

# Toroidní magnetický versus elektrický motor

© Ing. Ladislav Kopecký, srpen 2017

V tomto článku budeme porovnávat toroidní motor s magnety s motorem s cívkami ve statoru, přičemž se budeme snažit o optimalizaci obou konstrukcí. Optimalizace magnetického motoru není velký problém, protože můžeme zvětšit magnety a stále budeme mít samohybný stroj, který nepotřebuje vnější zdroj elektrické energie. U elektromotoru je situace složitější ze dvou důvodů. Zaprvé, potřebujeme, aby magnetická indukce v mezeře byla co největší. To vede ke snaze mít co nejmenší vzduchovou mezeru, abychom nemuseli vinout příliš velkou cívku. Velká cívka vede k tomu, že má velký činný odpor  $R$ , což zvyšuje ztráty a snižuje účinnost. Zadruhé, relativní permeabilita permanentních magnetů má blízko k jedné - viz magnetické vlastnosti magnetů v tabulce 1.

		Typ magnetu	
		SmCo	NdFeB
$B_R$	[T]	1	1,2
$H_C$	[kA/m]	685	900
$\mu_r$	[-]	1,05	1,05
$\rho$	[ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$86 \cdot 10^{-6}$	$160 \cdot 10^{-6}$
$\gamma$	[MS/m]	1,162	0,625

Tabulka 1: Magnetické vlastnosti magnetů

To znamená, že když je v magnetickém obvodu permanentní magnet, je to jako kdybychom v tomto obvodu měli vzduchovou mezeru. To znamená, že i když máme v rotoru silné magnety, tak magnetické pole statorového magnetu nepřekonáme. Naproti tomu magneticky měkké železné jádro cívky má relativní permeabilitu 5800 (viz tabulka 2), takže magnety v rotoru „přemohou“ magnetické pole cívky poměrně snadno.

látka	$\mu_r$
Železo	5800
Nikl	1120
Kobalt	170

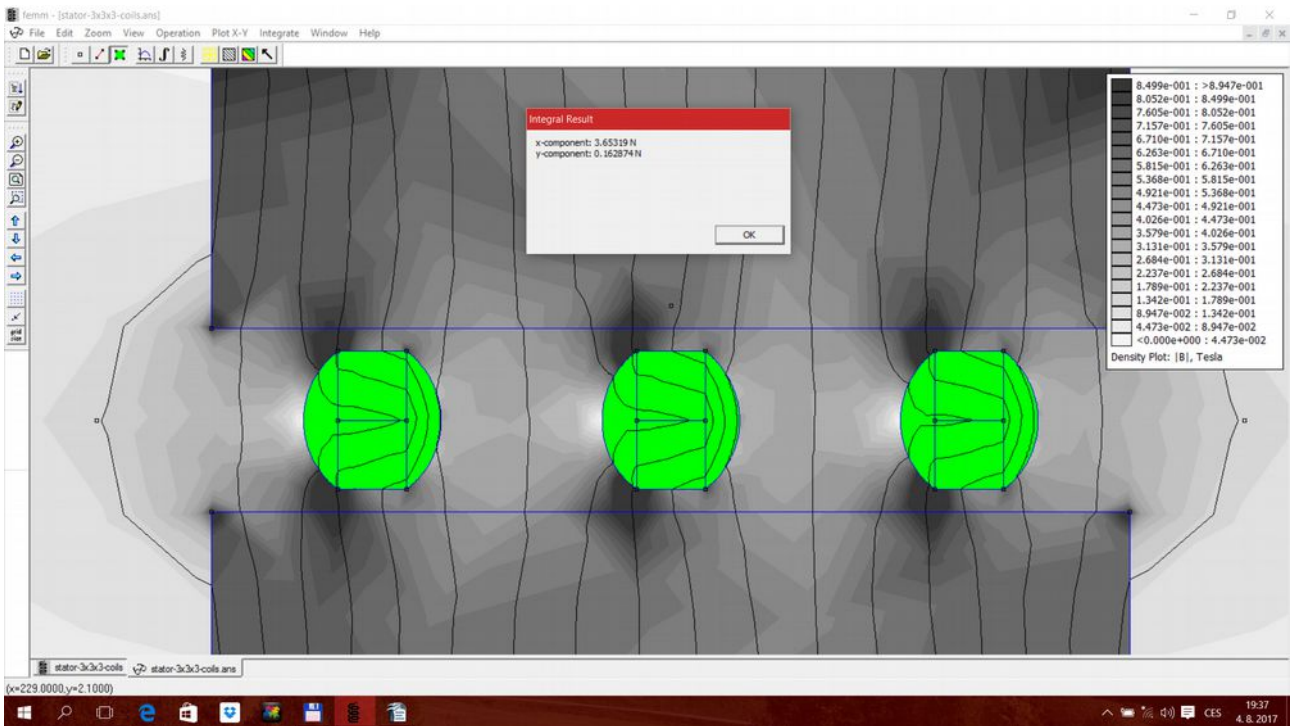
Tabulka 2: Magnetické vlastnosti feromagnetických prvků

