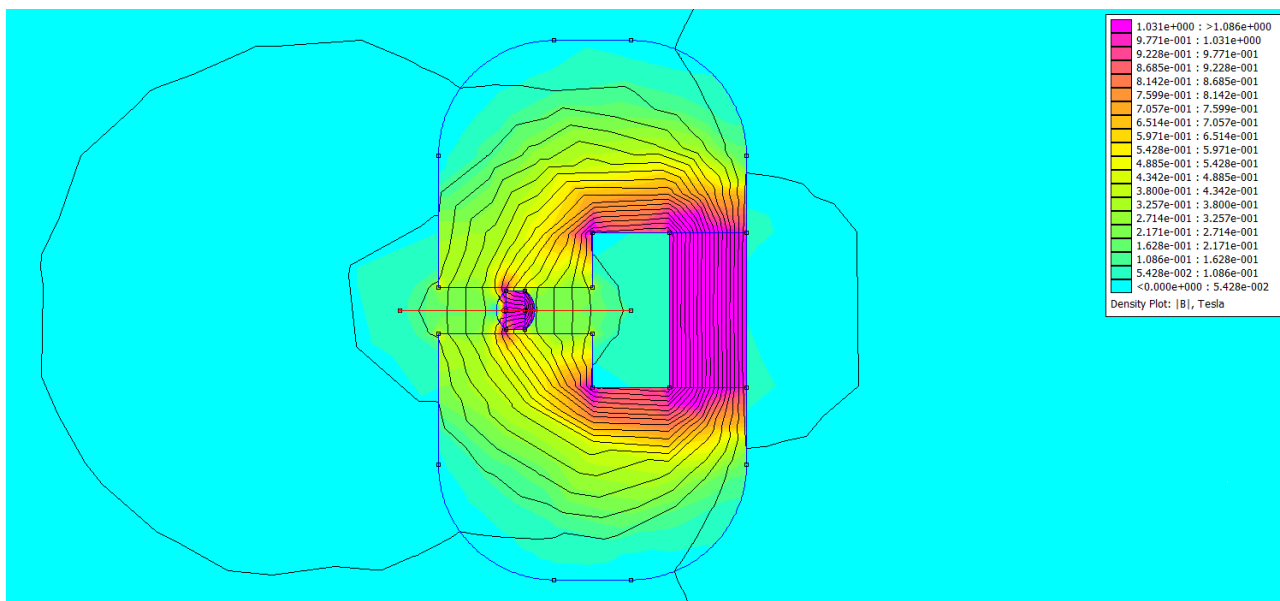


Toroid magnet motor VIII

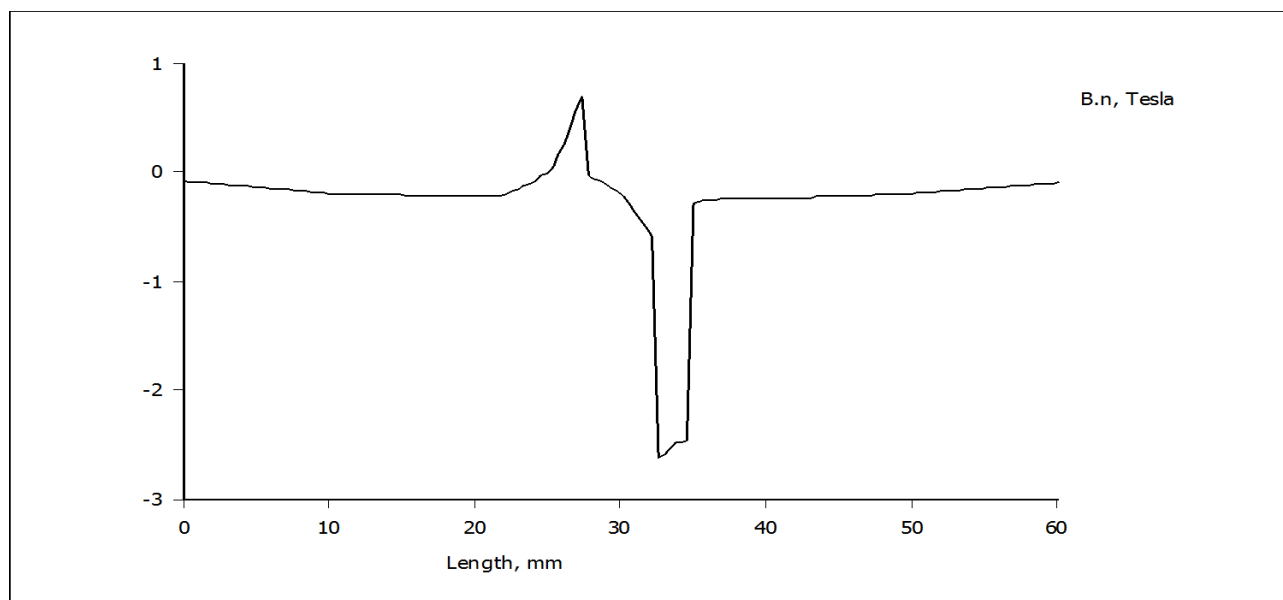
© Ing. Ladislav Kopecký, červenec 2017

V předchozí části jsme řešili problém, jak a čím nahradit prstencové magnety větších velikostí. V této části článku budeme v tomto snažení pokračovat a také si odpovíme na otázku: Jak velká by měla být magnetická indukce v mezeře?

