

Experimentální systém pro magnetickou levitaci s řízením polohy a rotace

Petr Šícho



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Osnova - SMAZAT

0. Existující práce
1. Levitační platforma - fyzická stavba, modulární set, kompenzace
2. Numerické simulace - model, senzory, rozložení platformy

Cíle

1. Postavit platformu pro magnetickou levitaci
2. Nasimulovat platformu numericky
3. Najít dle simulace matematický model platformy
4. Implementovat řízení výšky a rotace
5. Demonstrovat kreslení kuličkou

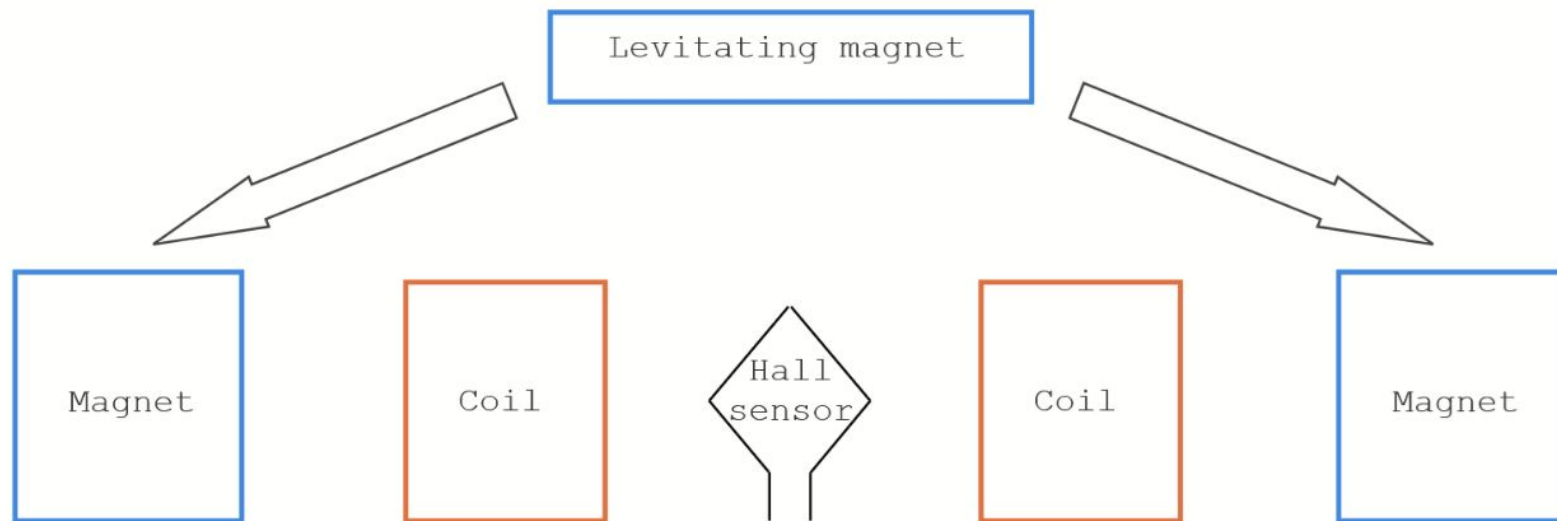
Existující práce

- uzavřený design
- bez pokročilých funkcí



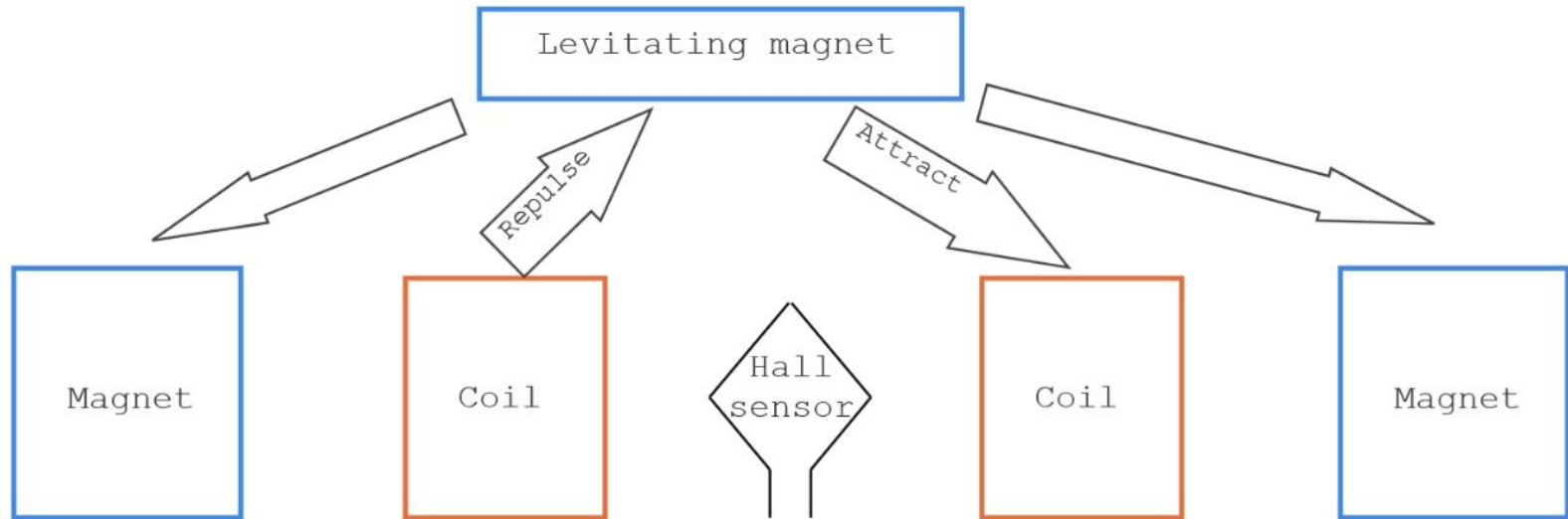
Levitační platforma

Základní princip



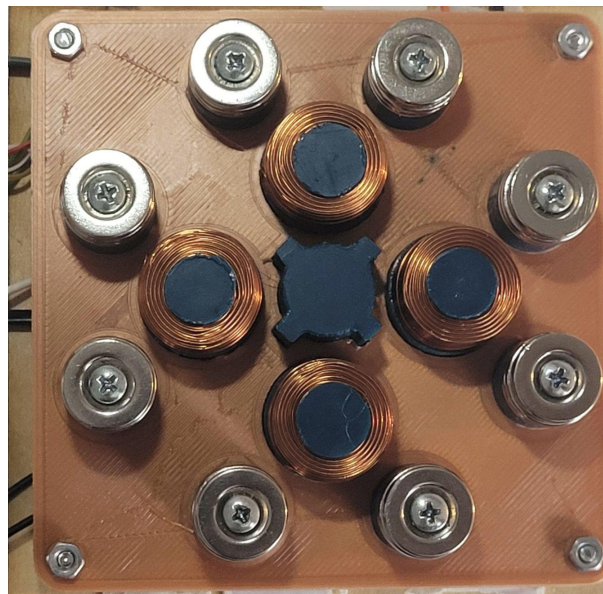
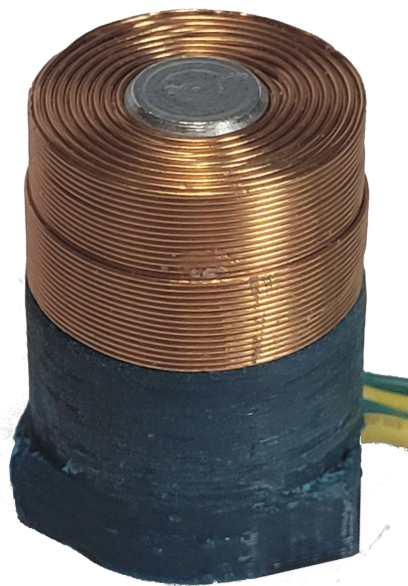
Levitační platforma

