



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**OPTIMALIZACE VLASTNOSTÍ MAGNETICKÉ SPOJKY S PERMANENTNÍMI
MAGNETY**

Petr Krejčí, Čestmír Ondrůšek*

Abstrakt: Předkládaný příspěvek se zabývá problematikou optimalizace vlastností magnetické spojky, která je v uspořádání s vnějším rotorem s permanentními magnety a vnitřním rotorem pasivním. Optimalizace je prováděna pouze na vnitřním rotoru, kde se optimalizuje šířka a výška zubu. Dále se pomocí genetického algoritmu provádí návrh vhodného tvaru celého zubu za účelem dosažení maximálního přenášeného kroutícího momentu. Jako model spojky je zde použit parametrický model v prostředí MKP – ANSYS.

Klíčová slova: Magnetická spojka, optimalizace, genetický algoritmus, MKP

1. Úvod

Magnetická spojka je zařízení, sloužící k přenosu kroutícího momentu bezkontaktní metodou, využívající interakce magnetického pole permanentních magnetů na vnějším a vnitřním rotoru. V našem případě bude uvedená spojka použita v čerpadle na kapalné soli pro transmutační zařízení, kde bude mimo jiné tvořit i funkci mechanické ucpávky mezi toxickým prostředím a technicky čistým okolím. Pracovní teplota se v čerpadle pohybuje kolem 450°C. To je i důvod použití varianty spojky s pasivním vnitřním rotorem (viz. [4]), protože uvedená teplota převyšuje hranici nenávratného poškození permanentních magnetů vlivem teploty. Z důvodu dosažení maximálního kroutícího momentu spojky je nutné provést optimalizaci vnitřního rotoru. Při optimalizaci jsme si kladli za cíl dosažení maximálního kroutícího momentu, který je magnetická spojka schopna přenést při konstrukčních změnách pouze na vnitřním rotoru spojky.

Tento článek navazuje na předešlé publikace, zabývající se vlivem teploty na vlastnosti magnetické spojky (viz. [3]), především na maximální přenášený kroutící moment a náhradou aktivního vnitřního rotoru magnetické spojky rotorem pasivním (viz. [4]).

*Ing. Petr Krejčí, Centrum mechatroniky, společného pracoviště ÚT AV ČR a FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, e-mail: krejci@umt.fme.vutbr.cz, tel: +420 5 4114 2757

Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Technická 8, 616 00 Brno, ondrusek@feec.vutbr.cz, tel.: +420-5 4114 2463

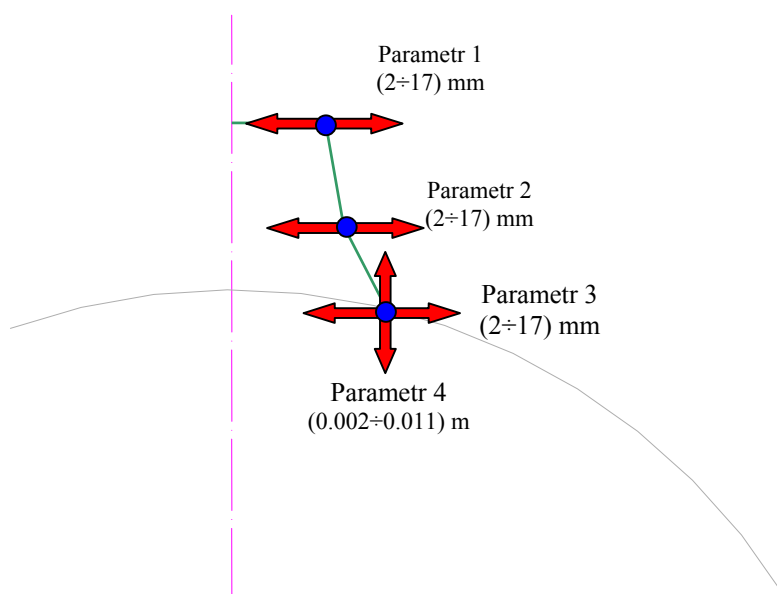
2. Parametrický model spojky

Pro účely optimalizace byl vytvořen parametrický model spojky v prostředí MKP – ANSYS, kde jako parametry vystupují čtyři geometrické body na hranicích $\frac{1}{2}$ optimalizovaného zubu vnitřního rotoru (obr. 1.). Tato polovina je posléze zrcadlena do celé geometrie zubu. Kriteriem optimalizace bylo dosažení největší hodnoty maximálně přenášeného kroutícího momentu spojkou. Geometrie parametrického modelu magnetické spojky je znázorněna na obr.2, kde je využito rotační symetrie dané úlohy a proto je modelována pouze 1/5 celé spojky. Pro tento model je proto nutné na hranice symetrie zadat periodické a antiperiodické podmínky pro rotační symetrii ve tvaru:

