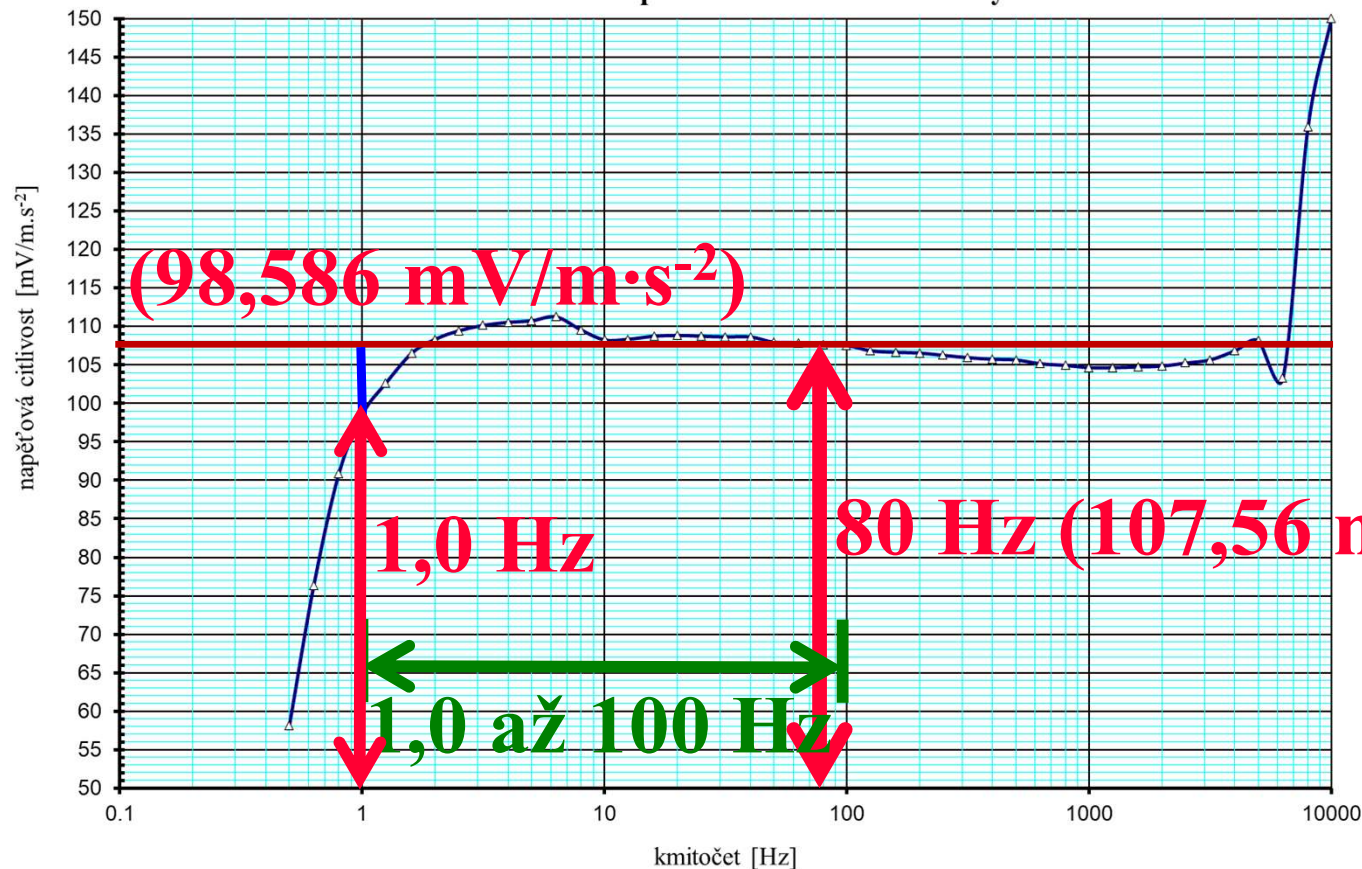
Dynamická měření snímači zrychlení

Kalibrační list

8012-KL-50174-10

List 3 ze 3 listů

Kmitočtová závislost napěťové citlivosti snímače zrychlení



BK 4507 B 005

$$\Delta_{1,0\text{Hz}} = \frac{(98.586 - 107.560)}{107.560} \cdot 100 = -8,34 \%$$

Nejistota kalibrace:

Kalibrace měřidla byla provedena s rozšířenou relativní nejistotou 1,0 %.

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamická měření snímači zrychlení

$$\Delta_U = \frac{(S_U - S_R)}{S_R} \cdot 100 = \left(\frac{S_U}{S_R} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2} u_{xiB}^2$$

$$\frac{\partial \Delta_U}{\partial S_U} = \frac{1}{S_R} \cdot 100 \quad \frac{\partial \Delta_U}{\partial S_R} = S_U \cdot (-1) \frac{1}{S_R^2} \cdot 100 \quad U_{S,k=2} = 0,01 \Leftrightarrow 1,0\% \quad u_S = \frac{U_{S,k=2}}{2}$$

$$u_{Su,B} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_R} 100 \right)^2 \cdot (u_S \cdot S_U)^2 + \left(-\frac{S_U}{S_R^2} 100 \right)^2 \cdot (u_S \cdot S_R)^2} =$$

$$= u_S \cdot 100 \cdot \sqrt{\left(\frac{S_U}{S_R} \right)^2 + \left(\frac{S_U}{S_R} \right)^2} =$$

