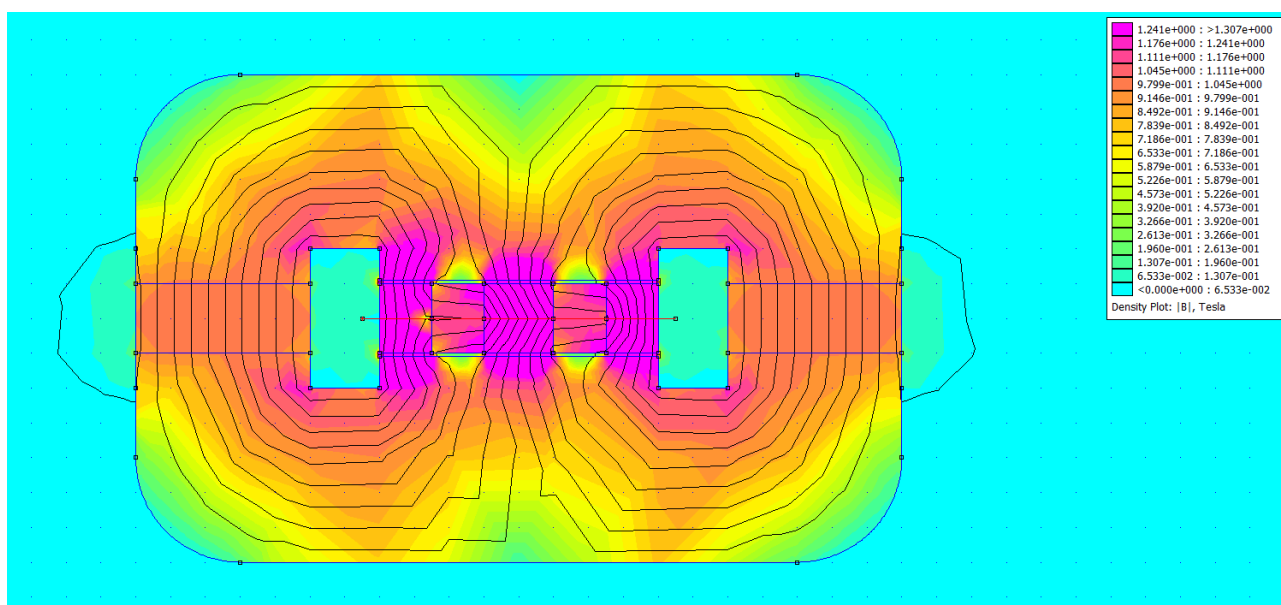


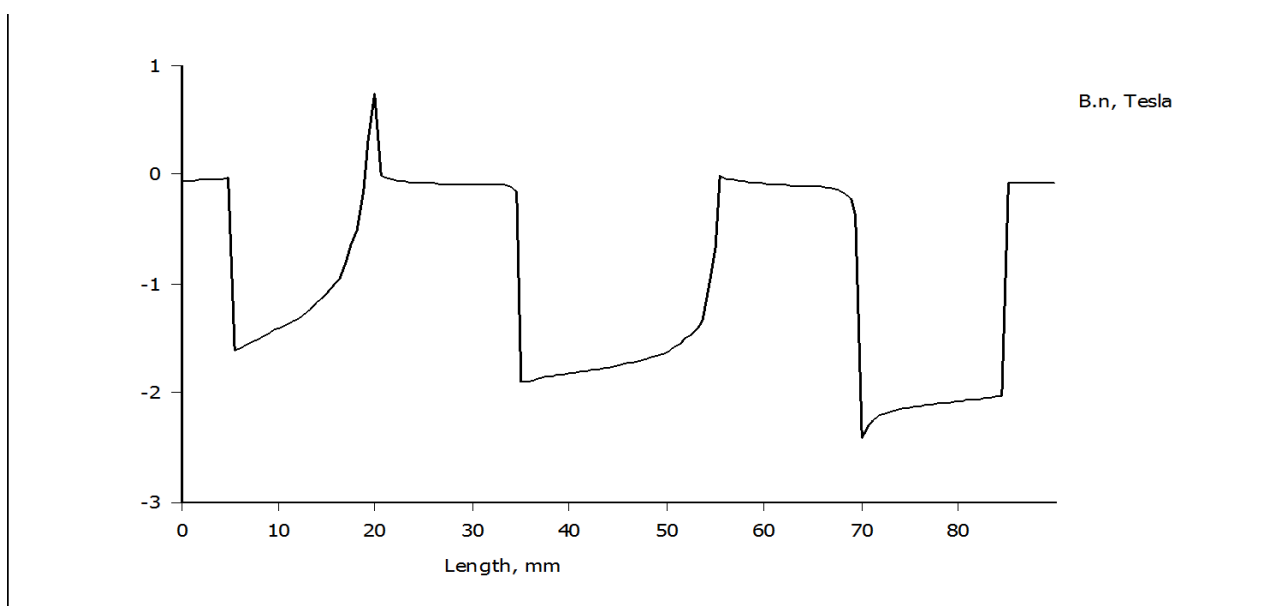
Toroidní elektromotor

© Ing. Ladislav Kopecký, červenec 2017

Tento článek vychází z poznatků uvedených v sérii článků o toroidním motoru poháněném pouze silou magnetů. Magnetický motor, který ke své činnosti nepotřebuje žádný vnější zdroj energie je jistě úžasná a nevídaná věc, ale tato jeho vlastnost omezuje jeho využitelnost pouze jako zdroj energie, jehož výkon lze navíc obtížně regulovat. Pro řadu aplikací je funkce elektromotoru nezastupitelná, proto nyní z magnetického motoru vytvoříme elektromotor. Přeměna magnetického motoru na elektromotor je věc na první pohled velmi snadná: stačí permanentní magnety statoru nahradit elektromagnety. Získáme tím elektromotor s velmi zajímavými vlastnostmi: tento motor bude poháněný stejnosměrným proudem a nebude potřebovat žádný komutátor, což je v současné technické praxi také věc nevídaná a jedinečná.