Z těchto důvodů jsou vlastnosti elektrických motorů horší než motorů s permanentními magnety. Jak bylo zmíněno výše, u elektrických motorů se snažíme o co nejmenší vzduchovou mezeru, aby starorová cívka nemusela být příliš velká, což by vedlo k tepelným ztrátám, protože pro ztrátový výkon  $P$  cívky s odporem  $R$ , jíž protéká elektrický proud  $I$  platí:

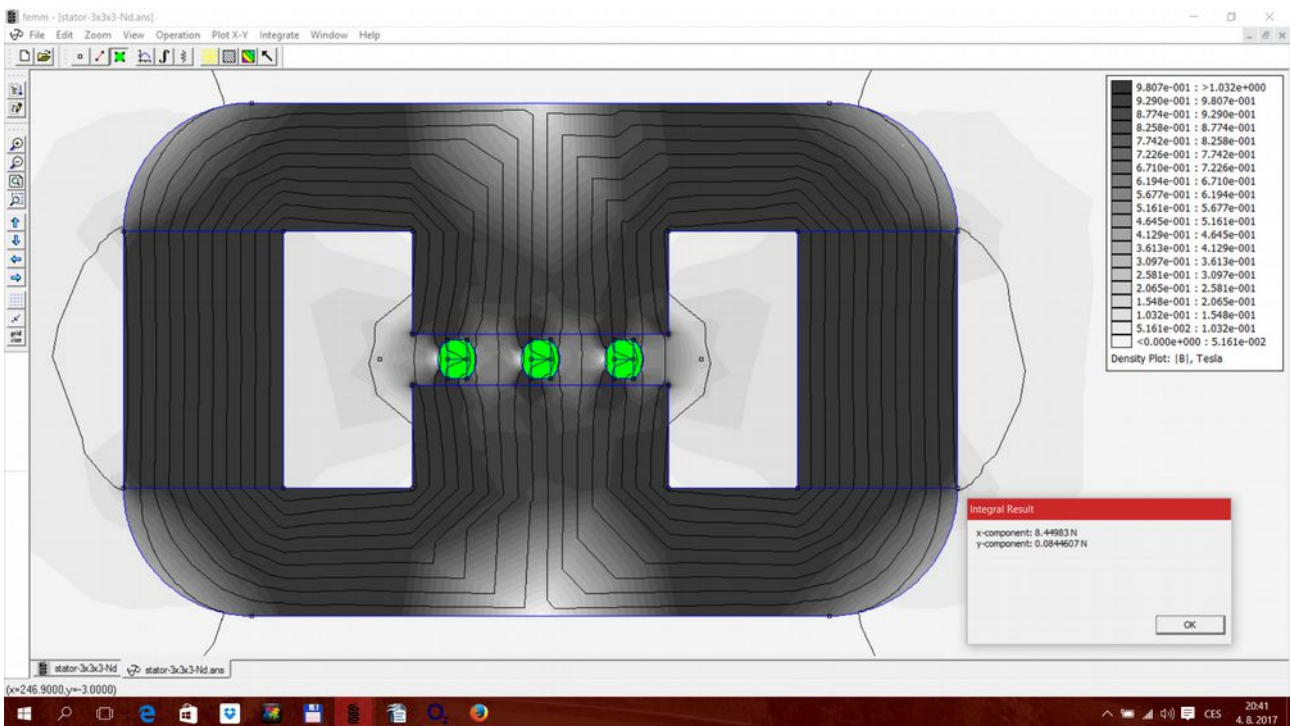
$$P = R \cdot I^2 \quad (1)$$

Existují dva přístupy, jak co nejvíce zmenšit vzduchovou mezeru. První přístup ilustruje obr. 1, kde

