

MODELOVÁNÍ MAGNETICKÝCH LOŽISEK

Lukáš Bartoň, Roman Čermák, Jaroslav Matoušek

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů

Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

e-mail: bartonlk@kks.zcu.cz

Tato práce se zabývá modelováním magnetických ložisek v programu COMSOL Multiphysic. Pro modelování byl vybrán příčný řez ložiskem. Veškeré modely jsou tedy vytvořeny ve 2D. V modelech byla použita lineární i nelineární relativní permeabilita.

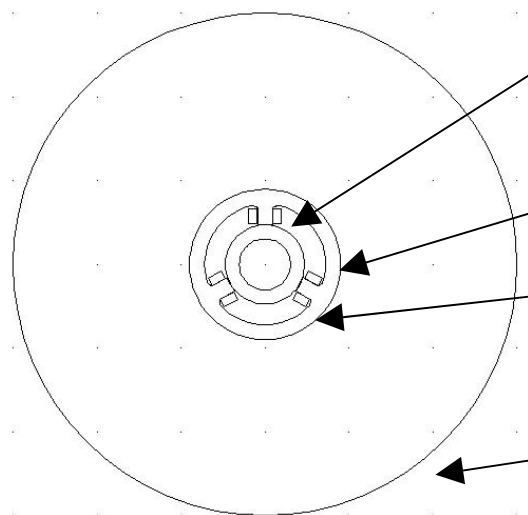
Bylo vytvořeno několik modelů a cílem bylo porovnat, jak je závislá nosná síla na počtu pólů v ložisku. Pro porovnávání bylo stanoveno osmi-pólové ložisko jak etalon a nosná síla ostatních ložisek s ním byla porovnávána.

U všech ložisek jsou povětšinou rozměrové parametry shodné. Mění se tak jen počet pólů. Rotor je ve středu v nulové pozici a v ložisku jsou pod proudem pouze cívky v horní polovině ložiska. To je děláno s cílem zjistit potenciální největší možnou sílu na rotor. V běžné praxi jsou cívky všech pólů permanentně pod nízkým proudem a větší proud jde jen do cívek, ke kterým chceme rotor přitáhnout.

Veličina	Rozměr
Průměr rotoru	47,2 mm
Vnitřní průměr ložiska	48 mm
Vnější průměr ložiska	90 mm
Vzduchová mezera	0,4 mm
Šířka ložiska	20 mm
Šířka jádra pólů	9 mm
Počet závitů v cívkách	50
Proud	6 A

Specifikace modelování:

Nákres:



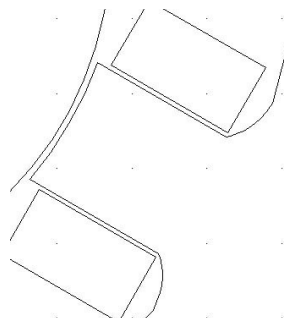
Rotor je znázorněn dvěma kružnicemi, které představují samotný hřídel a na něm nalisované plechové kroužky.

Ložisko.

Cívka je zjednodušeně znázorněna jako dva obdélníky z obou stran jednotlivých pólů. Jedna cívka = dva obdélníky.