Základní princip

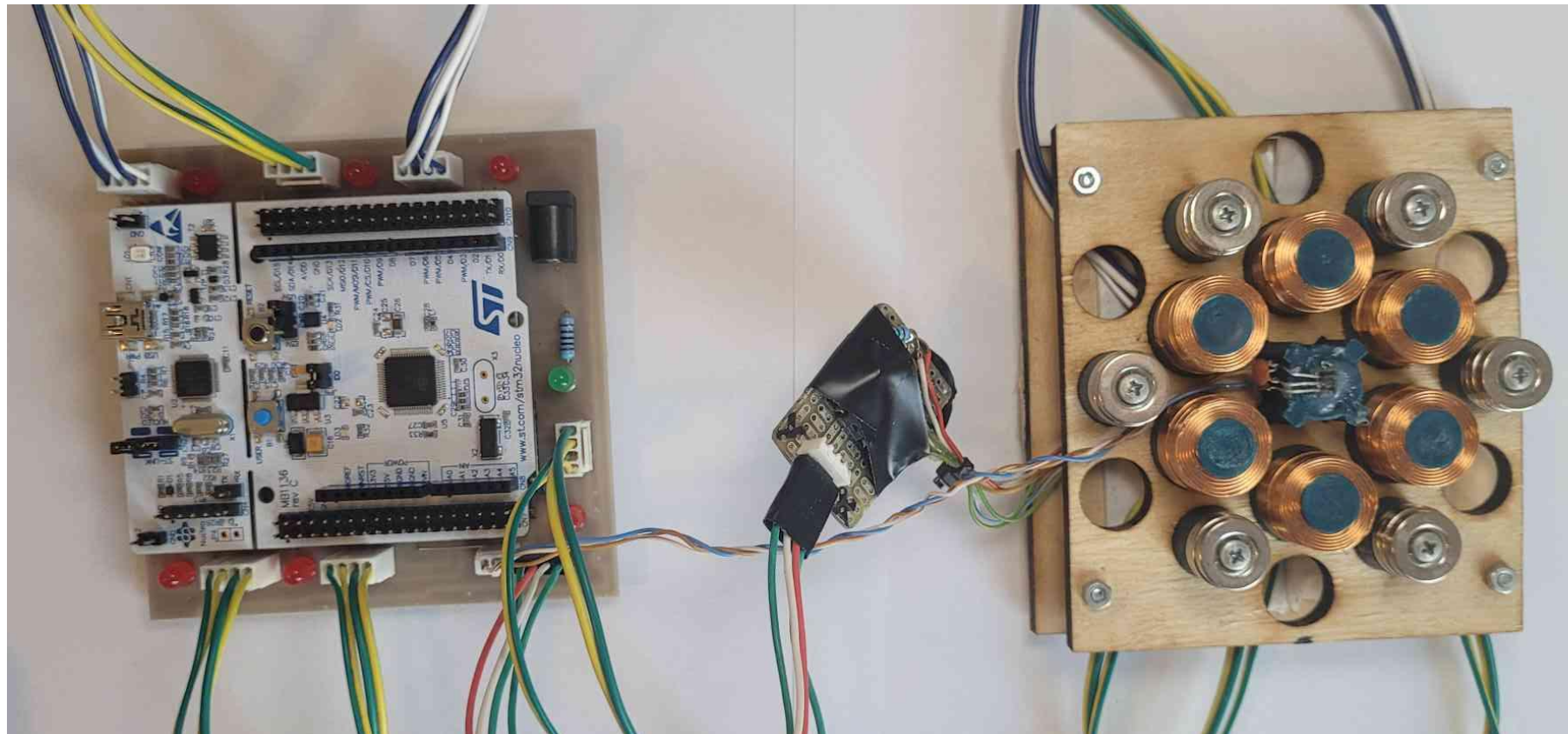


Levitační platforma

Modulární set - testování různých rozložení

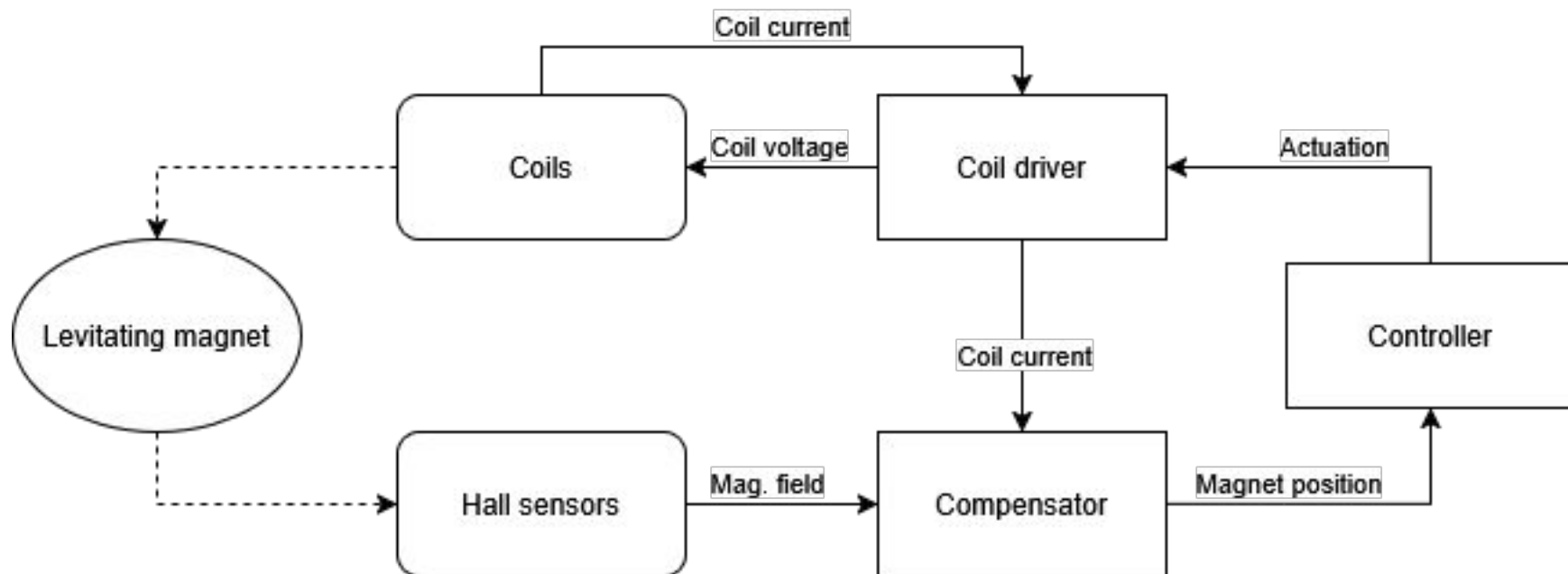


Levitační platforma



Levitační platforma

Procesní diagram



Levitační platforma



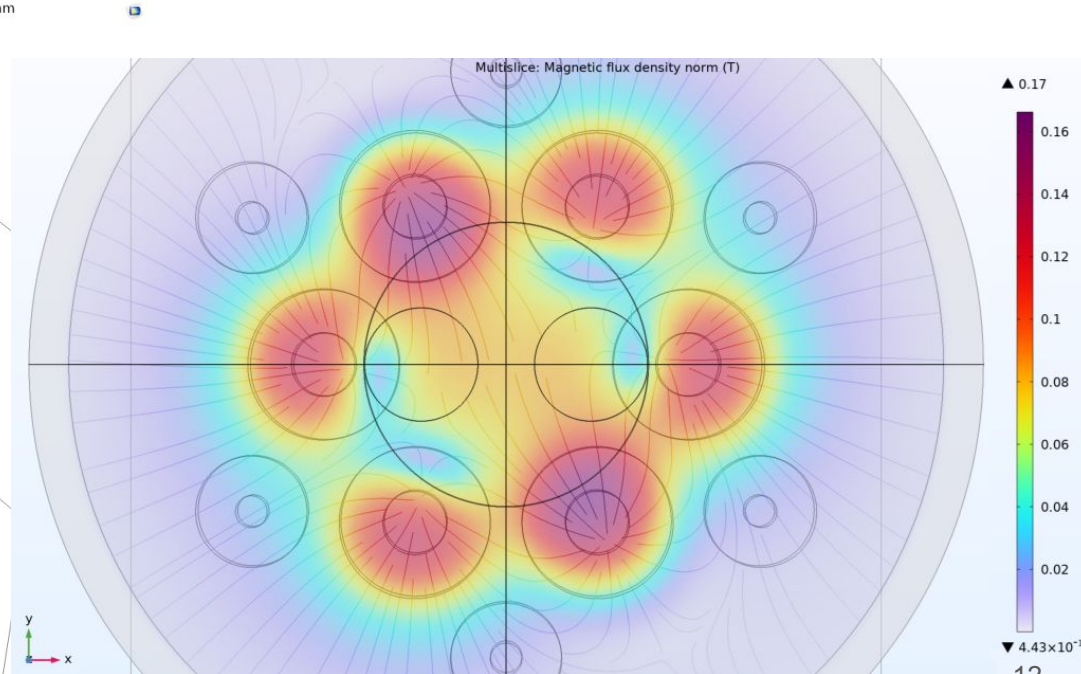
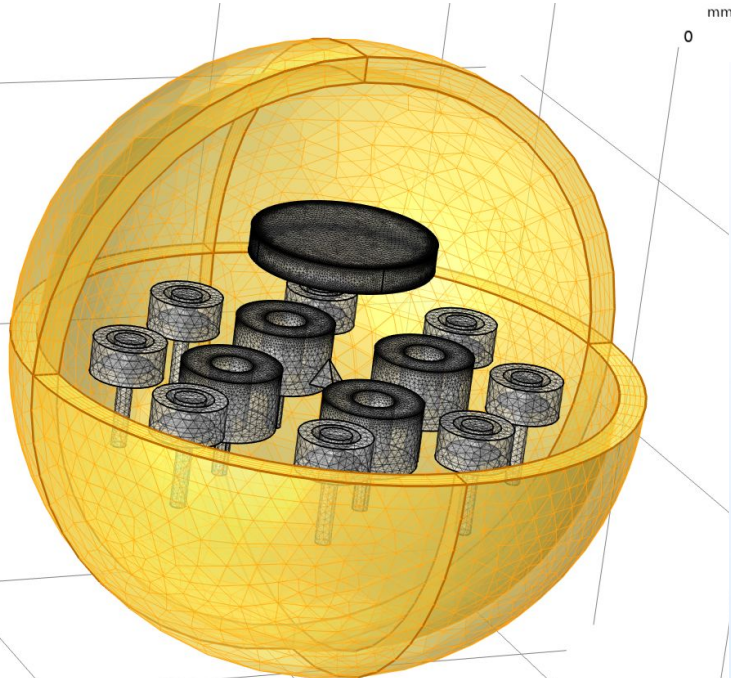
Numerické simulace