máme relativně velký počet malých magnetických těles. V tomto případě magnetická tělesa mají tvar „soudku“. Na obr. 1 máme vzduchovou mezeru 8mm a magnety mají rozměry 3x3x3mm.



Obr. 1: Magnetická tělesa s magnety 3x3x3mm v mezeře elektromotoru



Obr. 2: Magnetický motor s magnety 3x3x3mm

Pro srovnání se můžete podívat na obr. 2, kde máme magnetický obvod motoru s permanentními magnety ve statoru. U elektromotoru jsme dosáhli síly  $F_x = 3,65$  N, zatímco u magnetického motoru  $F_x = 8,45$  N.

Druhý přístup se naopak snaží použít co největší magnety a kolem nich mít co nejvíc železa, aby vzduchová mezeru byla co nejmenší. V tomto případě není problém mít vzduchovou mezeru 2mm

nebo ještě menší. Použijeme magnety 5x větší, než jsou specifikovány níže.

### Neodymový magnet - hranol

A -Délka 15mm

B -Šířka 15mm

C -Výška 15mm = směr magnetování

Směr magnetování - na výšku

Třivrstvá povrchová antikorozi ochrana - Nikl + Měď + Nikl

Maximální pracovní teplota 80 °C

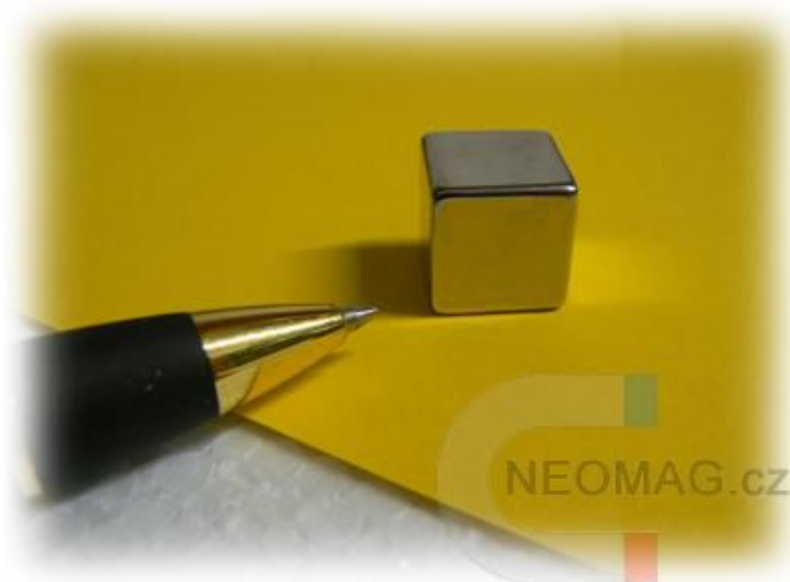
Curierová teplota 310°C

Přidrzná síla - 10,0 kg. (údaj dodavatele). Pro konkrétní aplikaci doporučujeme vyzkoušet.

Váha magnetu - 25,0 g.

Vlastnosti materiálu magnetu N42

[http://www.neomag.cz/cz/katalog/neodymove-magnety/hranoly/magnet-nh161-15x15x15-n42/?from\\_katalog=3,razeni](http://www.neomag.cz/cz/katalog/neodymove-magnety/hranoly/magnet-nh161-15x15x15-n42/?from_katalog=3,razeni),