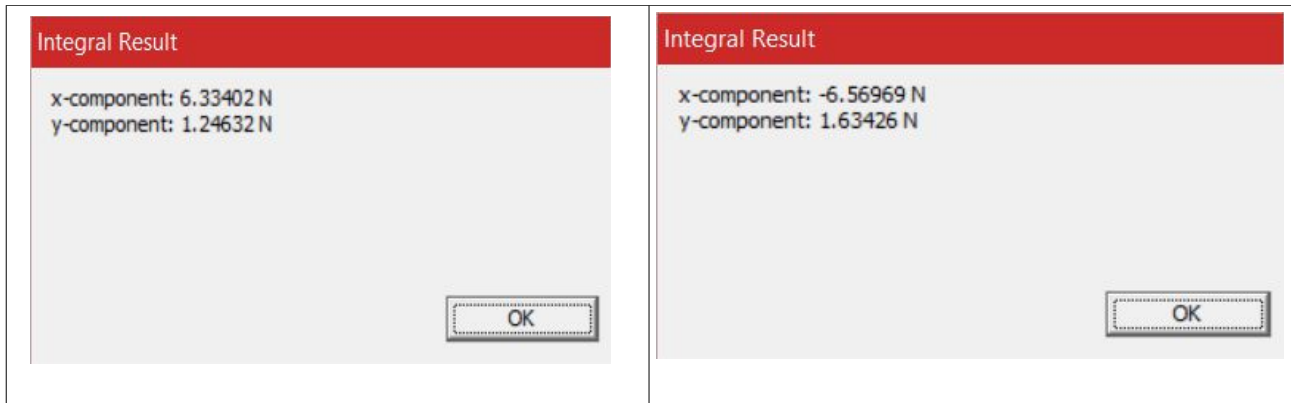


Obr. 1: Model magnetického motoru s rotorem s magnety vloženými do železného kotouče



Graf 1: Průběh B v rotoru na obr. 1

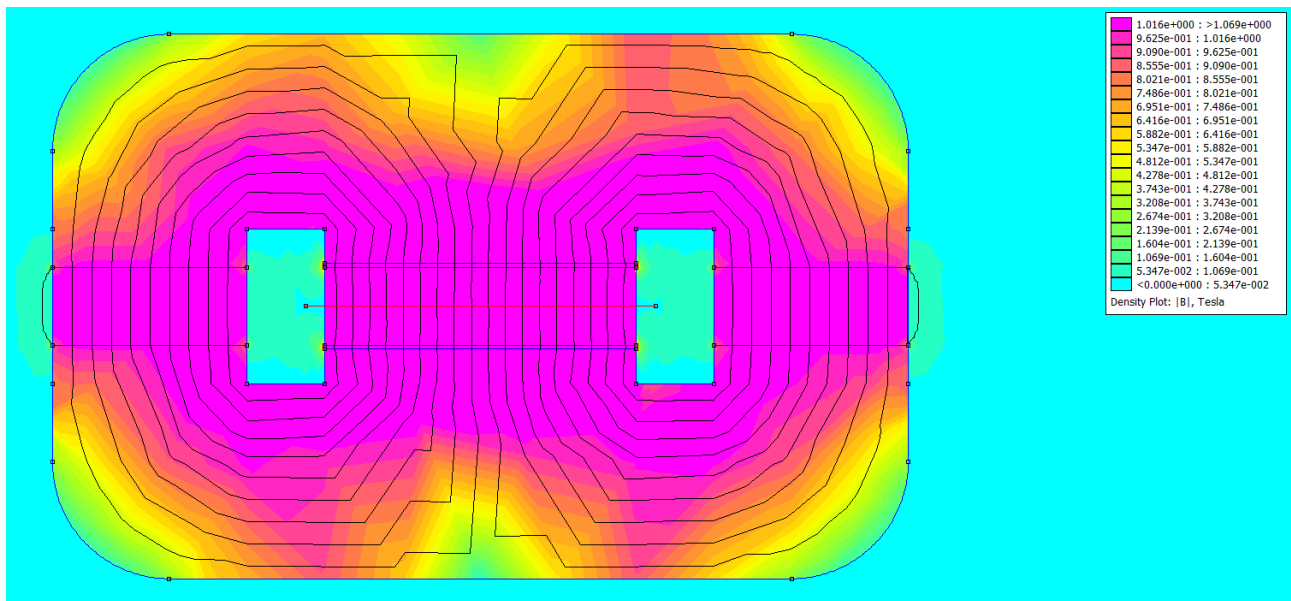
Vyjdeme z magnetického motoru, jehož 2D simulační obvod najdete na obr. 1. Stator je tvořen dvěma magnety o rozměrech 50x25x20mm. Rotor tvoří železný kotouč, do něhož jsou vloženy dva páry magnetů o rozměrech 15x10x25mm. Rotor o výšce 20mm se pohybuje v mezeře vysoké 22mm. Na rotor v našem 2D modelu působí síly:



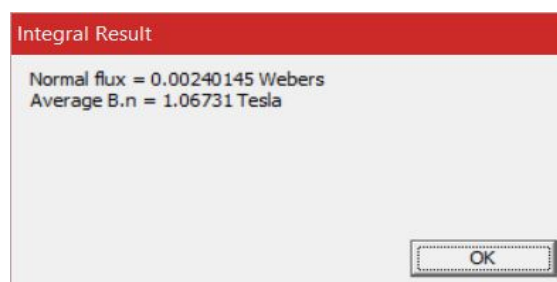
Obr. 2: Síly působící na rotor při obou polaritách statorových magnetů

Je třeba poznamenat, že v 3D realitě se síla F_x může lišit – dá se předpokládat, že bude větší, protože na železný kotouč působí síly, které jej tlačí doprostřed. V 3D realitě tyto síly neexistují, protože stator i rotor tvoří prstence, které nemají začátek ani konec. My však máme k dispozici pouze nedokonalý 2D model a musíme se s tím naučit žít.

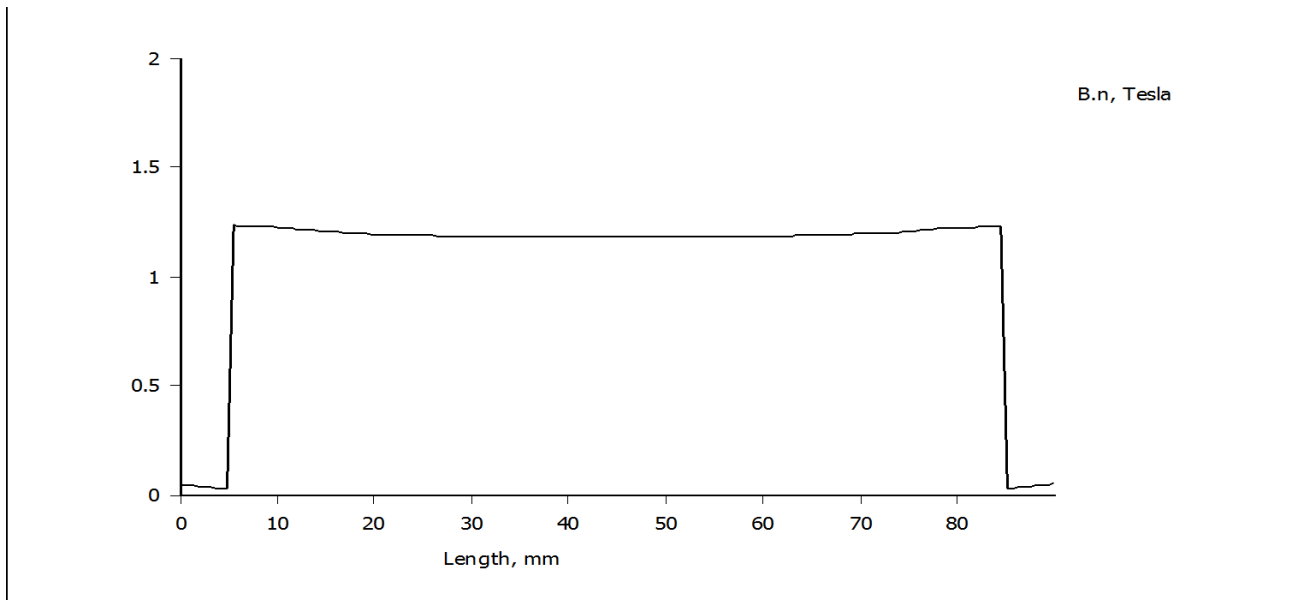
Nyní z rotoru vyjmemme magnety a zjistíme průběh magnetické indukce B v železném kotouči. Poté magnety nahradíme cívkami a budeme se snažit dosáhnout stejné hodnoty B .



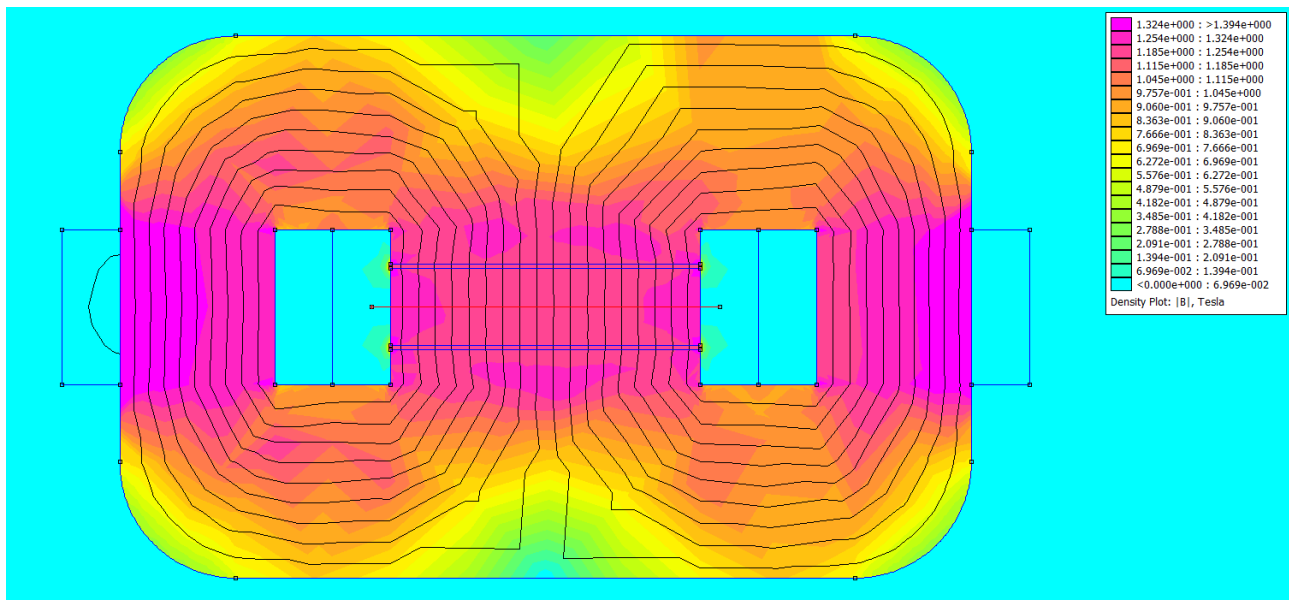
Obr. 3: Magnetický obvod po vyjmutí magnetů z rotoru



