

Vliv nesymetrie rotoru na pulsaci radiální síly u elektricky komutovaného motoru

Abstract

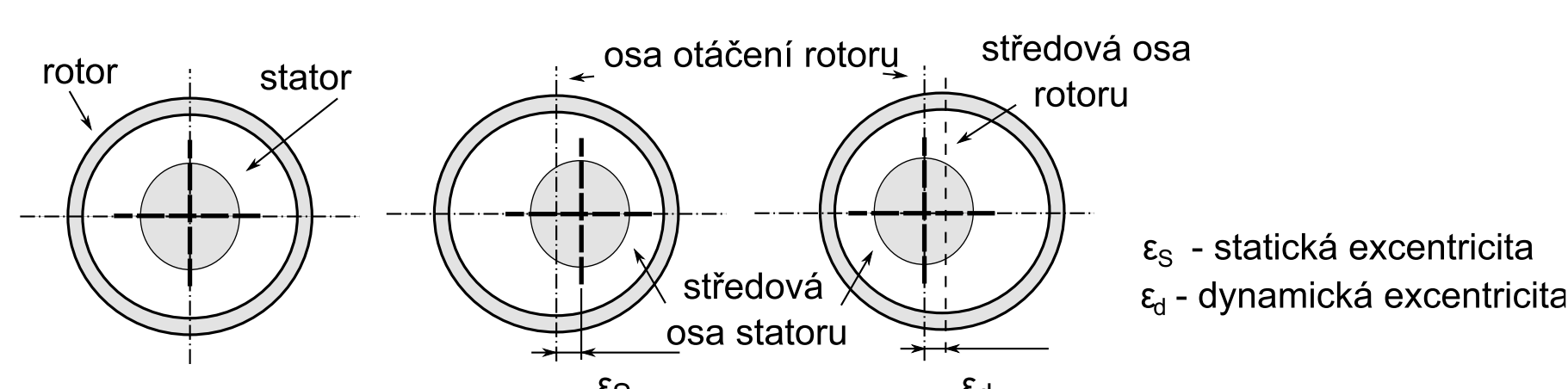
This thesis deals with development of a model of an EC motor with outer rotor and inner segmented stator. It introduces basic attributes of electrically commutated motors, informs about the principle of modeling of magnetic and force effects in motors by means of finite element methods and brings basic knowledge of the effect of rotor asymmetry to pulsation of radial force. The FEMM software set, which is controlled by Lua programming language, is used for development of the model. The thesis thoroughly deals with modeling of the rotor, which reflects the set of actual permanent magnets measured with Hall sensor. In the final part it apprises with the analysis of radial force in EC motor or the UMP. Based on the results the effects of rotor defects on radial force pulsation are evaluated.

Cíle práce

1. Seznámení s problematikou vlivu asymetrií rotoru na pulsaci radiální síly motorů.
2. Sestavit vhodný model a pomocí SW pro výpočet konečných prvků určit průběh radiální síly během otáčky rotoru.
3. Pomocí modelu zjistit vliv nesymetrie vzduchové mezery a vliv nesymetrické polarizace magnetického rotoru.

Vstup do problematiky

U rotačních pohonů jsou nesymetrie způsobující nevyváženost radiálních sil nazývány excentricitou. Při jejím výskytu často dochází k odchýlení středových os rotoru a statoru, přičemž podle způsobu projevu je rozdělena excentricita na dva druhy: statickou a dynamickou. Zatímco dynamická mění během otáčky rotoru ve vzduchové mezeře svoji polohu, statická se nepohybuje. Situace je naznačena na obr. 1.