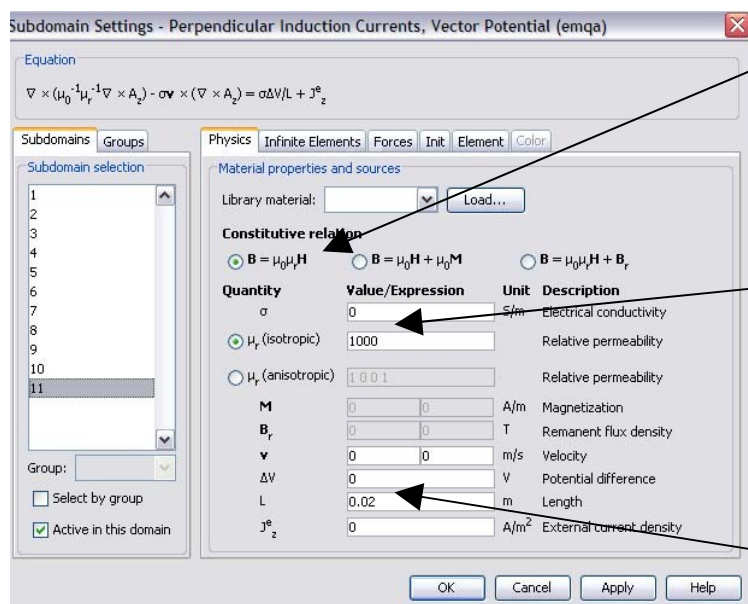
Prostor ve kterém se celé ložisko bude počítat, musí být definováno jako oblast, ve které bude okolí ložiska, kde se bude počítat magnetické pole. Tato oblast musí být dostatečně velká, protože slouží i jako okrajová podmínka, která nám říká kam až může magnetické pole dosáhnout.

Při výpočtu dochází na veškerých ostrých hranách k nahromadění magnetického toku, jehož hodnota pak neodpovídá maximální možné dosažitelné mezi, proto je vhodné veškeré rohy zaoblovat, aby průběh magnetického pole byl co nejpřesnější a nejplynulejší.



Definování oblastí

Hřídel:



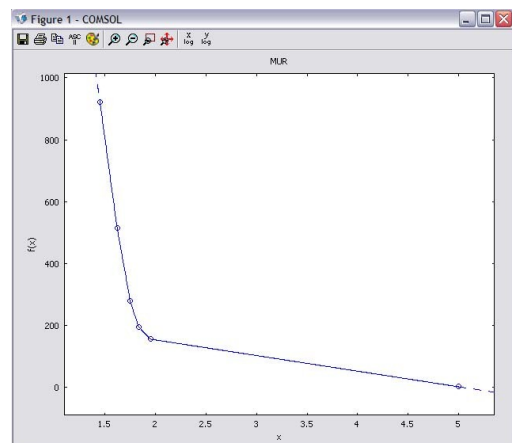
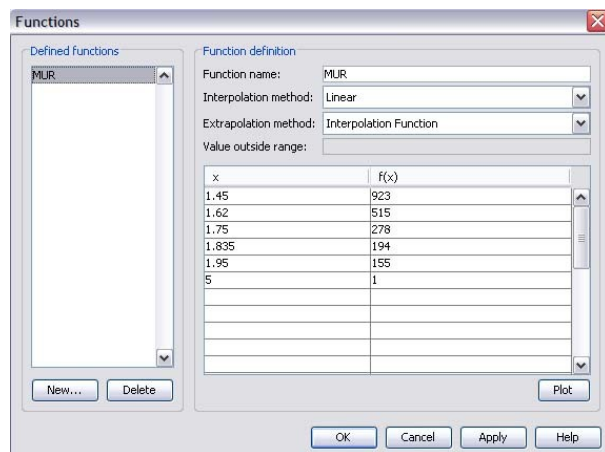
Všechny součásti jsou modelovány v magnetostaticce, v ložisku není žádný permanentní magnet ani zbytková magnetizace, je použita přímá závislost magnetické intenzity a magnetické indukce.

Pro hřídel lze i závislost intenzity a indukce vyjádřit lineární závislostí. To se provede nastavením relativní permeability jako konstanty. V tomto případě na hodnotu 1000, což odpovídá běžné oceli.

Tloušťka všech součástí je stejná.

Ložisko a rotorové kroužky:

Tělo ložiska stejně jako vnější část rotoru je sestaven z lisovaných plechů, které mají větší relativní permeabilitu než běžná ocel. Zároveň díky vysokým proudům lze očekávat velké magnetické pole, proto již nelze použít konstantní závislost magnetické intenzity na indukci. Relativní permeabilita je proto zadána jako funkce.