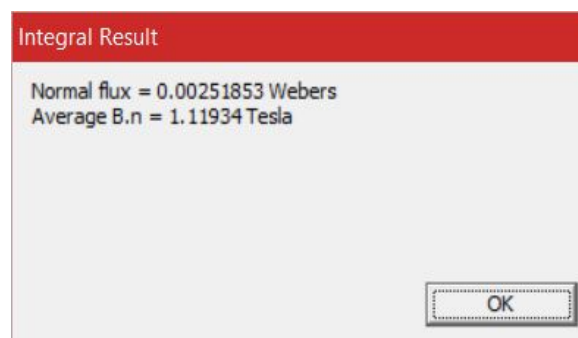
Obr. 4: Střední hodnota $B.n$ podél červené úsečky na obr. 3



Graf 2: Průběh B.n v rotoru po vyjmutí magnetů



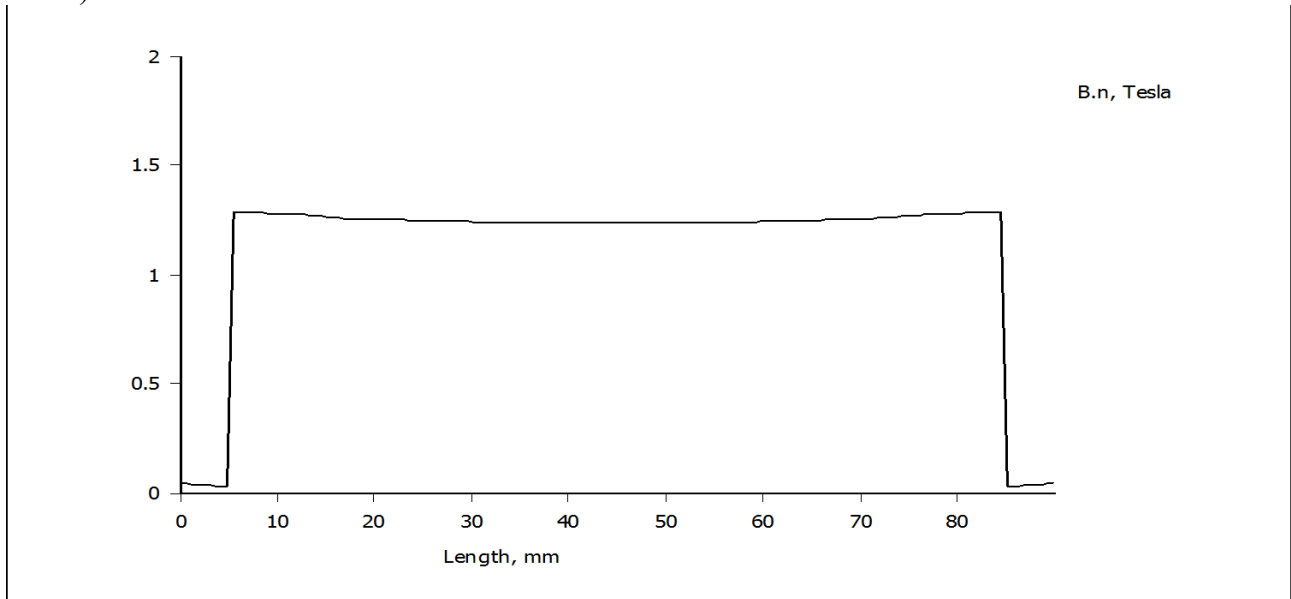
Obr. 5: Magnetický obvod po nahrazení statorových magnetů cívkami



