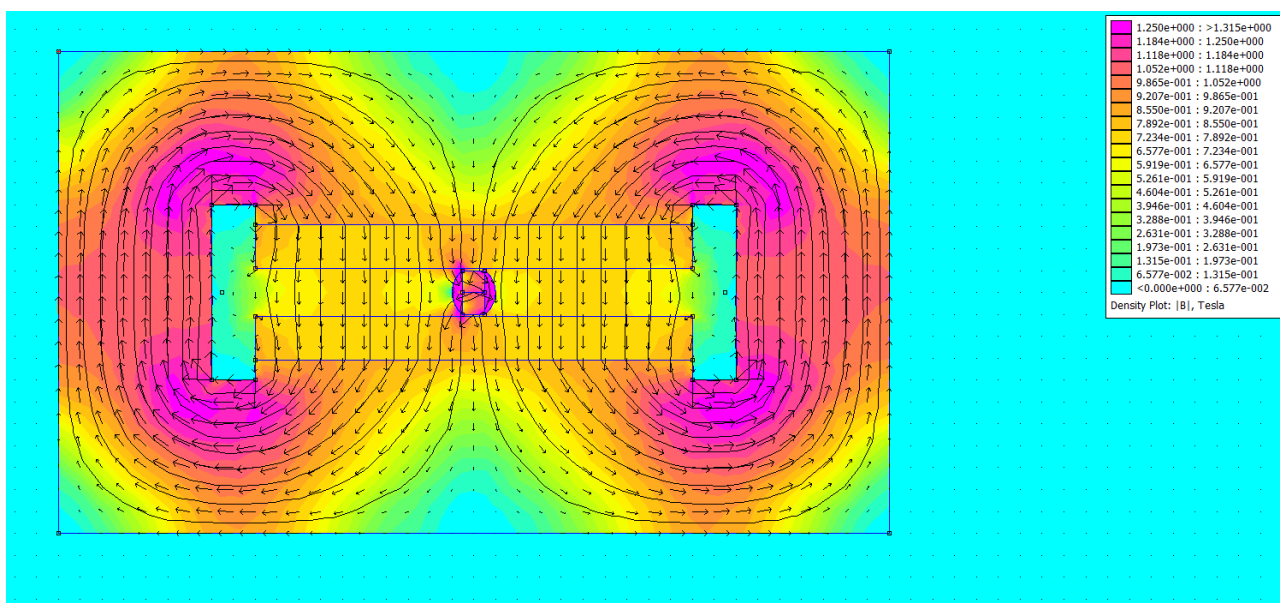


Toroid magnet motor IV

© Ing. Ladislav Kopecký, červenec 2017

Ve třetí části článku jsme skončili u konstatování, že je třeba najít vhodný kompromis v poměru velikostí magnetů vnějšího pole a magnetů magnetického tělesa. Pro větší magnetické těleso hovoří síla F_x , pro menší těleso zase větší B a homogenita pole vnějších magnetů, které potom mohou být blíž k sobě.

Dříve než se pustíme do návrhu magnetického motoru, navrhujeme experiment pro ověření principu. Nejdříve provedeme 2D simulaci a poté nakreslíme, jak by ten experiment mohl vypadat v 3D realitě.