Proměnná MUR je definovaná pomocí interpolace jednotlivých bodů z tabulky. Tabulka byla vyplněna dle hodnot z ŠKODA pro ocel 11373. Tabulka uvádí závislost relativní permeability na magnetické indukci. V grafickém vyjádření je pak možnost vidět jak relativní permeabilita s narůstající indukcí klesá. Dochází tak k efektu nasycení oceli magnetickým polem, z čehož plyne, že po dosažení určité hranice magnetická intenzita již nenarůstá, když magnetická indukce nadále roste.

$$B = \mu \cdot H$$

$$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$$

μ_r - relativní permeabilita

Cívka:

Cívka, stejně jako okolní prostředí má relativní permeabilitu 1. Protékající proud je zde zadán pomocí konstanty J_0 , která je uváděna buď s kladným, nebo se záporným znaménkem, podle toho, odkud kam stejnosměrný proud teče.

J_0 je proudová hustota. Je závislá na obsahu elementu, počtu závitů a velikosti proudů.

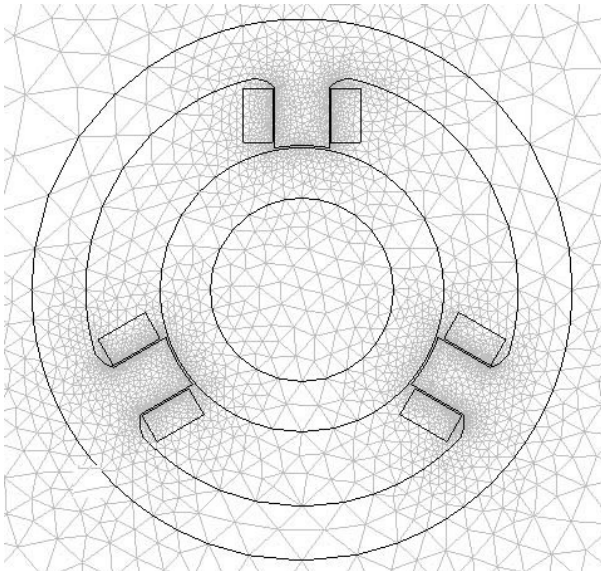
$$J_0 = \frac{n \cdot I}{S}$$

n = počet závitů cívky

I = maximální proud v cívce

S = plocha průřezu znázorňující cívku

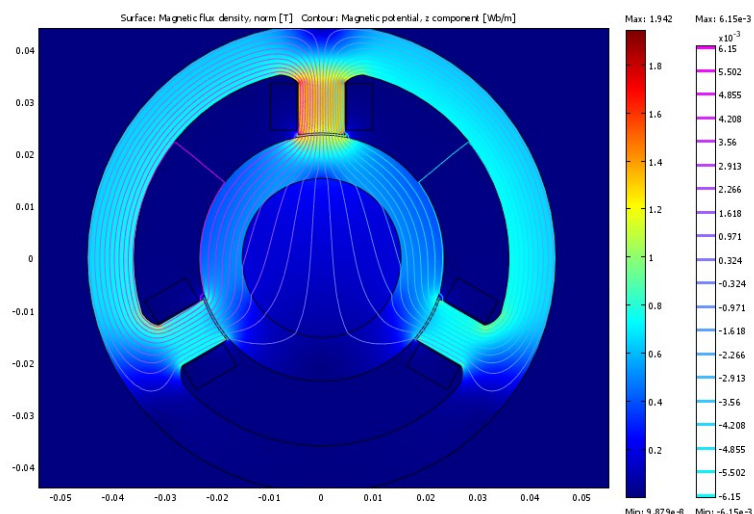
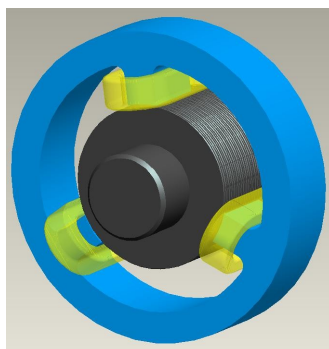
MESH



Síť elementů je vytvořena automaticky, manuálně je jen zvýšen počet elementů v oblastech předpokládaného kritického místa, čímž lze dosáhnout přesnějšího výsledku.

