

Oponentský posudek bakalářské práce

1. Souhrnné informace o předložené práci

Autor:	Jan Koníček
Název:	Magnetická zarážka dveří
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Jan Valtera, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce:	prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.
Studijní program:	B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor:	2301R000 – Strojní inženýrství
Škola:	Technická Univerzita v Liberci
Fakulta:	Strojní
Katedra:	Katedra textilních a jednoúčelových strojů
Datum vyhotovení:	8. 1. 2018

Počet stran textu:	56
Počet technických výkresů:	13

2. Popis provedené práce a členění kapitol

Předložená bakalářská práce se zabývá konstrukcí nové magnetické zarážky dveří.

Práce je členěna do 7 kapitol. Ve 2. kapitole dělí dveřní systémy na tlumiče a zarážky. Kapitola začíná patentovou rešerší vybraných tlumičů a zarážek. Dále popisuje magnetický akumulátor, který následně bere autor za inspirativní zdroj pro návrh nové magnetické zarážky.

Ve 3. kapitole pokračuje měřením a dynamickou analýzou konkrétních dveří během otevírání, načež jsou získaná experimentální data použita k definování požadované silové charakteristiky magnetické zarážky, tj. závislosti síly, kterou působí zarážka na dveře, na úhlu pootočení dveří. Požadovaná charakteristika je definována dvěma hodnotami – maximální odporovou silou pro zabrzdění pohybu dveří a minimální přitažlivou silou pro aretaci dveří v otevřeném stavu.

Autor pokračuje ve 4. kapitole modelováním magnetického obvodu ve výpočtovém programu FEMM 4.2, přičemž optimalizuje tvar a rozměry magnetů a pólových nástavců tak, aby dosáhl požadované silové charakteristiky.

Součástí optimalizace je řada citlivostních analýz, popsanych v kapitole 5, prováděných modifikací jediného parametru při konstantních zbývajících parametrech. Citlivostní analýzy slouží ke stanovení strategie racionální změny geometrie permanentních magnetů a pólových nástavců.

Kapitola 6 se týká zhotovení výrobní dokumentace pro výrobu funkčního vzorku navržené magnetické zarážky.

Kontrolní měření vyrobeného funkčního vzorku zarážky a diskuse výsledků jsou popsány v kapitole 7.

Na konci práce jsou ještě jednou přehledně uvedeny závěr, seznam použité literatury a seznam příloh.

3. Posouzení práce

Bakalářská práce začíná patentovou rešerší. Ta slouží k vymezení známého stavu techniky a stavu patentové ochrany v okamžiku zahájení řešení. Jejich znalost je velmi důležitá v případě, že se má navrhnout nové řešení technického problému, které bude průmyslově využitelné, nebude zasahovat do aktuálních autorských práv jiného subjektu, a případně bude na něj uplatnitelná po určitou dobu jako konkurenční výhoda právní ochrana výlučné výroby ve formě uděleného patentu, užitého vzoru, apod. V tomto směru je v bakalářské práci provedená rešerše formální a je spíše jen ukázkou několika málo řešení. Má smysl obsah rešerše výrazně omezit, např. jen na dveřní zarážky využívající permanentní magnety.

Do podkapitoly 2.3 je také zařazen magnetický akumulátor podle Obr. 8. Nepatří do kapitoly 2, protože nemá žádnou spojitost s dveřními zarážkami. Jedná se o mechanismus, u něhož trubka 2 s permanentním magnetem 3 koná periodický vratný pohyb, vymezený stacionárními permanentními magnety 5L a 5R v úvratích pohybu. Magnety 3 a 5L, 5R jsou v repulsivním uspořádání. Použitím magnetů s čely s úkosey dojde při doběhu trubky 2 do blízkosti úvratí pohybu k záměrnému malému poklesu odpudivé síly. V Obr. 9 však odpudivá síla v úvratí pohybu klesne téměř na nulu. Pak se již nedá mluvit o akumulátoru energie, neboť kinetická energie pohybu se v takovémto případě při zastavení pohybu téměř úplně zmaří. Zbytková odpudivá síla pouhých cca 5 N k rozběhu v opačném směru prakticky nepomůže. Průběh této silové charakteristiky ale ukazuje, že je možné navrhnout silovou charakteristiku, která není monotónní. To se stalo motivací k návrhu nové dveřní zarážky s permanentními magnety. ***Cílem konstrukčního návrhu je, aby odpudivá síla magnetické zarážky volně se pohybující dveře zastavila nebo zbrzdila, a při úplném otevření dveří přitažlivá síla dveře zaaretovala.***