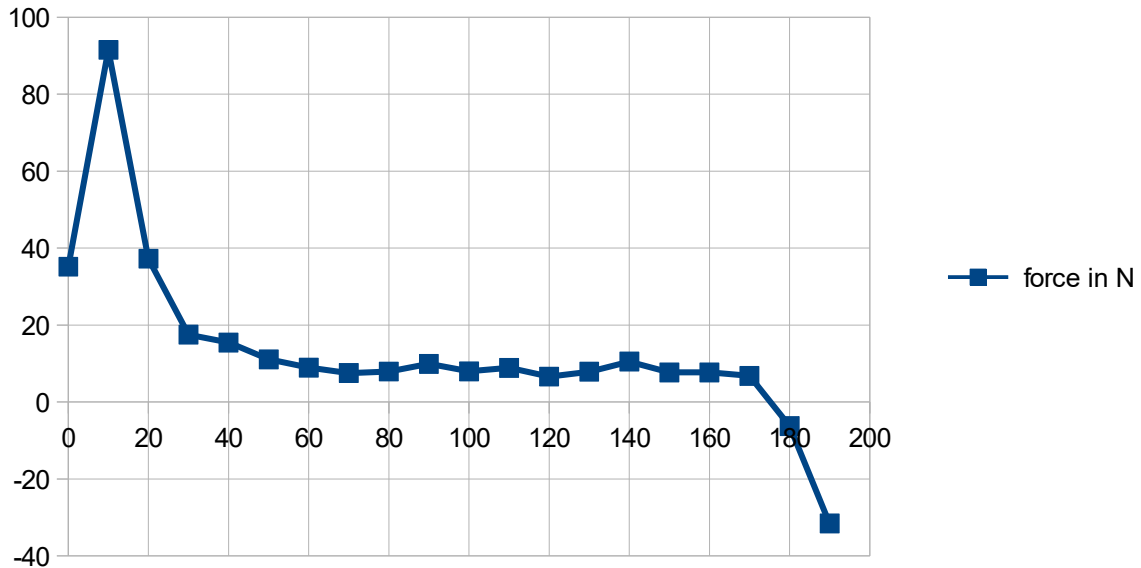


Obr. 1: Experiment – simulace

Na obr. 1 máme simulaci navrženého experimentu. Pomocí dvou bloků permanentních magnetů o rozměrech $d \times š \times v = 200\text{mm} \times 25\text{mm} \times 20\text{mm}$ bylo vytvořeno homogenní magnetické pole. Tyto bloky magnetů jsou umístěny v železném jhu. Vzdálenost mezi dolním a horním magnetem je 22mm. Mezi těmito bloky magnetů se pohybují na vozíku dva magnety o rozměrech $10 \times 10 \times 25\text{mm}$, spojené dvěma kousky plného železa ve tvaru kruhové úseče. Rozměry tohoto tělesa jsou $20 \times 20 \times 25\text{mm}$. Cílem experimentu je zjistit sílu působící vodorovně (ve směru osy x) v závislosti na poloze tělesa v magnetickém poli. Abychom nemuseli opakovat rutinnou práci s přesováním tělesa a vyhodnocováním síly F_x , použijeme Lua skript, jehož výpis najdete níže:

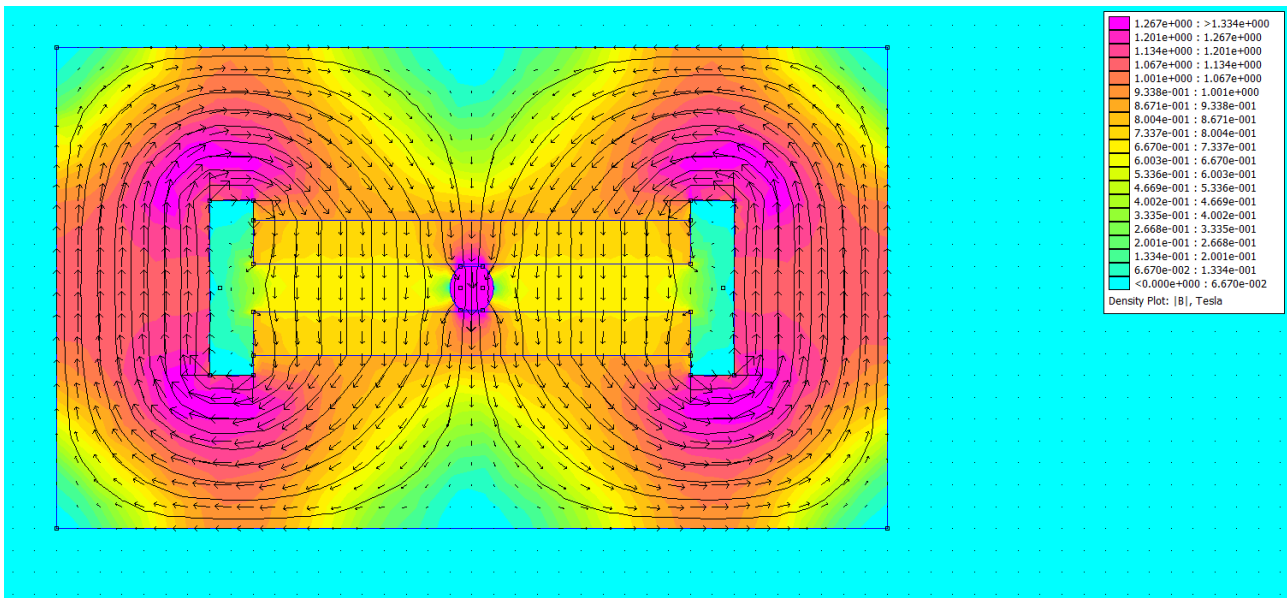
```
showconsole()
clearconsole()
print("position in mm | force in N")
open("hranol-Fe-2Nd.fem")
mi_saveas("temp.fem")
for n=0,19,1 do
    mi_analyze()
    mi_loadsolution()
    mo_groupselectblock(1)
    f=mo_blockintegral(18)
    print(10*n,f)
    mo_close()
    mi_seteditmode("group")
end
```

```
mi_selectgroup(1)
mi_movetranslate(10,0)
end
```