Ukázky modelování jednotlivých ložisek při použití co nejvíce společných parametrů jako je průměr rotoru, šířka ložiska, počet závitů, maximální proud, vnější průměr ložiska atd...

3 pólové ložisko:

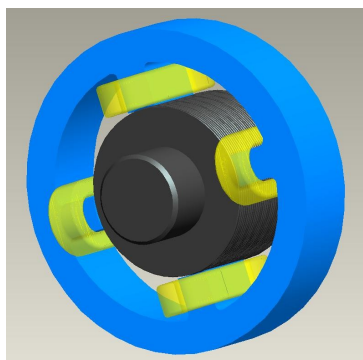


Toto ložisko bylo modelováno s póly rovnoměrně rozloženými. Rozteč mezi póly je 120° .

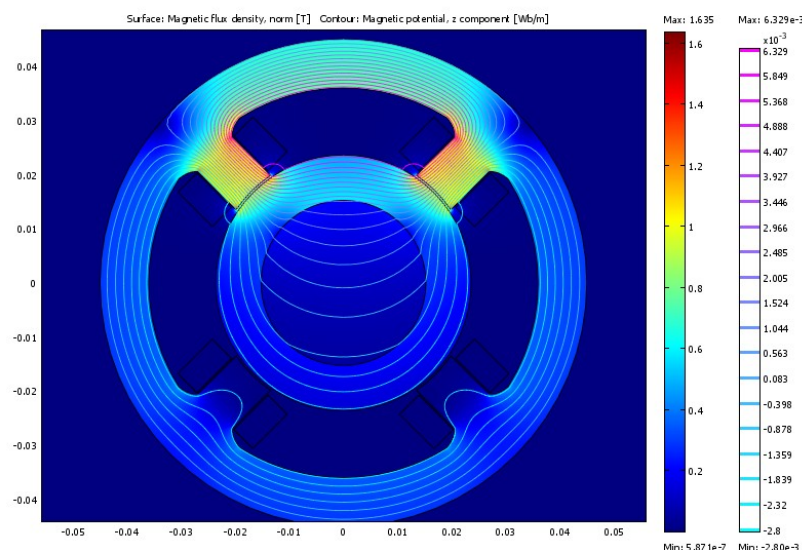
Magnetický tok se uzavírá přes horní pól, ve kterém dochází k většímu nasycení magnetickou indukcí. Když se neuvažují bodové zvýšené hodnoty způsobené ostrými hranami, tak magnetická indukce v horním pólu dosahuje 1,4 T a v ostatních pólech 0.75 T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **37%** nosné síly osmipólového ložiska.

4 pólové ložisko:

Toto ložisko bylo modelováno ve dvou variantách. Rozteč mezi póly byla vždy 90° . Rozdíl byl v natočení ložiska vzhledem k měřené síle.

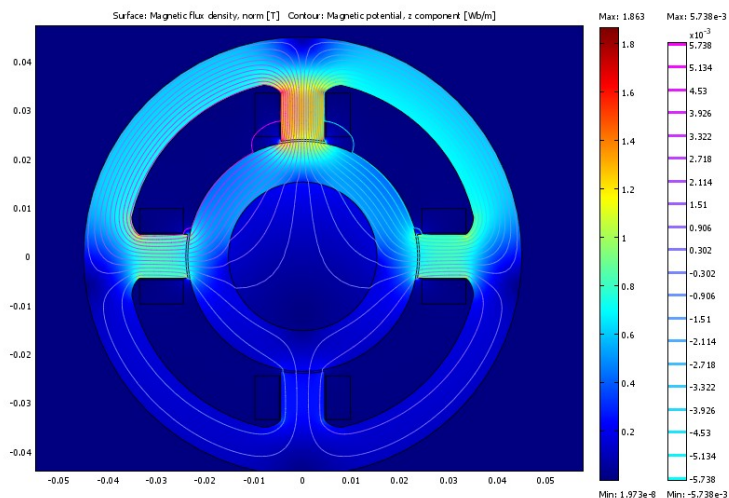


Varianta A:



Ve variantě A, která je natočena na pozici X se magnetický tok uzavírá pouze přes horní dva póly. Cívkami dolních dvou pólů neprochází žádný proud. Když se neuvažují bodové zvýšené hodnoty způsobené ostrými hranami, tak magnetická indukce v horních pólech dosahuje 1,1T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **47%** nosné síly osmipólového ložiska.