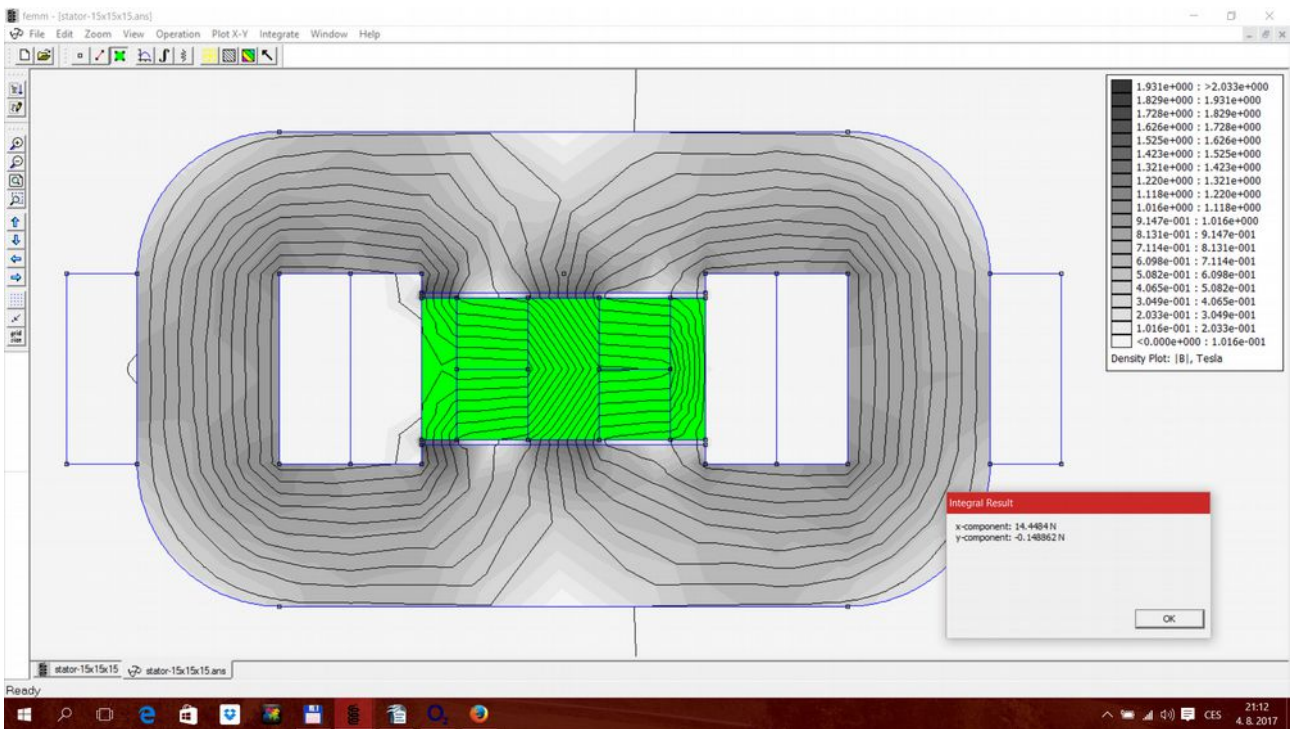
Obr. 3: Neodymový magnet 15x15x15mm

Na obr. 4 máme magnetický obvod elektromotoru s těmito magnety. Rotor je tvořen čtyřmi magnety umístěných po dvojicích, mezi nimiž jsou pláty železa, takže je celý prostor mezi železnými prstenci vyplněn a vzduchová mezera má celkovou výšku pouze 2mm. Není proto divu, že síla působící na rotor je  $F_x = 14,45 \text{ N}$ . Šířka postranních železných plátů je 7,5mm a šířka prostředního pásu je 15mm. Hloubka (rozměr Z) je v tomto případě 30mm, zatímco v předchozím případě to bylo 20mm.