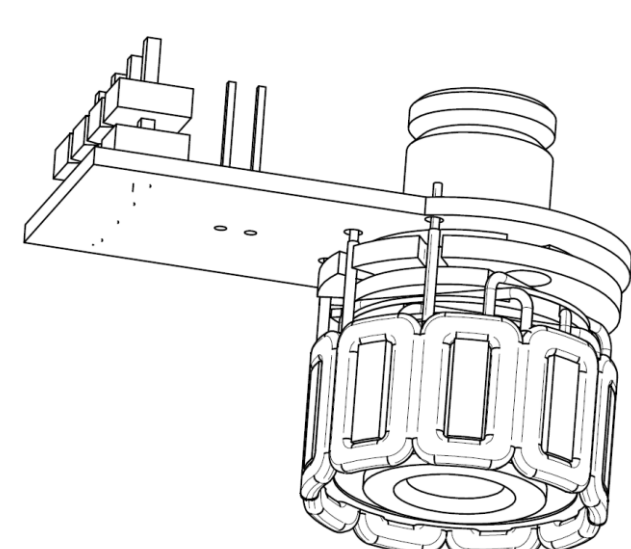


Obr. 1: Rozložení os u motoru při symetrii, statické a dynamické excentricitě

Vlivem nesymetrie v rozložení magnetického pole ve vzduchové mezeře vzniká radiální síla vychylující rotor z centra motoru. Odstrředivá síla bývá nazývána nevyváženým magnetickým tahem, zkráceně UMP (Unbalanced Magnetic Pull). Nepříjemným a zároveň často dobře detekovatelným projevem UMP jsou vibrace pohonu, které mohou vznikat změnou velikosti nebo pohybem radiálních sil.

Model EC motoru

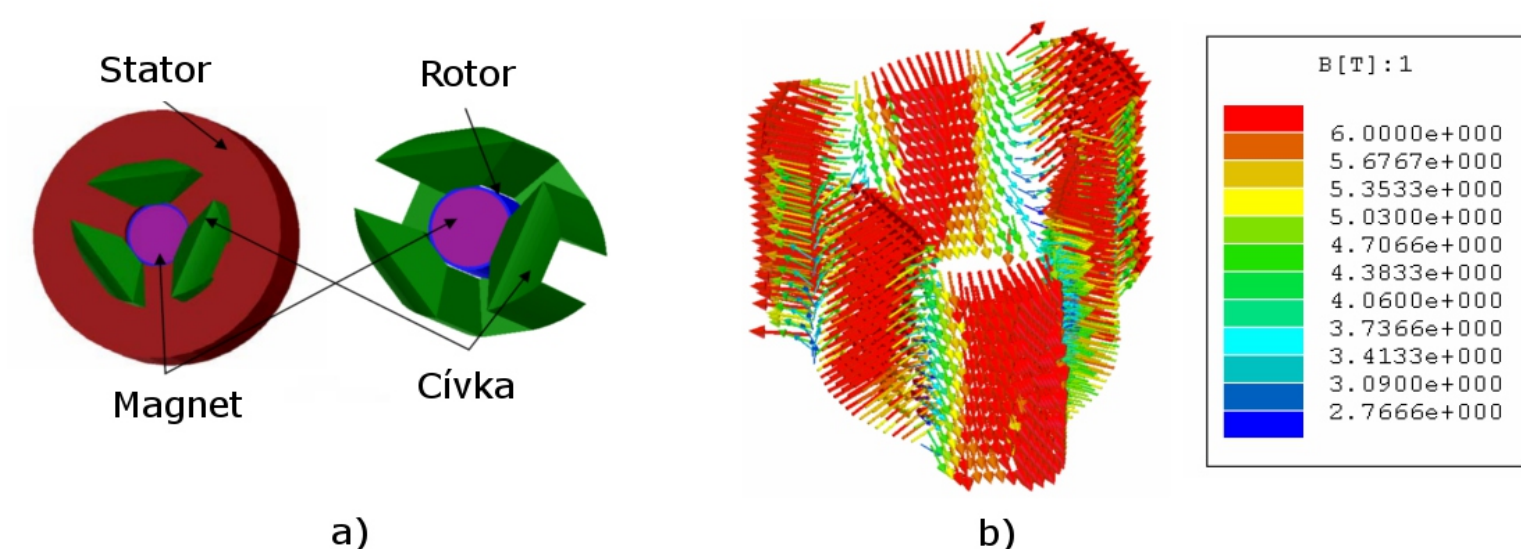
Model vychází z podoby vzoru uvedeném na obr. 2 bez své rotorové části. Geometrické parametry shrnuje tabulka 1. Úloha je nadeřnována v programu FEMM, kde je využíván následující postup řešení: návrh modelu, rozvržení sítě konečných prvků a výpočet žádaných veličin.