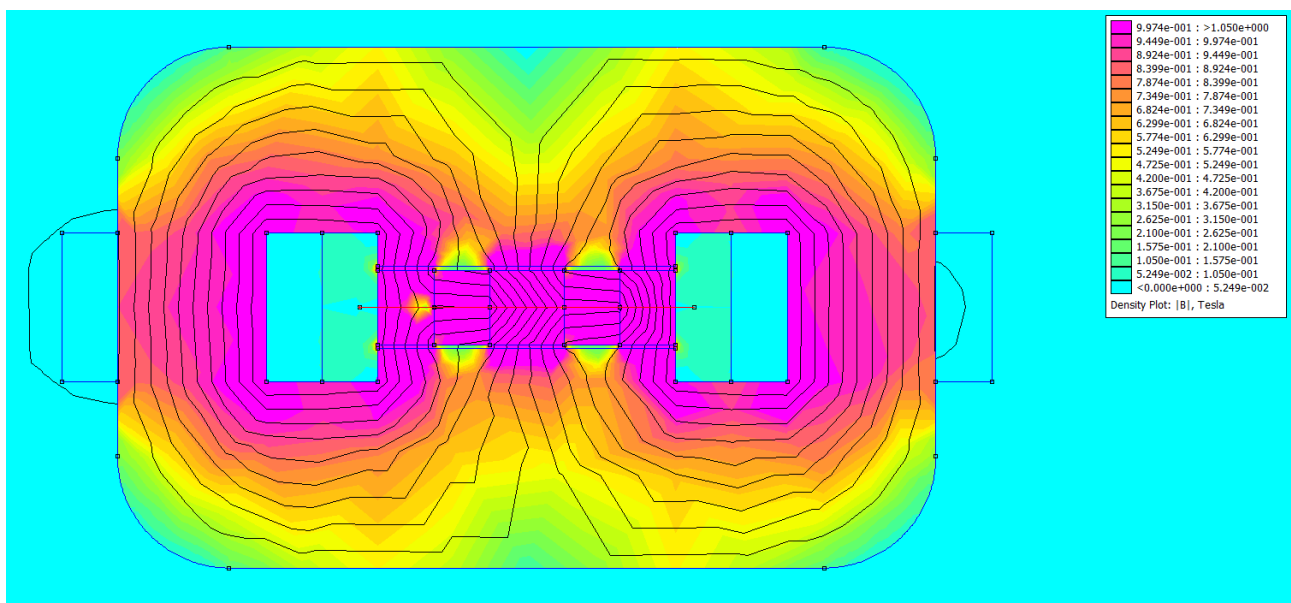
Obr. 6: Střední hodnota B.n na obr. 5

Na obr. 5 máme magnetický obvod s cívkami místo magnetů. Každá z cívek má 500 závitů navinutých drátem o průměru 1mm a protéká jimi proud 4A. Nyní vložíme magnety a zjistíme síly působící na rotor. Simulaci elektromotoru s magnety vloženými do železného kotouče najdete na obr. 7. Výpočet síly však přinesl nepříjemné překvapení: síla působící na rotor byla mnohem menší než v případě magnetického motoru na obr. 1. Análýzou magnetického pole jsem zjistil, že příčinou

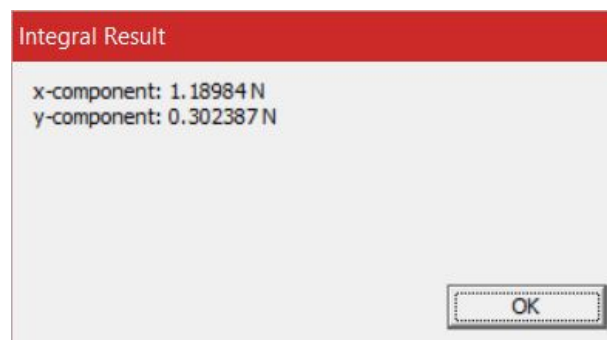
je to, že magnetické pole vytvořené cívkami lze snáze překonat magnetickým polem permanentních magnetů. První věc, kterou jsem udělal, bylo to, že jsem zmenšil šířku magnetů z 15mm na 10mm. Síla vzrostla z 1,19 N na 1,434 N. Dále jsem magnety posunul blíž ke krajům o 10mm. Síla vzrostla na neuvěřitelných 9,99 N. Když jsem vložil třetí magnet doprostřed, síla vzrostla na 10,88 N (viz obr. 9).



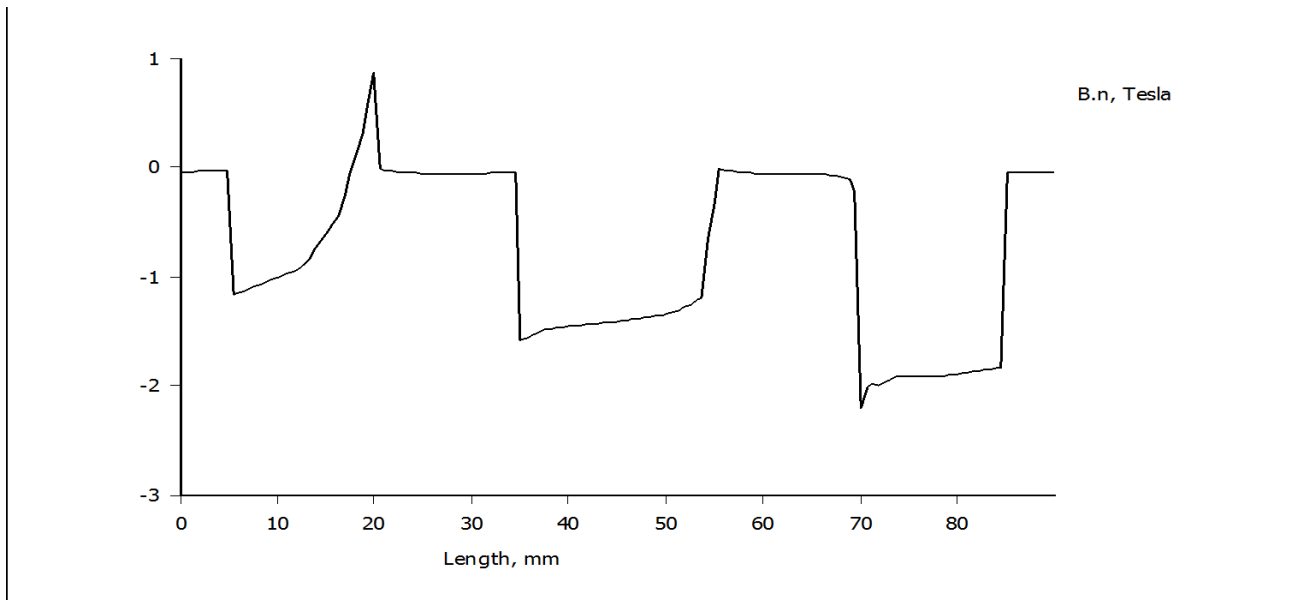
Graf 3: Průběh $B.n$ v rotoru po nahrazení magnetů cívkami