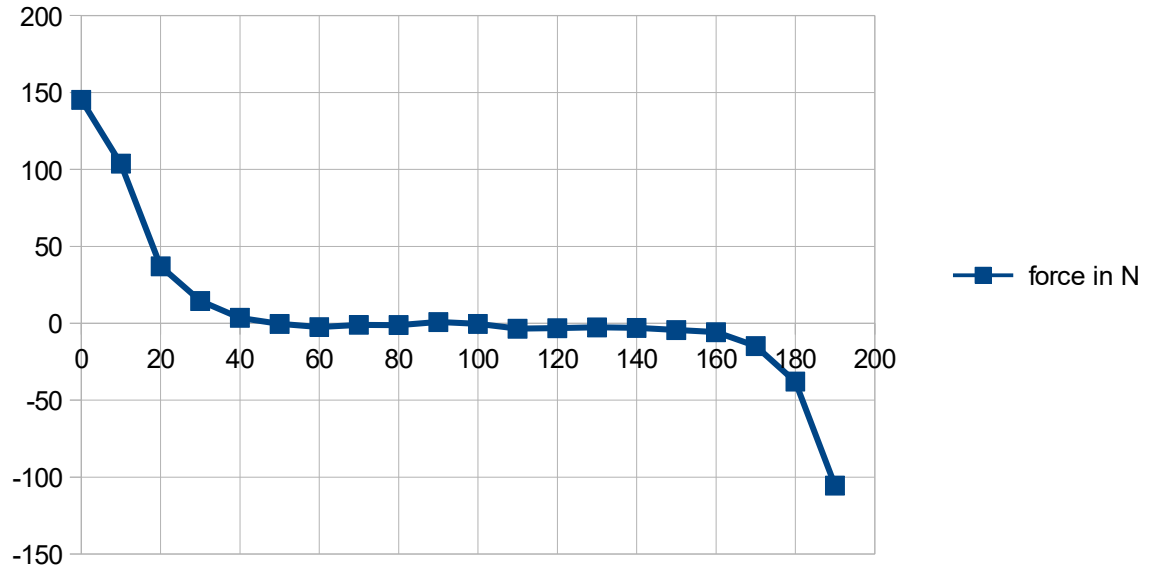


Graf 1: Závislost síly působící na magnetické těleso na poloze v mag. poli

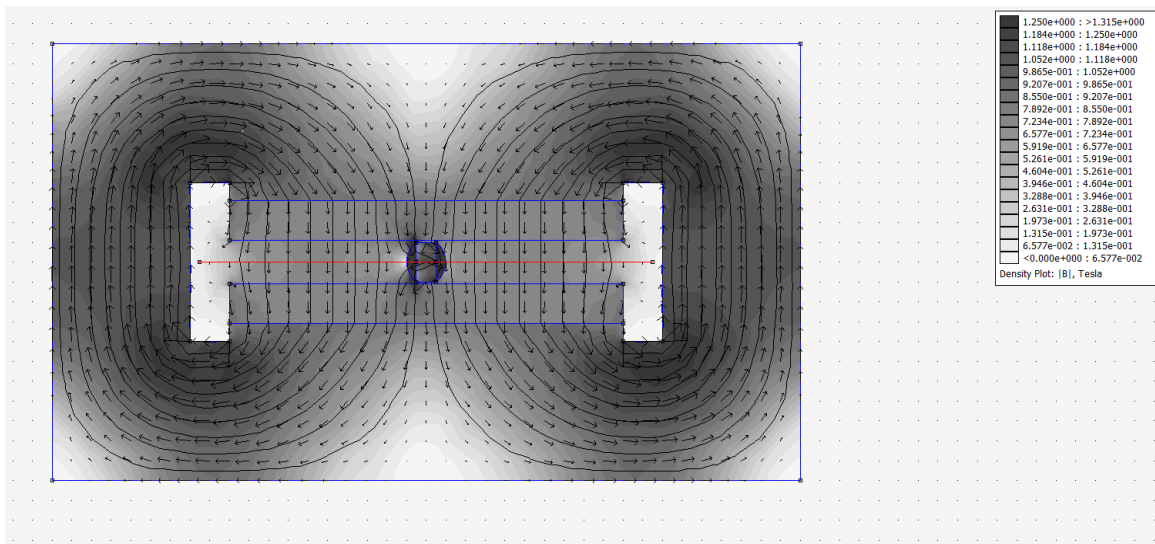
Z grafu 1 vyplývá, že kromě okrajů na těleso působí přibližně stálá síla. Nyní magnety v tělese nahradíme železem a experiment zopakujeme. Ze srovnání grafů 1 a 2 jednoznačně vyplývá, že těleso na obr. 1 v magnetickém poli způsobuje nerovnováhu, která má za následek silové účinky, jež jsou podobné, jako když je v