Obr. 2: Podoba EC motoru

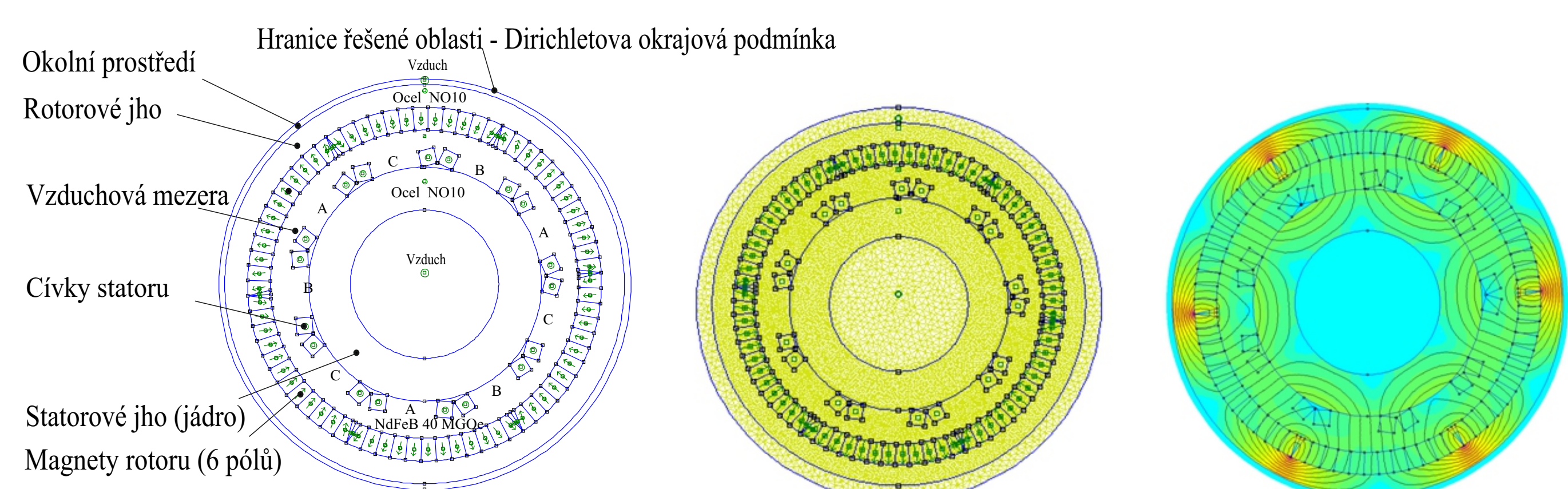
Tabulka 1: Rozměry modelu

šířka rotoru	7 mm
vnitřní poloměr pólů rotoru:	13,5 mm
vnější poloměr pólů rotoru:	15,5 mm
vnitřní poloměr rotorového jha:	15,50 mm
vnější poloměr rotorového jha:	17,50 mm



Obr. 3: Magnetizace rotoru (a) a směry vektoru indukce (b)

Nastavení rotoru vychází ze zkušeností získaných simulováním procesu magnetizace uvedeném na obr. 3, jelikož čistě paralelní a radiální polarizace nedosahovala při verifikaci s reálným rotorem dostačující shody. Výsledná úloha je tvořena geometrií modelu, materiálovými vlastnostmi jednotlivých oblastí a hraničními podmínkami. Podoba je na obr. 4 společně s popisem jednotlivých oblastí celé úlohy.

