

# ANALÝZA VLASTNOSTÍ KÓNICKÉHO PIEZOELEKTRICKÉHO SNÍMAČE AKUSTICKÉ EMISE

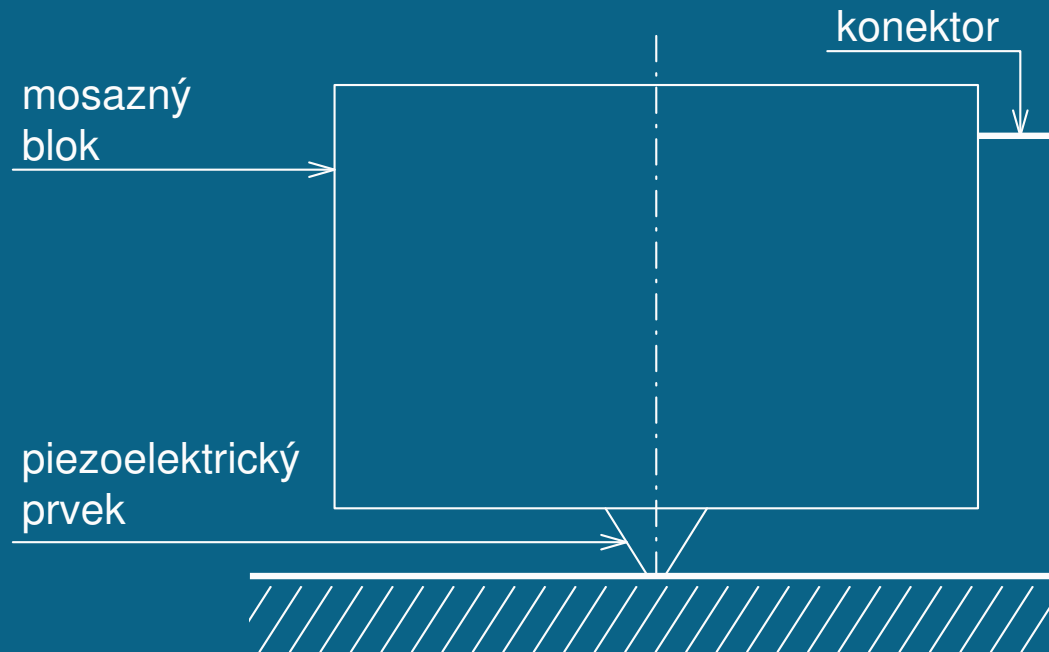
O. Červená, P. Hora  
Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.

Příspěvek vznikl na základě podpory projektu GA ČR č. 101/06/1689  
*Analýza komponent modelu systému pro metodiku akustické emise*  
a záměru ÚT AV ČR, v.v.i., AV0Z20760514.

## Úvod

### Kónický snímač

vysoce citlivé, širokopásmové zařízení (asi od 10 kHz do několika MHz) pro měření vertikální složky výchylky malé plošky povrchu tělesa.



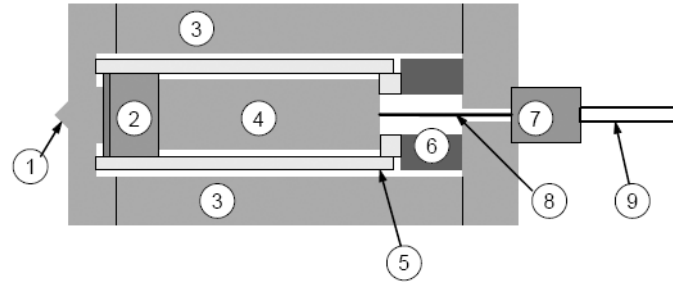
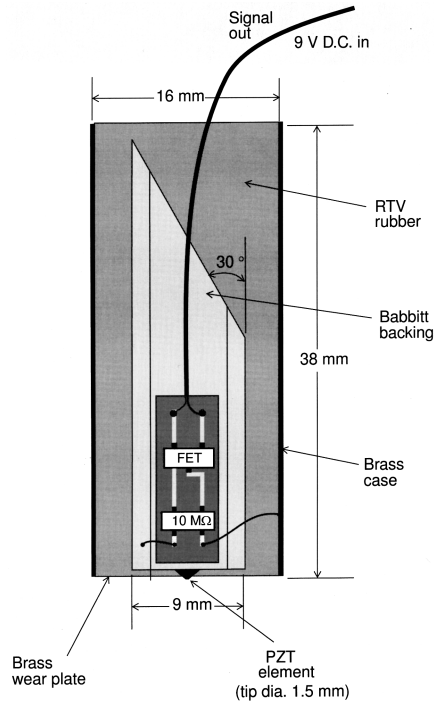
### Využití

testování pomocí akustické emise, normálový snímač ap.

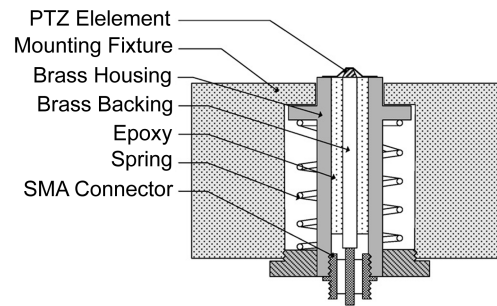
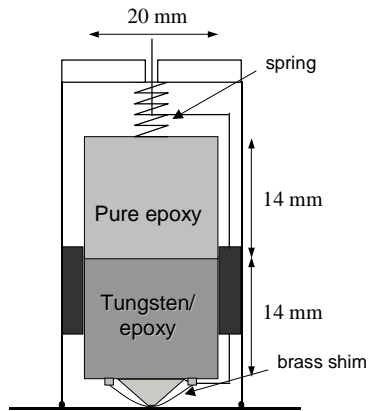
## Základní charakteristiky kónického snímače

- Aktivní prvek je z piezoelektrické keramiky, je kónický a polarizován rovnoběžně se svojí osou.
- Podstavy kužele jsou opatřeny napařenou stříbrnou nebo zlatou elektrodou.
- Větší podstava je připájena (případně vodivě přilepena) k válcovému zakončovacímu bloku, který je obvykle z mosazi.
- Menší podstava je spojena přes tenkou vazební vrstvu s částí povrchu, na kterém se měří vertikální složka výchylky.
- Výstupní napětí se měří mezi válcovým zakončovacím blokem a povrchem, na kterém je snímač umístěn.
- Výstupní napětí signálu kónického snímače je přímo úměrné normálové výchylce na kontaktní ploše.

# Druhy kónických snímačů

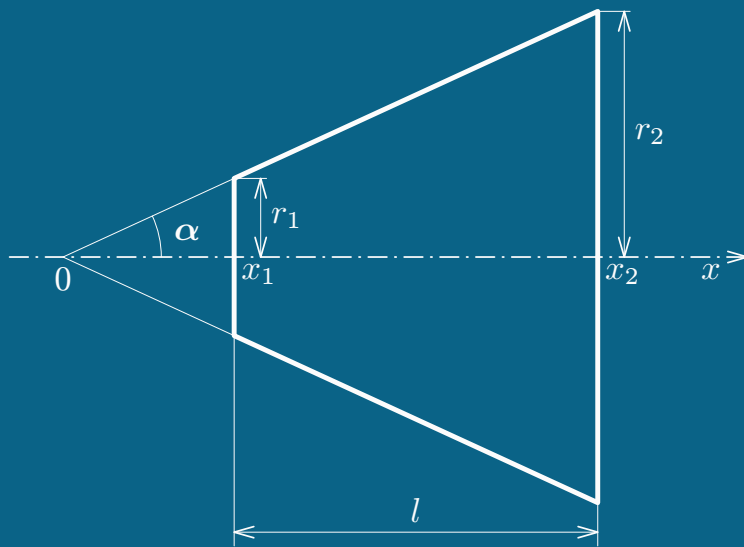


- 1 conical tip
- 2 A1N film & substrate
- 3 stainless steel case
- 4 stainless steel rod
- 5 insulator
- 6 springs
- 7 tube fitting
- 8 center conductor
- 9 cable

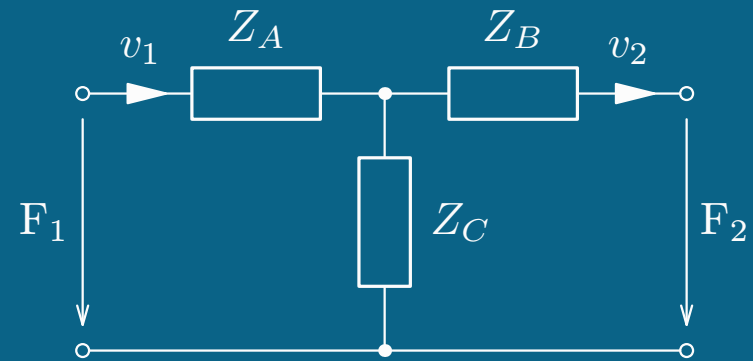


# Jednorozměrná analýza založena na náhradním schématu kónického snímače

Kónický divergentní vlnovod



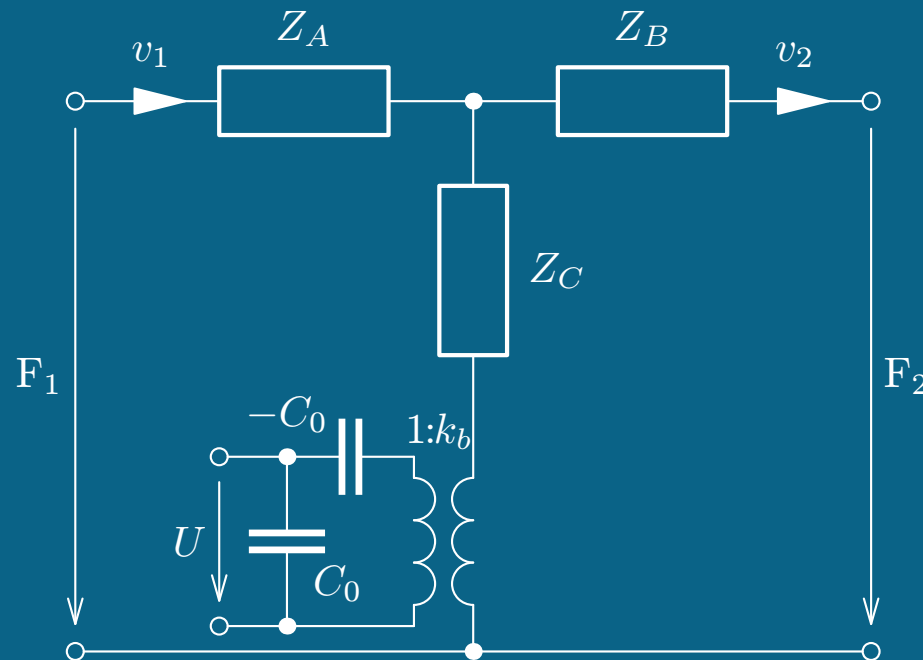
Odpovídající náhradní schéma



- Porovnání impedančních matic.