Varianta B:



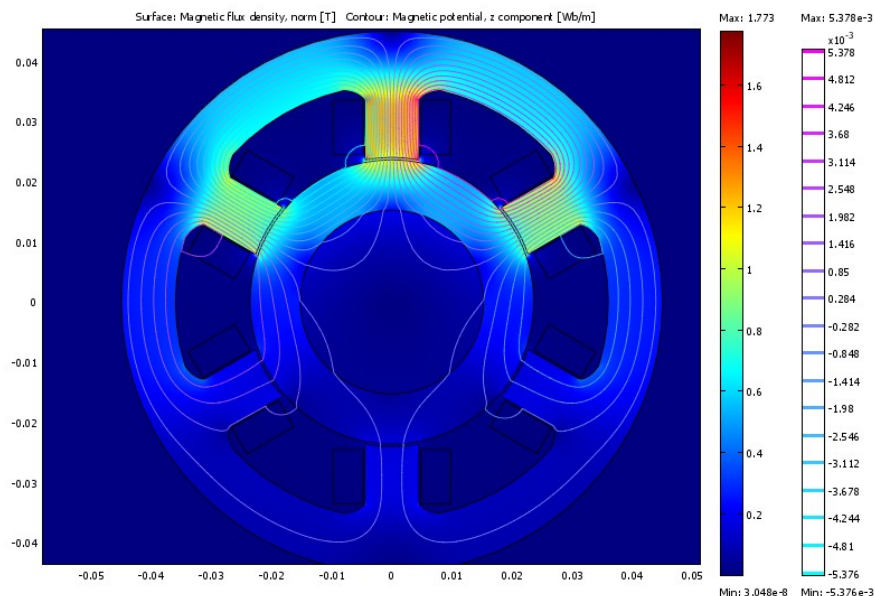
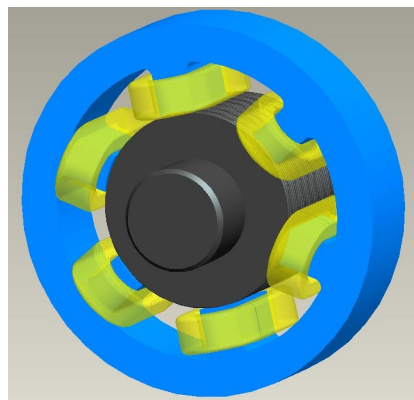
Ve variantě B, která je natočena na pozici + se magnetický tok uzavírá přes horní tři póly. Když se neuvažují bodové zvýšené hodnoty způsobené ostrými hranami, tak magnetická indukce v horním pólu dosahuje 1,5T. V levém a pravém pólu magnetická indukce dosahuje hodnoty 0,9T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **48%** nosné síly osmipólového ložiska.

Z naměřených sil je vidět, že natočení varianty B má oproti variantě A minimální nárůst síly. Ve variantě B je však zapnuto o jednu cívku více, než ve variantě A. Pro porovnávání bude nadále používána varianta A.