Účel simulace

- Zjistit a popsat sílu magnetů a cívek
- Najít přibližný model soustavy a navrhnout regulátor
- Ověřit a kalibrovat senzory pro různé výšky
- Analyzovat různá rozložení cívek a magnetů

Numerické simulace

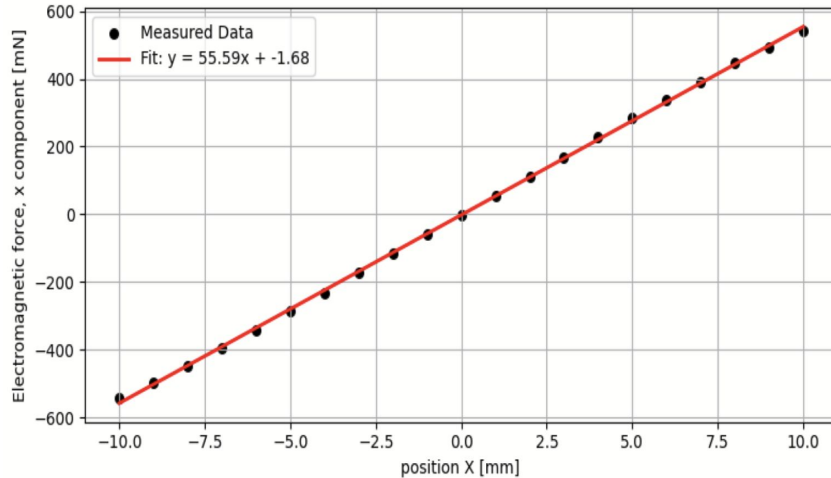
Comsol multiphysics



Numerické simulace

Model soustavy - magnety

$$m\ddot{x} = kx + F_{x_coils}$$



$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 - k}$$

V druhé ose nulová -> dekompozice systému

Numerické simulace

Model soustavy - regulace

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 - k}$$

$$R(s) = K_p + K_d s$$

$$H(s) = \frac{K_p + K_d s}{ms^2 + K_d s + (K_p - k)}$$

Numerické simulace

Model soustavy - regulace

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 - k}$$

$$R(s) = K_p + K_d s$$

$$H(s) = \frac{K_p + K_d s}{ms^2 + K_d s + (K_p - k)}$$

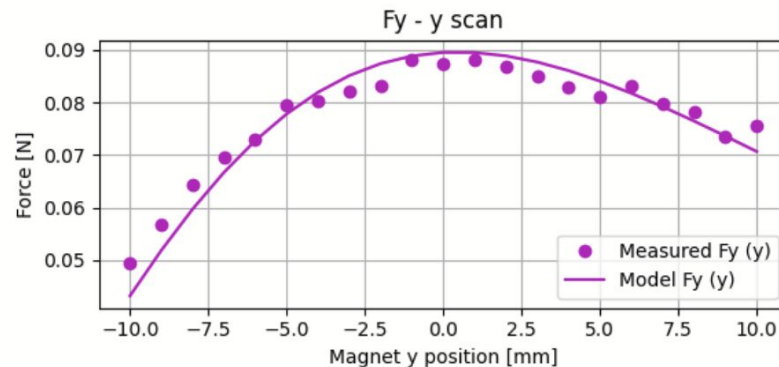
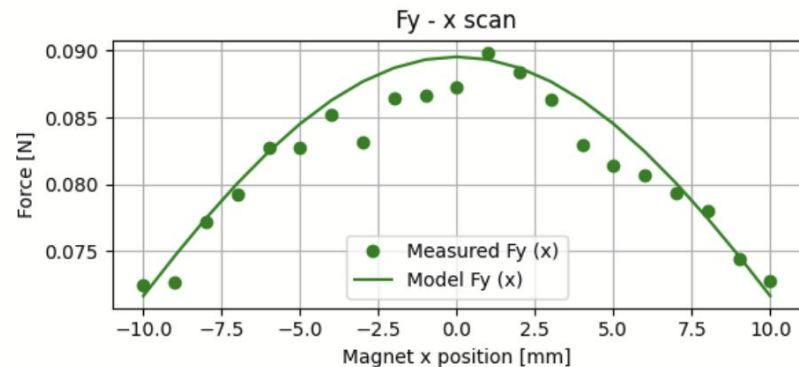
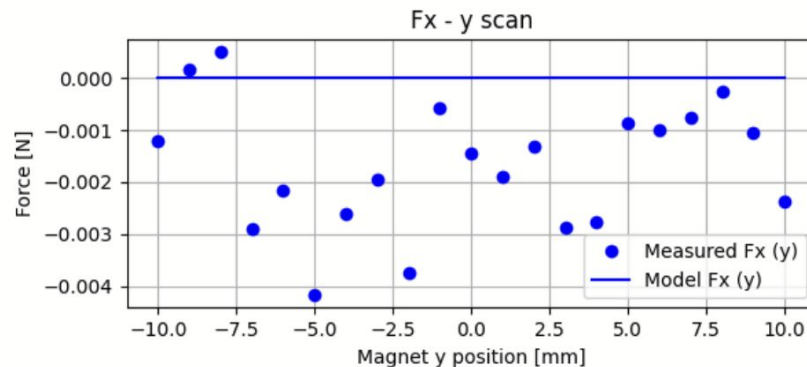
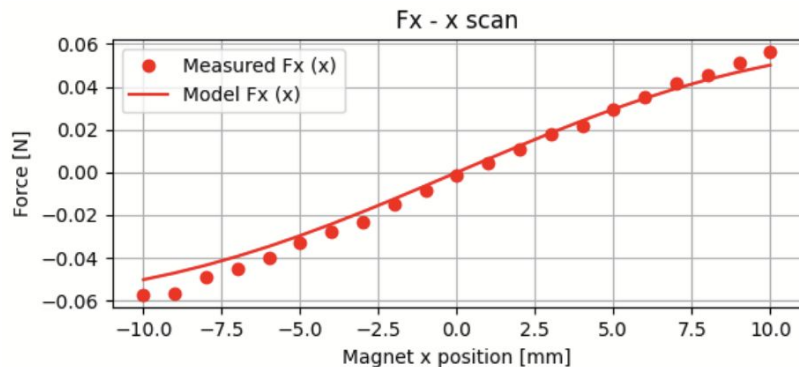
$$K_d > 0$$