Pro tento účel jsme vytvořili magnetický obvod na obr. 1. Postupně budeme rozšiřovat magnet vnějšího pole, čímž bude vzrůstat magnetická indukce B v mezeře, a přitom budeme měřit sílu F_x .



Obr. 1: Magnetický obvod pro zjištění optimální B v mezeře – výchozí velikost



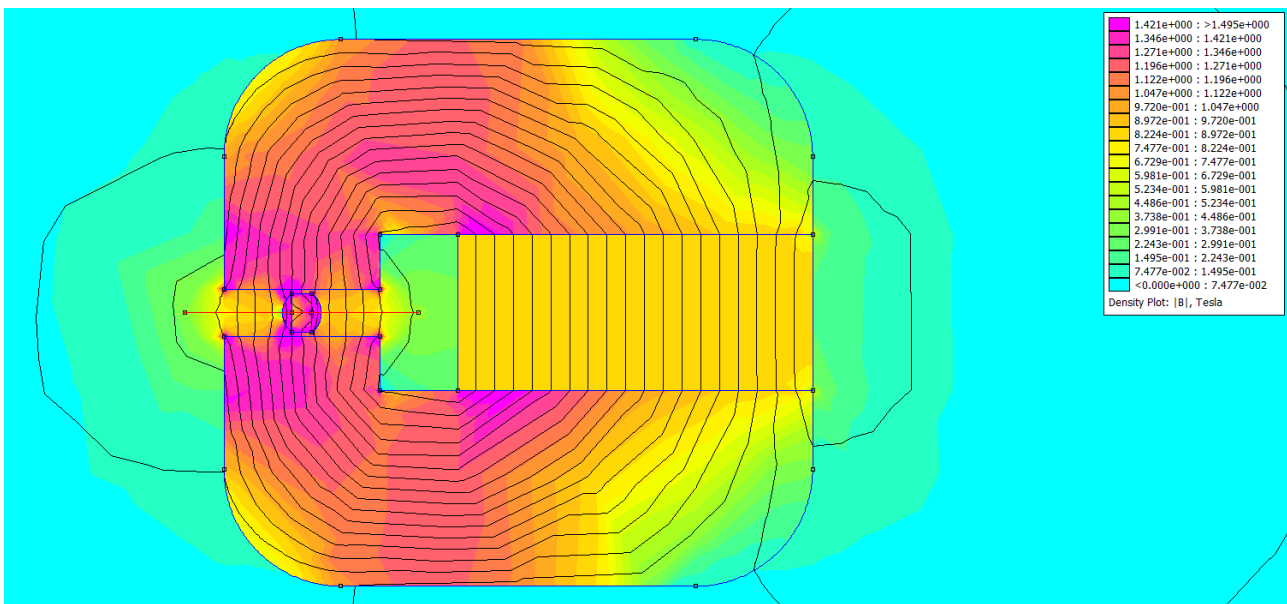
Graf 1: Průběh B v mezeře – šířka magnetu 20mm

Šířku magnetu budeme zvyšovat po milimetru z 20mm na 90mm. Doplnující informace o magnetickém obvodu: výška mezery: 12mm, šířka mezery: 40mm, hloubka: 10mm. Opět použijeme Lua skript:

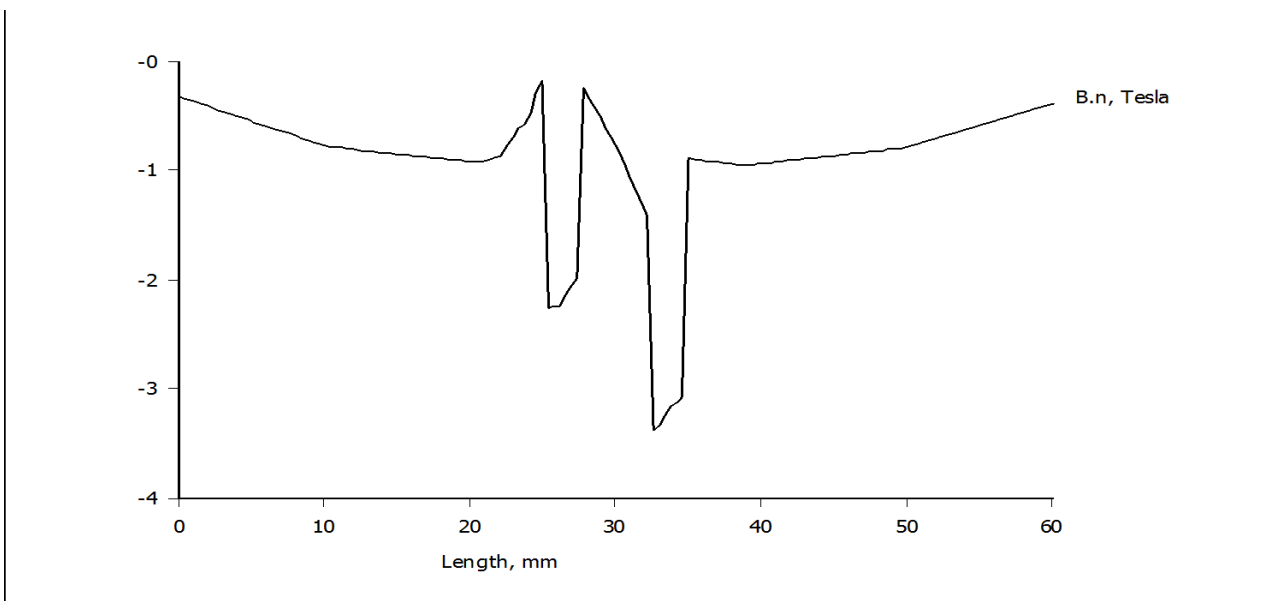
```

showconsole()
clearconsole()
print("position in mm | force in N")
open("soudek-Fe.fem")
mi_saveas("temp.fem")
for n=0,70,1 do
  mi_analyze()
  mi_loadsolution()
  mo_groupselectblock(1)
  f=mo_blockintegral(18)
  print(n,f)
  mo_close()
  mi_seteditmode("group")
  mi_selectgroup(2)
  mi_movetranslate(1,0)
end

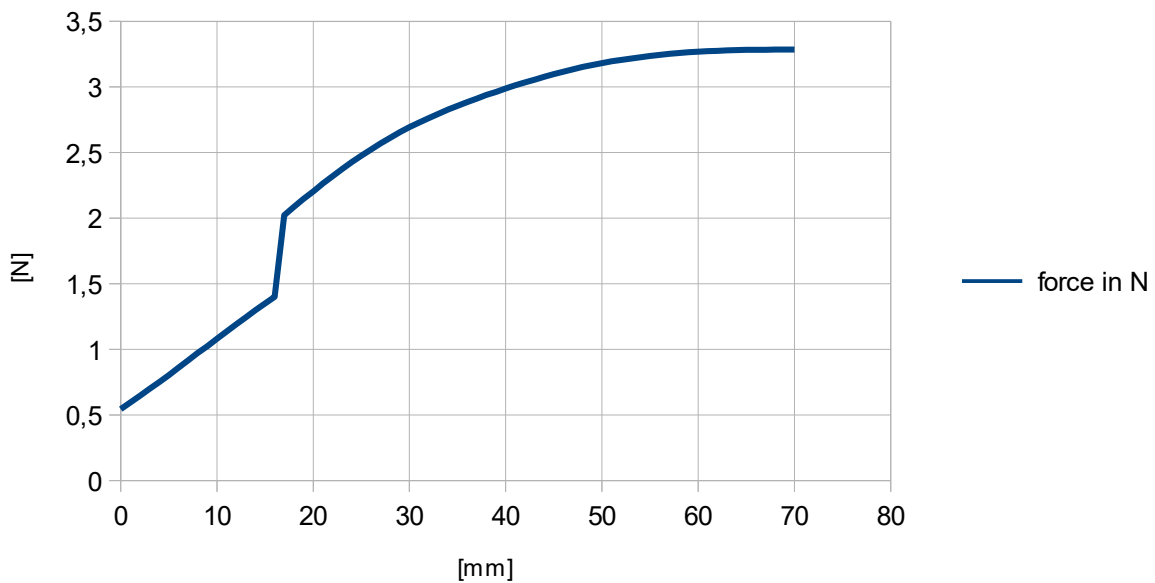
```