magnetickém poli umístěn vodič protékáný proudem. Bude také zajímavé porovnat průběh magnetické indukce B v mezeři, je-li v ní umístěno magnetické těleso podle obr. 1 nebo těleso ze železa (obr. 2). Porovnáme-li grafy 3 a 4, zjistíme, že průběhy B se dost podstatně liší, což je důvodem silových účinků zjištěných simulací. Pokud vytvoříme nesymetrii, dosáhneme silového účinku.



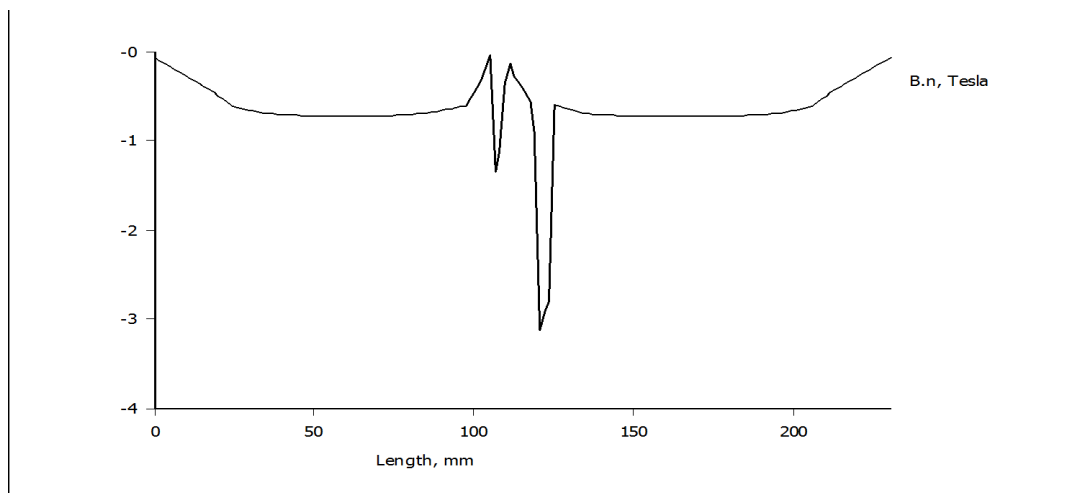
Obr. 2: Kontrolní experiment s tělesem ze železa