$$K_p > k$$

Numerické simulace

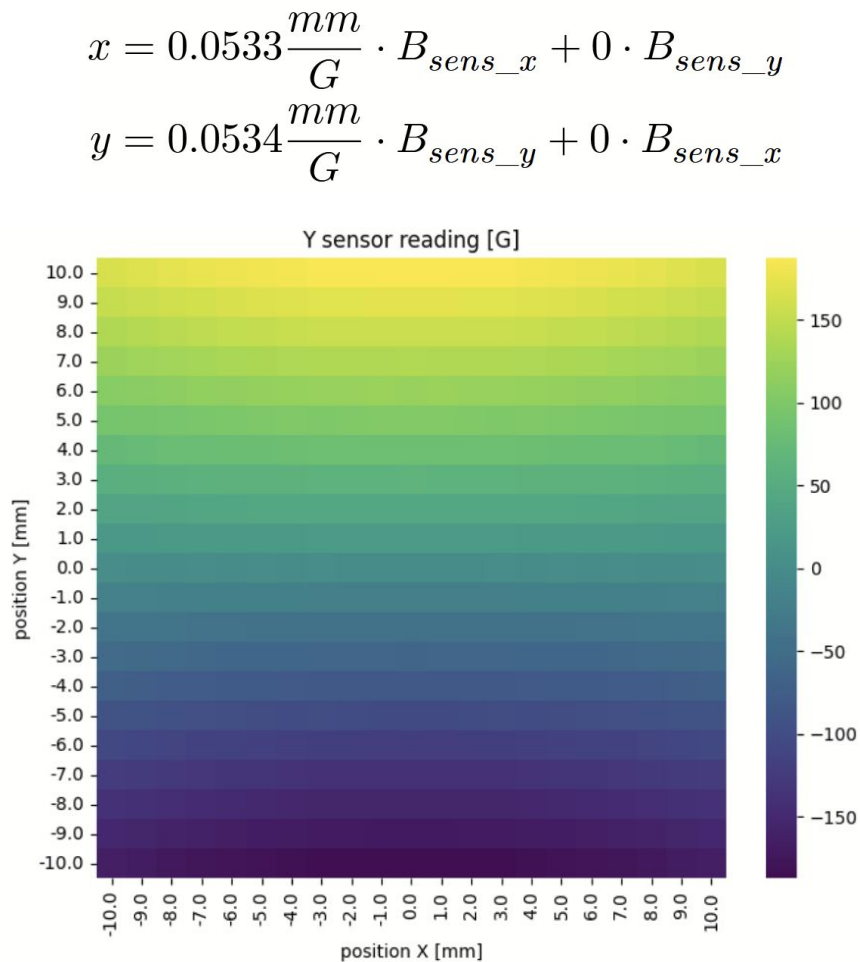
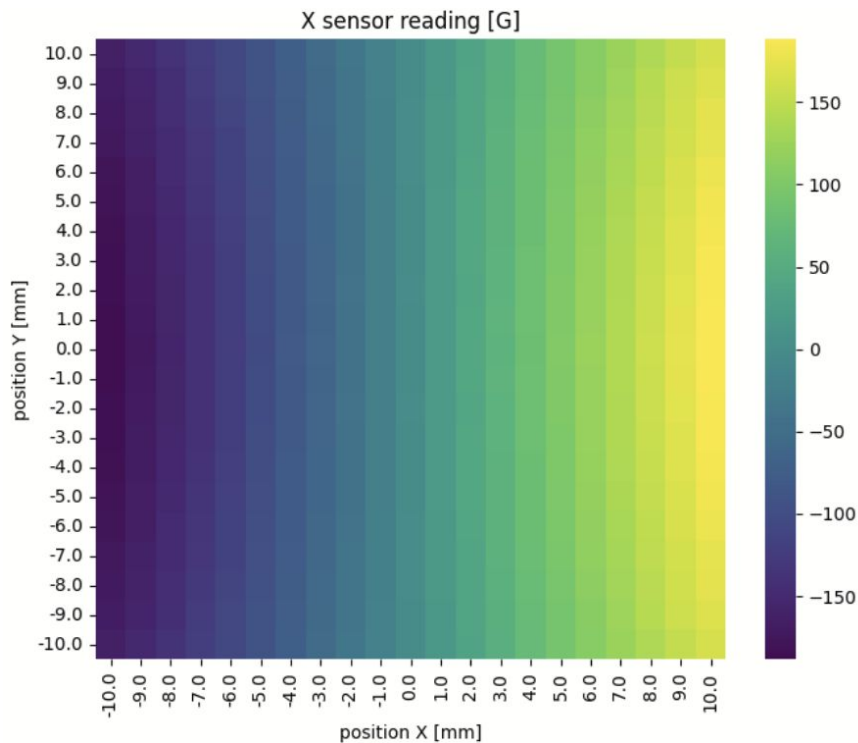
Model soustavy - síla cívek