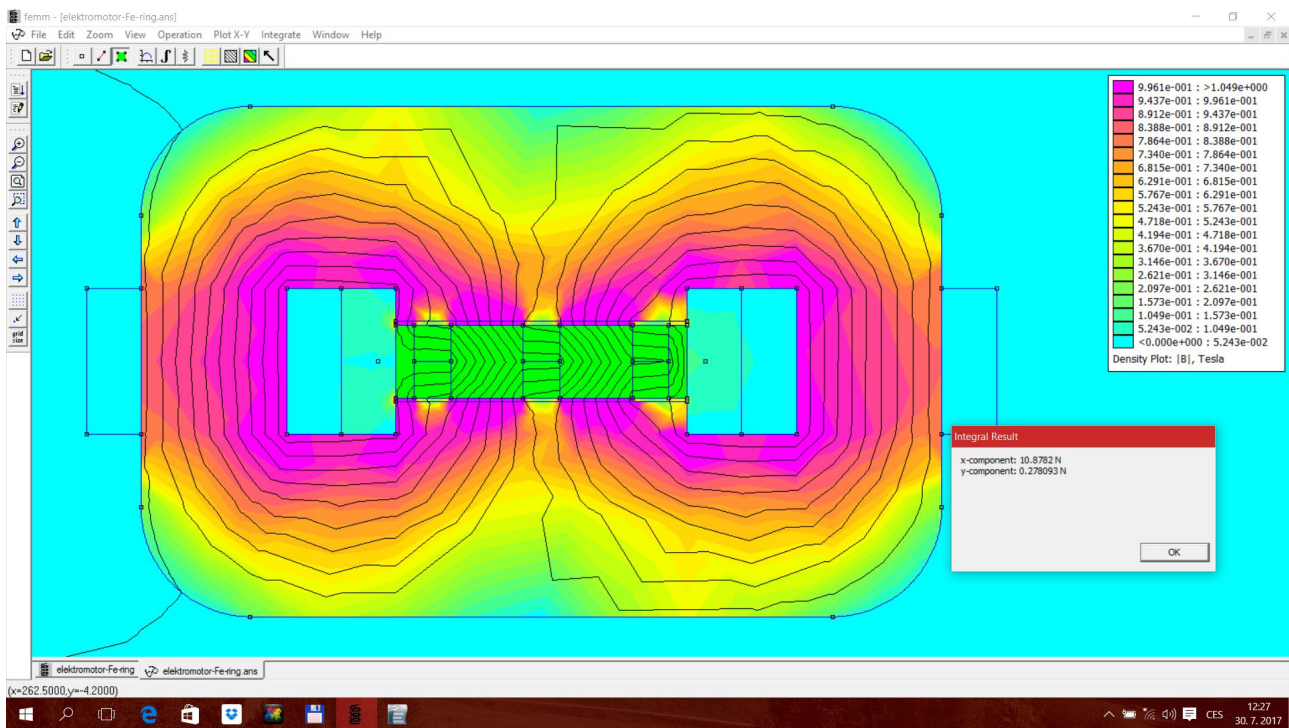
Obr. 7: Model elektromotoru s rotorem s magnety vloženými do železného kotouče