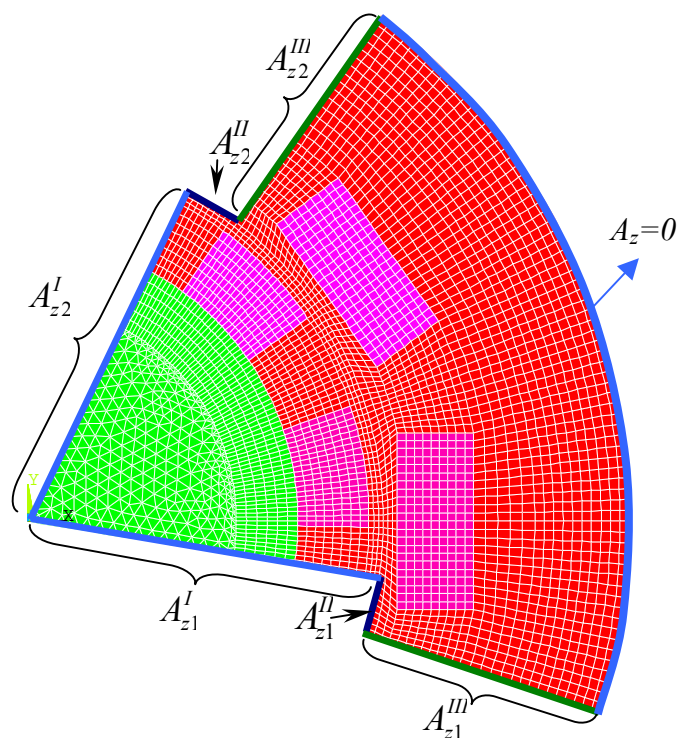
$$A_{z1}^I = A_{z2}^I \quad A_{z1}^{II} = -A_{z2}^{II} \quad A_{z1}^{III} = A_{z2}^{III}$$

a $A_z=0$ pro hranici modelu s volným prostředím

Kde A_z je magnetický vektorový potenciál definovaný jako okrajová podmínka na hranicích geometrie



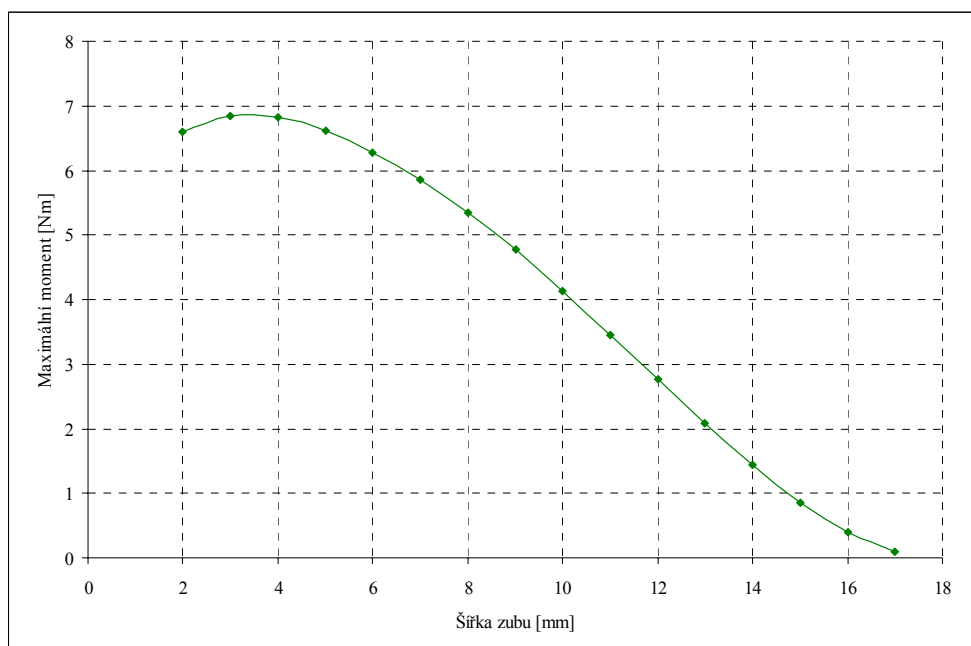
Obr. 1. Optimalizační parametry parametrického modelu spojky v MKP