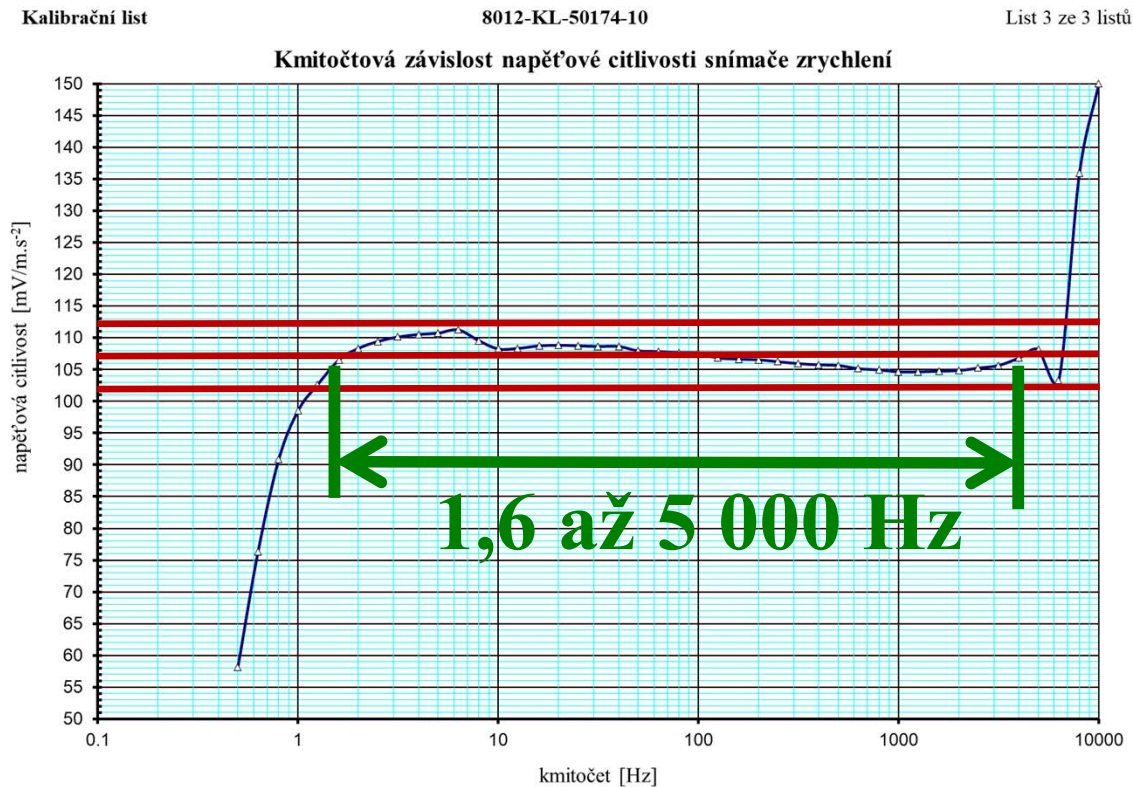
$$= u_S \cdot 100 \cdot \left(\frac{S_U}{S_R} \right) \sqrt{2} \Rightarrow u_{Su,B} \cong u_S \cdot 100 \cdot \sqrt{2} \quad [\%]$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamická měření snímači zrychlení

Pro frekvenční interval 1,6 až 5 000 Hz:

$$U_{k=2} = \Delta_{6,3\text{Hz}} \pm k \cdot u_{\text{Su,B}} = +3,43 \pm 2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow +4,84 \% \Rightarrow \pm 4,84 \%$$