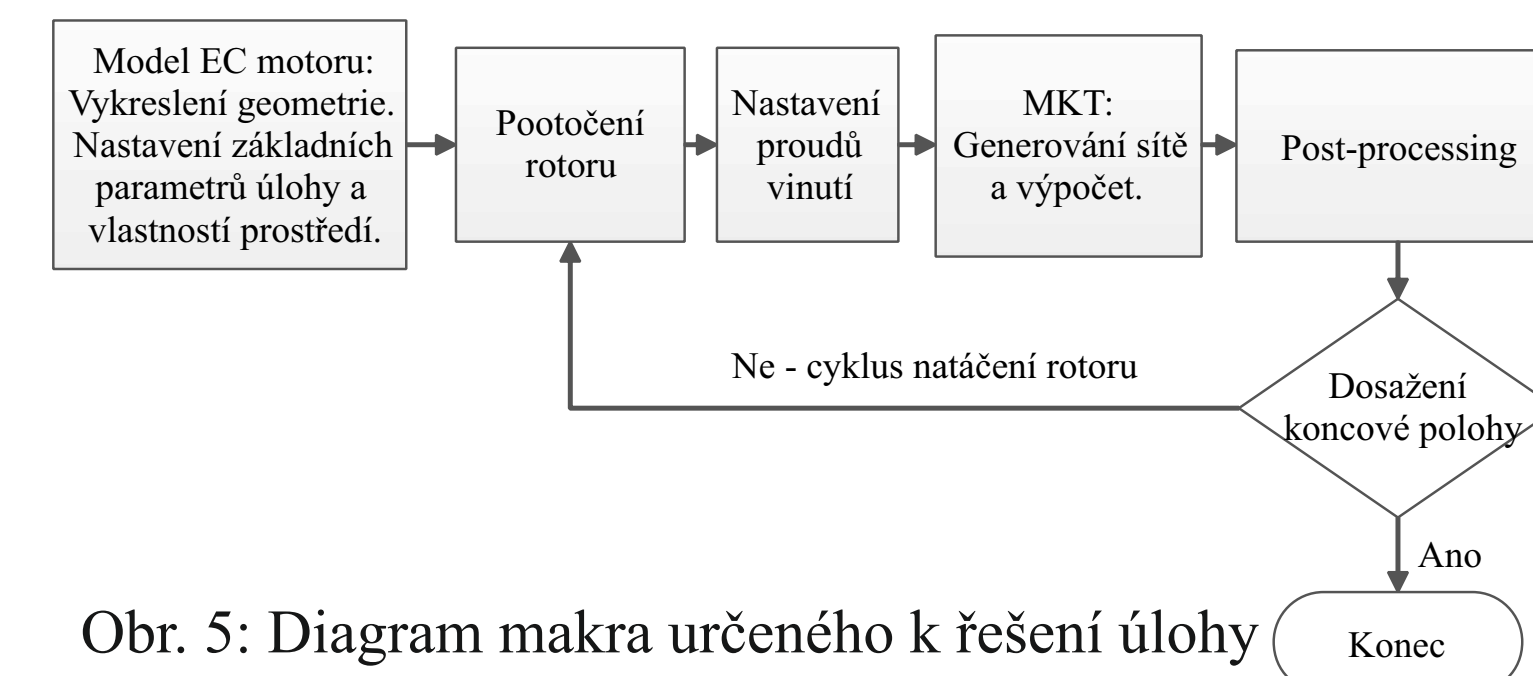


Obr. 4: Model EC motoru, rozdělení úlohy konečnými prvky a zobrazený výsledek rozložení magnetického pole

Simulace EC motoru

Simulace chodu motoru probíhá za statických podmínek po odeznění přechodových dějů. Úloha je nadeřnována ve stavu s počátečním úhlem natočení rotoru, ze kterého se rotor otočí o předem definovaný krok až do vykonání celé otáčky.