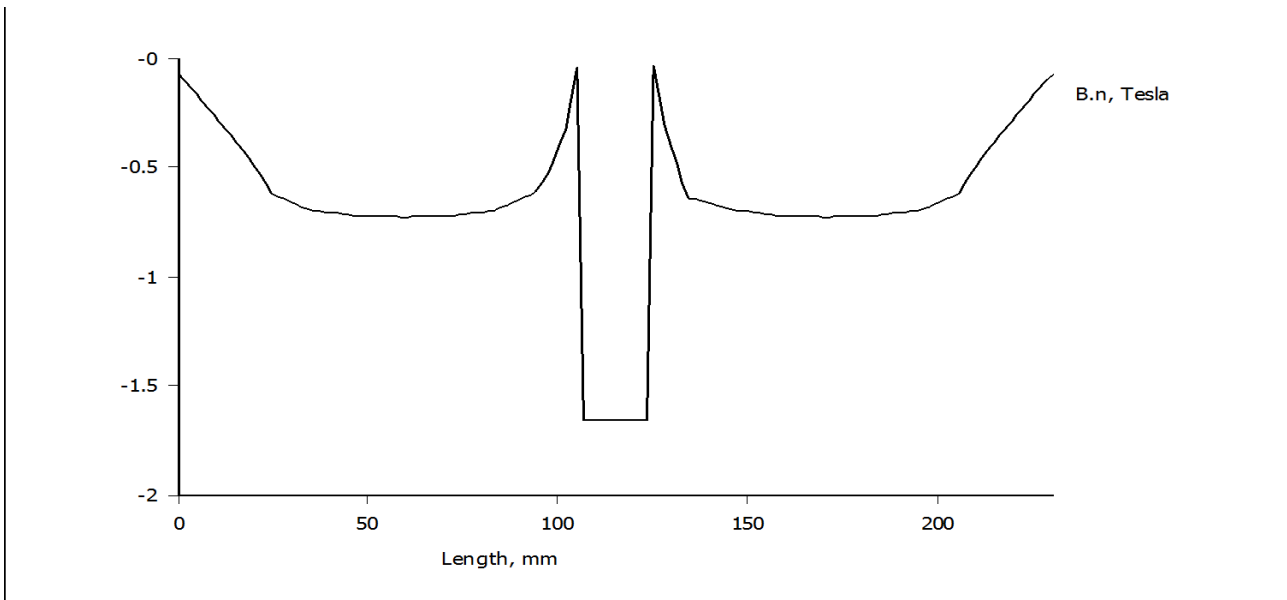
Graf 2: Závislost síly působící na těleso ze železa na poloze v mag. poli



Obr. 3: Měření průběhu B v mezeře



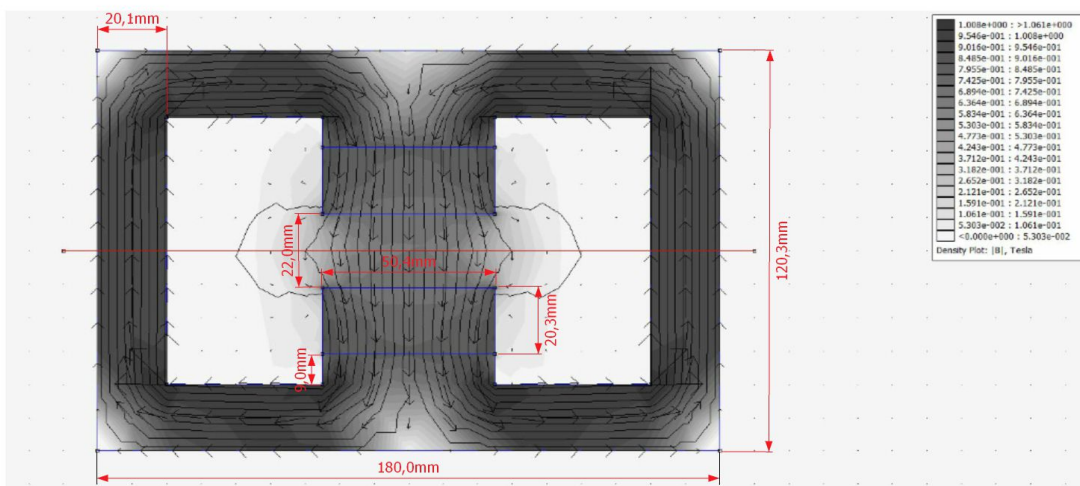
Graf 3: Průběh B v mezeře s magnetickým tělesem