V kapitole 3 je popsána dynamická analýza pohybu dveří. Kapitola začíná měřením kinematiky dveří, přičemž byl odhadován úhel otvírání dveří pomocí na podlaze nakreslených 10° výsečí a měřena stopkami doba kontaktu ruky s dveřmi. Bylo předpokládáno, že ruka působí při první fázi otvírání na dveře konstantní silou, a tedy při zanedbání ztrát třením v pantu vyvolá konstantní úhlové zrychlení dveří. Ve druhé fázi otvírání se předpokládalo, že se dveře pohybují volně bez tření, tedy s konstantní úhlovou rychlostí. Ve třetí fázi pohybu dveří již působí magnetická zarážka proti směru pohybu dveří a brzdí je, a případně otevřené zaaretuje.

Použitý postup měření se zdá být nešikovný, neboť k malé přesnosti měření vyžaduje ještě navíc neoprávněný předpoklad konstantní síly (přesněji konstantního momentu síly), kterou působí ruka kolmo na křídlo dveří během otvírání. Vhodnější a přesnější by bylo použít rotační inkrementální snímač na pantu dveří a měřit proti časové základně úhel pootočení dveří, z něhož by derivacemi podle času byly získány úhlová rychlost a úhlové zrychlení, potřebné do pohybové rovnice. Nemusel by se pak činit žádný předpoklad o hnací síle, ani o pasivních odporech. Místo inkrementálního snímače by bylo možné použít jakýkoliv kontaktní nebo bezkontaktní snímač polohy dveří, nebo akcelerometr pro zjišťování zrychlení a zpoždění pohybu dveří, nebo digitální kameru, umístěnou nade dveřmi s následnou obrazovou analýzou. Sílu při otvírání dveří (přesněji hnací moment) by nebylo potřeba vůbec měřit, neboť je svázaná s kinematikou pohybu dveří společnou pohybovou diferenciální rovnicí.

Kromě toho zcela chybí jakékoliv statistické hodnocení experimentu s otvíráním dveří, vypovídající o počtu měření, statistickém zpracování (střední hodnota, směrodatná odchylka, statistické rozložení, extrémní hodnoty), které by dokládalo v práci uvedené výsledky a umožňovalo v budoucnu posoudit navrhovanou magnetickou zarážku v extrémních podmínkách výchozího experimentu.

V kapitole 4 jsou popsány běžné materiály permanentních magnetů spolu s jejich hodnotami maximální hustoty energie $BH(\max)$, a dále vhodné materiály na pólové nástavce. Magnetický obvod zarážky, vytvořený ve výpočtovém programu FEMM 4.2, je vzhledem k rotační symetrii modelován jako 2D úloha. Pro zvolenou geometrii magnetického obvodu a pro předem určené relativní vzdálenosti pevné a pohyblivé části magnetické zarážky byla vždy provedena sada výpočtů výsledné odpudivé, resp. přitažlivé síly, jejichž hodnoty určovaly silovou charakteristiku zarážky tabulkou diskrétních hodnot. Vypočtená silová charakteristika byla použita ke kontrole souhlasu s požadovanou silovou charakteristikou, a finální silová charakteristika k posouzení chování celé dynamické soustavy dveří, modelované v CAD programu PTC Creo Parametric 3.0.

V kapitole 5 autor popisuje optimalizaci geometrie (tvaru a rozměrů) magnetického obvodu pro dosažení požadované silové charakteristiky. Používá tzv. citlivostní analýzu, kdy mění vždy jen jeden z proměnných parametrů a ostatní zůstávají konstantní. Tím je možné získat názor, jaký má ten který parametr kvalitativní a kvantitativní vliv na cílovou funkci - silovou charakteristiku. Výchozím tvarem byly zkosené magnety podle Obr. 8, viz Obr. 21 a), které poskytovaly pouze malou maximální odpudivou sílu pro zabrzdění pohybu dveří a žádnou přitažnou sílu pro aretaci. Další posuzované tvary permanentních magnetů jsou na Obr. 21 b), c) a d), a jejich silové charakteristiky pro výchozí rozměry na Obr. 22.