Obr.2. 1/5 Geometrie MKP modelu s naznačenými okrajovými podmínkami

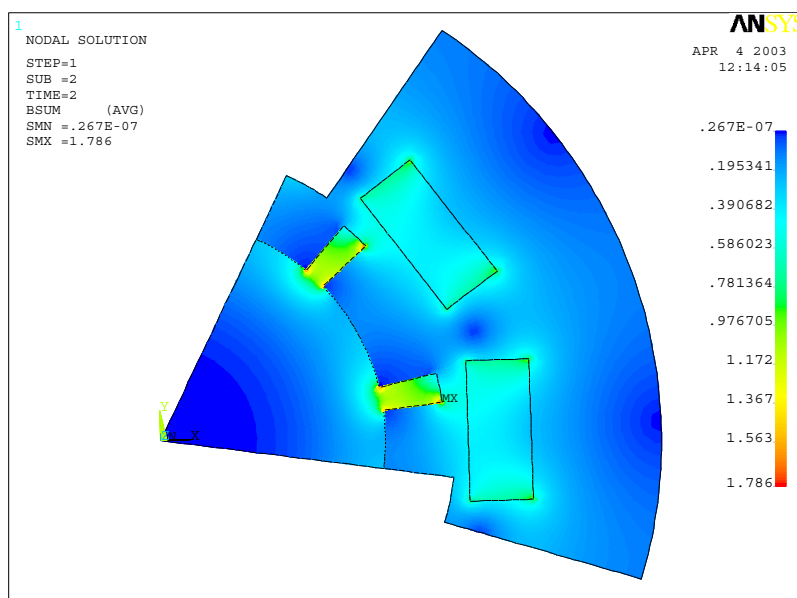
3. Optimalizace šířky zubu vnitřního rotoru spojky

Uvedený parametrický model jsme nejdříve použili při optimalizaci šířky zubu. Pro šířku zubu v rozmezí 2÷17 mm jsme spočítali statickou zátěžnou charakteristiku magnetické spojky. Výsledky této výpočtové analýzy jsou shrnuty na obr. 3., jako závislost maximálního momentu magnetické spojky na šířce zubu.

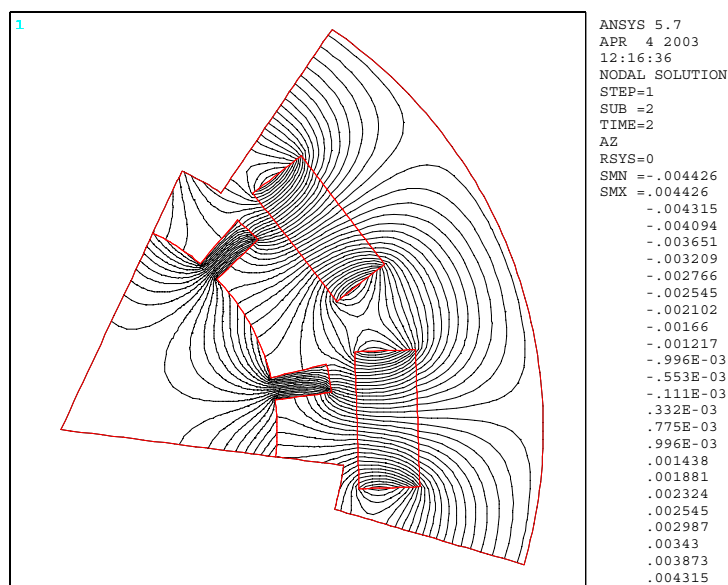


Obr.3. Závislost maximálního momentu na šířce zubu

Z výsledků je patrné, že „optimální“ šířka zubu je 3mm. Při dalším zmenšování šířky zubu již dochází vlivem nelineární B-H charakteristiky k nasycení feromagnetického materiálu a tedy i k mírnému poklesu magnetické indukce B ve vzduchové mezeře mezi vnitřním a vnějším rotorem spojky. Naopak při zvětšování šířky zubu dochází ke snížení přenášeného momentu a pro hladký rotor by byl přenášený moment roven nule. Rozložení magnetické indukce a magnetických siločar pro zub s optimální šířkou 3mm je znázorněno na obr.4 a obr.5.