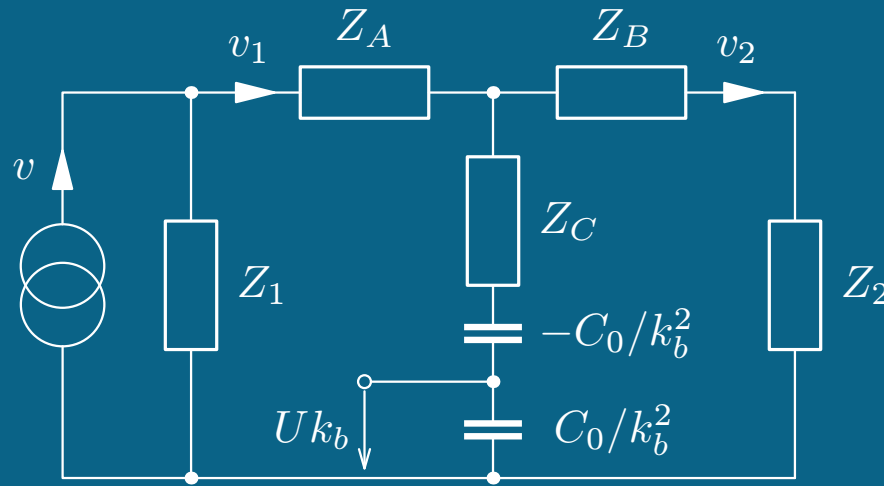
- Doplnění T-článku Masonovým modelem  $\Rightarrow$

Náhradní schéma kónického piezoelektrického elementu



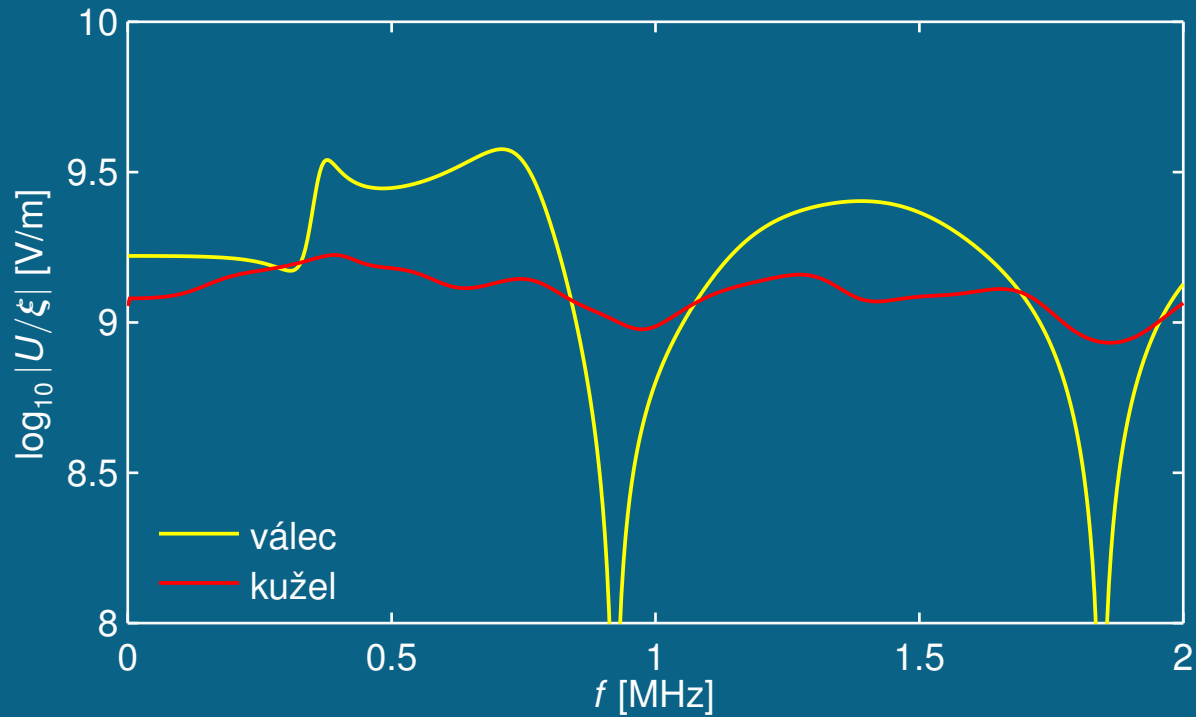
- Převodění elektrické části na mechanickou, doplnění impedancí zdroje a zatěžovací impedancí  $\Rightarrow$

Náhradní schéma kónického snímače



- Výpočet frekvenční charakteristiky z geometrických rozměrů, materiálových konstant aktivního prvku a zakončovacích impedancí.

## Frekvenční odezva založená na 1D analýze



**válcový snímač**  $r_1 = r_2 = 0,5 \text{ mm}$ ,  $l = 4 \text{ mm}$

**kuželový snímač**  $r_1 = 0,5 \text{ mm}$ ,  $r_2 = 3 \text{ mm}$ ,  $l = 4 \text{ mm}$

**zakončovací blok** poloměr = 19 mm, výška = 25 mm.



# Analýza metodou konečných prvků

## COMSOL Multiphysics

- analýza frekvenční odezvy
- analýza časové závislosti
  - aplikační modul: strukturální mechanika
  - aplikační mód: piezo 2D–rotační symetrie
  - prvky: Lagrangeovy – kvadratické
  - lineární řešič (UMFPACK)
    - 9 tvarů piezoelektrických prvků
    - 4 velikosti zakončovacích bloků

## Materiály

### aktivní prvek – keramika PZT

matice elastických konstant:

$$c = \begin{bmatrix} 127,205 & 80,2122 & 84,6702 & 0 & 0 & 0 \\ 80,2122 & 127,205 & 84,6702 & 0 & 0 & 0 \\ 84,6702 & 84,6702 & 117,436 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 22,9885 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 22,9885 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 23,4742 \end{bmatrix} \text{ GPa,}$$

vazební matice:

$$e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 17,0345 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 17,0345 & 0 & 0 \\ -6,62281 & -6,62281 & 23,2403 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ C/m}^2,$$

matice elektrických konstant:

$$\varepsilon_S = \begin{bmatrix} 1704,4 & 0 & 0 \\ 0 & 1704,4 & 0 \\ 0 & 0 & 1433,6 \end{bmatrix},$$

hustota:

$$\rho = 7500 \text{ kg/m}^3.$$

## zakončovací blok – mosaz

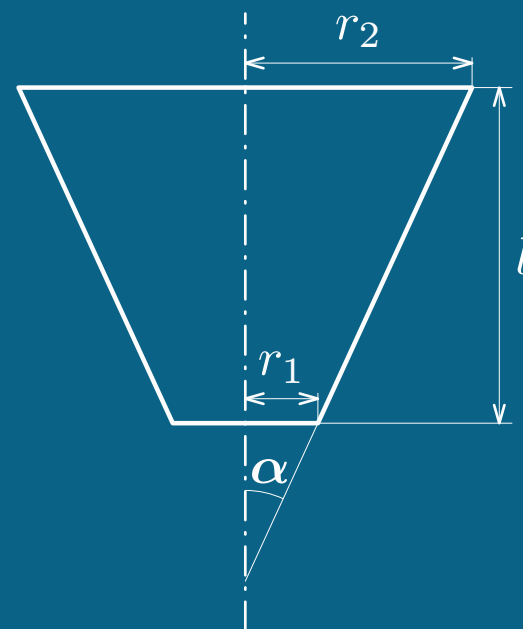
Youngův modul  $E = 110 \text{ GPa}$ ,

poissonovo číslo  $\nu = 0,35$ ,

hustota  $\rho = 8700 \text{ kg/m}^3$ .