Z jejich průběhu je zřejmé, že nevýhodou navrhované magnetické zarážky je nemožnost kontrolovat účinně pomocí magnetů celou trajektorii otvírání dveří. Proto by bylo výhodné uspořádat magnety do nějakého kompaktního mechanismu, podobnému např. hydraulickému tlumiči s pružinou, známému pod označením Brano, který by byl namontovaný na dveře a rám dveří a mechanicky by převedl velký rozsah úhlového pohybu dveří na přímočarý pohyb na relativně krátkou vzdálenost.

To souvisí i s další skutečností. Při otvírání dveří s navrhovanou magnetickou zarážkou nebudou klást dveře otvírání prakticky žádný odpor a dojde k neúmyslnému nekontrolovanému působení na dveře nepřiměřeně velkou silou, k udělení příliš velké kinetické energie dveřím, a k rázu dveří do dorazu zarážky. Odtud plyne dotaz v textu výše na naměřené extrémní hodnoty úhlové rychlosti při otvírání dveří v úvodní experimentální práci. Současně z toho vyplývá, že experiment s otvíráním dveří by se měl konat s dveřmi, z nichž byl hydraulický tlumič demontován. Zda tomu tak bylo, však v práci uvedeno není.

V Obr. 26 jsou uvedeny grafy citlivostní analýzy velkého průměru pólového nástavce pohyblivé části zarážky. Podobně na Obr. 27 jsou grafy citlivostní analýzy velkého průměru pólového nástavce statické části zarážky. Na Obr. 29 a 30 jsou citlivostní analýzy výšky vnějšího a vnitřního osazení statické části zarážky. Konečný tvar magnetického obvodu magnetické zarážky (bohužel bez rozměrů a bez vyznačení magnetických polarit) je na Obr. 31, příslušná silová charakteristika na Obr. 32.

Variace tvaru a rozměrů je metodou pokusů a omylů, a jakákoliv racionalizace jejího provádění zefektivní optimalizaci řešení. Uvědomíme-li si, jaký průběh mají indukční čáry magnetického pole dvou permanentních magnetů v přitažlivém, respektive odpudivém uspořádání, bylo by snáze pochopitelné, co se v magnetickém obvodu děje při vzájemném pohybu magnetů a při citlivostní analýze, kdyby byl magnetický obvod posuzován podle průběhu indukčních čar, zobrazených např. na Obr. 19. Pak by se podle indukčních čar dalo určit, která část magnetického obvodu aktuálně přispívá k odpudivé, a která k přitažlivé síle. Rovněž by mohly být vypočteny příslušné integrály a jejich hodnoty zakresleny jako další křivky do silové charakteristiky.

V této souvislosti by bylo pravděpodobně možné bez dalšího výpočtu podat vysvětlení k Obr. 31 výsledné geometrie magnetického obvodu, totiž zda by magnet 2 nemohl být identický s magnetem 3? Použití shodného magnetu 3 pro pohyblivou i stacionární část zarážky by bylo ekonomicky výhodné.

Řešení magnetického obvodu pro zadanou silovou charakteristiku není jednoznačné. Dalším volitelným parametrem je směr magnetizace. Ve složitějších případech magnetizace lze magnety skládat do sestav.

Kapitola 6 se zabývá zhotovením výrobní dokumentace a výrobou funkčního vzorku magnetické zarážky. Magnetický obvod zarážky je doplněn o upínací a seřizovací prvky, a měkký doraz, tvořený pryžovým o-kroužkem podle Obr. 33. Magnety pohyblivé části a stacionární části byly složeny každý ze tří plochých prstencových magnetů, které měl autor k dispozici. Byl také navržen montážní centrovací přípravek a dílce potřebné k upnutí magnetické zarážky na zkušební měřicí stroj.

Funkční vzorek magnetické zarážky byl vyroben a smontován. Jeho fotografie jsou na Obr. 34 a 35.

Ve výkresové dokumentaci chybí výkresy nebo specifikace permanentních magnetů.

Výkresy mají nestandardně zakótovány závitové otvory a nakresleny šrouby v závitových otvorech. Je to jen chyba nastavení použitého CAD programu PTC Creo Parametric 3.0?