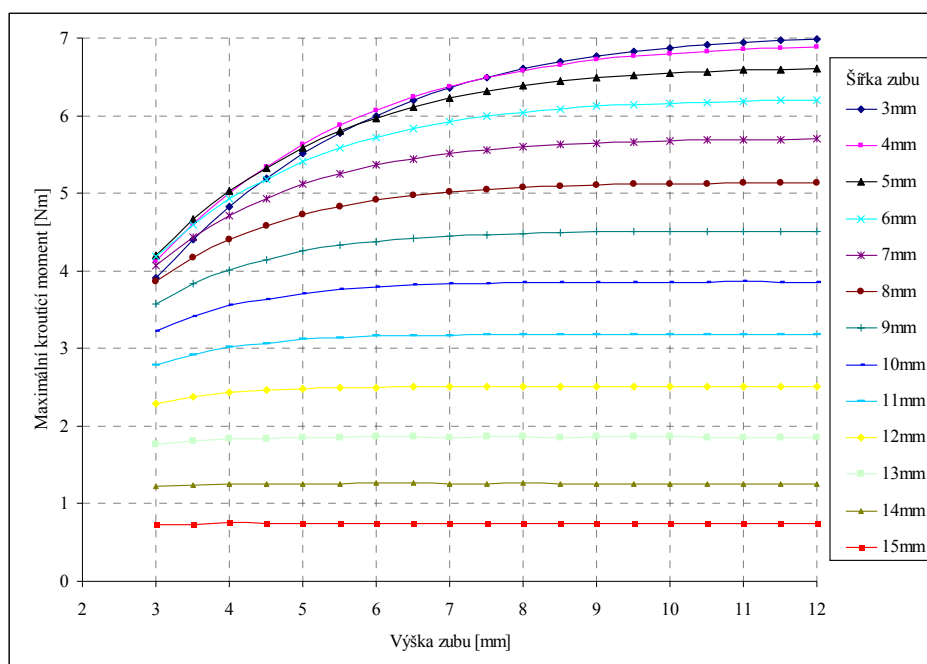
Obr. 4. Rozložení magnetické indukce B [T] pro spojku s šířkou zubu 3mm



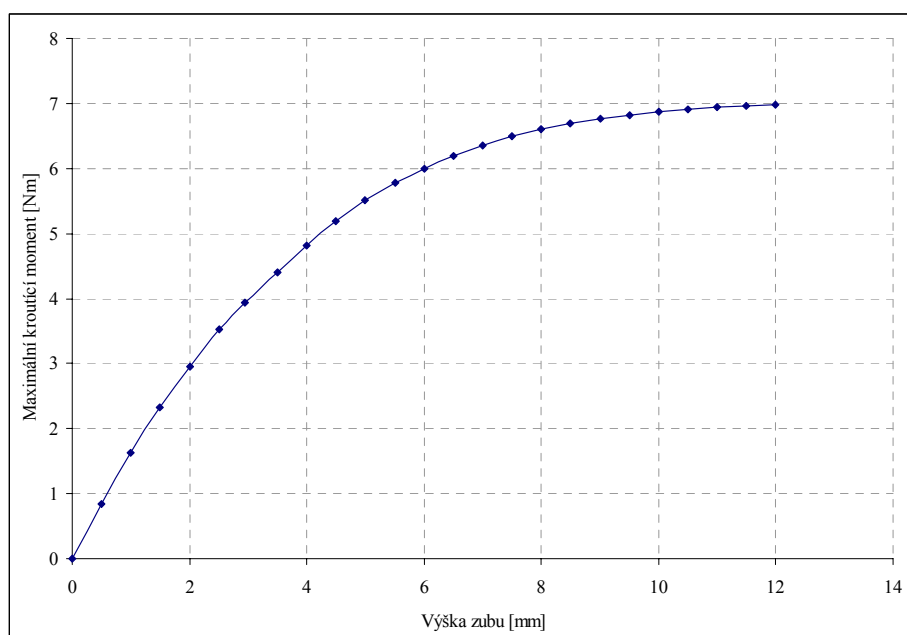
Obr.5. Rozložení magnetických siločar pro spojku s šířkou zubu 3mm