6 pólové ložisko:

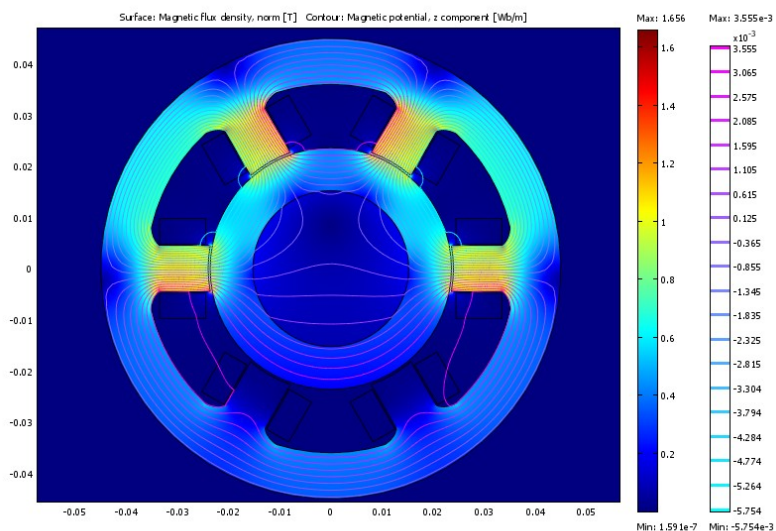
Toto ložisko bylo modelováno ve dvou variantách. Rozteč mezi póly byla vždy 60°. Rozdíl byl v natočení ložiska vzhledem k měřené síle.

Varianta A:



Dva hlavní magnetické toky se uzavírají přes horní tři póly. V prostředním pólu dosahuje magnetická indukce velikosti až 1.4 T. V sousedních dvou pólech do 1T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **68%** nosné síly osmipólového ložiska.

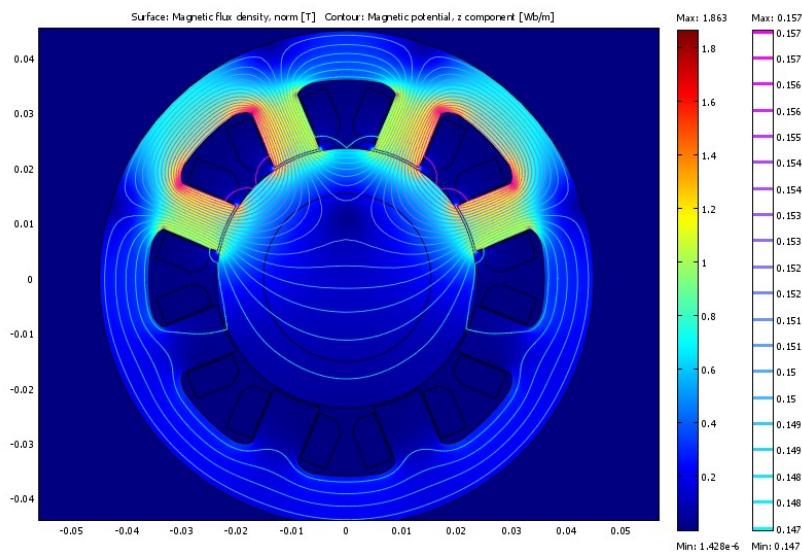
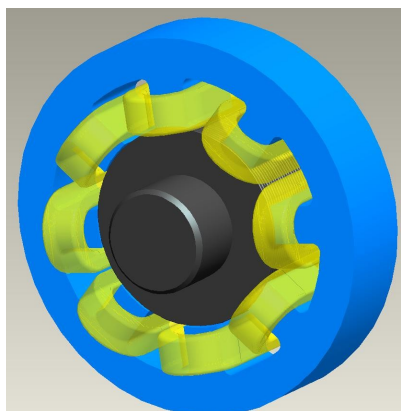
Varianta B:



Varianta B je natočena o 30° oproti variantě A. Zde tři hlavní magnetické toky uzavírají skrz čtyři horní póly. V každém pólu dosahuje magnetická indukce hodnot do 1,1T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **59%** nosné síly osmipólového ložiska.

Pro další porovnávání se bude nadále uvažovat natočení ve variantě A, která při menším počtu sepnutých cívek vyvolává větší nosnou sílu.