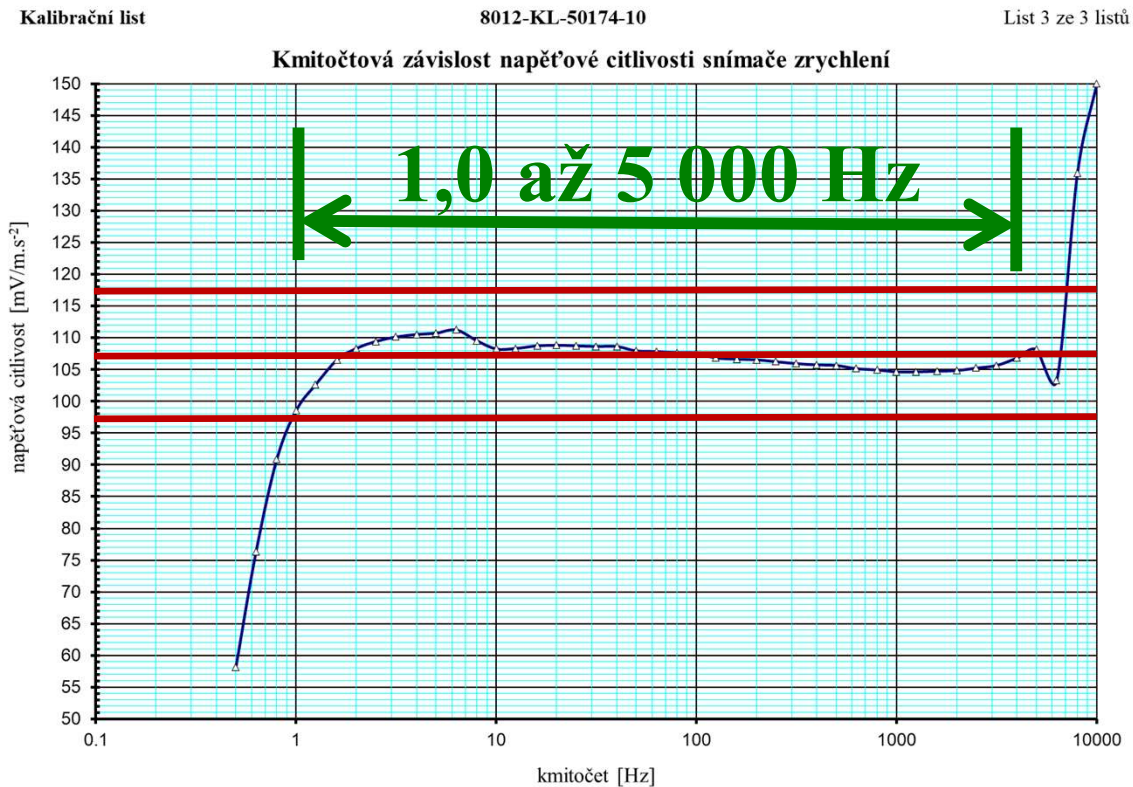


Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamická měření snímači zrychlení

Pro frekvenční interval 1,0 až 5 000 Hz:

$$U_{k=2} = \Delta_{1,0\text{Hz}} \pm k \cdot u_{\text{Su,B}} = -8,34 \pm 2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow -9,75 \% \Rightarrow \pm 9,75 \%$$



Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

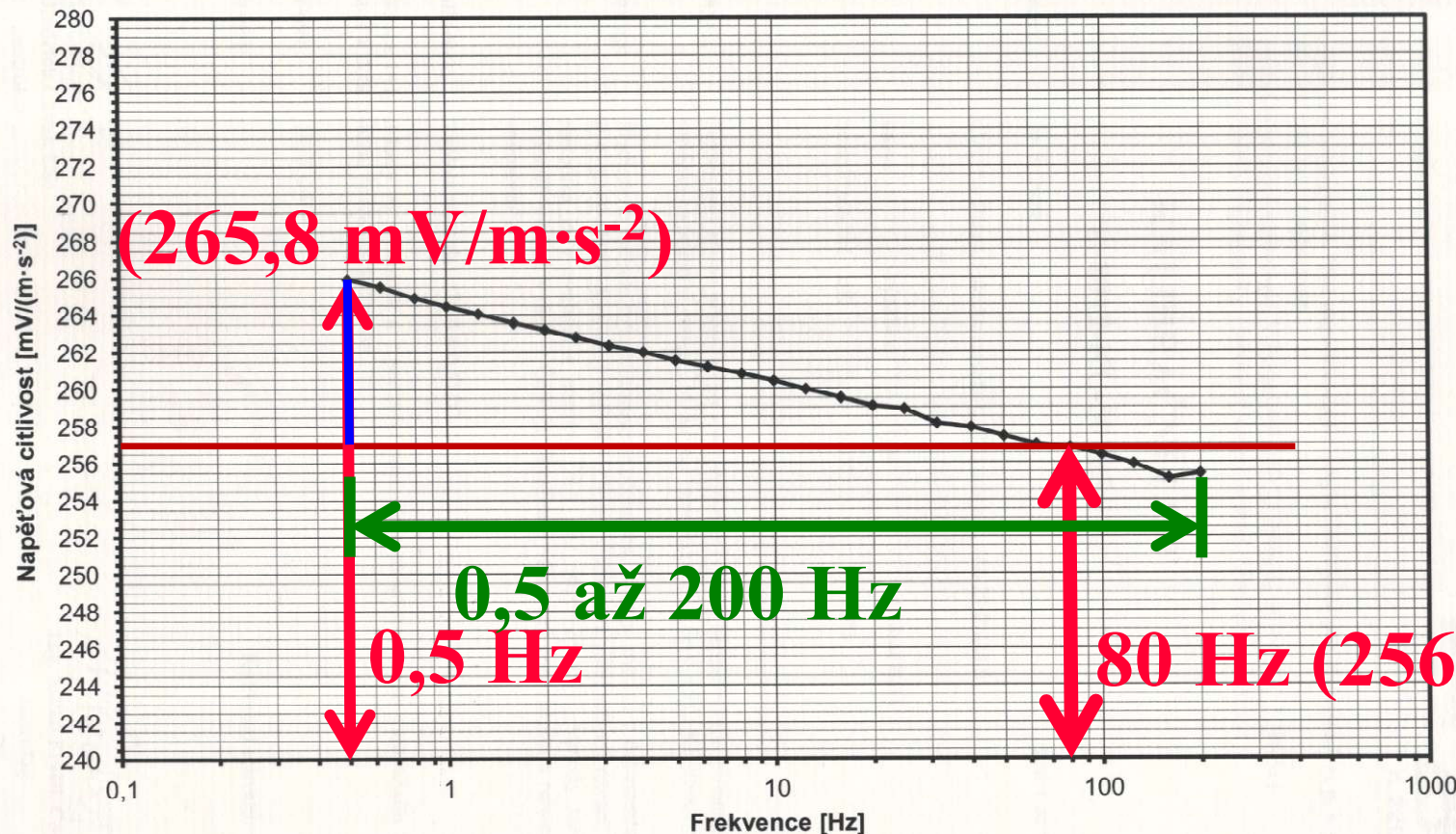
Dynamická měření snímači zrychlení

KALIBRAČNÍ LIST

8012-KL-50105-19

List 3 ze 3 listů

Frekvenční závislost napěťové citlivosti měřidla



BK 4484

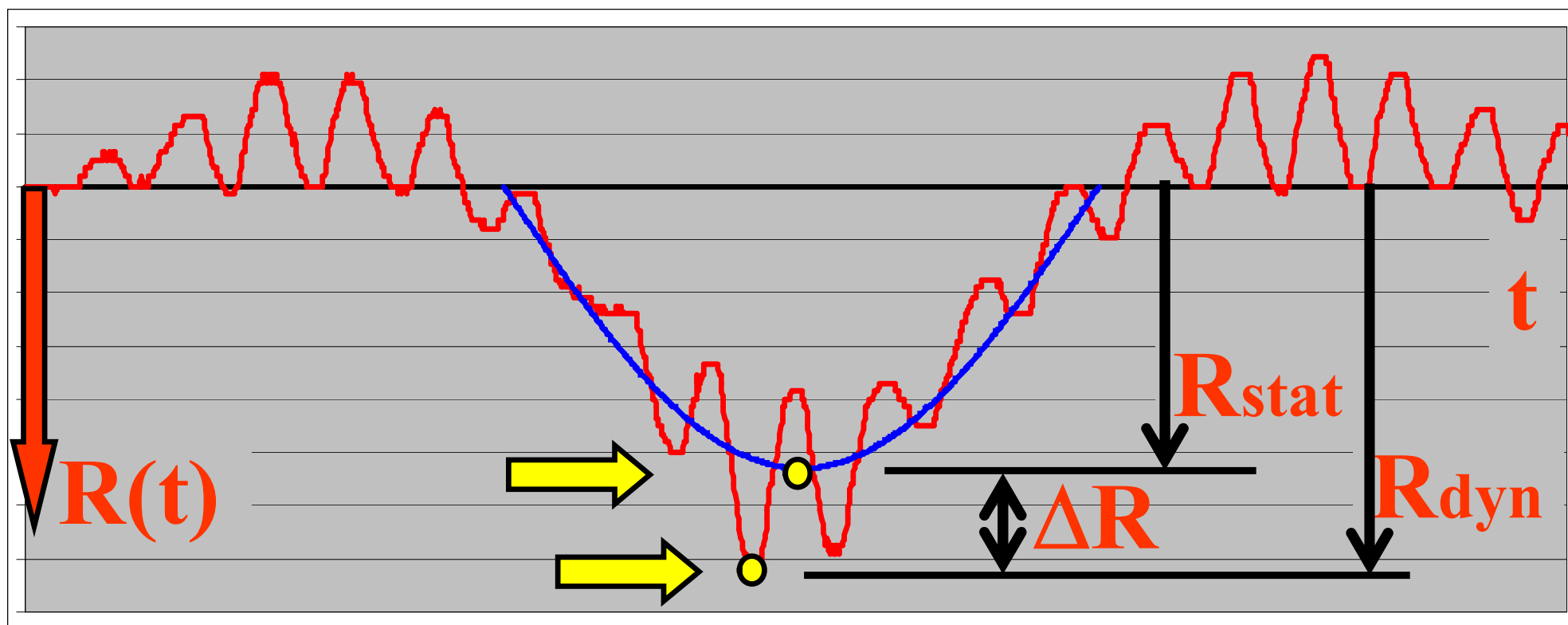
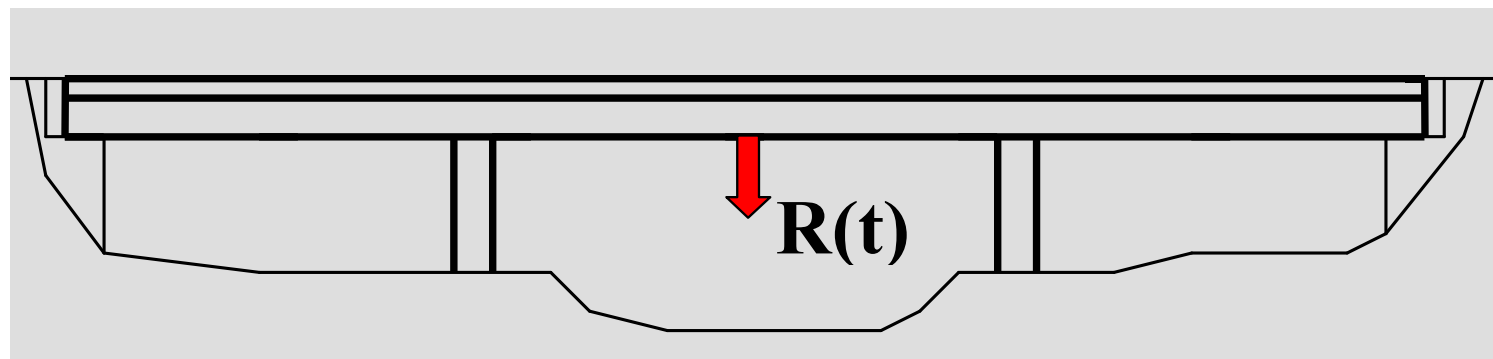
$$\Delta_{0,5\text{Hz}} = \frac{(265,8 - 256,8)}{256,8} \cdot 100 = +3,50 \%$$