## Tvary piezoelektrických prvků

Typ		$r_2$ [mm]	$q$ [-]	$\alpha$ [deg]
válec	I	0,5	1	0,00
kužel 10	▼	1,0	2	7,13
kužel 15	▼	1,5	3	14,04
kužel 20	▼	2,0	4	20,56
kužel 25	▼	2,5	5	26,57
kužel 30	▼	3,0	6	32,01
kužel 35	▼	3,5	7	36,87
kužel 40	▼	4,0	8	41,19
kužel 45	▼	4,5	9	45,00



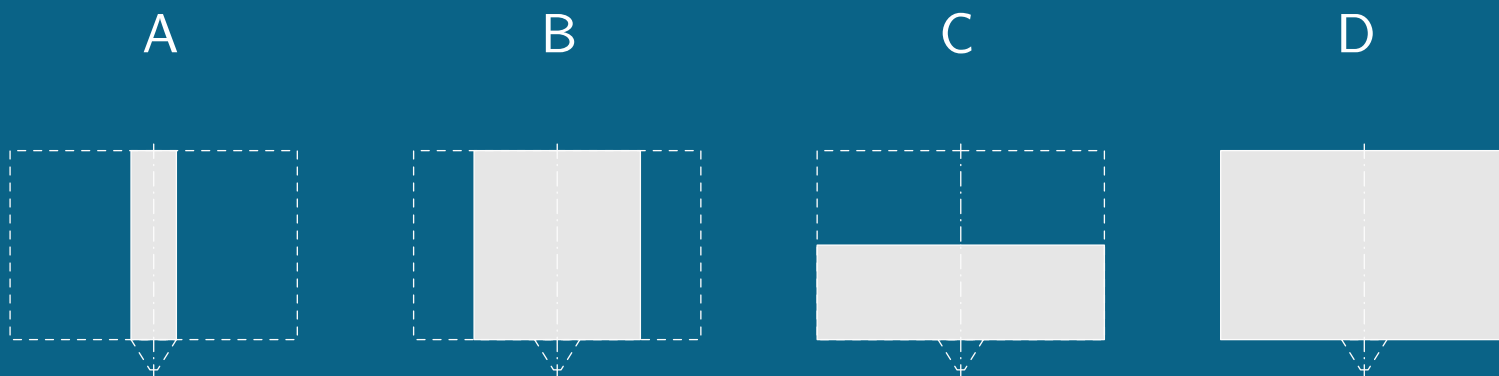
$$r_1 = 0,5 \text{ mm}$$

$$l = 4 \text{ mm}$$

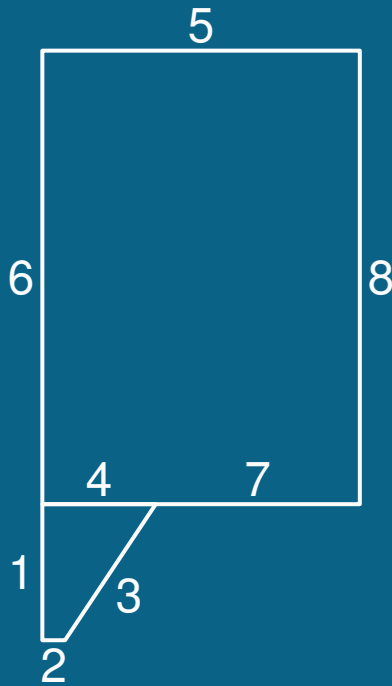
$$q = r_2 / r_1$$

## Velikosti zakončovacích bloků

Typ	Výška [mm]	Poloměr [mm]
A	25,0	3,0
B	25,0	11,0
C	12,5	19,0
D	25,0	19,0



## Okrajové podmínky



### mechanické

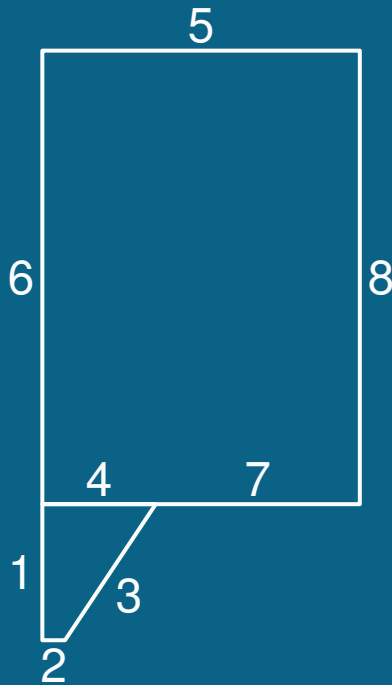
2 – předepsaná výchylka

### elektrické

2 – uzemnění

3 – nulový náboj

## Okrajové podmínky



**mechanické**

2 – předepsaná výchylka

**elektrické**

2 – uzemnění

3 – nulový náboj

## Výstupy

- modul výchylky
- elektrický potenciál

- elektrické napětí

$$U = \frac{2\pi \int_0^{r_2} rV(r)dr}{\pi r_2^2}$$

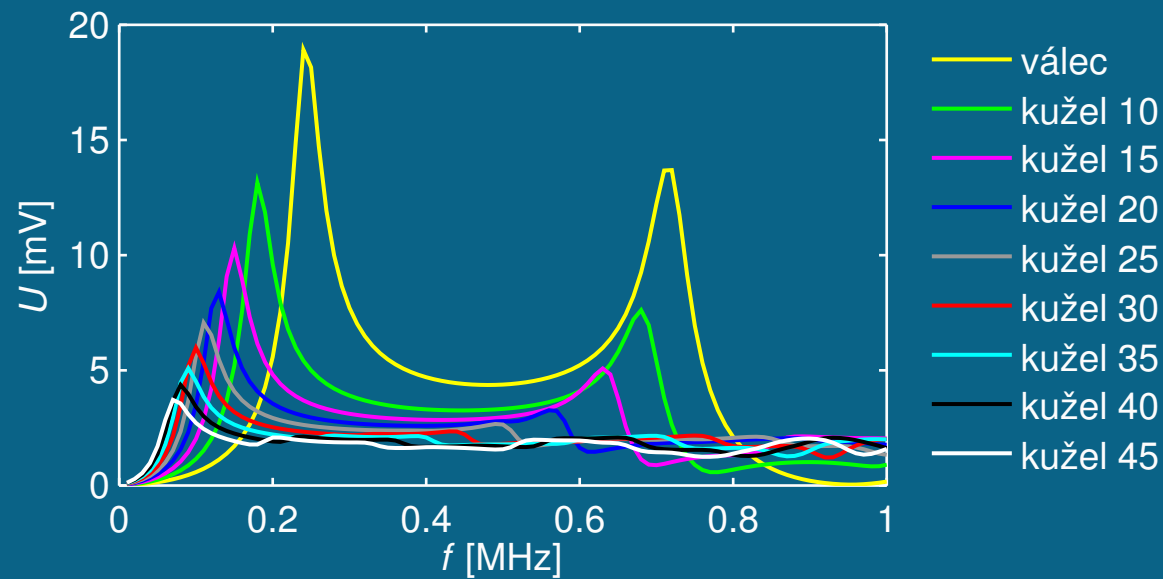
## Frekvenční analýza

- čtyřúhelníková síť - maximální velikost prvku sítě  $0,5 \times 0,5$  mm
- Rayleighovo tlumení
  - parametr hmotnosti  $\alpha_{dM} = 209440 \text{ s}^{-1}$
  - parametr tuhosti  $\beta_{dK} = 1.06 \cdot 10^{-8} \text{ s}$
- parametrický řešič frekvenční odezvy
- amplituda buzení 1pm
- budící frekvence v rozmezí  $10^4 - 10^6$  s krokem  $10^4$  Hz
- studována odezva napětí