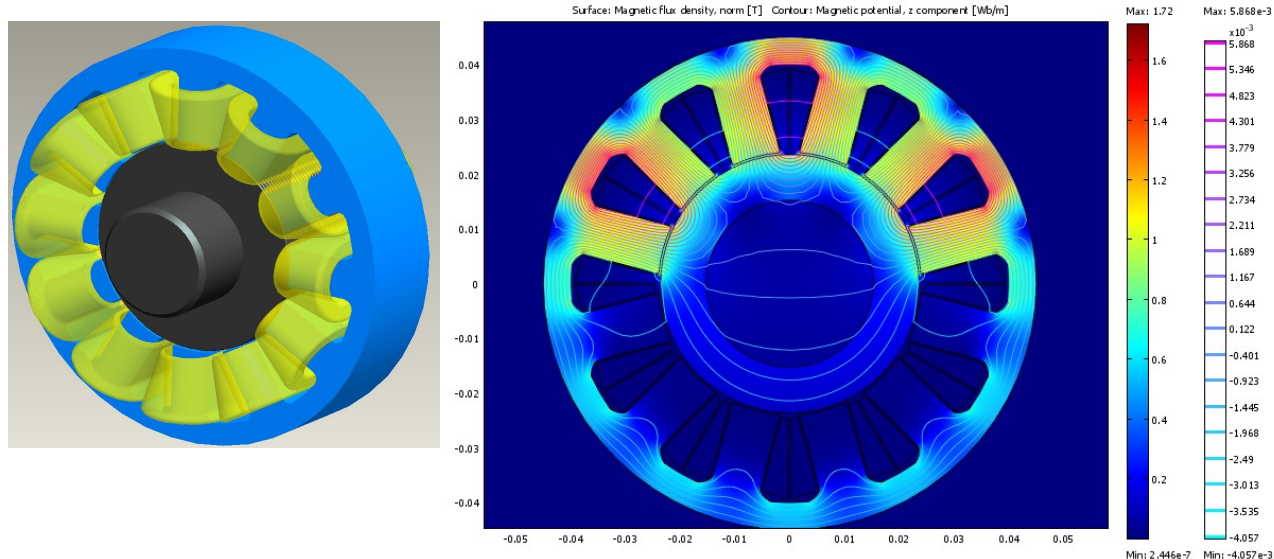
8 pólové ložisko:



Osmi pólové ložisko bylo modelováno ve stavu, kdy se uzavírají hlavní dva magnetické toky skrz dva dvojpóly a jeden vedlejší magnetický tok mezi těmito dvojpóly. Mezi póly dochází k nasycení magnetickou indukcí, která tak dosáhla maximální hodnoty 1,3T. Teoretická maximální nosná síla na rotor byla stanovena na **100%** a ostatní ložiska jsou s tímto ložiskem porovnávána.

12 pólové ložisko:

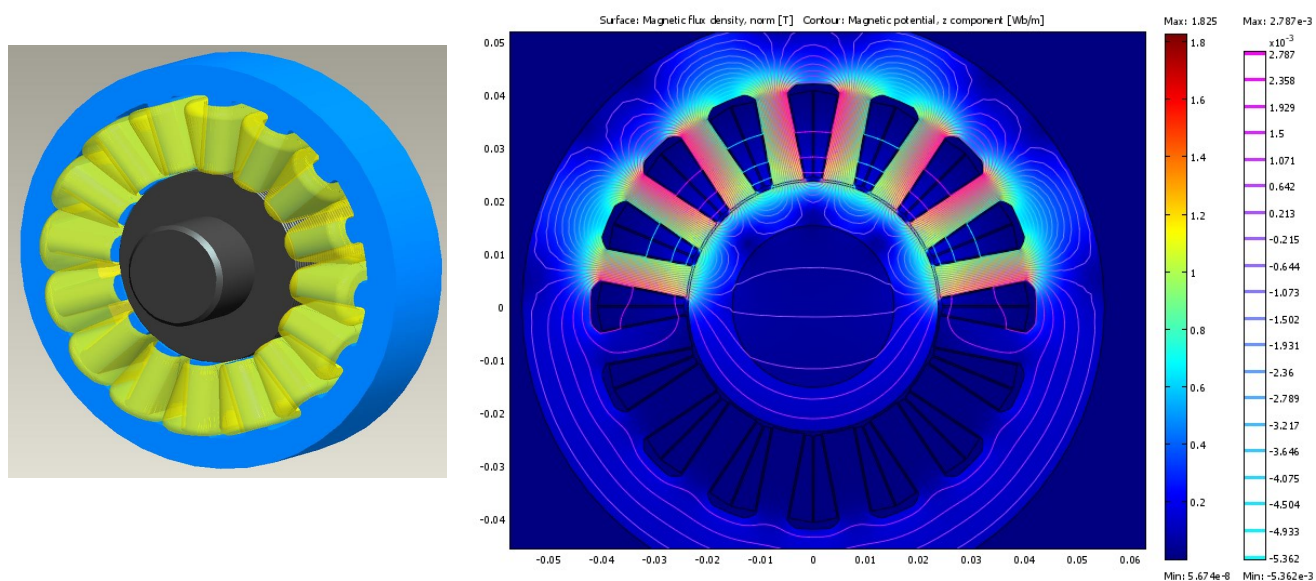
U tohoto ložiska musel být upraven vnitřní průměr, aby se uvolnilo místo pro plochu reprezentující shodný počet 50 závitů. Tím se i zvětšila délka každého pólu. Průměr rotoru byl však zachován.