$$\vec{F}_{xy} = -3ik_{coil}m \left[\frac{z}{r^5} \vec{r} \right]$$



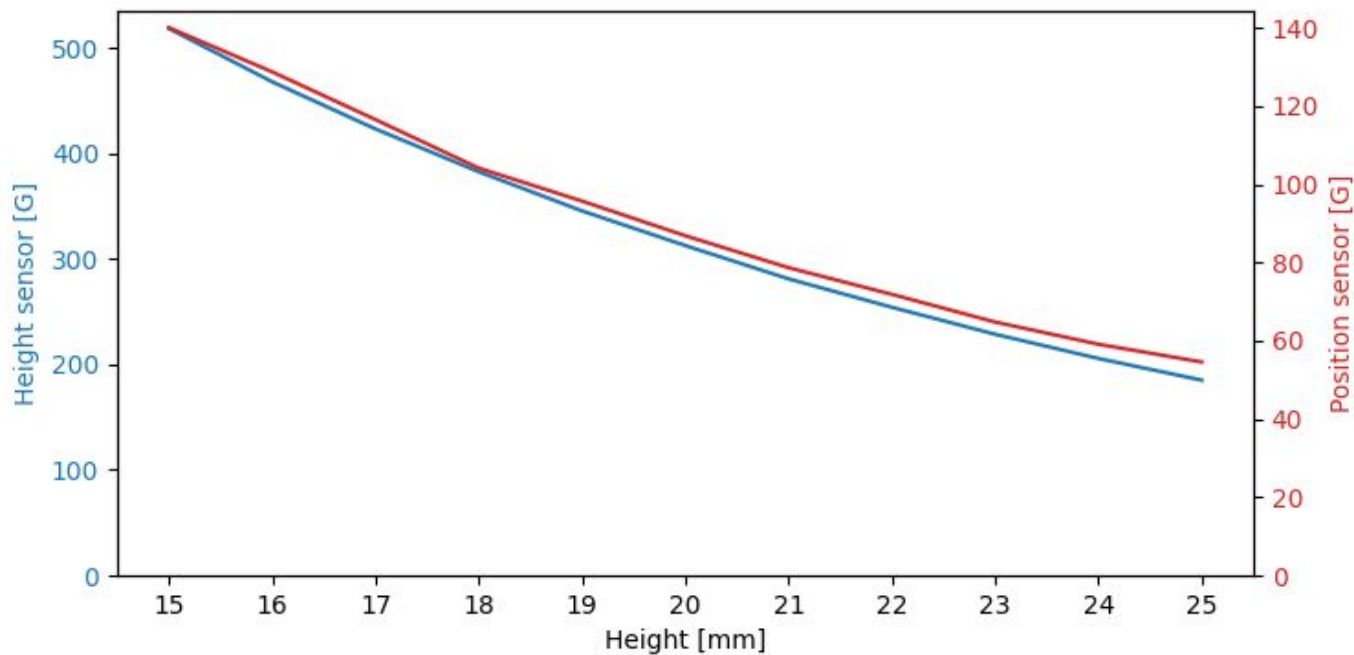
Numerické simulace

Model soustavy - linearita senzorů



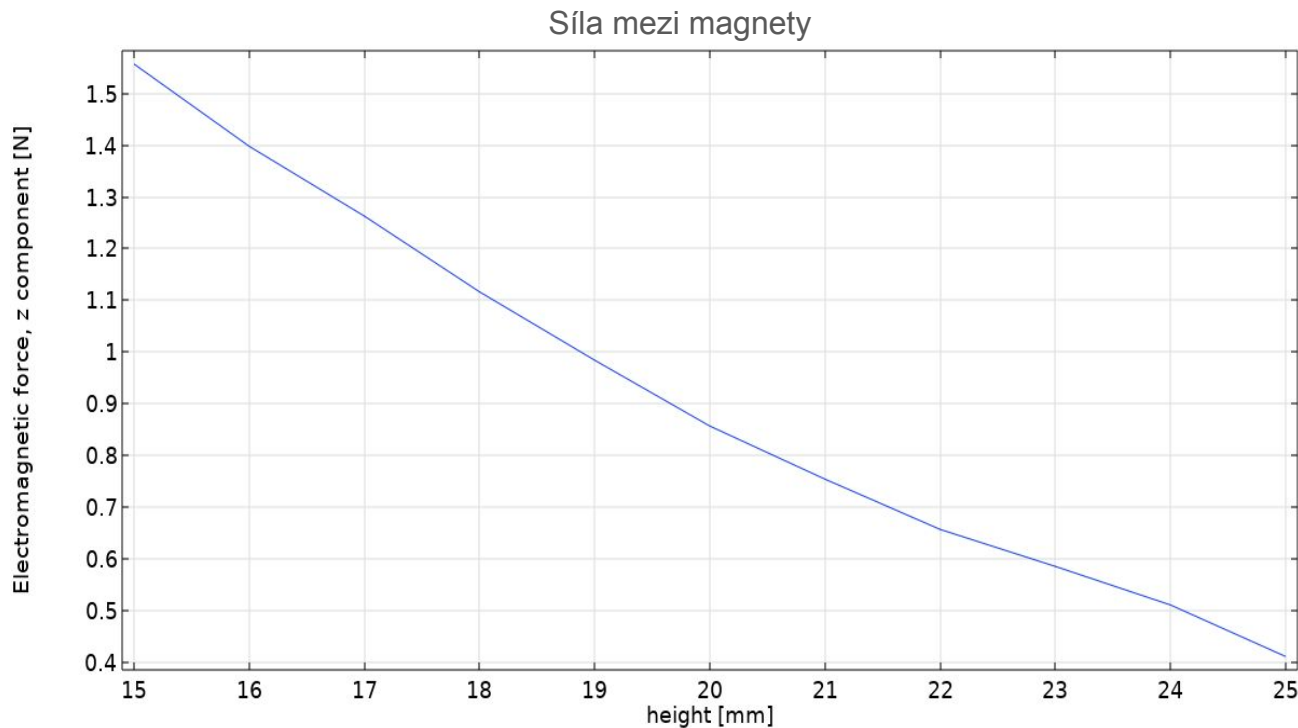
Numerické simulace

Model soustavy - kalibrace pro různé výšky

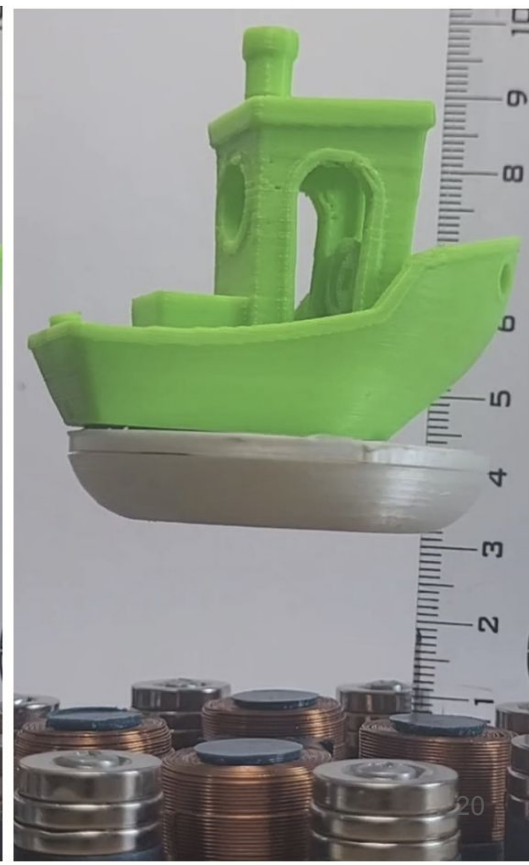
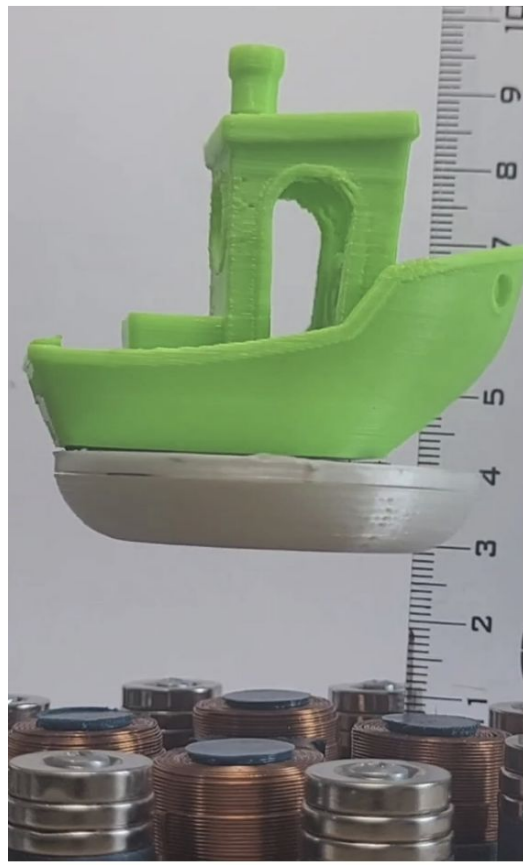


Řízení výšky a rotace

Ovládání výšky - všechny cívky najednou - přibližně 150 mN / A



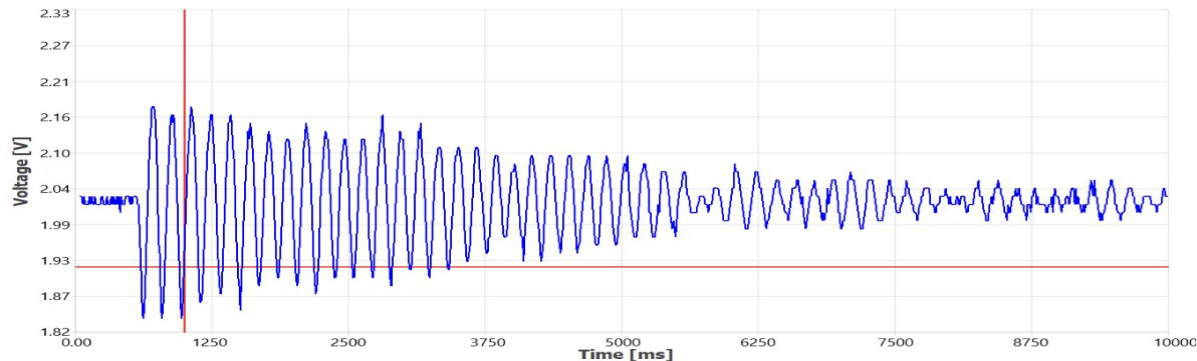
Řízení výšky a rotace



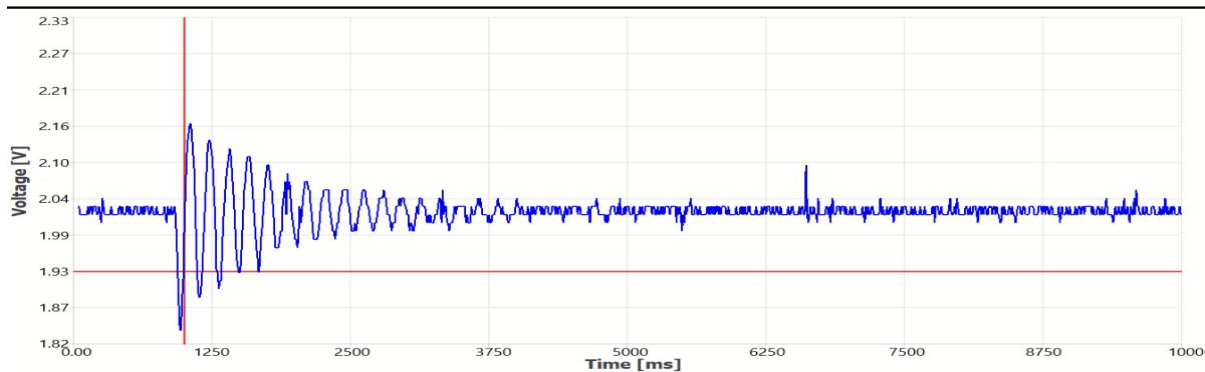
Řízení výšky a rotace

Ovládání výšky - D regulátor

Původní:



Regulovaný:

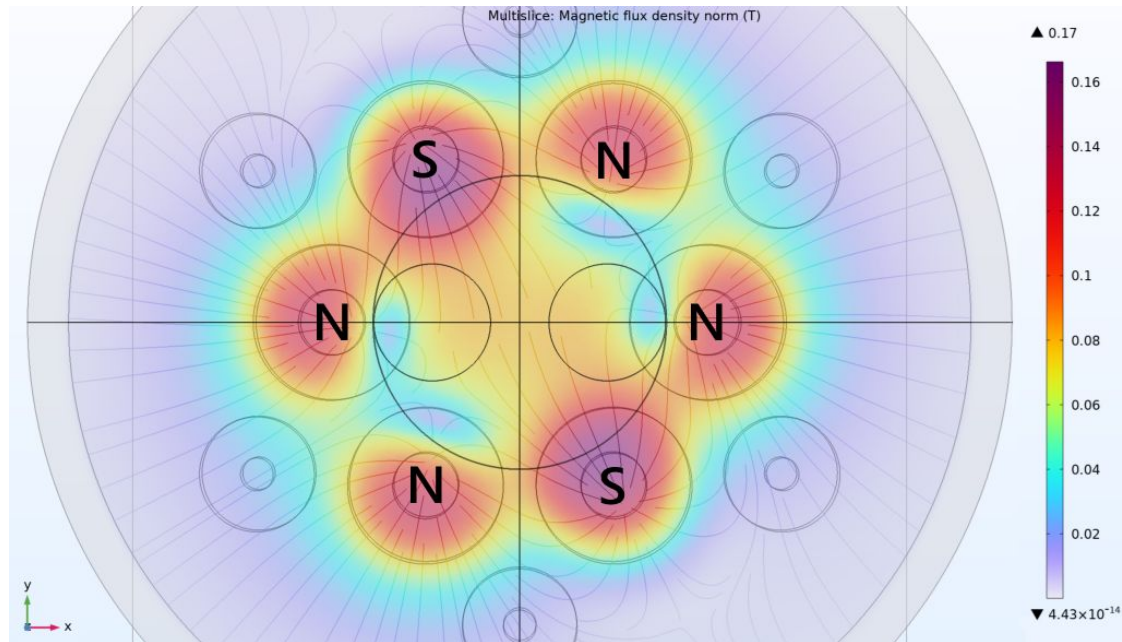


Řízení výšky a rotace



Řízení výšky a rotace

Ovládání rotace -> interpolovaná polarizace



Řízení výšky a rotace

Ovládání rotace -> int



Demonstrace kreslení kuličkou



Děkuji za pozornost

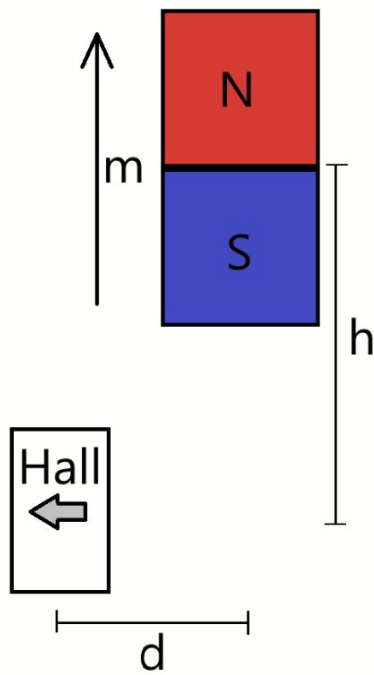


Děkuji za pozornost



Otázka: umístění senzorů vertikálně místo horizontálně

$$\vec{B}_{xy} = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{r}(\vec{m} \cdot \vec{r})}{r^5}$$