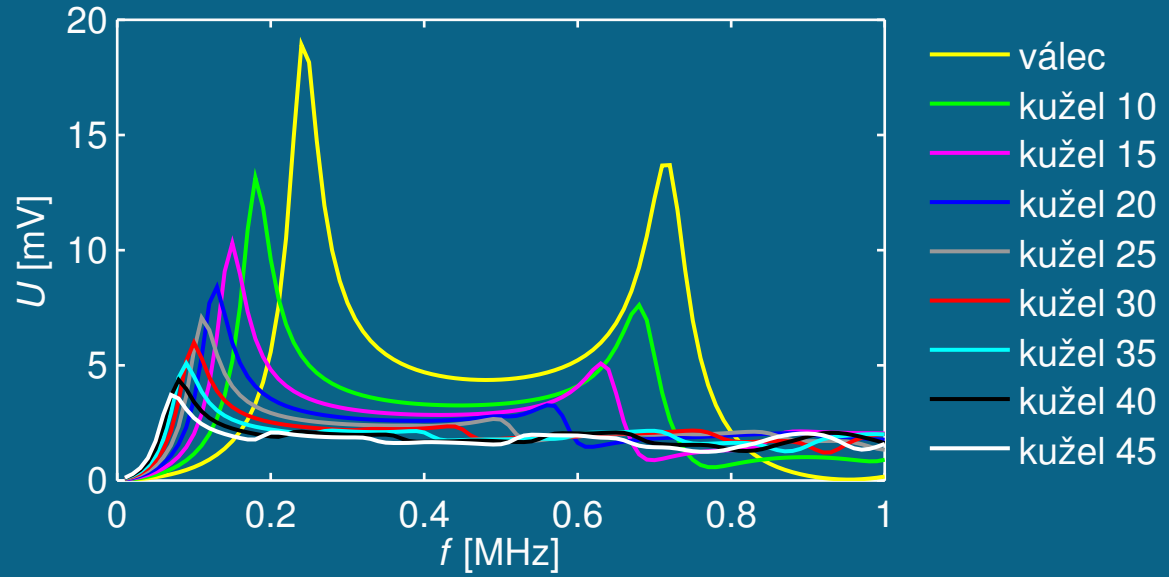
pro samotné prvky

## Frekvenční odezva

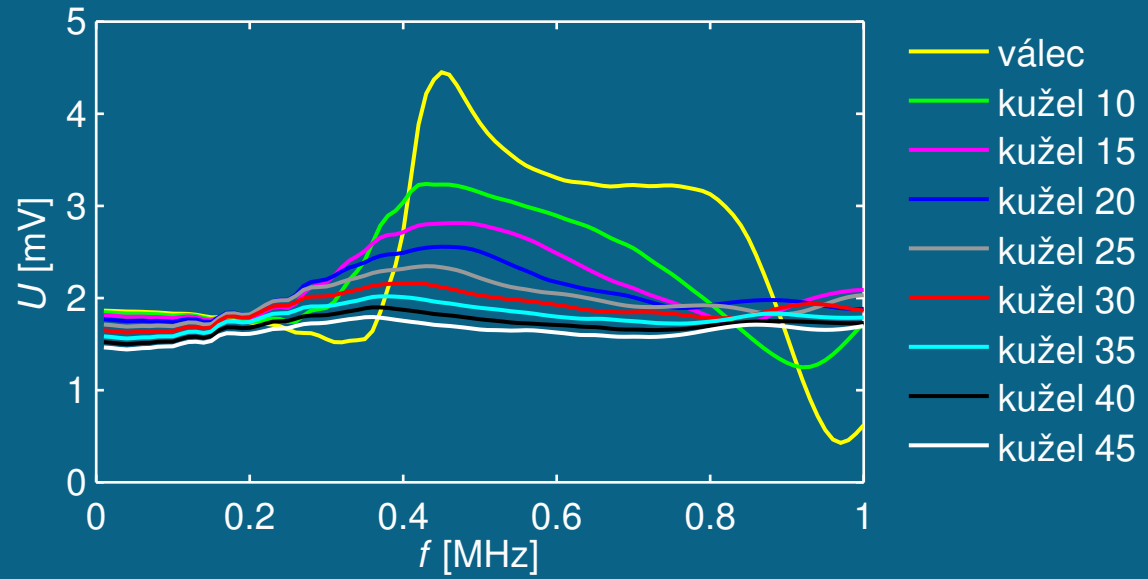


pro samotné prvky

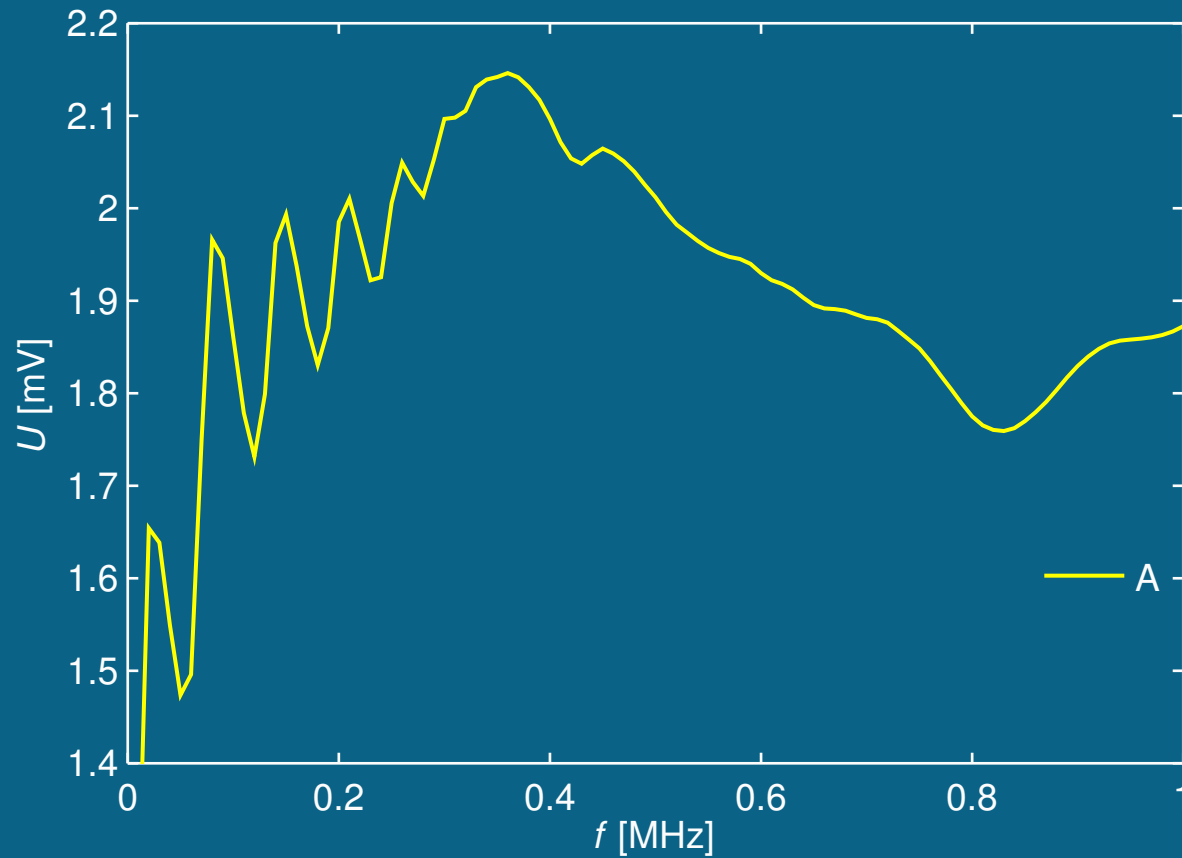
## Frekvenční odezva



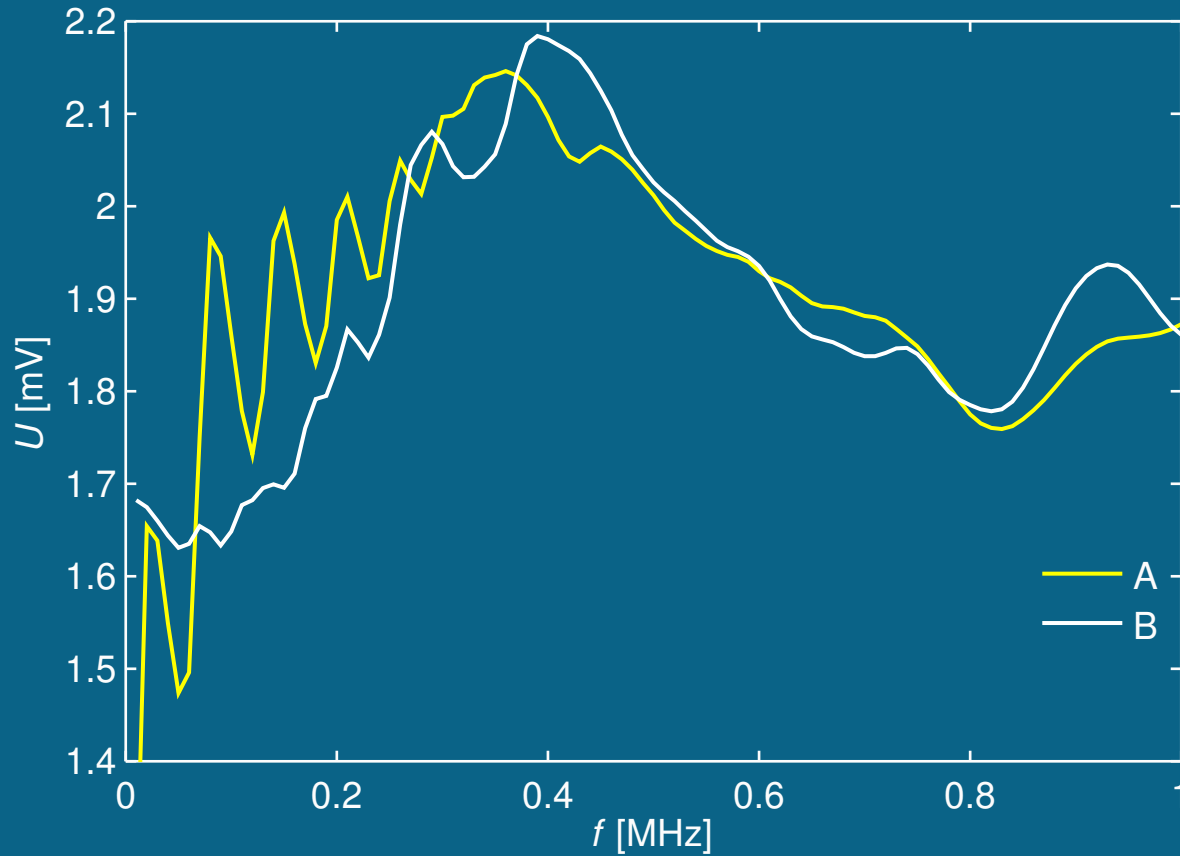
pro snímače



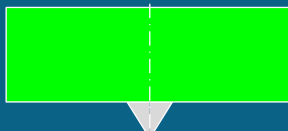
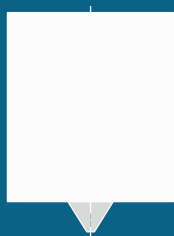
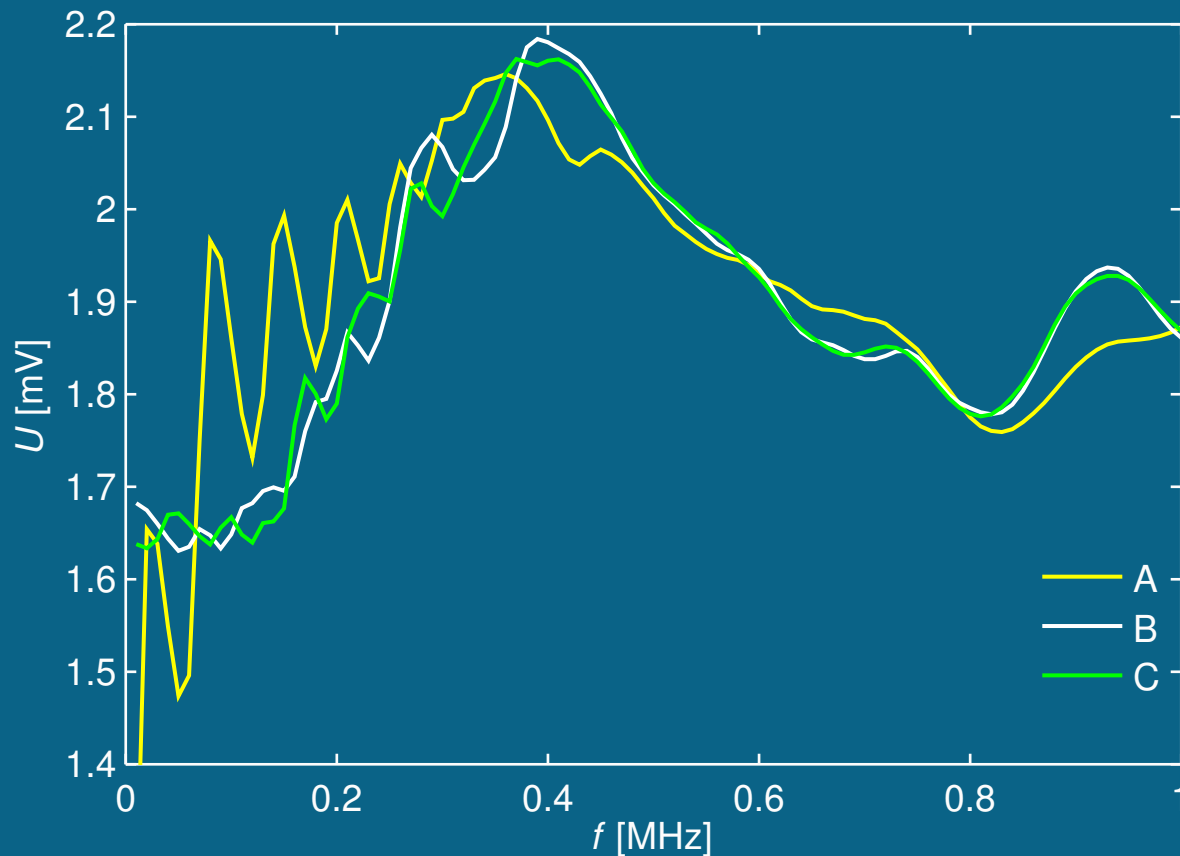
## Vliv tvaru zakončovacího bloku na frekvenční odezvu