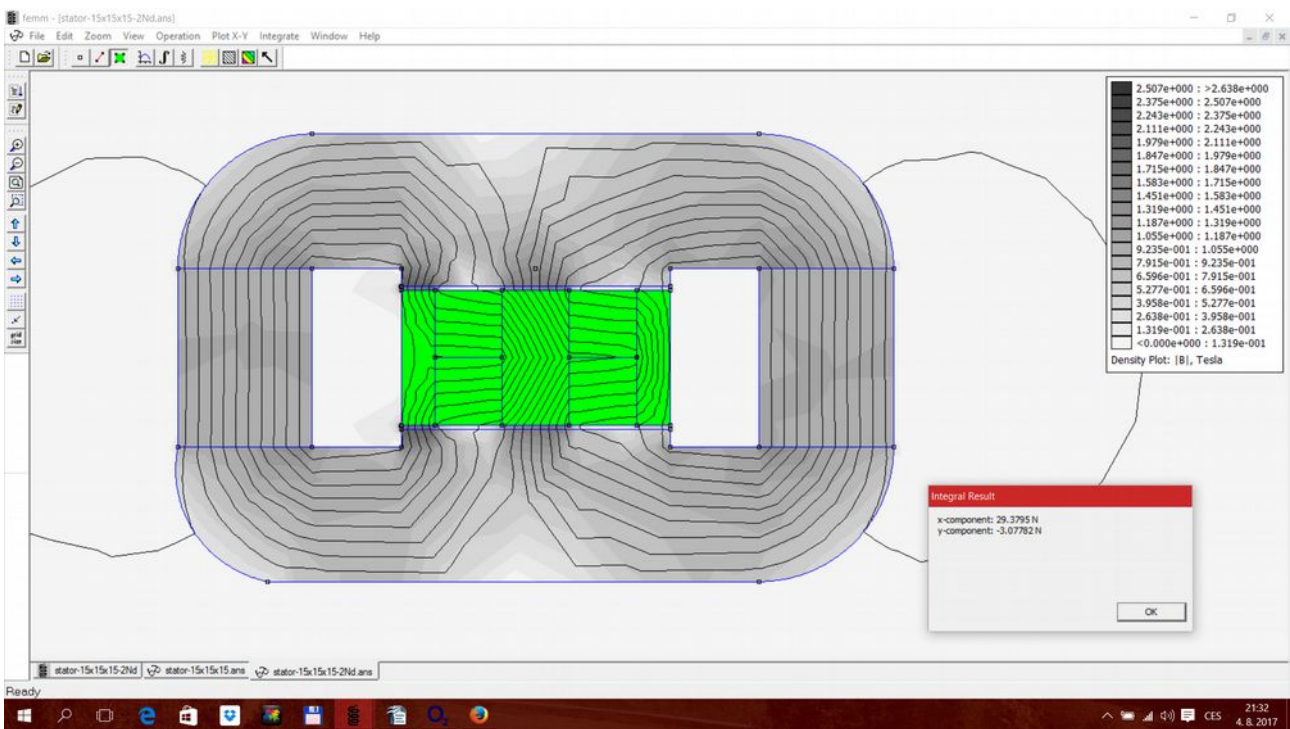
Stejně jako v předchozím případě cívky nahradíme permanentními magnety. Magnety mají rozměry 30x30x40mm, směr magnetizace je 90°. Síla působící na rotor je nyní  $F_x = 29,38 \text{ N}$ .

Pro úplnost ještě dodejme, že na cívky bylo navinuto po 600 závitů drátu o průměru 1mm a cívkami protékal proud 4A.

**Je třeba poznamenat, že se jedná o 2D simulaci, která úplně neodpovídá 3D realitě. Proto je třeba výsledky upřesnit pomocí některého 3D programu pro statickou magnetickou simulaci.**



Obr. 4: Elektromotor s magnety 15x15x15mm



Obr. 5: Magnetický motor s magnety 15x15x15mm

## Závěr

Provedené simulace jasně ukazují, že z energetického hlediska je výhodnější použít ve statoru permanentní magnety než cívky. Na druhé straně u elektromotoru je snadné regulovat výkon a pro některé aplikace je jeho funkce nenahraditelná. U magnetického motoru je nutné vyřešit nejen regulaci výkonu, ale hlavně bezpečné zastavení při náhodném odlehčení tohoto motoru. Pro magnetický motor se předpokládá využití jako zdroj energie, zatímco toroidní bezkomutátorový motor by mohl nahradit stejnosměrné motory jak s elektromechanickým, tak s elektronickým komutátorem ve všech odvětvích průmyslu a dopravy. Jeho nespornou výhodou je to, že nepotřebuje žádnou výkonovou elektroniku ani komutátor.