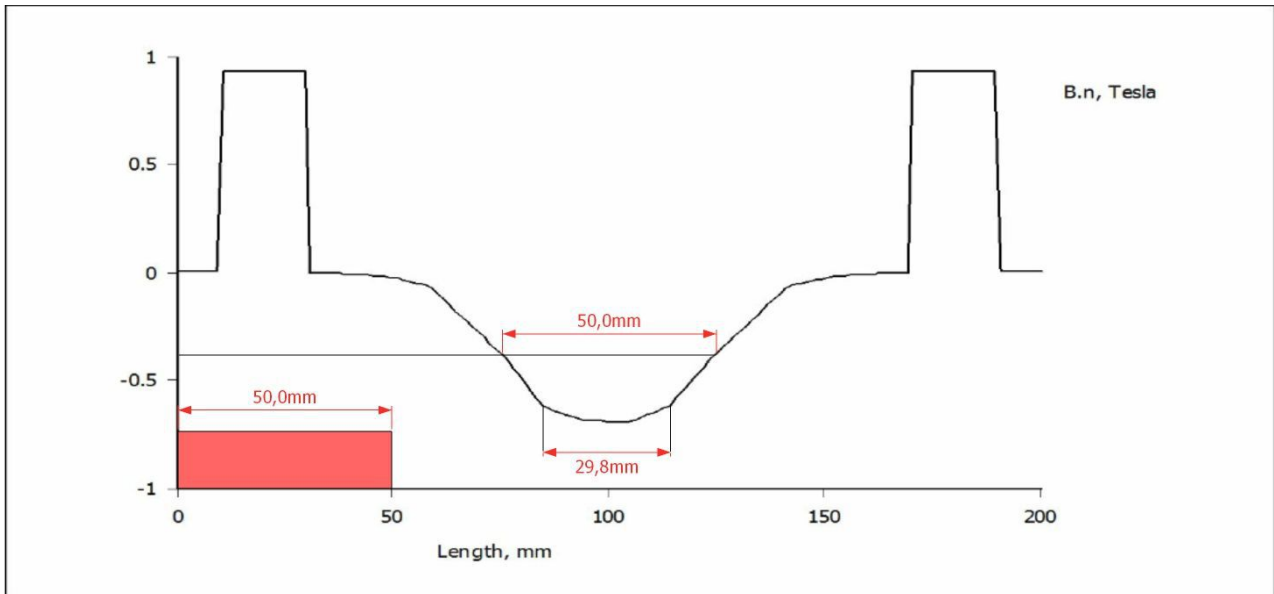
Graf 4: Průběh B v mezeře s tělesem ze železa

Simulace na obr. 1 a 2 ukazovaly pohled na experiment z boku. Vzhledem k tomu, že simulace byla transformována do 2D, obrázky se příliš 3D realitě nepodobají – nám šlo pouze o navození podmínek podobných realitě. Nyní provedeme simulaci zepředu (magnetické těleso se bude pohybovat ve směru od pozorovatele, nikoli zleva doprava jako v předchozím případě), takže simulace nyní bude vypadat velmi realisticky. Smyslem této simulace bude určení rozměrů pro experiment ve 3D. Simulace ukázala, že v případě použití magnetu s rozměry $d \times x \times v = 50 \times 25 \times 10\text{mm}$ na délku se projevovала značná nehomogenita pole, proto bude blok magnetů mít průřez $50 \times 20\text{mm}$, jak ukazuje obr. 4. Graf 5 zase ukazuje, že ani při použití magnetů na šířku není homogenita mag. pole ideální, ale jde o přijatelný kompromis.