Obr. 2: Magnetický obvod pro zjištění optimální B v mezeře – konečná velikost

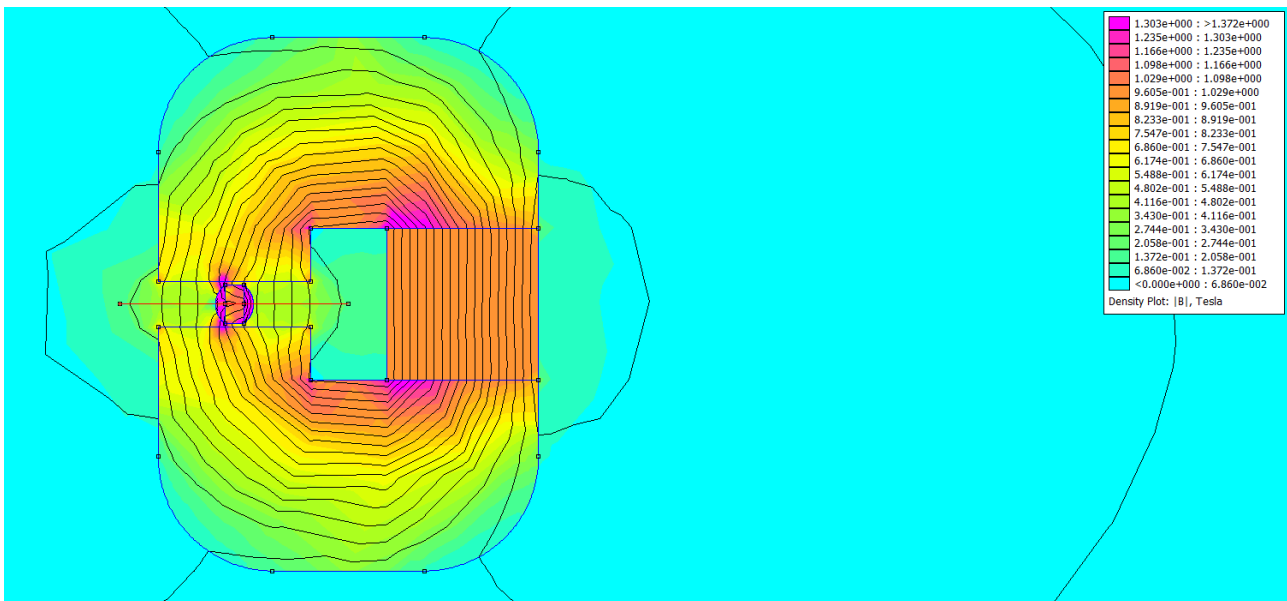


Graf 2: Průběh B v mezeře – šířka magnetu 90mm



Graf 3: Závislost Fx na velikosti magnetu

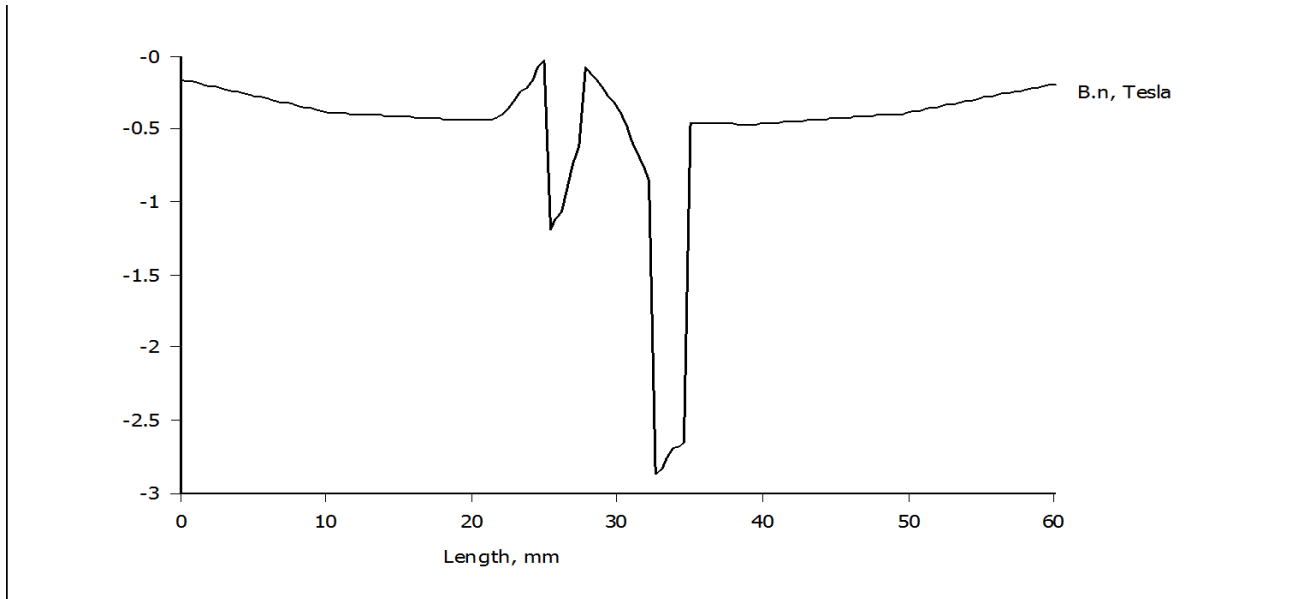
Graf 3 ukazuje, že zvyšovat velikost B v mezeře se vyplatí pouze do určité míry. Pokud sílu pole přeženeme, je síla magnetů v tělese je přemožena a k dalšímu zvyšování síly Fx nedochází. Tuto skutečnost dobře ilustrují grafy 1 a 2. Z grafu 3 a tabulky výsledků (není součástí dokumentu, protože je příliš dlouhá) vyplývá, že mezi šířkou magnetu 36 a 37mm dochází ke skoku síly Fx. Dále z tohoto grafu můžeme vyčíst, že nad šířkou 50mm je nárůst Fx ztelně menší. Šířku magnetu proto zvolíme v rozmezí 37 až 50mm. Najdeme magnet, který svými rozměry spadá do tohoto rozsahu. Dejme tomu, že jsme našli magnet s rozměry 40x20x10mm. Magnetický obvod změním na tuto velikost magnetu a prozkoumáme jej. Průběh B v mezeře najdete v grafu 4. V tabulce hodnot jsme našli, že této velikosti magnetu odpovídá síla $F_x = 2,2\text{N}$.



Obr. 3: Magnetický obvod s optimální velikostí magnetu vnějšího pole

Smyslem magnetického obvodu, který jsme právě prozkoumali, není pouze určit optimální velikost magnetu pro dané magnetické těleso, ale je zároveň konstrukčním prvkem návrhu magnetického motoru, jehož rozměry a použití mohou být univerzální a mohou se tak stát určitým standardem v

kategorii motorů poháněných pouze silou magnetů.

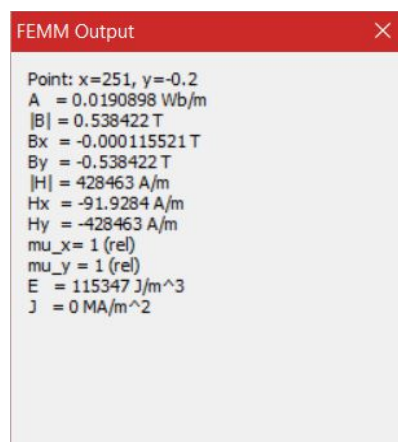


Graf 4: Průběh B v mezeře – šířka magnetu 40mm

Je celkem přirozené, že soustava magnetických těles bude tvořit rotor a soustava magnetických obvodů, které mohou vypadat jako na obr. 3, bude tvořit stator. Pokud bychom chtěli vytvořit stejnosměrný motor, který by nepotřeboval komutaci, ať pomocí komutátoru nebo elektronickou, můžeme permanentní magnety nahradit cívkami. Je však otázka, jaké by měl takový motor praktické využití. To by záleželo na jeho účinnosti a krouticím momentu, jaký by dokázal vyvinout.