$$U_{k=2} = \Delta_{0,5\text{Hz}} \pm k \cdot u_{\text{Su,B}} = +3,50 \pm 2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow +4,91 \% \Rightarrow \pm 4,91 \%$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamický součinitel

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}}$$



Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamický součinitel

- Rozšířená nejistota $U_{k=2,R_{\text{dyn}}}$, $U_{k=2,R_{\text{stat}}}$

$$U_{k=2, R_{\text{dyn}}} = 0,020 \text{ mm}$$

$$U_{k=2, R_{\text{stat}}} = 0,020 \text{ mm}$$

- Výsledek měření :

$$R_{\text{dyn}} = 1,722 \pm 0,020 \text{ mm}$$

$$R_{\text{stat}} = 0,824 \pm 0,020 \text{ mm}$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamický součinitel

- Rozšířená nejistota δ :

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}} \quad u_{yB} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{xiB}^2}$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial R_{\text{dyn}}} = \frac{1}{R_{\text{stat}}} \quad \frac{\partial \delta}{\partial R_{\text{stat}}} = -\frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}^2} \quad \delta = R_{\text{dyn}} R_{\text{stat}}^{-1}$$

$$U_{k=2,\delta} = \sqrt{\left(\frac{1}{R_{\text{stat}}} \right)^2 U_{R_{\text{dyn}}}^2 + \left(-\frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}^2} \right)^2 U_{R_{\text{stat}}}^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,824} \right)^2 0,020^2 + \left(-\frac{1,722}{0,824^2} \right)^2 0,020^2} =$$
$$= 0,057$$

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}} = \frac{1,722}{0,824} = 2,090 \pm 0,057$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamický součinitel

- Rozšířená nejistota $U_{k=2, R_{\text{dyn}}}$, $U_{k=2, R_{\text{stat}}}$

$$U_{k=2, R_{\text{dyn}}} = \frac{0,020}{3,000} \cdot 100 = 0,67 \%$$

$$U_{k=2, R_{\text{stat}}} = 0,67 \%$$

- Výsledek měření :

$$R_{\text{dyn}} = 1,722 \text{ mm} \pm 0,67 \%$$

$$R_{\text{stat}} = 0,824 \text{ mm} \pm 0,67 \%$$

Příklad výpočtu nejistoty výsledků zkoušek:

Dynamický součinitel

- Rozšířená nejistota δ (prostého součinu nebo podílu) :

$$y = K \cdot x_1^{p_1} \cdot x_2^{p_2} \cdot x_3^{p_3} \Rightarrow u_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m p_i^2 u_{i,\text{rel}}^2}$$

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}} = (1) \cdot R_{\text{dyn}}^1 \cdot R_{\text{stat}}^{-1} \Rightarrow u_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m p_i^2 u_{i,\text{rel}}^2}$$

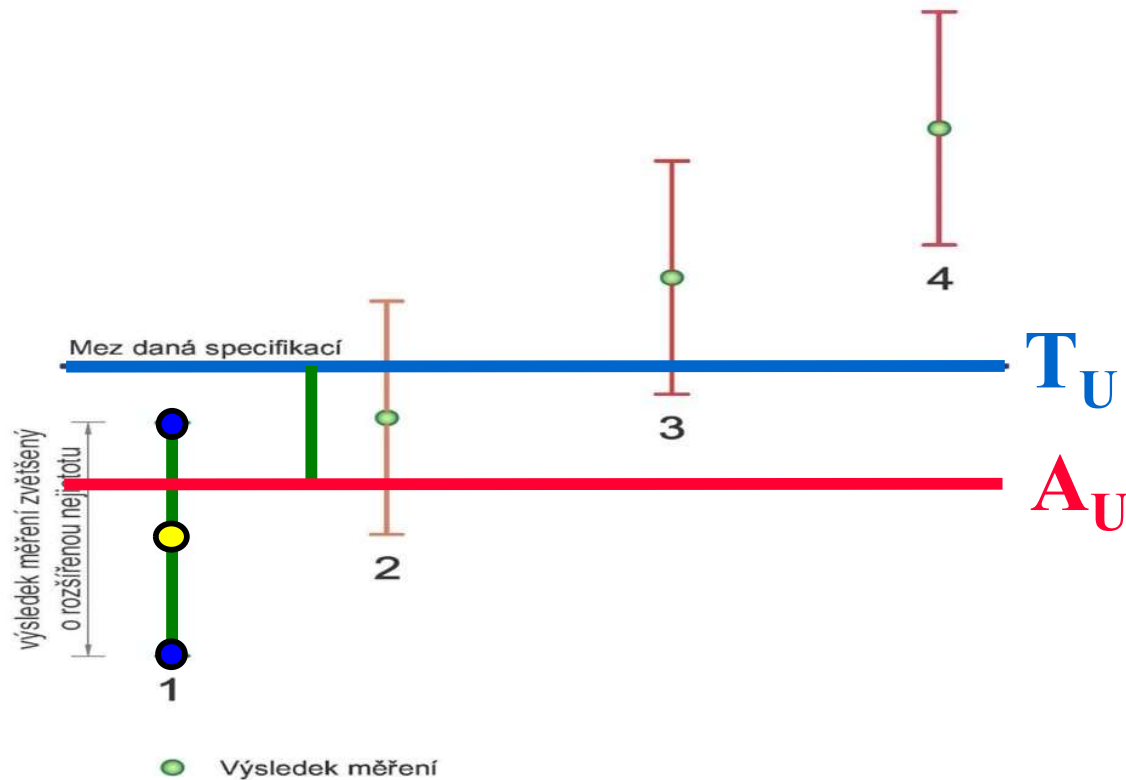
$$U_{k=2,\delta} = \sqrt{(1)^2 U_{\text{rel},R_{\text{dyn}}}^2 + (-1)^2 U_{\text{rel},R_{\text{stat}}}^2} = \sqrt{0,67^2 + 0,67^2} = 0,95 \%$$