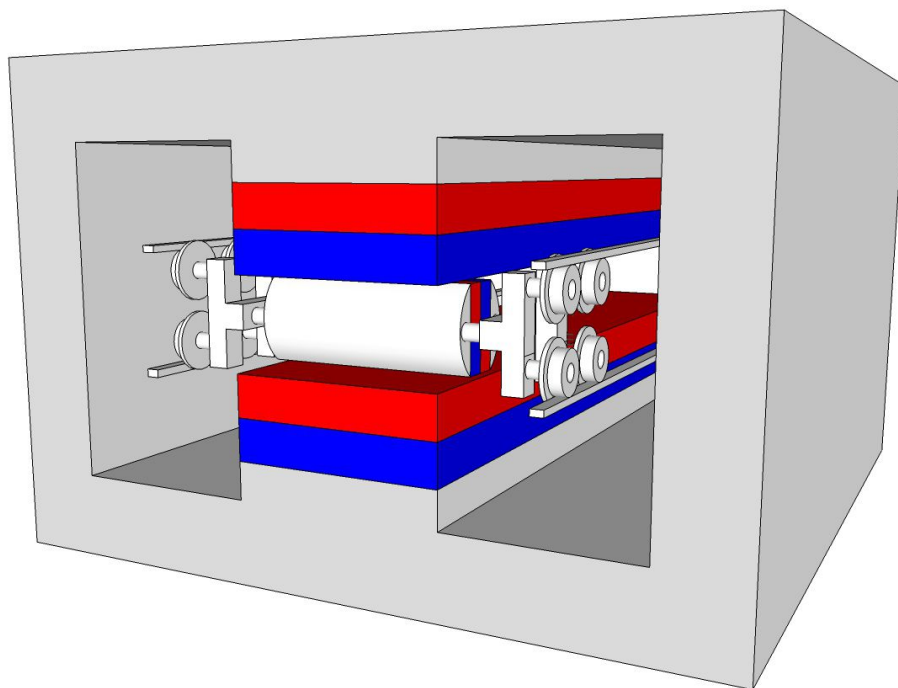
Nyní máme vše připraveno pro kreslení 3D modelu experimentu. Tvar magnetického obvodu připomíná jádro jednofázového transformátoru s tím rozdílem, že na místě středního sloupku jsou vloženy magnety, mezi nimiž je mezer 22mm. Mezi magnety se bude pohybovat magnetické těleso, které bude jezdit na vozíku. Pro vozík budou vytvořeny koleje, ale ne dvě, nýbrž 4, aby byla zajištěna stabilita ve dvou osách. Musíme si uvědomit, že magnetické těleso bude magnety silně přitahováno, zejména tehdy, když těleso nebude úplně uprostřed. Proto je třeba dbát na maximální přesnost. Na obr. 5 najdete 3D model experimentu. Délka tunelu závisí na tom, kolik peněz chceme investovat do magnetů a dalšího materiálu.



Obr. 4: Simulace experimentu – pohled zepředu



Graf 5: Průběh B v mezeře mezi magnety



Obr. 5: Experiment demonstrující princip magnetického motoru

Pokud bychom chtěli experiment zdokonalit, mohli bychom na koleje umístit dva vozíky za sebou a testovat, jak se navzájem ovlivňují v závislosti na vzdálenosti mezi sebou.

Experiment na obr. 5 je v podstatě lineární motor. Pokud budeme chtít vytvořit rotační motor, magnety vnějšího pole ve tvaru kvádrů nahradíme magnety ve tvaru prstence. Pokud prstencové magnety budou tvořit rotor, magnetické/a těleso/a bude/ou tvořit stator a bude poměrně snadné regulovat výkon motoru pomocí zasouvání a vysouvání magnetického tělesa připevněného k tyči.