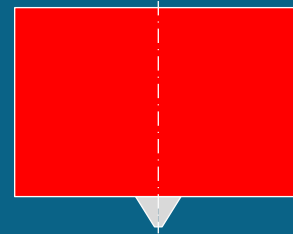
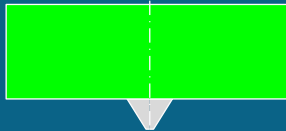
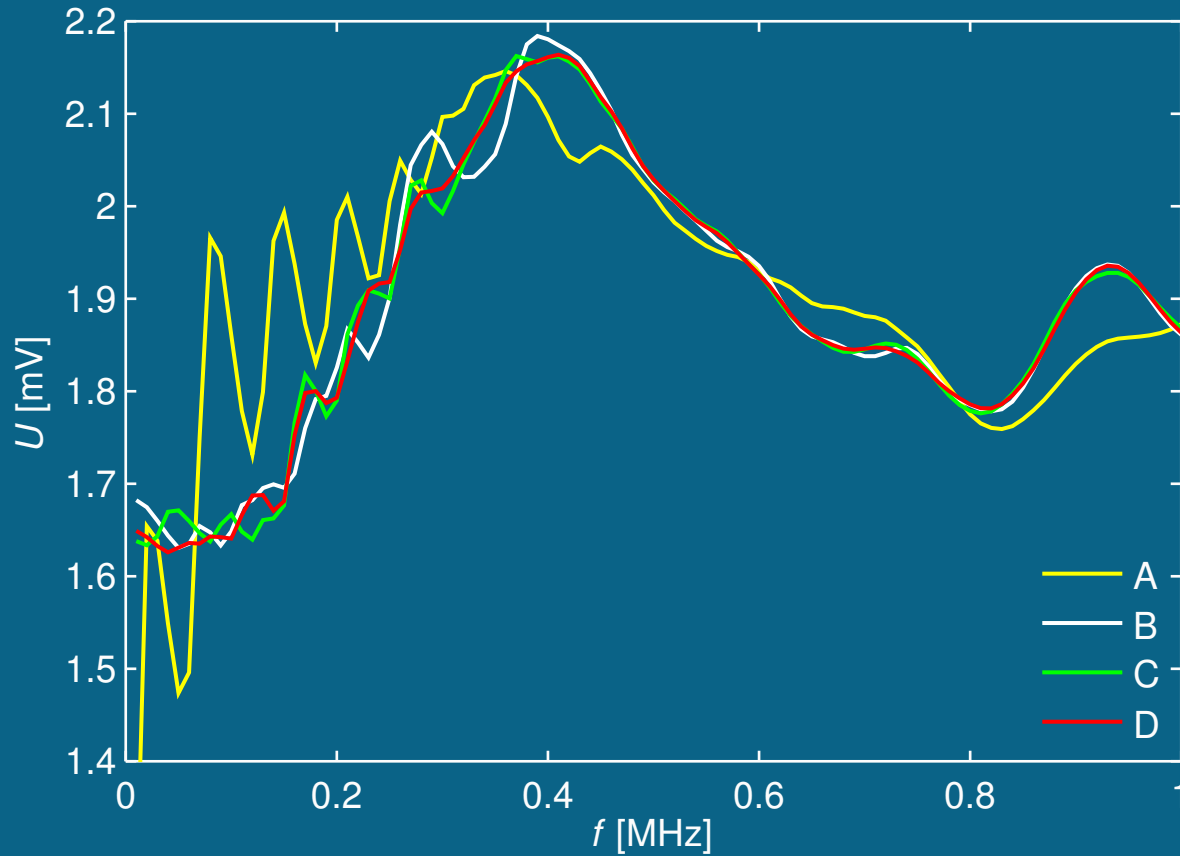
# Vliv tvaru zakončovacího bloku na frekvenční odezvu



## Vliv tvaru zakončovacího bloku na frekvenční odezvu

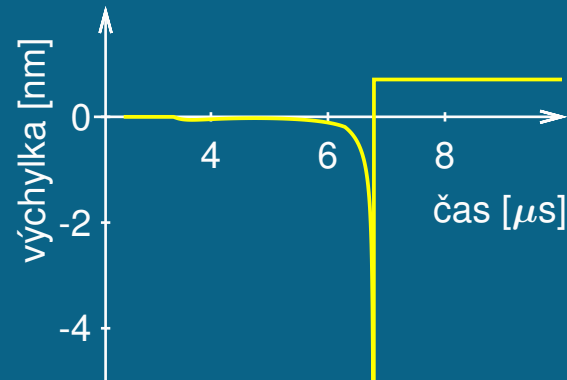
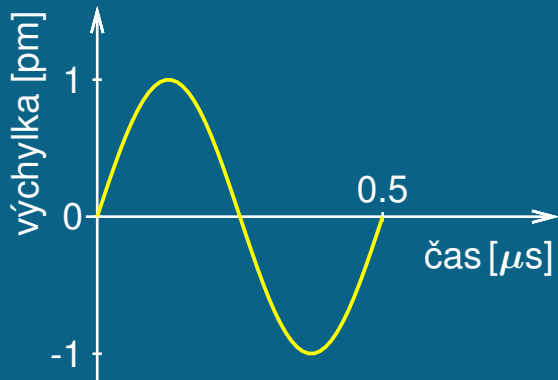


# Vliv tvaru zakončovacího bloku na frekvenční odezvu

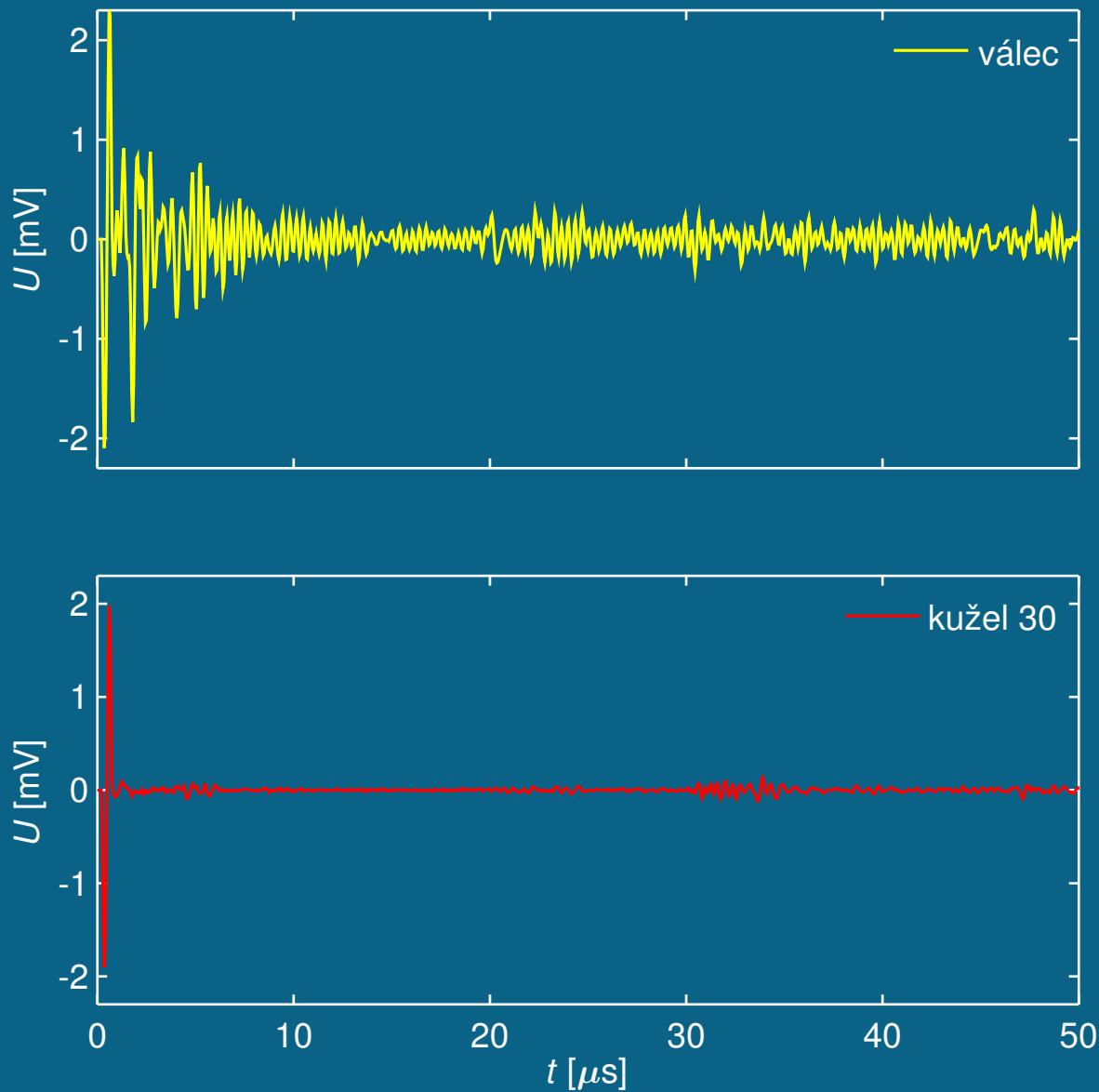


## Analýza časové závislosti

- čtyřúhelníková síť - maximální velikost prvku sítě  $0,25 \times 0,25$  mm
- čas od 0 do  $50 \mu s$  s krokem  $0,01 \mu s$
- 2 způsoby buzení
  - **funkcí**  
sinový puls s amplitudou 1 pm, frekvencí 2 MHz a šířkou  $0,5 \mu s$
  - **předepsaným souborem**  
vertikální výchylka na poloprostoru ve vzdálenosti 2 cm od bodového silového zdroje (1 N) se skokovým průběhem buzení