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}} = \frac{1,722}{0,824} = 2,090 \pm 0,95 \% = 2,090 \pm 0,020$$

$$\delta = \frac{R_{\text{dyn}}}{R_{\text{stat}}} = \frac{1,722}{0,824} = 2,090 \pm 0,057$$

Vyhodnocení výsledků zkoušky – výrok o shodě:

Specifikací (např. normou) je stanovena horní mez:

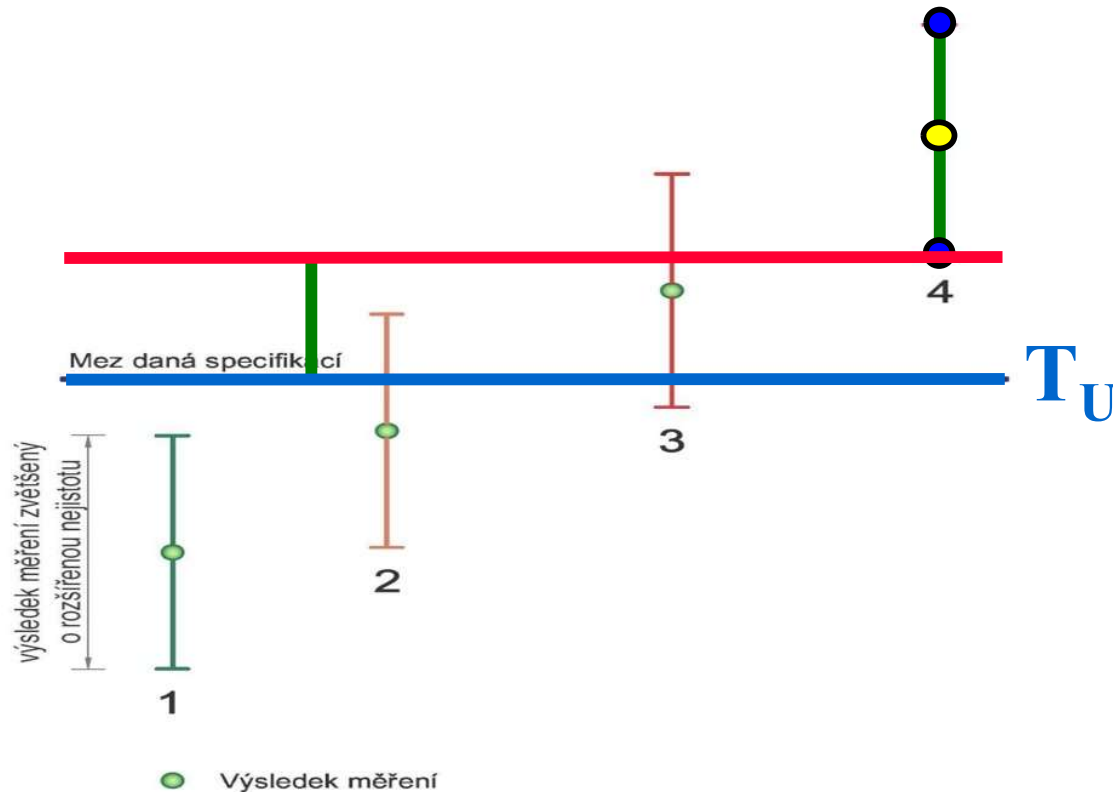


tzv. ochranné pásmo:

$$\frac{S_r}{S_{\text{tot}}} \leq \alpha_1 \quad \alpha_1 = 0,1 \quad \frac{S_r}{S_{\text{tot}}} = \frac{0,164}{18,925} = 0,0087 \pm 0,0019 \quad \Leftrightarrow \frac{S_r}{S_{\text{tot}}} \in \langle +0,0068 ; +0,0106 \rangle$$