4. Optimalizace výšky zubu vnitřního rotoru spojky

Dalším krokem optimalizace magnetické spojky za účelem zvýšení maximálně přenášeného krouticího momentu byla optimalizace výšky zubu. Tuto optimalizaci jsme prováděli pro různé šířky zubů. Všechny výpočty však byli prováděny pro relativní úhel natočení vnitřního rotoru vůči vnějšímu $\varphi_r = 9^\circ$, což je úhel při kterém spojka vykazuje maximální krouticí moment. Výsledky uvedených analýz jsou znázorněny na následujících grafech (obr.6. a obr.7.).



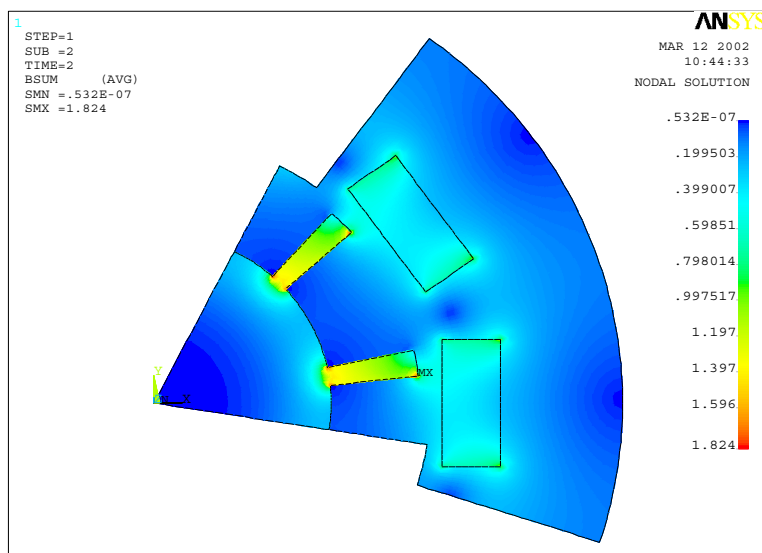
Obr.6. Závislost maximálního momentu na výšce a šířce zubu vnitřního rotoru magnetické spojky



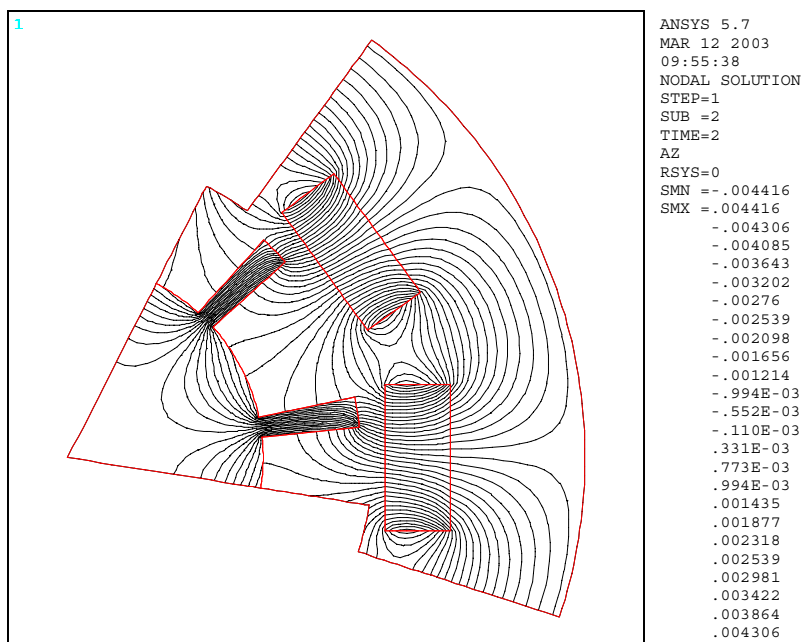
Obr. 7. Závislost maximálního momentu na výšce zubu pro rotor s šířkou zubu 3 mm