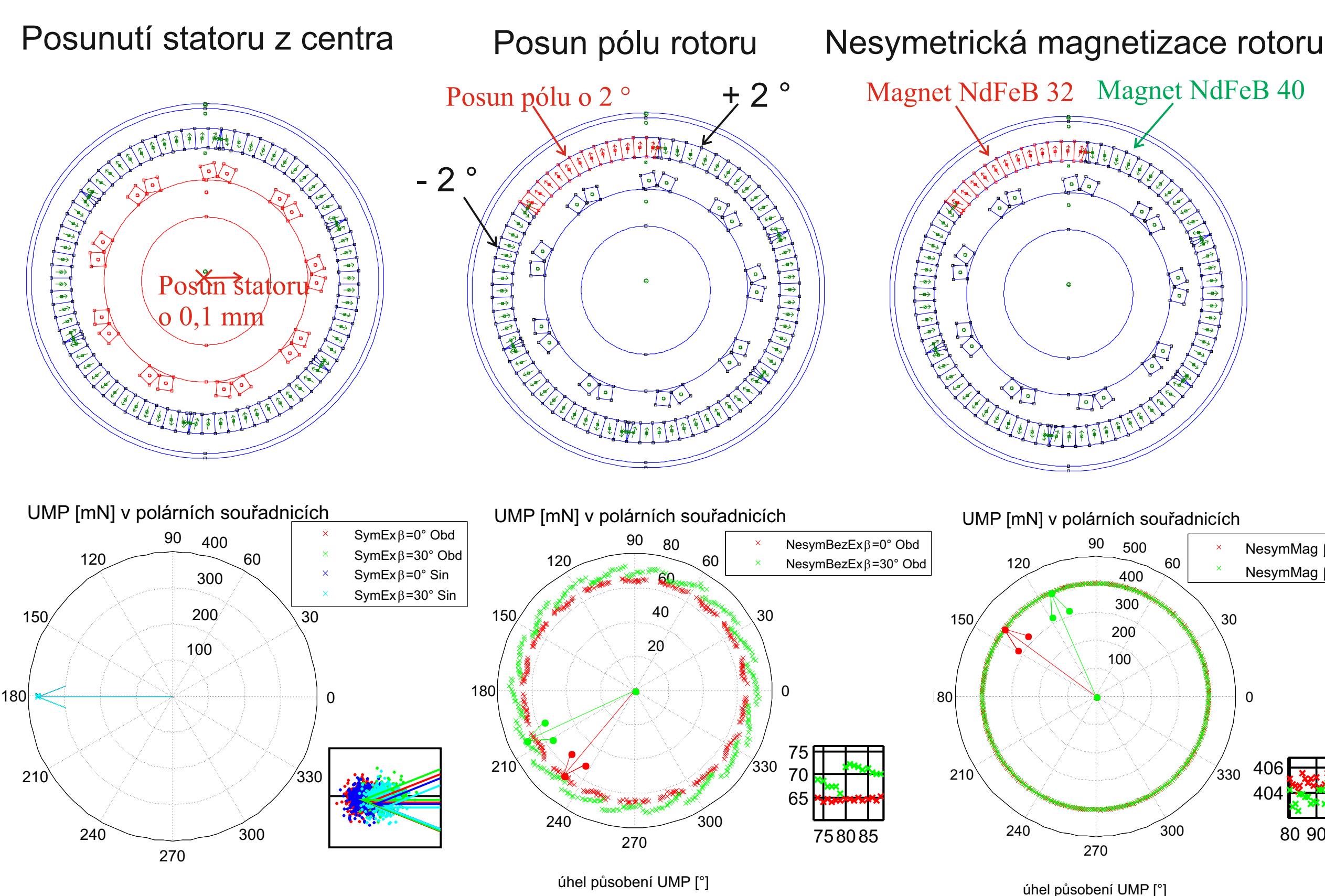
K ovládání programů sady FEMM byl využit skript napsaný v programovacím jazyce Lua, jeho zjednodušený vývojový diagram zachycuje obr. 5. Cyklicky řeší úlohu (preprocessing, processing a post-processing) dokud není dosaženo celé otáčky rotoru.