Hlavní nosná síla vzniká uzavřením třech hlavních magnetických toků mezi sousedními póly a dvou vedlejších magnetických toků mezi jednotlivými dvojpóly. Magnetická indukce dosahuje maximální hodnoty 1,3T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **115%** nosné síly osmipólového ložiska.

16 pólové ložisko:

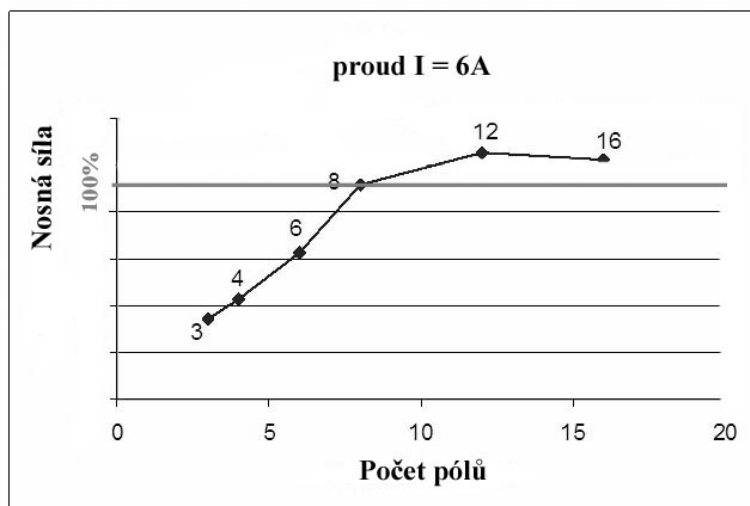
U tohoto ložiska musel být upraven vnitřní i vnější průměr a šířka pólu z 9 mm na 6 mm, aby se uvolnilo místo pro plochu reprezentující shodný počet 50 závitů. Tím se i zvětšila délka každého pólu. Průměr rotoru byl však zachován.



Hlavní nosná síla vzniká uzavřením čtyř magnetických toků mezi čtyřmi párovými póly a třemi vedlejšími magnetickými toky mezi těmito dvojpóly. Maximální magnetická indukce v jednotlivých pólech dosahuje 1,5 T. Teoretická maximální nosná síla na rotor je **112%** nosné síly osmipólového ložiska.

Výsledné porovnání.

Počet pólů	Nosná síla
3	37%
4	48%
6	68%
8	100%
12	115%
16	112%



Ing. Lukáš Bartoň
Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
bartonlk@kks.zcu.cz

Ing. Roman Čermák, Ph.D.
Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
rcermak@kks.zcu.cz

Ing. Jaroslav Matoušek
Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
pmatouse@kks.zcu.cz