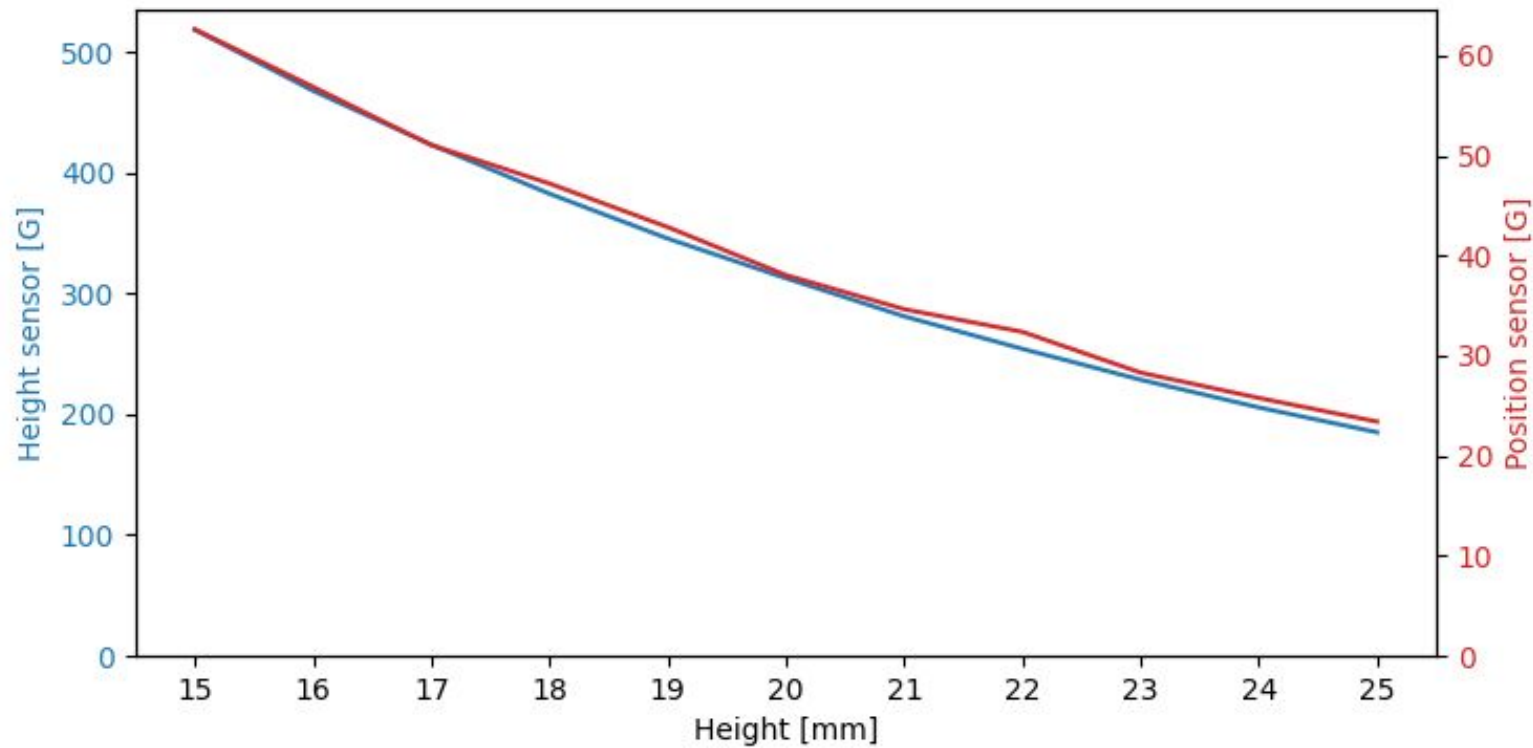
$$B_x = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{d_x m h}{h^5} = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{h^4} d_x$$

$$B_{x1} = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{h^4} (d_x - \Delta d_x),$$

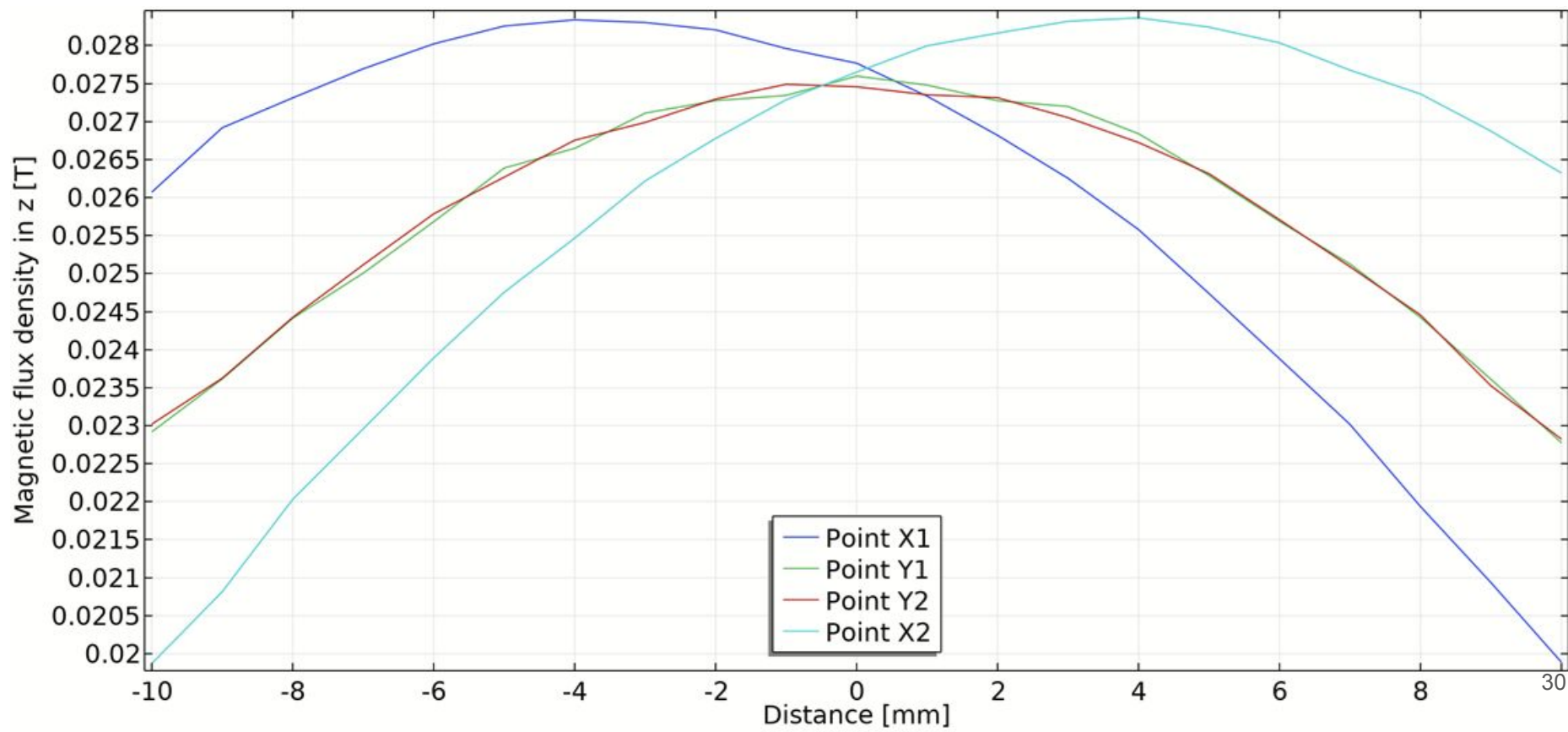
$$B_{x2} = -\frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{h^4} (d_x + \Delta d_x).$$