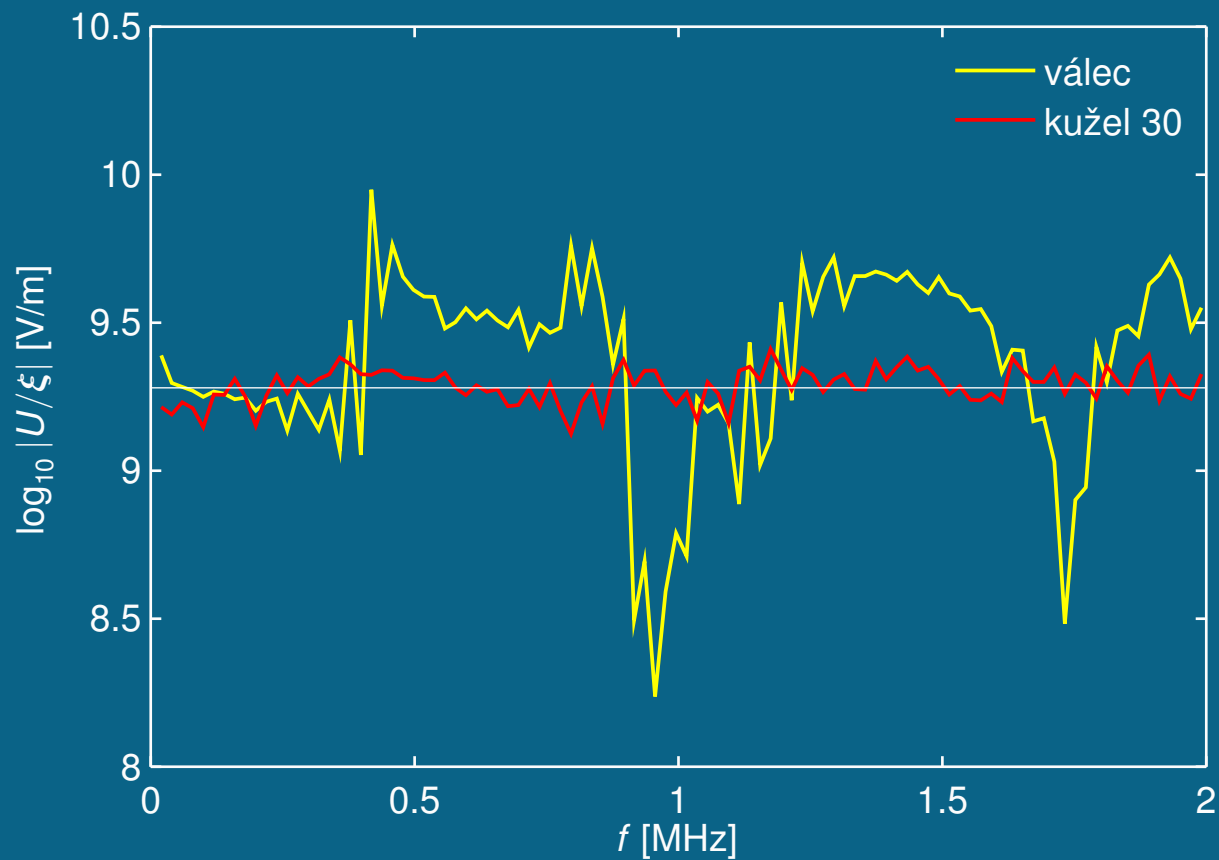


## Časová odezva snímače při buzení pulsem funkce sinus

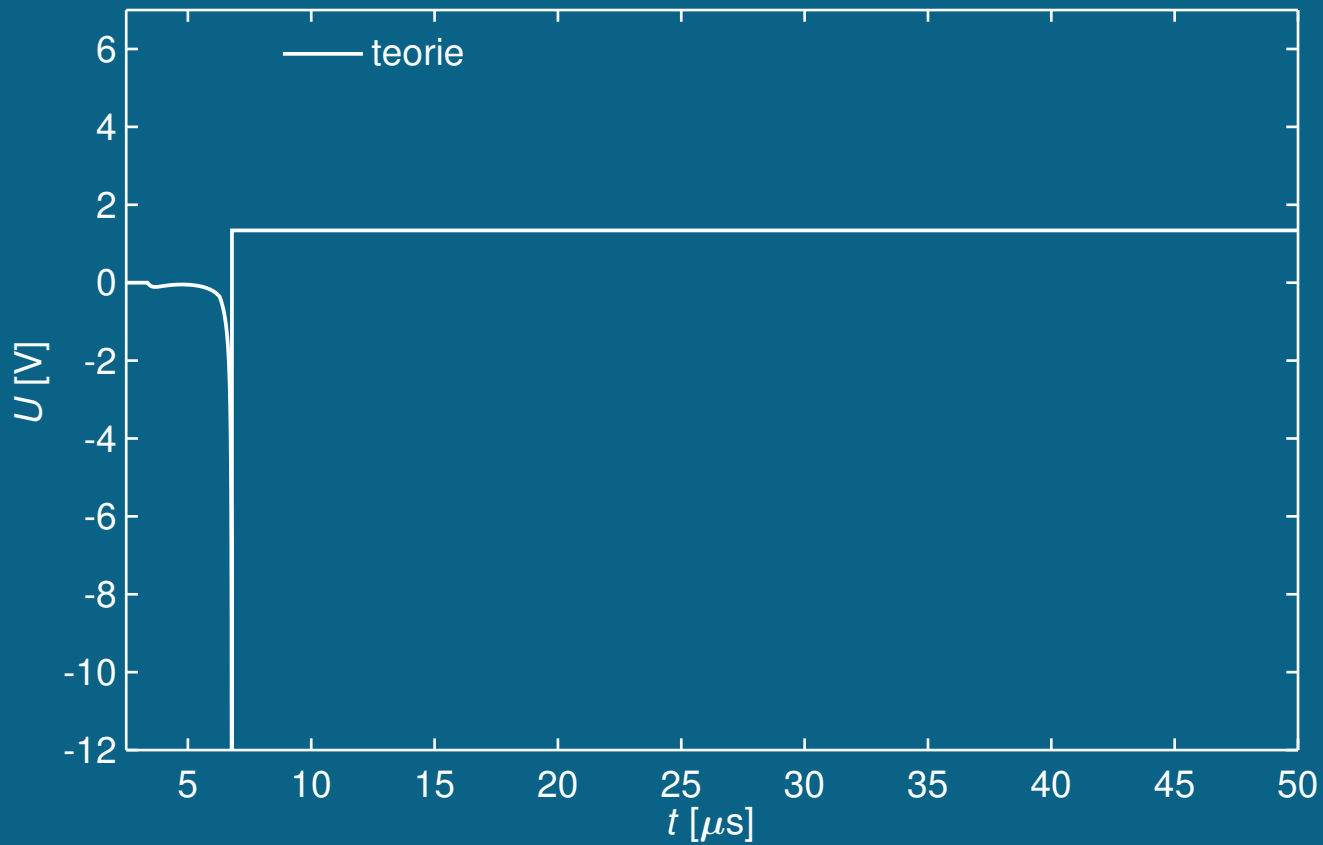




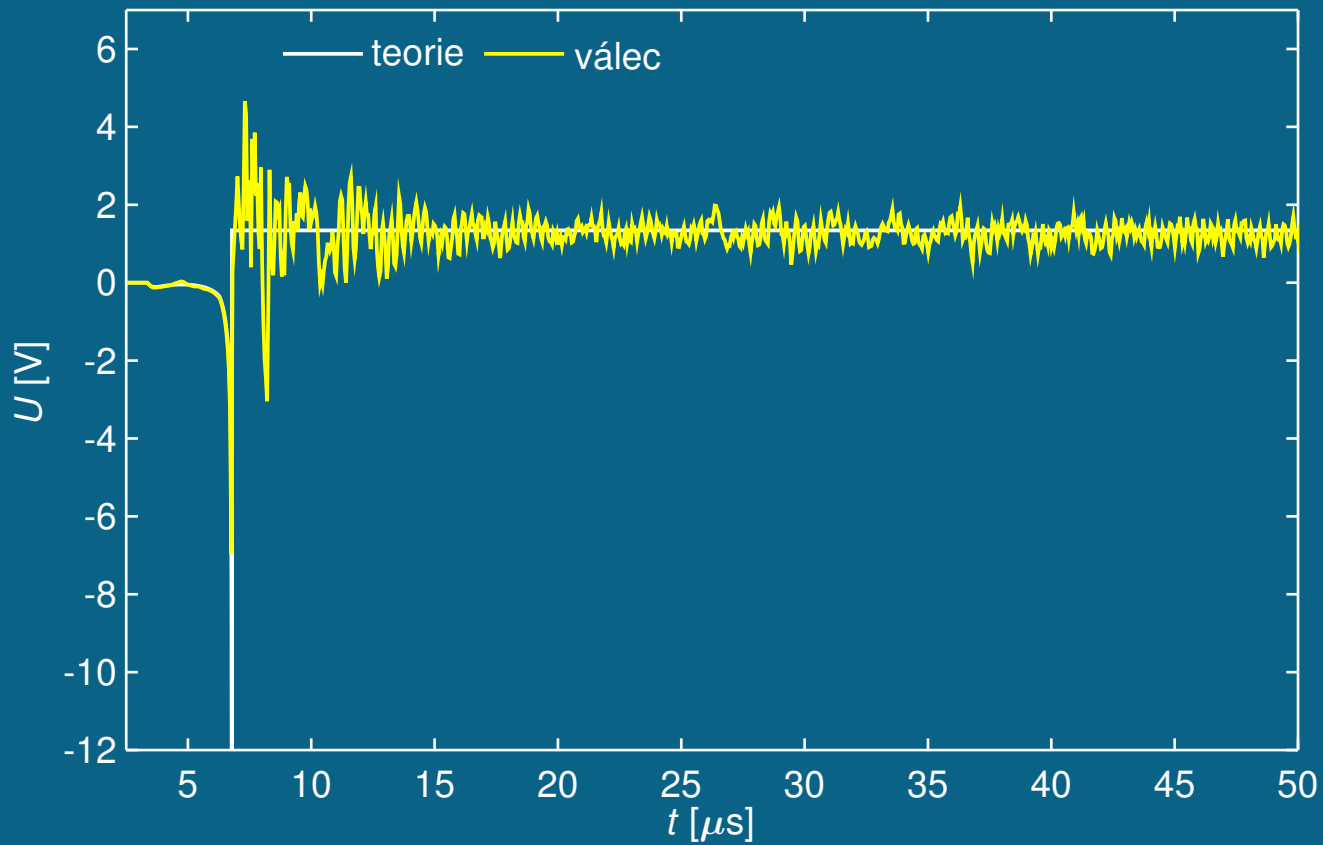