Obr. 8: Síly působící na rotor na obr. 7

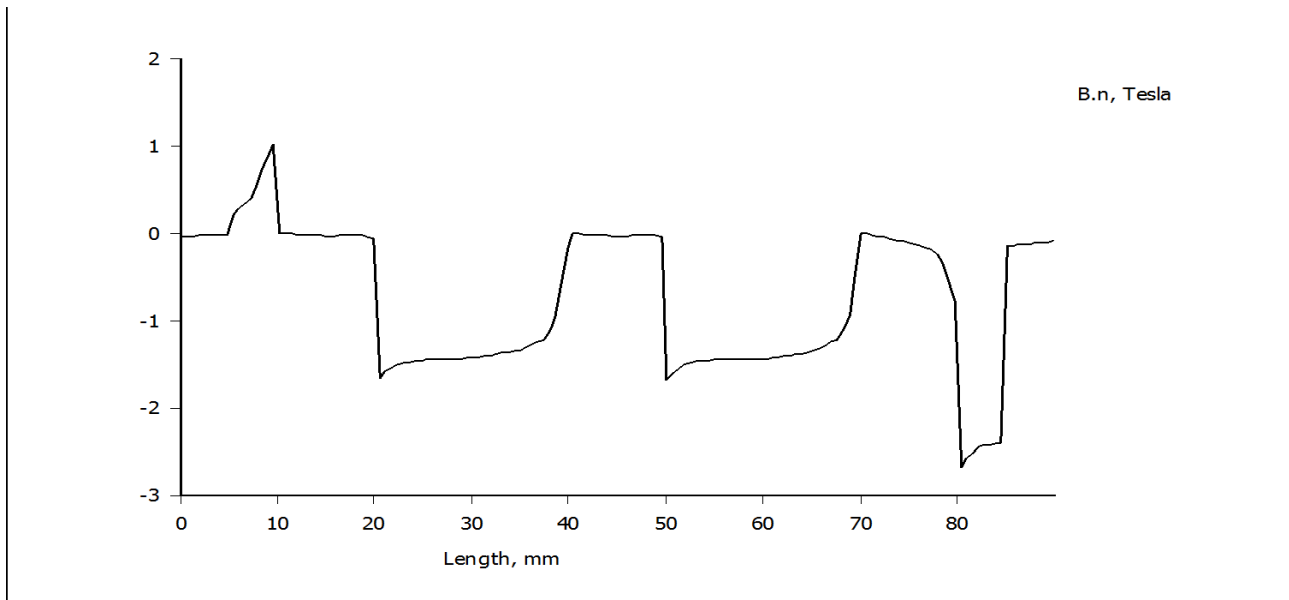


Graf 4: Průběh B v rotoru na obr. 7

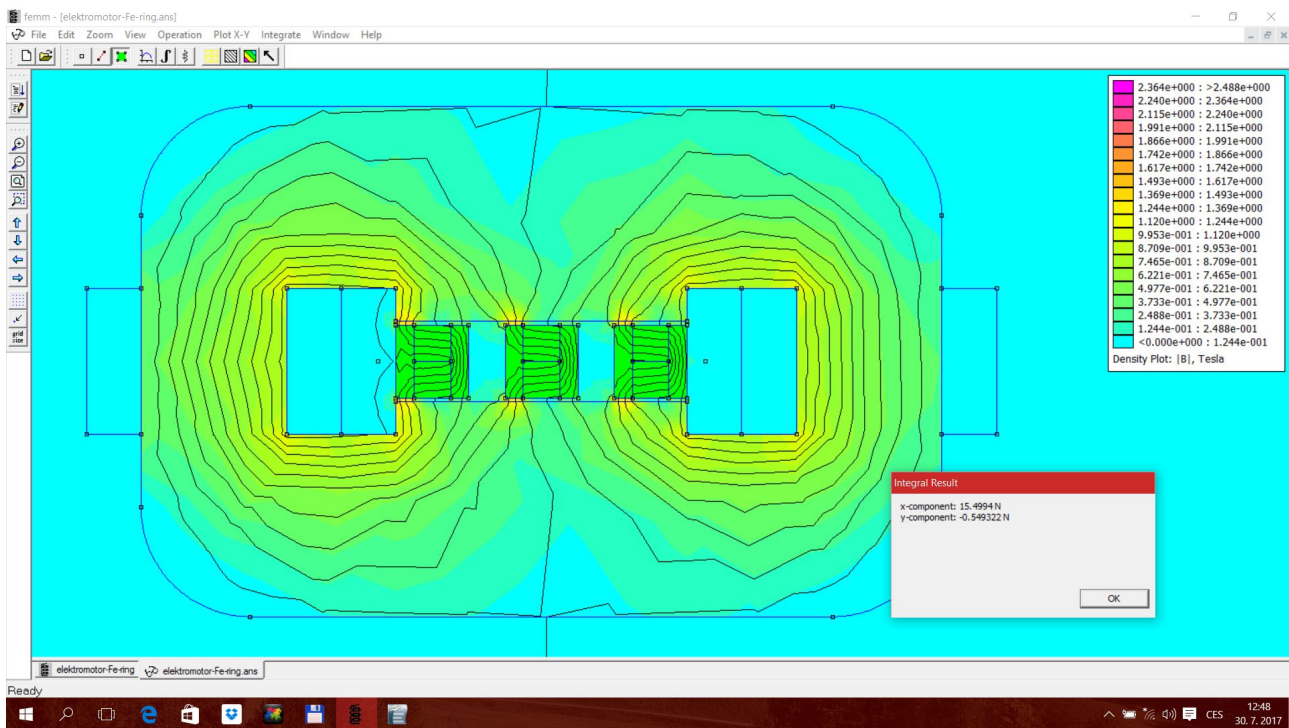


Obr. 9: Elektromotor po úpravě magnetů v rotoru

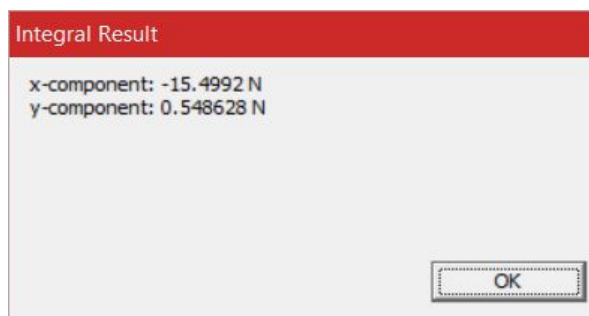
Dále mě napadlo železný kotouč nahradit kousky železa po stranách magnetů. Tímto opatřením se síla působící na rotor zvýšila na téměř 15,5 Newtonů, jak ukazuje obr. 10. Takto velký nárůst síly působící na rotor ve směru x lze vysvětlit porovnáním grafů 5 a 6. U grafu 6 je mnohem větší nesymetrie. Pro kontrolu ještě změním směr proudu v cívkách a opět necháme spočítat sílu působící na rotor. Obr. 11 ukazuje, že absolutní hodnota síly F_x je prakticky stejná, síly se liší pouze znaménkem. Nakonec ještě zjistíme závislost síly F_x na velikosti proudu v cívkách statoru. Výsledek najdete v grafu 7.