Nechme však úvah a pusťme se do návrhu magnetického motoru poháněného pouze silou magnetů. Za základ zvolíme magnety ve tvaru kvádru s rozměry 50x25x10mm. Z těchto magnetů složíme kvádry o rozměrech 50x25x(Nx10)mm, kde N je počet magnetů nad sebou. Číslo N určíme následující simulací. Stator motoru bude tvořit 6 magnetických obvodů, budeme tedy potřebovat 6xN magnetů ve statoru. V rotoru bude 6 magnetických těles s magnety 5x5x5mm. Šířku prstence vypočítáme dále a na základě jeho šířky určíme počet magnetů v rotoru.

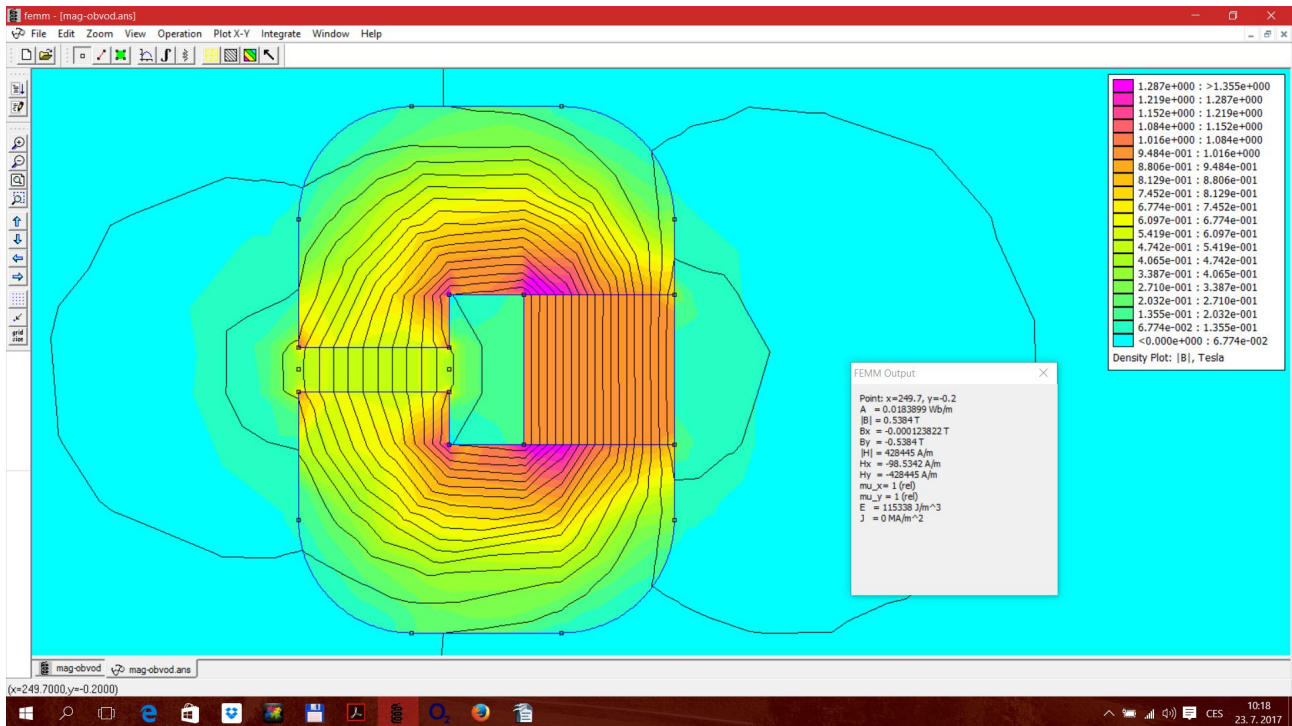
Ze schématu na obr. 3 vyjmeme magnetické těleso a zjistíme hodnotu magnetické indukce B (viz obr. 4 a 5) přibližně uprostřed mezery. Tuto hodnotu najdete v okně níže:



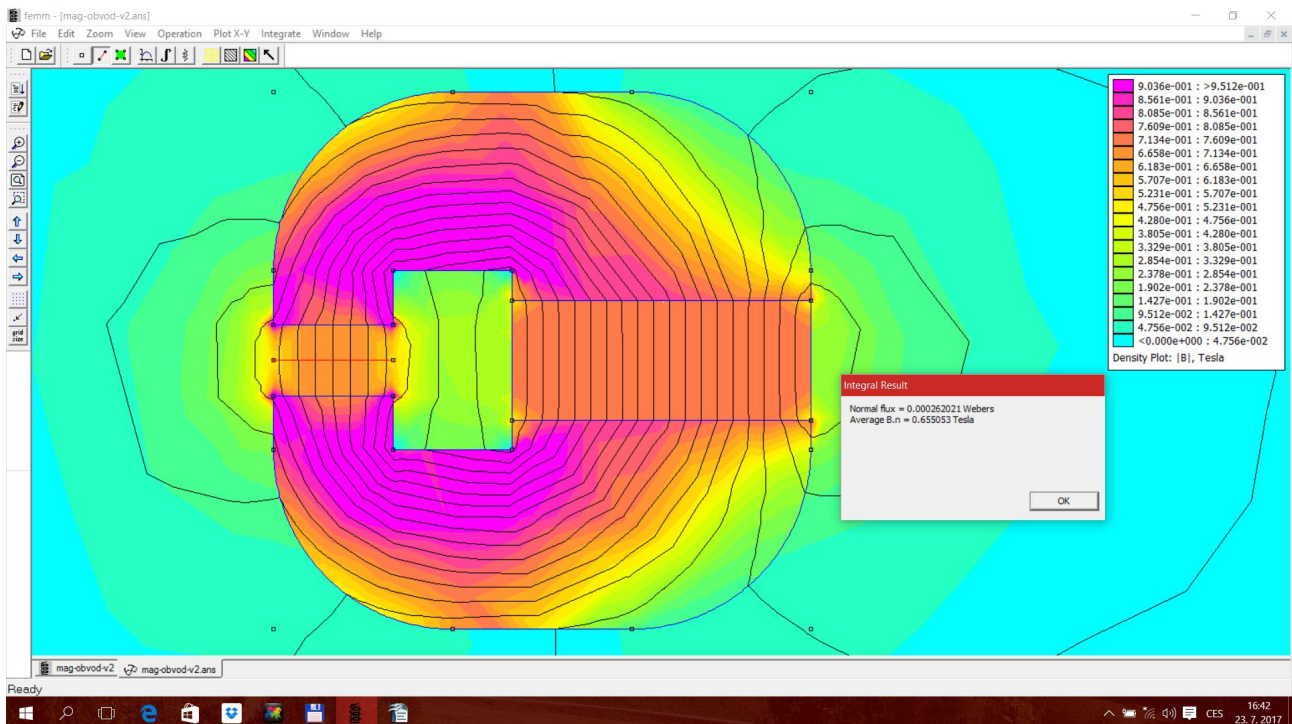
Obr. 4: Parametry bodu v mezeře

V okně je množství parametrů, ale nás bude zajímat pouze $B_y = 0,538$ T. Nyní nakreslíme jeden magnetický obvod statoru z boku a budeme se přitom snažit dosáhnout podobné hodnoty B_y v

mezeře.