## Frekvenční odezva založená na časové odezvě snímače



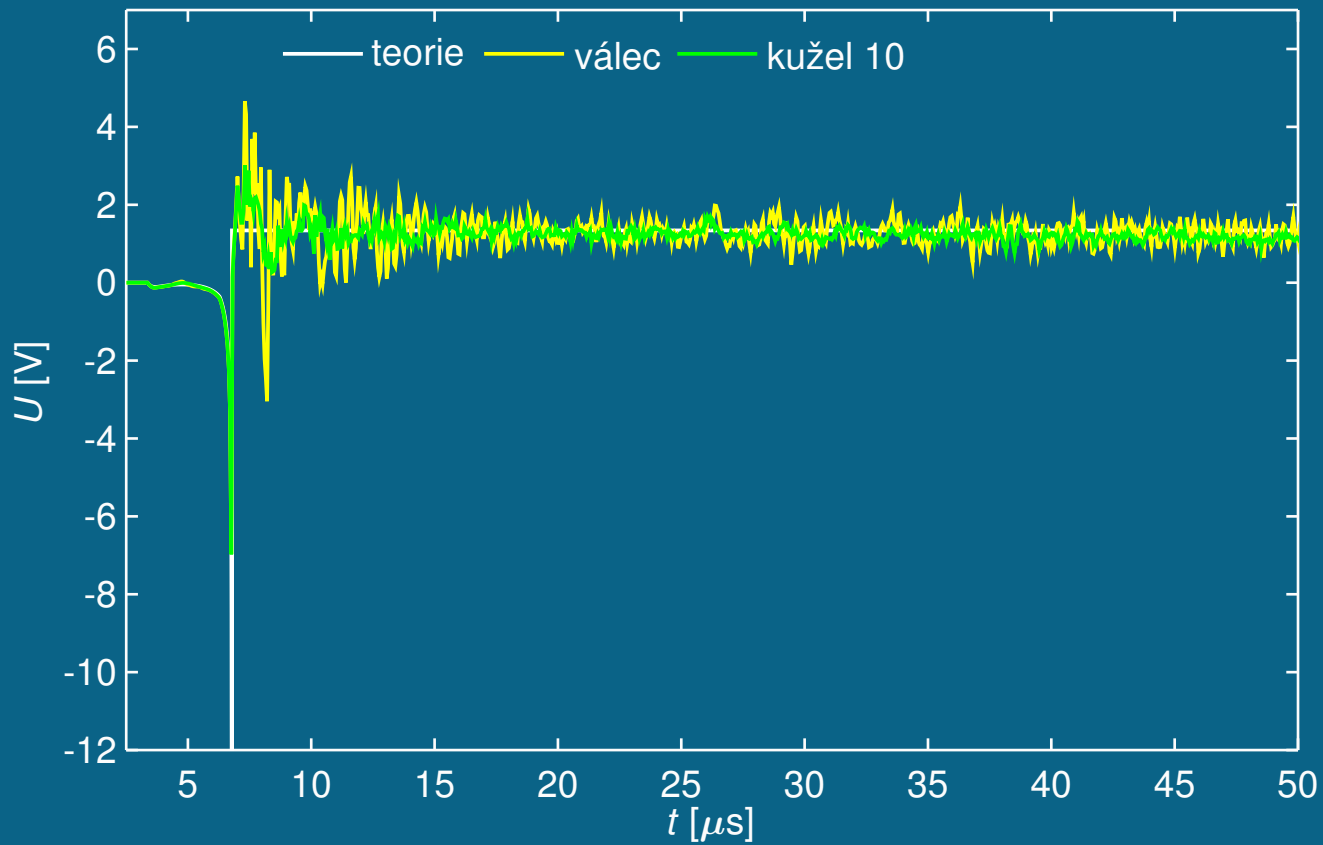
## Časová odezva při buzení daném souborem



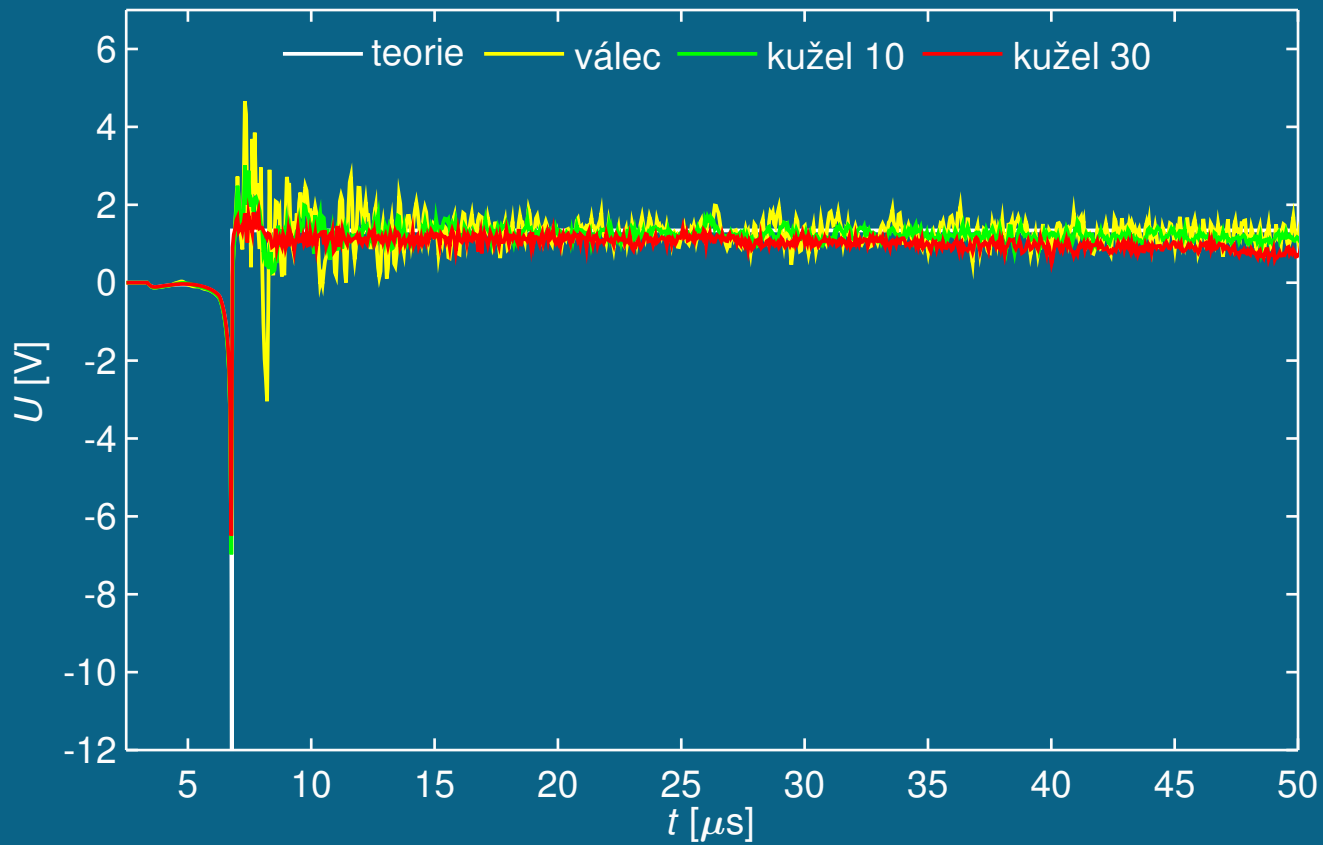
## Časová odezva při buzení daném souborem