$$B_{sens_x} = B_{x1} + B_{x2} = \frac{3\mu_0}{2\pi h^4} \Delta d_x$$

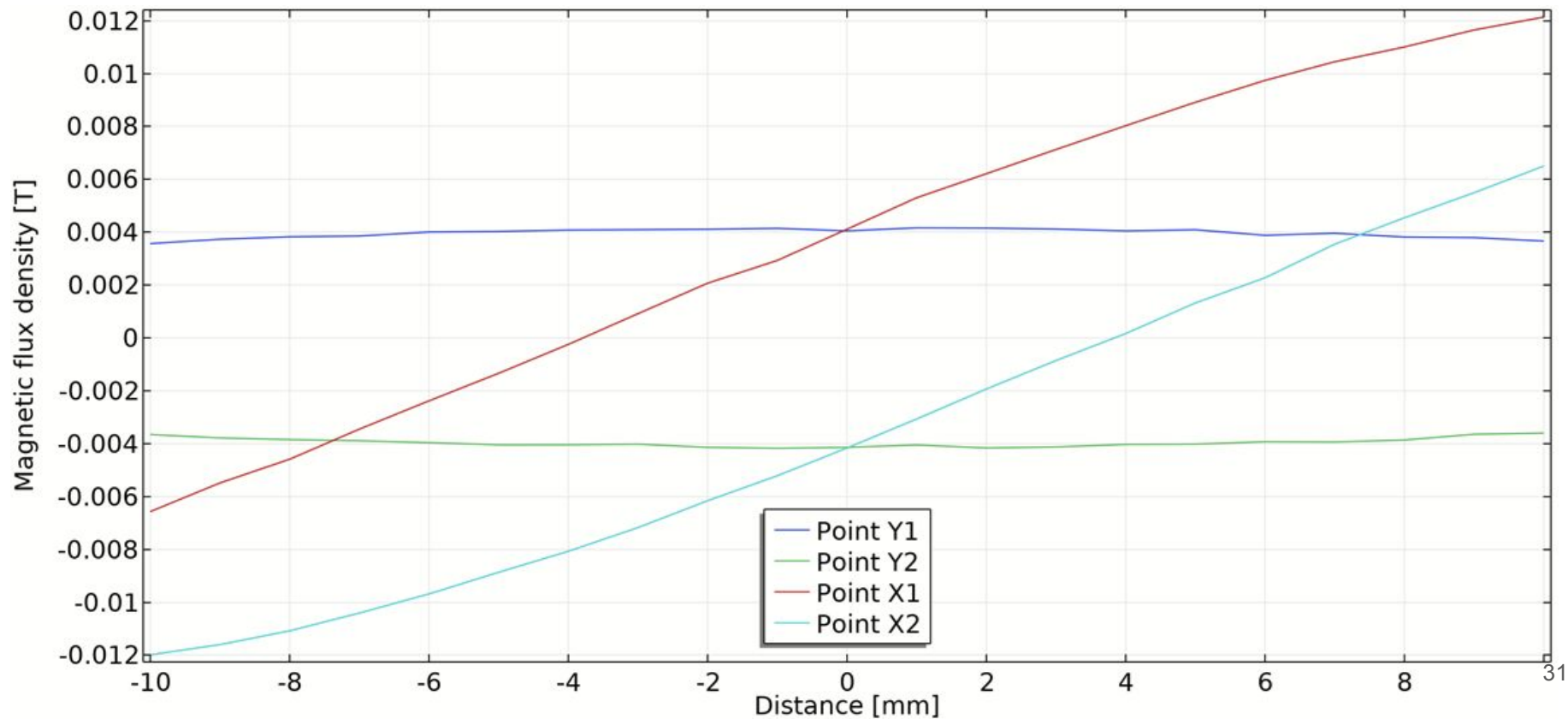
Otázka: umístění senzorů vertikálně místo horizontálně



Otázka: alternativní umístění senzorů

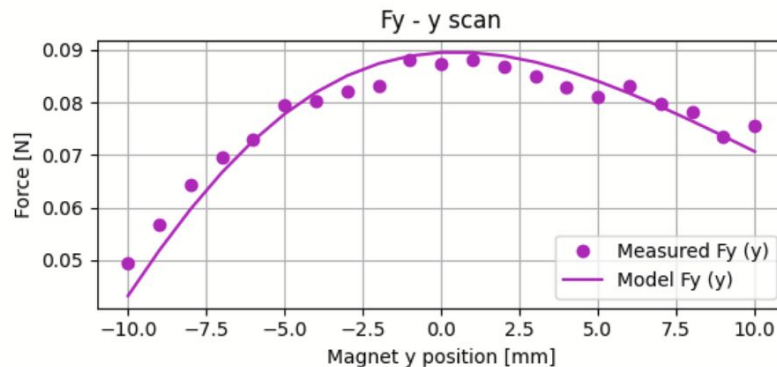
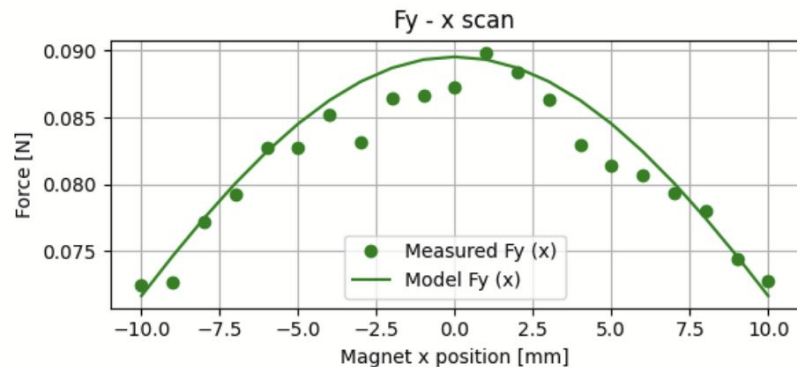
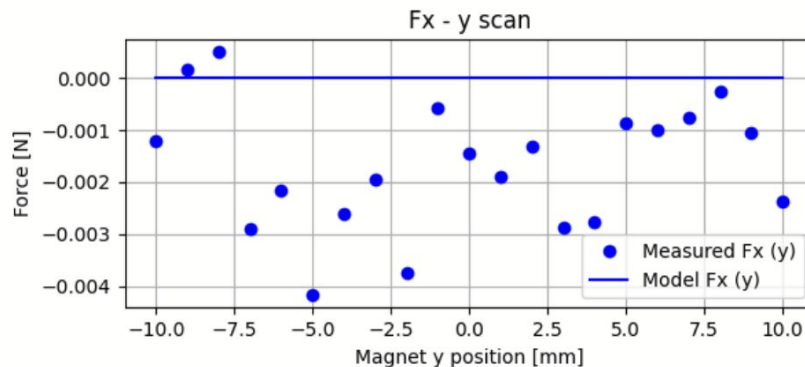
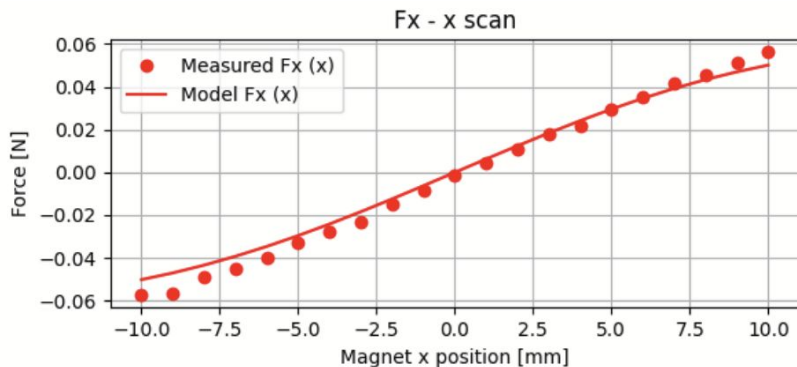