Z uvedených výsledků je patrné, že trend zvětšování výšky zubu vede i k zvyšování maximálního momentu přenášeného magnetickou spojkou. Z hlediska maximálního přenášeného momentu je tedy nejvhodnější zub vnitřního rotoru magnetické spojky o **šířce 3 mm a výšce 12 mm** kdy spojka dosahuje momentu **6,89 Nm**. Šířka zubu 3 mm je tedy optimální i v tomto případě optimalizace. Z výsledků je také patrné, že výška zubu 12 mm je z hlediska konstrukčního řešení a uspořádání vnitřního rotoru spojky limitní.

Rozložení magnetické indukce pro tento návrh magnetické spojky a rozložení magnetických siločar je znázorněn na obr.8. a obr.9.



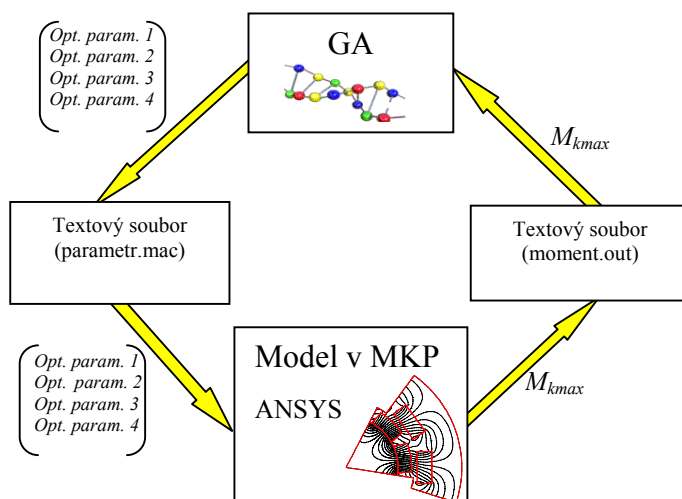
Obr. 8. Rozložení magnetické indukce B [T] pro spojkou s výškou zubu 12 mm a šířkou 3mm



Obr. 9. Rozložení magnetických siločar pro spojkou s výškou zubu 12 mm a šířkou 3mm

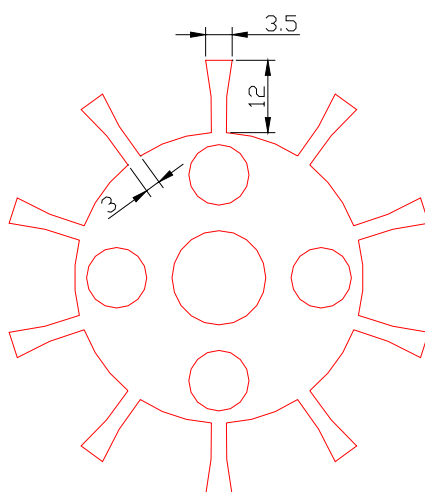
5. Optimalizace tvaru zubu magnetické spojky

Pro optimalizaci celého modelu bylo využito metody genetického algoritmu. Tento algoritmus jsme použili pro jeho universálnost a možnost řešit i matematicky složité problémy bez nutnosti řešení mnohdy špatně podmíněné inverzní úlohy. Na druhou stranu je nutno poznamenat, že použití této metody vede k velkému navýšení výpočetních nároků na řešení tohoto problému. Schéma datového toku při optimalizaci je znázorněno na obr.10.