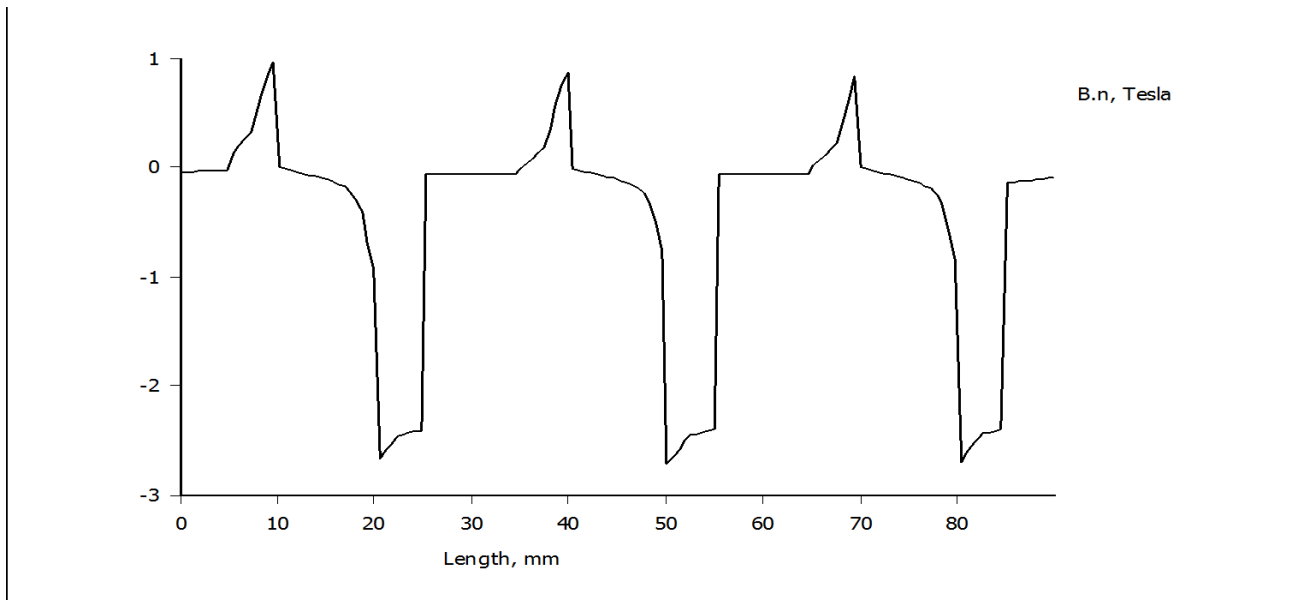
Graf 5: Průběh B v rotoru na obr. 9



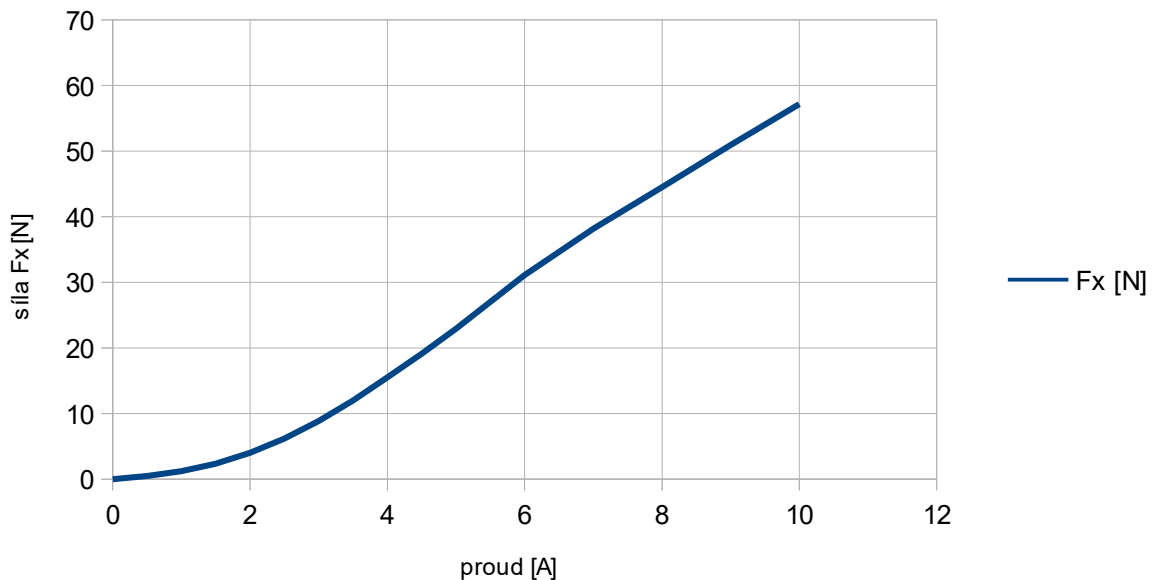
Obr. 10: Elektromotor po odstranění plného železa z rotoru



Obr. 11: Síly působící na rotor na obr. 10 po změně směru proudu v cívkách



Graf 6: Průběh B v rotoru na obr. 10

Graf 7: Závislost síly F_x působící na rotor na proudu statorových cívek

Závěr

Přestože to na začátku vypadalo na fiasko, nakonec jsme se dobrali překvapivě dobrých výsledků. Stačilo nahradit rotor z plného železa kousky železa po stranách magnetů. Ačkoli jsme měli k dispozici jen nedokonalou 2D simulaci, výsledky jsou velmi průkazné a působivé. Nemůže je zvrátit ani dokonalejší 3D simulace, ale očekávám, že tyto výsledky jen potvrdí a zpřesní. Pokud vím, jedná se o první stejnosměrný elektromotor bez komutátoru na světě. Jeho výhodou není jen nepřítomnost komutátoru v jakékoli podobě, ale předpokládám, že to bude i velmi vysoká účinnost, protože veškeré ztráty se budou redukovat na ztráty v mědi. Ztráty v železe nepředpokládám žádné nebo zanedbatelné.