Shoda - vyjádření: „**Vyhovuje** – výsledek měření je pod horní mezí přijetí, $A_U = T_U - w = T_U - U_{k=2}$ “

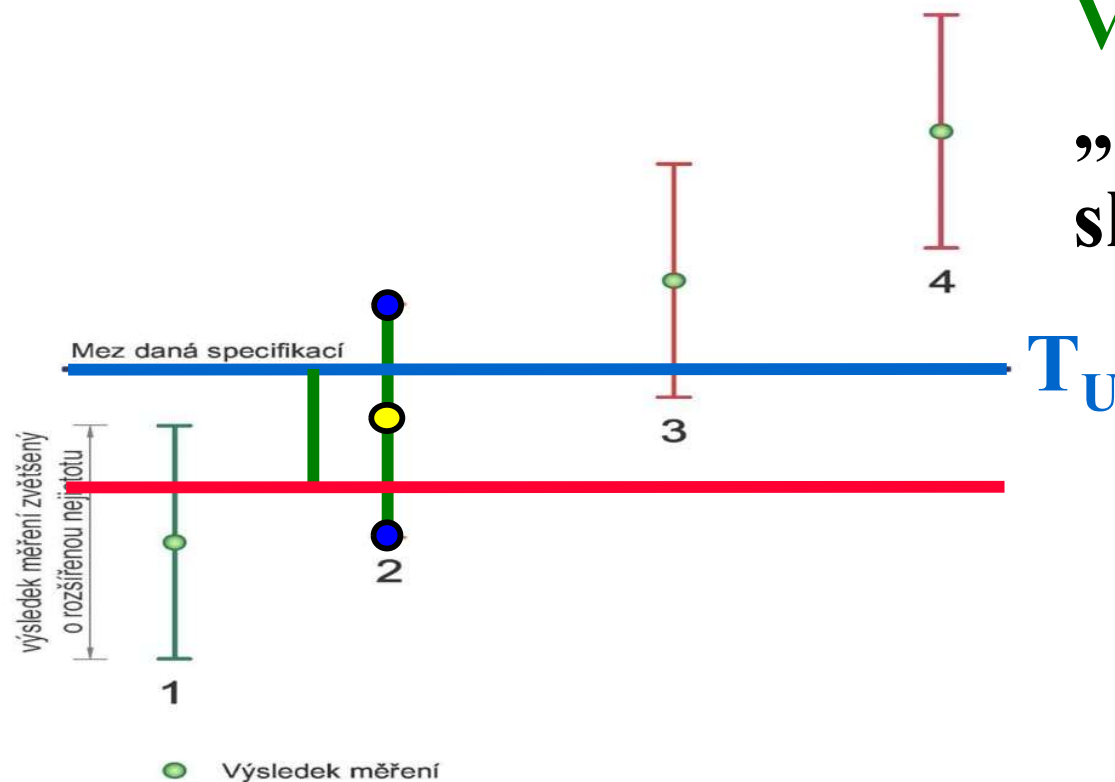
Vyhodnocení výsledků zkoušky – výrok o shodě:
Specifikací (např. normou) je stanovena
horní mez:



Neshoda -vyjádření: „Nevyhovuje – výsledek měření je
nad toleranční mezí rozšířenou o ochranné pásmo,
 $T_U + w = T_U + U_{k=2}$ ”

Vyhodnocení výsledků zkoušky – výrok o shodě:

Specifikací (např. normou) je stanovena horní mez:



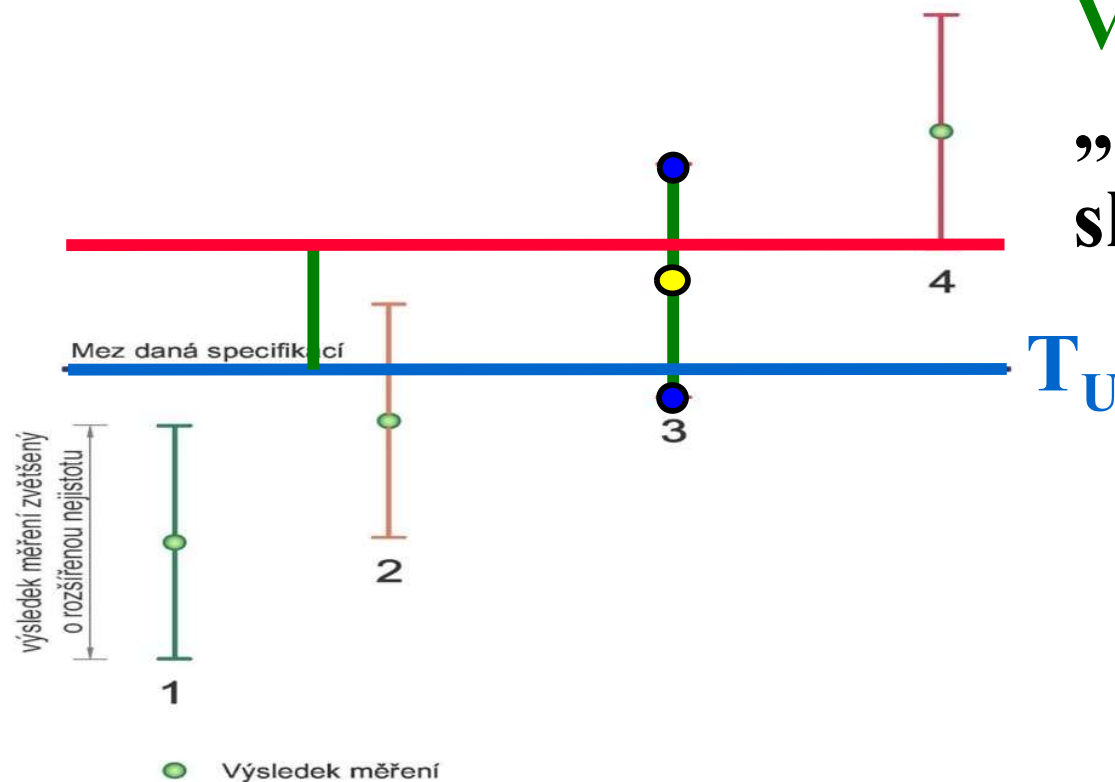
Vyjádření:

„Není možné vyjádřit shodu s danou specifikací“

Alternativní vyjádření: „**Podmíněné přijetí** – výsledek měření je uvnitř ochranného pásma a pod horní mezí přijetí, v intervalu $[T_U - w = T_U - U_{k=2} ; T_U]$ “

Vyhodnocení výsledků zkoušky – výrok o shodě:

Specifikací (např. normou) je stanovena horní mez:

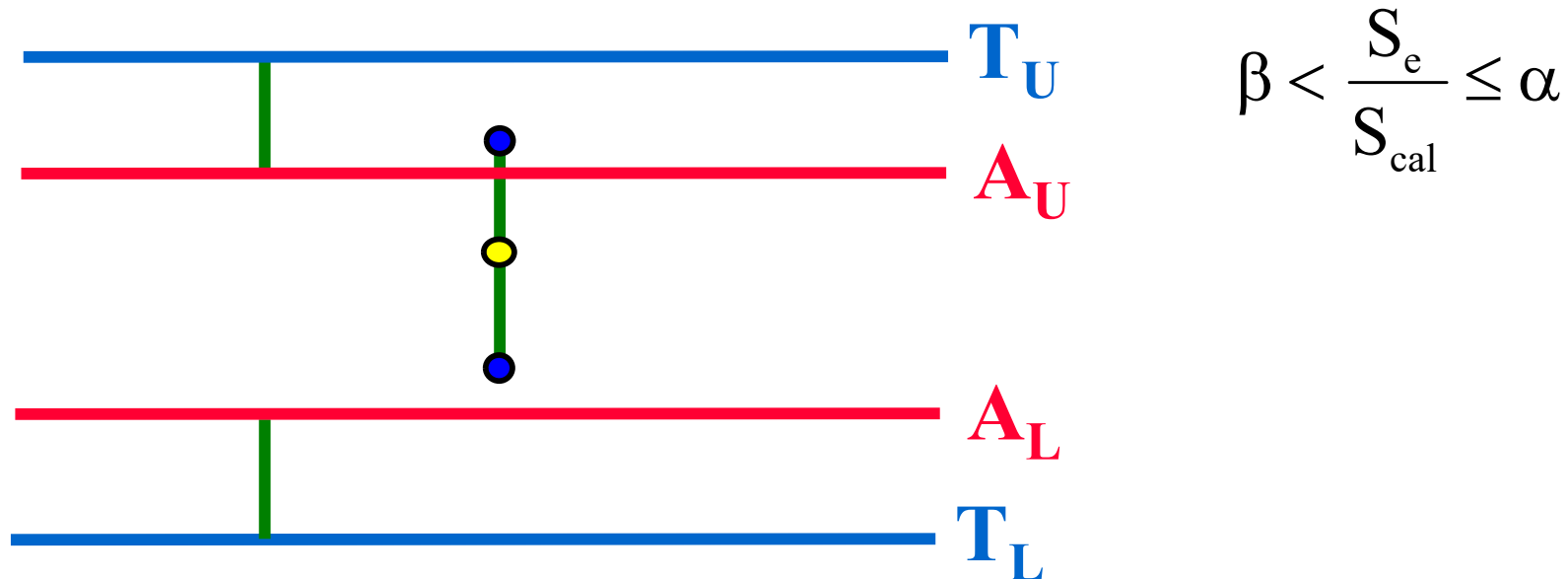


Vyjádření:

„Není možné vyjádřit shodu s danou specifikací“

Alternativní vyjádření: „**Podmíněné nevyhovění** – výsledek měření je nad horní mezí přijetí ale pod mezí tolerance rozšířené o ochranné pásmo, v intervalu $[T_U ; T_U + w = T_U + U_{k=2}]$ “

Vyhodnocení výsledků zkoušky – výrok o shodě:
Specifikací (např. normou) je stanovena
horní i dolní mez:



Shoda - vyjádření: „**Vyhovuje** – výsledek měření je v intervalu vymezeném dolní a horní mezí přijetí
 $[A_L = T_L + w = T_L + U_{k=2} ; A_U = T_U - w = T_U - U_{k=2}]$ “

Konec