Obr.10 Schéma datového toku při optimalizaci v prostředí MKP

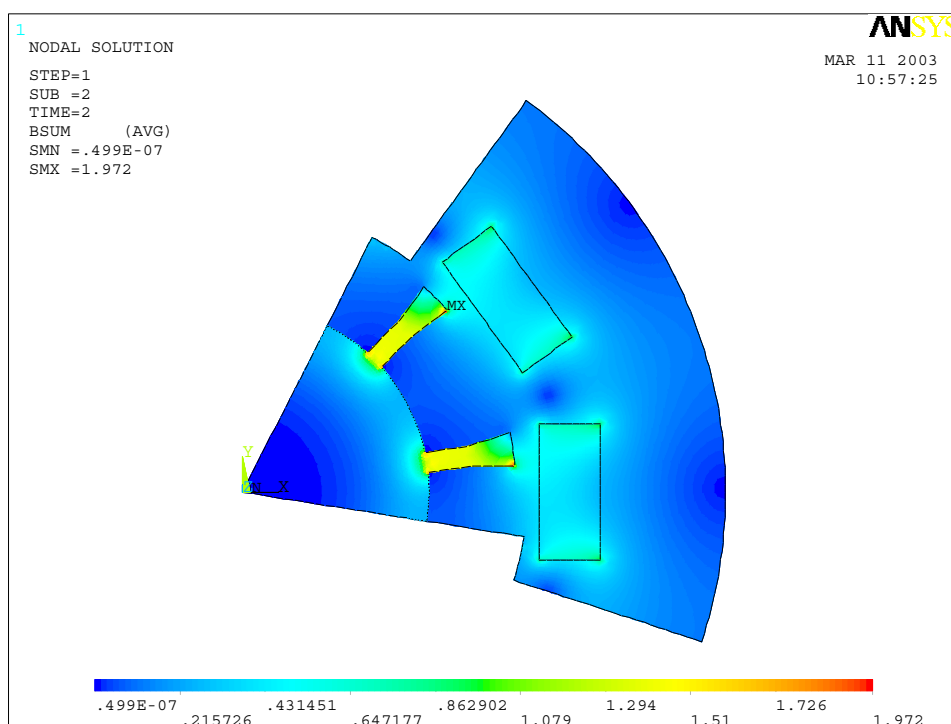
Celý optimalizační proces byl prováděn na pracovní stanici *Compaq Digital*, 2x procesor *Intel Pentium III Xeon 800 Mhz*, paměť 760Mb. Optimalizace trvala přibližně 5 dní kdy proběhlo 900 generací genetického algoritmu. Optimalizovaný tvar vnitřního rotoru spojky po proběhnutí uvedeného počtu generací je znázorněn na obr.11.