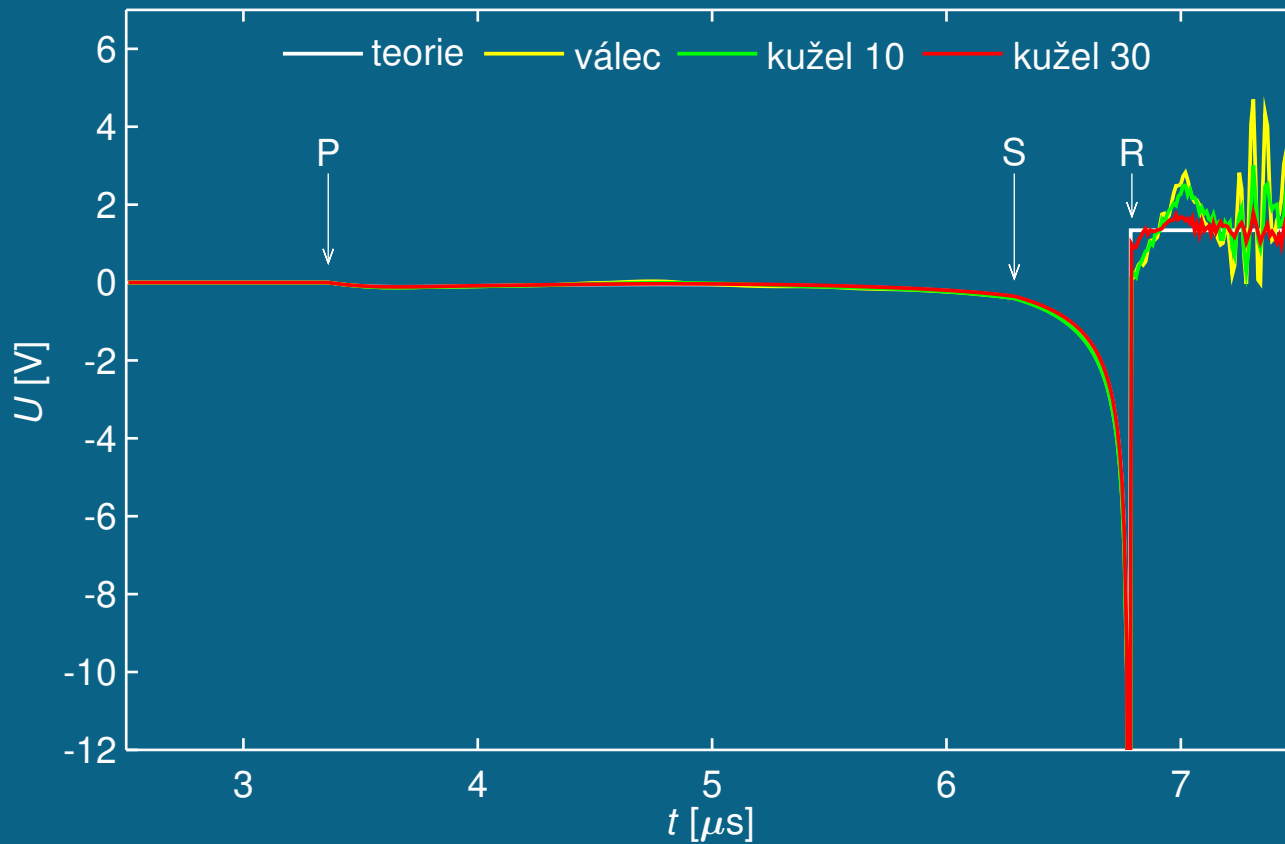
## Časová odezva při buzení daném souborem



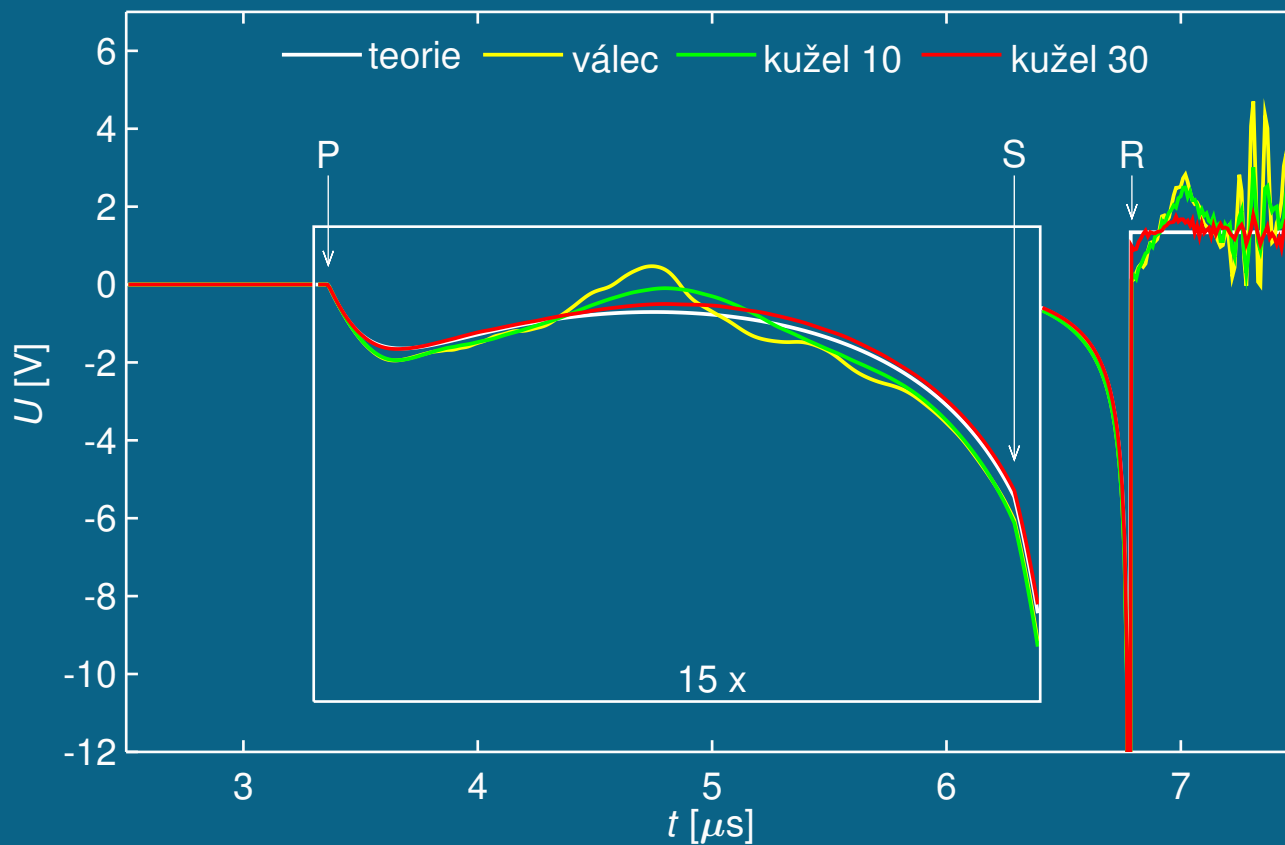
## Časová odezva při buzení daném souborem



## Časová odezva při buzení daném souborem



## Časová odezva při buzení daném souborem



## Závěr

- Zjednodušená 1D analýza založená na náhradním elektrickém obvodu kónického vlnovodu a Masonovu modelu piezokeramiky.
- 2D MKP analýza (rotační symetrie) systémem COMSOL.
- Frekvenční charakteristiky a odezvy na pulzní buzení.

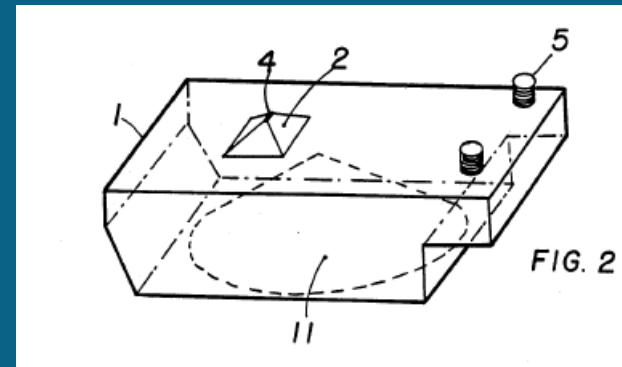
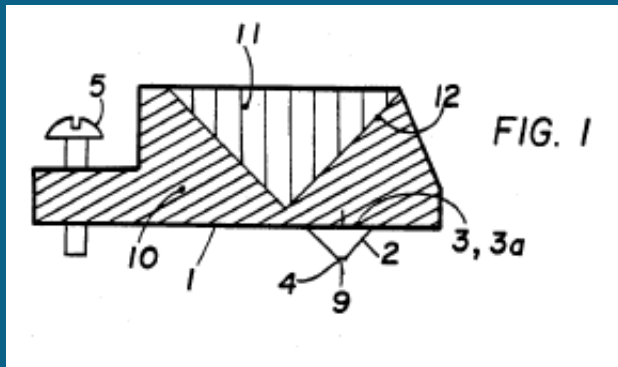


## Závěr

- Zjednodušená 1D analýza založená na náhradním elektrickém obvodu kónického vlnovodu a Masonovu modelu piezokeramiky.
- 2D MKP analýza (rotační symetrie) systémem COMSOL.
- Frekvenční charakteristiky a odezvy na pulzní buzení.

## Výhled

- 3D MKP analýza systémem COMSOL.
- Analýza snímače pro měření příčných výchylek.



# OBSAH

Úvod

## Jednorozměrná analýza

Frekvenční odezva založená na 1D analýze

## Analýza metodou konečných prvků

Materiály

Tvary piezoelektrických prvků

Okrajové podmínky

## Frekvenční analýza

Vliv tvaru zakončovacího bloku na frekvenční odezvu

## Analýza časové závislosti

Časová odezva snímače při buzení pulsem funkce sinus

Frekvenční odezva založená na časové odezvě snímače

Časová odezva při buzení daném souborem