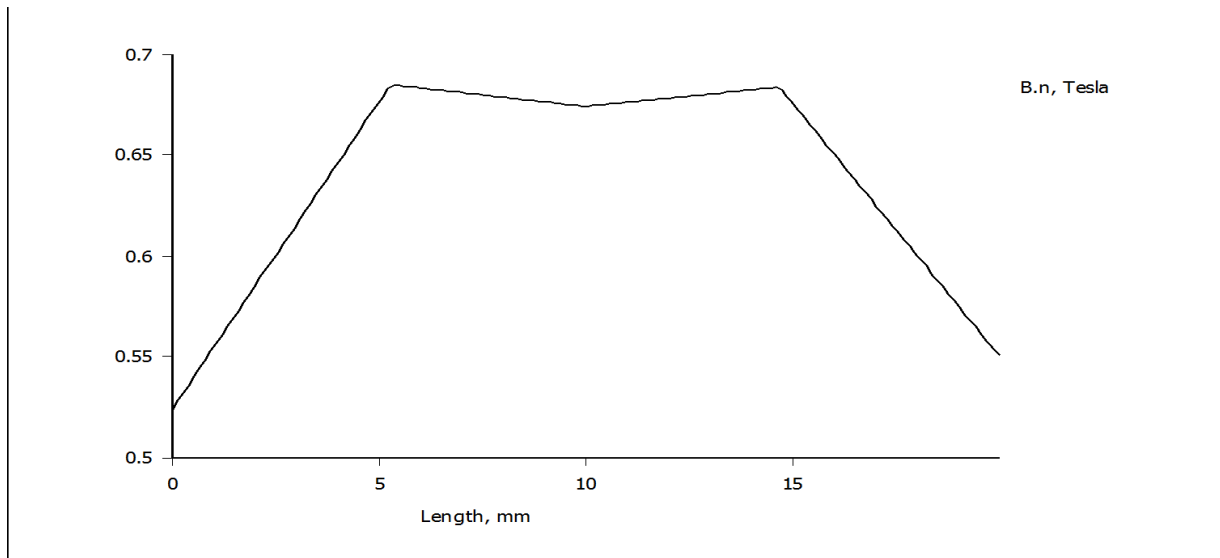
Obr. 5: Zjištění B v mezeře



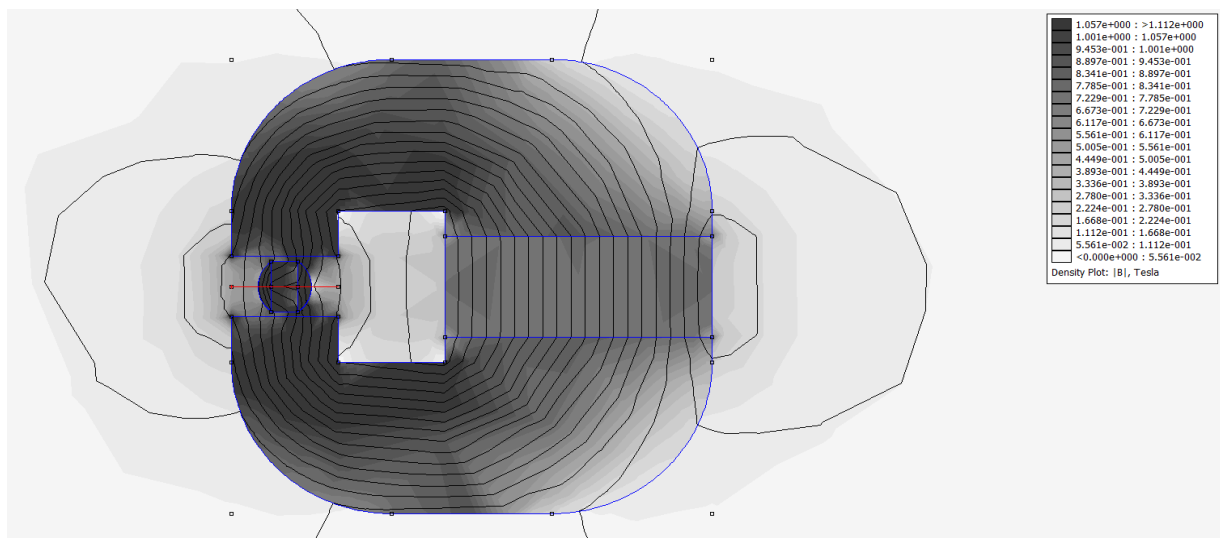
Obr. 6: Magnetický obvod statoru

Na obr. 6 najdete jeden magnetický obvod statoru. Použili jsme dva magnety o rozměrech 50x25x10mm, které jsme vložili delší stranou směrem ke hřídeli motoru. Mezera má tyto rozměry: šířka = 20mm, výška = 12mm a hloubka je určena šířkou magnetu, tj. 25mm. Jednotlivé magnetické obvody statoru jsou rozestaveny do kruhu a spojeny dvěma železnými prstenci. Velikost prstence je určena počtem magnetických obvodů. Obvody se mohou vzájemně dotýkat, takže jejich přední hrany tvoří n-úhelník.

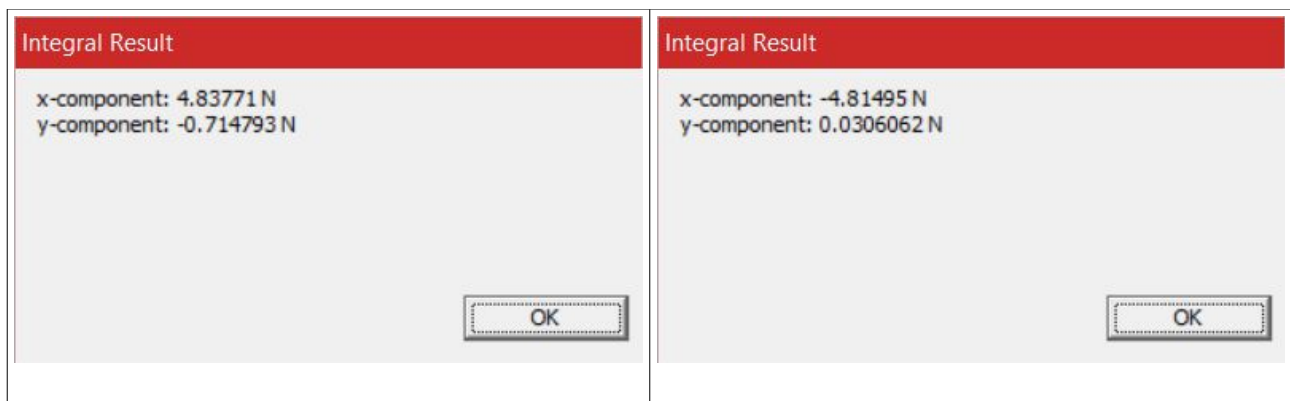
Než si vypočítáme příklad se šesti obvody, vložíme pro kontrolu do obvodu na obr. 6 magnetické těleso a necháme program spočítat sílu F_x . Obr. 8 ukazuje vypočítané síly F_x pro obě orientace statorového magnetu. Všimněte si, že obě hodnoty se od sebe příliš neliší. To je jistou známkou toho, že výpočet je správný.



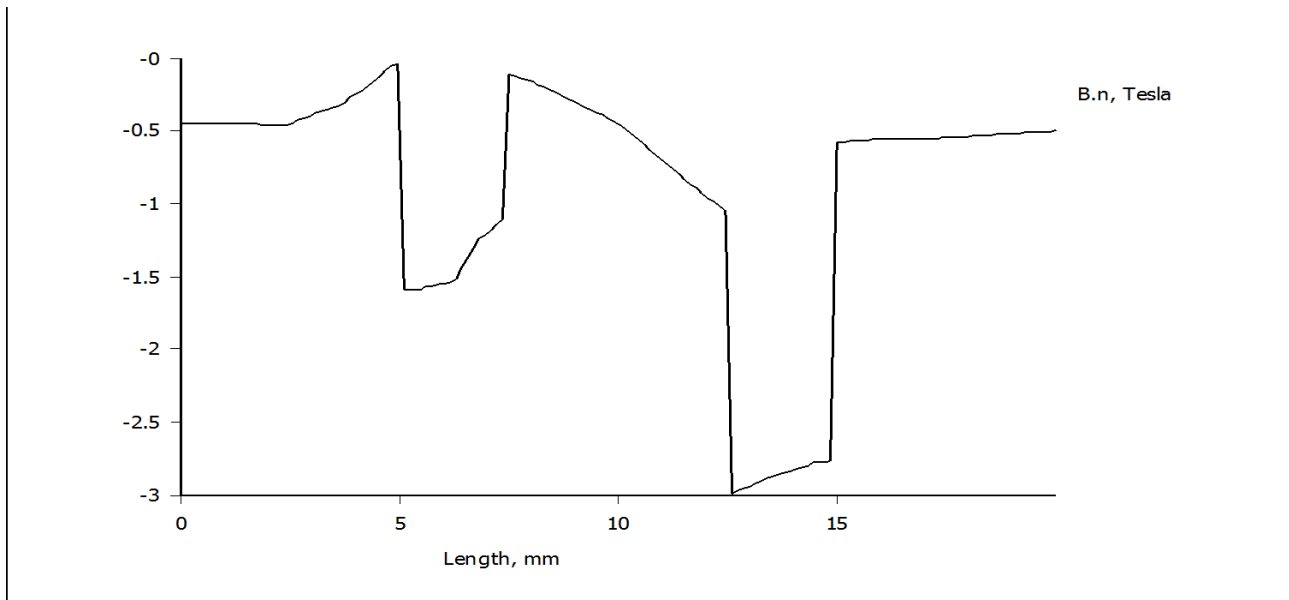
Graf 4: Průběh B v mezeře statorového obvodu