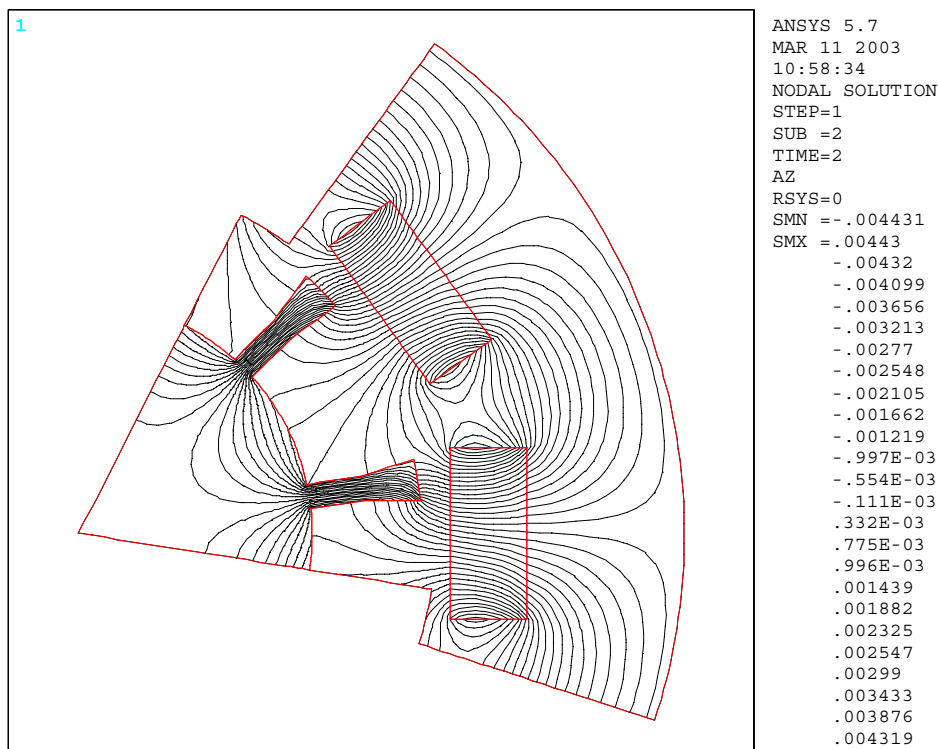
Obr.11 Rozměry optimalizovaného zubu

Takto optimalizovaný rotor dosahuje maximálně přenášeného krouticího momentu 7,033 Nm. Při porovnání tohoto momentu s momentem rotoru uvedený v předcházející kapitole zjistíme, že navýšení krouticího momentu je 2,03%. K výraznějšímu efektu zvýšení maximálního momentu přenášeného magnetickou spojkou by mohlo dojít v případě, že parametrický tvar zubu vnitřního rotoru obsahoval více geometrických bodů, jejichž polohy by se optimalizovali, čímž by se daly vystihnout i jemné změny geometrie zubu. Na druhou stranu je však nutné podotknout, že by to vedlo ke značnému navýšení výpočetního času celého optimalizačního procesu. Proto je zde nutné volit rozumný kompromis mezi složitostí geometrie zubu vnitřního rotoru a únosným výpočetním časem.

Rozložení magnetické indukce a magnetických siločar v magnetické spojce pro optimalizovaný rotor je znázorněno na obr.12 a obr.13.



Obr. 12. Rozložení magnetické indukce B [T] pro optimalizovaný tvar zubu



Obr. 13. Rozložení magnetických siločar v magnetické spojkce

6. Zhodnocení

Publikace pojednává o způsobu optimalizace vlastností vnitřního rotoru magnetické spojky. Je zde rozebrána možnost využití parametrického modelu magnetické spojky v prostředí MKP, který je posléze využit pro uvedenou optimalizaci.

Prvním krokem optimalizace byla optimalizace šířky zubu magnetické spojky. Při této analýze se potvrdila závislost přenášeného kroutícího momentu magnetickou spojkou. Z hlediska maximálního přenášeného kroutícího momentu je nejvhodnější zub šířky 3mm.

Dalším krokem optimalizace byla optimalizace výšky zubu magnetické spojky pro různé šířky zubu. Z této analýzy vyplývá optimální šířka zubu 3 mm a výška 12 mm.

Na základě provedených analýz jsme se rozhodli optimalizovat pomocí metody genetického algoritmu tvar celého zubu magnetické spojky. Z hlediska předpokládané výpočetní náročnosti optimalizačního procesu byly navrženy pouze 3 geometrické body poloviny optimalizovaného zubu jako parametry pro optimalizaci. Provedená optimalizace přinesla další zvýšení kroutícího momentu přibližně o 2%. Přestože toto zvýšení není výrazné nastínila uvedená optimalizace možnost optimalizovat výpočetně komplikované modely v MKP pomocí metod umělé inteligence mezi které patří i zmíněný genetický algoritmus.

4. Literatura

- [1] Krejčí, P.: Analýza vlastností magnetické spojky - vliv teploty na maximální moment, konference „Vybrané problémy elektrických strojů a pohonů, 28. - 29. května 2001, Hustopeče
- [2] Ferreira, C., Vaidya, J.: Torque Analysis of Permanent Magnet Coupling Using 2D and 3D Finite Elements Method, IEEE Trans and Magnetics, Vol. 25, NO. 4, pp. 3080-3082, July 1989
- [3] Krejčí, P., Houfek, L.: Influence of temperature on behaviour of magnetic drive with permanent magnets, Engineering Mechanics 2001, 14-17 May, Svratka 2001, pp. 149-150, ISBN 80-85918-64-1
- [4] Krejčí P., Ondrůšek Č.: Influence of temperature on behaviour of magnetic drive and magnetic drive design optimization, Mechatronics, robotics and biomechanics 2001, Třešť, Czech republic, pp. 163-165., ISBN 80-7204-207-6
- [5] Krejčí P., Ondrůšek Č.: Experimental and computational modeling and optimization of magnetic drive, Czech – Polish Conference on Project MSMT KONTAKT No. ME 431 – „Measurement, Analysis and Experimental Parameter Identification Models of Induction Machines“, pp. 39-44, Czech Republic, November 14-16, 2001, ISBN 80-214-1979-2

Tato práce byla podpořena následujícími projekty: GAČR 102/00/1586, GAČR 101/00/0478 a MZM262100024