Obr. 5: Diagram makra určeného k řešení úlohy

Výstupy simulace

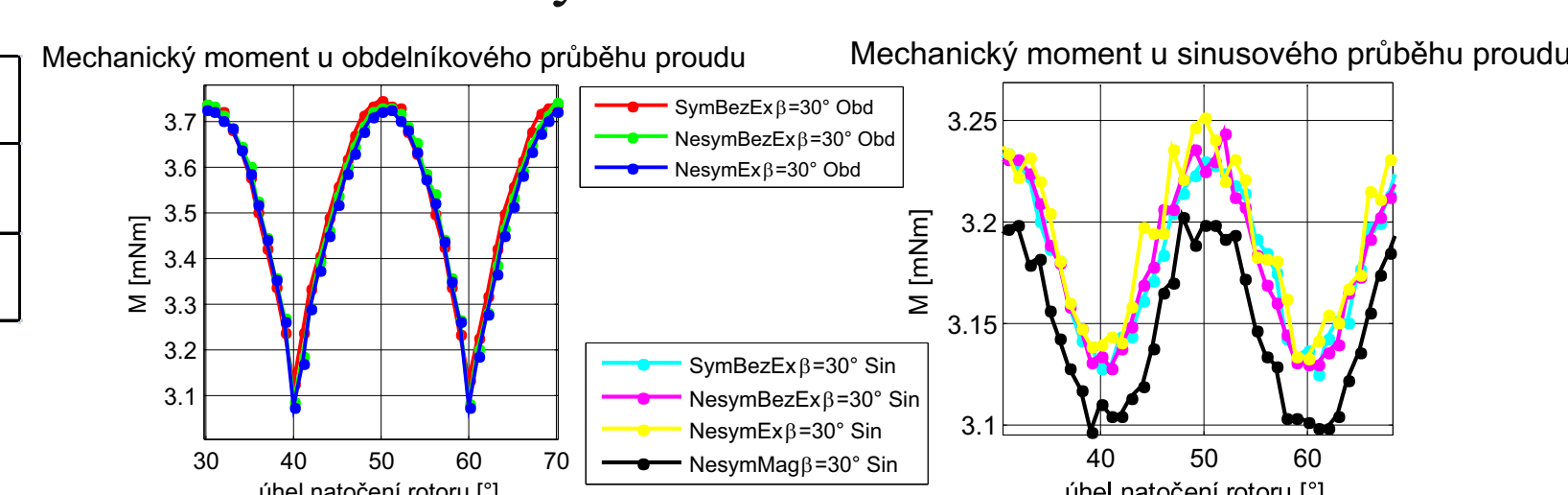
Pro různé varianty nesymetrií v motoru jsou naměřeny průběhy radiálních sil (v ose x a y), jejich vektorový součet v podobě UMP je vyneseno do polárních souřadnic. První vyšetřovaná varianta, posunutí statoru z centra motoru o 0,1 mm, je ukázkou působení statické excentricity. Vektor UMP nemění svůj směr, vliv průběhu fázových proudů má zanedbatelný vliv na jeho velikost. Projev dynamické excentricity nastal při aplikování nesymetrií rotoru v podobě pólového posunutí a nerovnoměrné magnetizace (pól se sníženým magnetickým polem). Průběhy UMP získané při jedné otáčce rotoru jsou uvedeny pod příslušnými podobami modelu. Vynesené vektory zobrazují počáteční směr působení.



Tabulka 2: Střední hodnoty UMP

	SymEx	NesymBezEx	NesymMag
Střední hodnota UMP [mN] (Zatěžný úhel $\beta=0^\circ$)	373,5	64,7	404,65
Střední hodnota UMP [mN] (Zatěžný úhel $\beta=30^\circ$)	372,9	69,73	403,63

Průběhy mechanického momentu



Závěry

- ☑ Navržený model EC motoru je vhodný pro měření radiálních sil.
- ☑ Pro zvolené druhy excentricit byly změřeny průběhy radiálních sil a ve formě UMP graficky znázorněny.
- ☑ Pravděpodobným zdrojem vibrací je pólové posunutí na rotoru.

Reference

- [1] MEEKER, D. Finite Element Method Magnetism, [online]. [cit. 2013-03-31] 2010. Dostupné z: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
- [2] PUC-RIO. Lua: the programming language, [online]. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.lua.org/>
- [3] DORRELL, D. G., POPESCU, M., Unbalanced Magnetic Pull Due to Asymmetry and Low-Level Static Rotor Eccentricity in Fractional-Slot Brushless PM Motors With Surface-Magnet and Consequent-Pole Rotors. IEEE Transactions on magnetism, Vol. 46, No. 7, July 2010.

Kontakt

mail: martin.rolf@tul.cz

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) MTI 78000 Progresivní mechatronické, řídicí a měřicí systémy s aplikací vyspělých simulačních metod na Technické univerzitě v Liberci v roce 2013.