Otázka: naše umístění senzorů



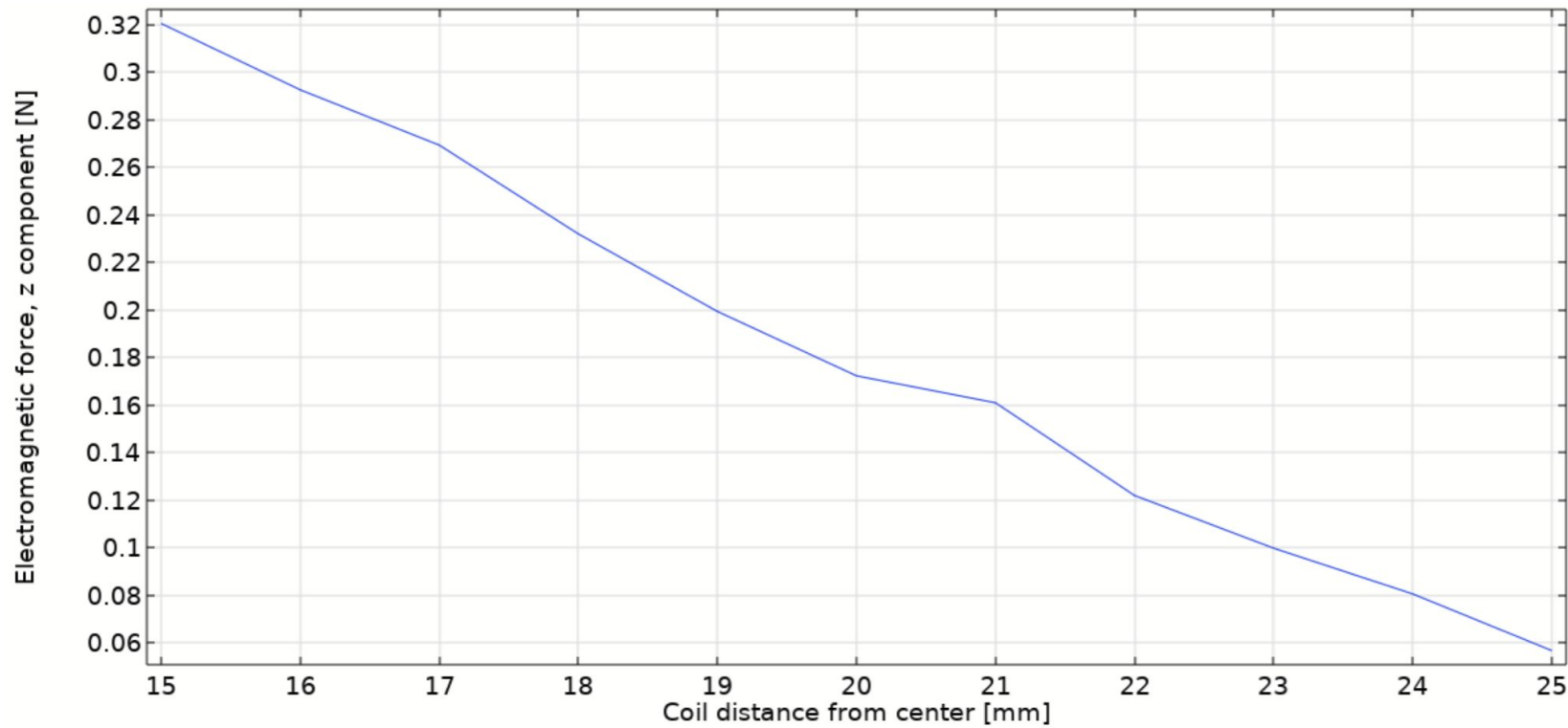
Bonus

Různá rozložení platformy - vzdálenost cívek - zvedací síla



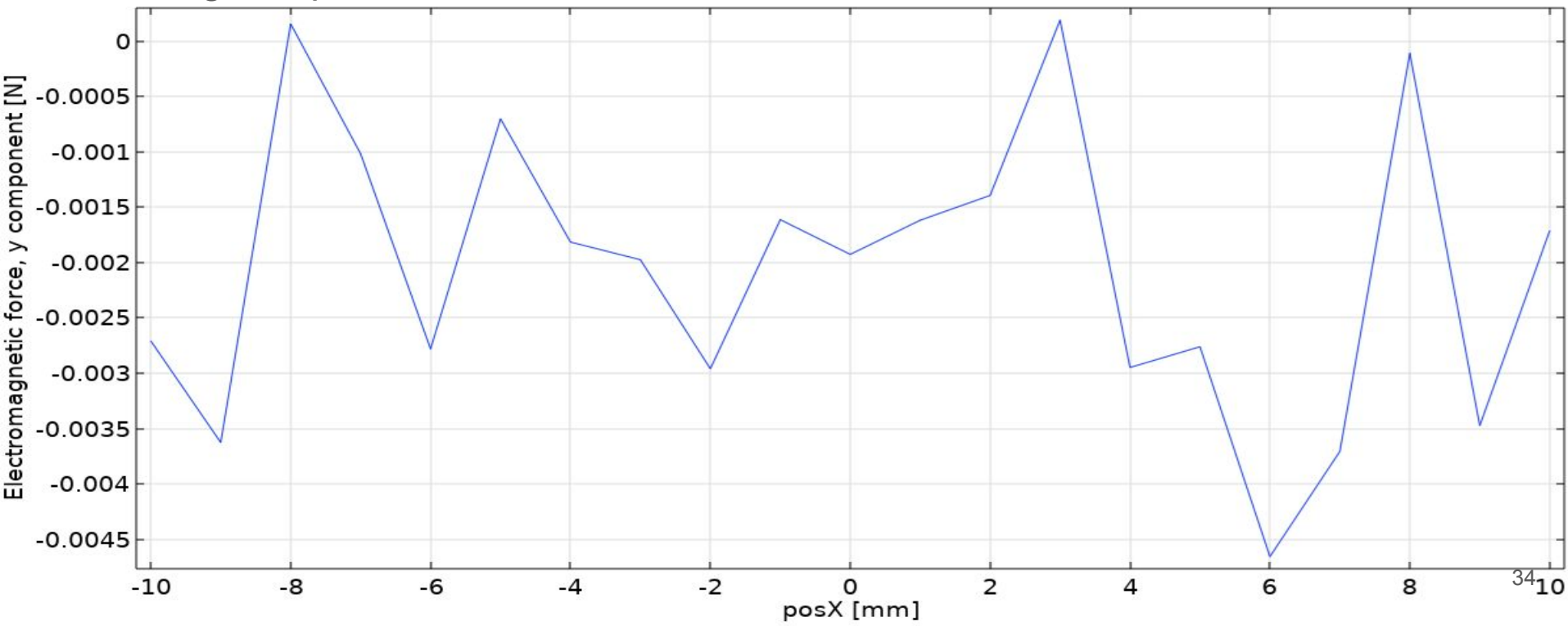
Bonus

Různá rozložení platformy - vzdálenost cívek - posouvací síla



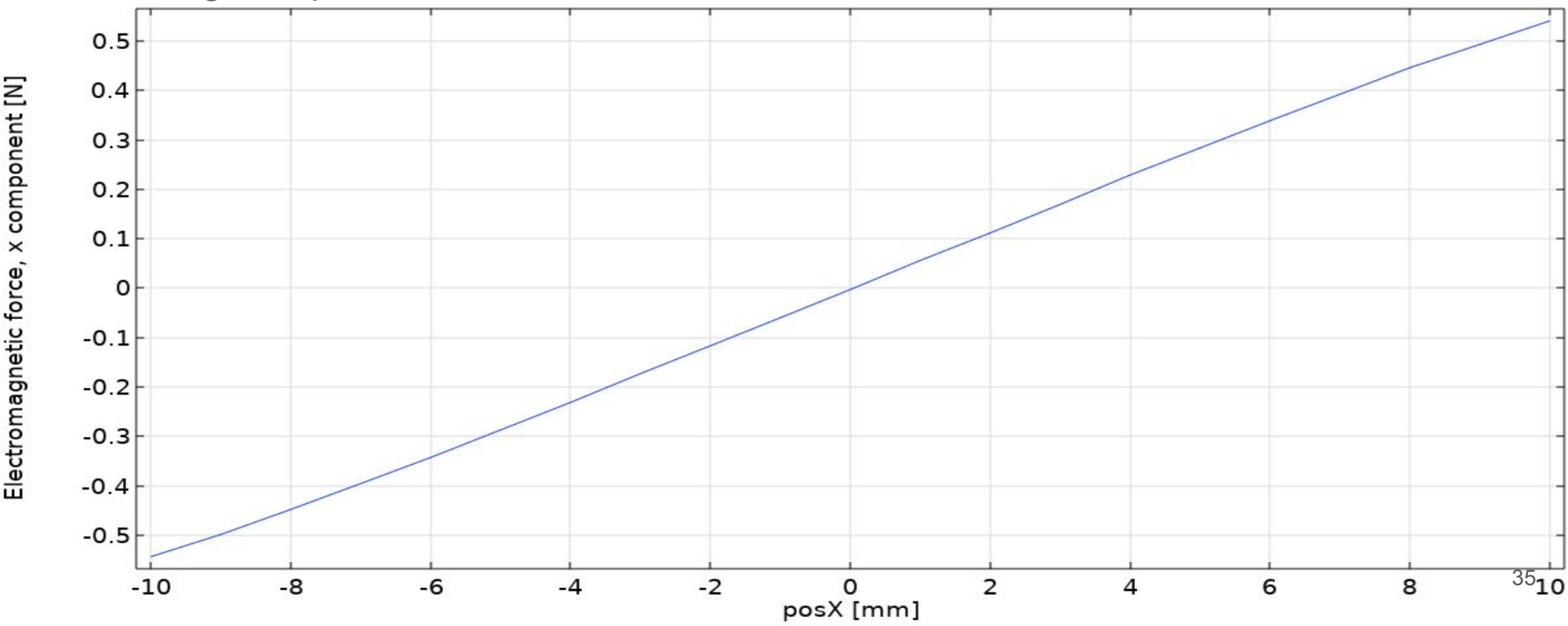
Bonus

Síla magnetů pro různé vzdálenosti - X osa



Bonus

Síla magnetů pro různé vzdálenosti - Y osa



Bonus

Síla magnetů pro různé vzdálenosti - Z osa