Obr. 7: Magnetický obvod statoru s elementem rotoru



Obr. 8: Síly působící na magnetické těleso pro obě polarity magnetu statoru



Graf 5: Průběh B v mezeře s magnetickým tělesem

Nyní se vrátíme k našemu příkladu. Máme tedy za úkol šesti obdélníkům o rozměrech $a \times b = 20 \times 25\text{mm}$, jejichž delší hrany (b) tvoří šestiúhelník, opsat a vepsat kružnici tak, aby se obdélníků dotýkaly, ale neprotínaly je. Nejdříve vypočítáme poloměr kružnice, která se bude dotýkat vnitřních stran obdélníků. Označíme-li jej $R1$ a počet obdélníků N , potom platí:

$$R1 = b/2/\text{tg}(360/(2N)) = 25/2/\text{tg}(360/12) = 12,5/\text{tg} 30^\circ = 21,65\text{mm}$$

Tuto hodnotu zaokrouhlíme nahoru $R1 = 22$. Tato kružnice se bude dotýkat obdélníků, vnitřní průměr kotouče však zvolíme menší, abychom měli nějakou rezervu – například 21mm. To je menší z kružnic, které tvoří mezikružší, na němž sedí magnety tvaru obdélníku o rozměrech $a \times b = 20 \times 25\text{mm}$. Poloměr druhé kružnice tohoto mezikružší označme $R2$. Aby magnet nikde nevyčníval, musí tato kružnice mít minimálně takový poloměr, aby se dotýkala dvou rohů obdélníku, které jsou dál od středu kružnic. Poloměr $R2$ je trochu složitější vypočítat. Nejdříve vypočítáme úhel α , pro který platí

$$\alpha = \text{arctg} b/2/(R1 + a) = \text{arctg} 12,5/(22 + 20) = 16,574^\circ$$

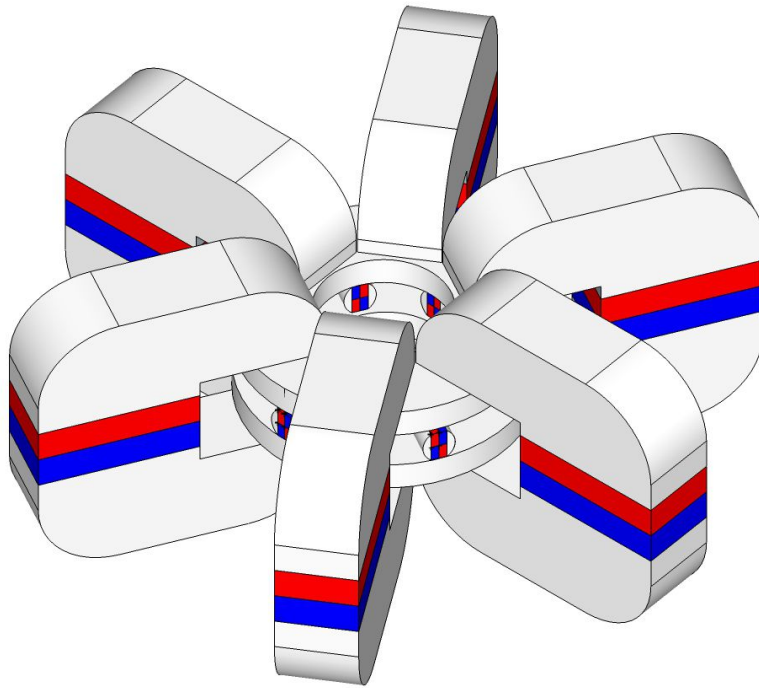
$$R2 = b/2/\sin \alpha = 43,82\text{mm}$$

Tuto hodnotu zvolíme například $R2 = 45\text{mm}$.

Nyní již můžeme nakreslit 3D model magnetického motoru. Model na obr. 9 obsahuje pouze magnetické obvody a permanentní magnety a neobsahuje konstrukční díly, jako je hřídel, ložiska, kotouč s magnetickým tělesem, atd. Důvody, proč jsem nakreslil pouze funkční části magnetického motoru jsou následující. Především je dobře vidět princip, protože nepřekážejí konstrukční díly. Zadruhé je ponechán tvůrčí prostor konstruktérovi, aby prokázal svůj um a představivost.

Závěr

Toto je poslední díl seriálu o konstrukci motoru poháněného pouze permanentními magnety. Čas ukáže, jestli se jedná o pouhou technickou kuriozitu bez praktického významu, nebo zda najde široké uplatnění v technické praxi. Na rozdíl od mnoha jiných konstrukcí motorů této kategorie je šance na rozšíření poměrně vysoká. Důvody jsou následující: jednoduchost konstrukce, dostupnost a nenáročnost všech konstrukčních dílů a prokazatelné výsledky simulací.



Obr. 9: 3D model magnetického motoru