V kapitole 7 je popsáno ověřovací měření funkčního vzorku magnetické zarážky na ElectroPuls E3000 firmy Instron. Na Obr. 41 jsou vyneseny průběhy vypočtené a změřené silové charakteristiky. Podle průběhu obou grafů byla naměřena na funkčním vzorku menší absolutní hodnota maximální odpudivé síly zarážky o cca 7 %, a maximální přitažlivá síla vyšší o cca 41 %, než vypočtená. Chyba maximální přitažlivé síly je již velká a souvisí nejspíše s tím, že vzdálenost magnetů byla ve skutečnost menší, než deklarovaná vzdálenost.

Hodnotím-li formální stránku bakalářské práce, pak především ruší nesprávné používání českého jazyka, např. hned již v Úvodu na s. 11 v prvním odstavci ve druhé větě, ve druhém odstavci v první větě, na s. 17 v první větě, nebo např. na s. 34 ve druhém odstavci ve třetí větě, či na s. 40 ve druhém odstavci v první větě, atd.

Druhým negativním faktorem je nedostatek pečlivosti. Např. v podkapitole 2.3. Magnetický akumulátor chybí odkaz na zdroj informace. Obr. 14 toho o modelu dveřního systému příliš nevyovídá. Na Obr. 31, 33 a 39 jsou pro stejné opakující se komponenty použita pokaždé jiná čísla pozic, což ztěžuje orientaci v textu. Nebo na Obr. 40 a 41 je zobrazen pro vzdálenost blížící se dosažení kontaktu pohyblivé a stacionární části magnetické zarážky pokles síly na cca -90 N, jako jistý „datový artefakt“ související zřejmě s ukončením měření – nutno vysvětlit. Na některých výkresech je v názvu dílce vynechána diakritika, na zbývajících ale použita je, atd.

Není dodržována zavedená terminologie. Např. hned na s. 11 je ve druhém odstavci uveden výčet dveřních komponent, jichž se práce týká, pod názvy zavíračů, zarážek a tlumičů dveří. Hned na následující s. 12 se popisují již jen poslední dvě uvedené komponenty, přičemž při následujícím členění byl do podkapitoly 2.1. „...tlumičů“ zařazen odstavec 2.1.1. „...doraz“.

Na přiloženém DVD nejsou data z úvodního, ani ze závěrečného měření. Rovněž zde nejsou uvedena data a grafy ze všech citlivostních analýz. Chybí také zobrazení a podrobný popis dynamického modelu dveřního systému z PTC Creo Parametric 3.0.

4. Hodnocení práce

Bakalářská práce je jako celek napsána poměrně přehledně v chronologickém sledu provádění jednotlivých činností.

Úvodní část, zabývající se patentovou rešerší, a zejména část měření dynamických vlastností dveřního systému, mají nižší úroveň. Nedostatečně přesně změřené chování dynamické soustavy může jakýkoliv projekt návrhu nového řešení postavit na vratké základy.


Práci rovněž snižuje občas se vyskytující nedůslednost v dodržování zavedených pojmů, nepečlivost, nebo chybná gramatika.

Na druhou stranu není pochyb o tom, že autor musel vynaložit nemalé úsilí na zvládnutí té odborné části práce, která se týká modelování magnetických obvodů s permanentními magnety a následné geometrické optimalizace navrhovaného magnetického obvodu. V současné době se k modelování úloh s permanentními magnety používá téměř výhradně metoda konečných prvků. Zadáání okrajových podmínek na rozhraní dvou hmotově různých prostředí je však v případě magnetů velmi málo intuitivní a vyžaduje specifické znalosti, které významně převyšují znalosti studenta z fyziky, nebo ze základního kurzu elektrotechniky ve strojně zaměřeném vysokoškolském studiu. O složitosti problému také napovídá to, že na rozdíl od mechaniky, v níž je izotropní materiál obvykle popsán jen dvěma konstantami, v elektromagnetismu je izotropní materiál zadáván celou hysterezní křivkou. K tomu je nutné připočít, že pro maximální využití materiálů ze vzácných zemin se ve výrobě využívá materiálové a tvarové anizotropie, které je nutné do modelování rovněž zahrnout.

Z tohoto důvodu, a s přihlédnutím k výše uvedeným nedostatkům, hodnotím předloženou bakalářskou práci na téma Magnetická zarážka dveří, autora Jana Koníčka

velmi dobře .

V Jablonci nad Nisou, 25. ledna 2018


Ing. František Founě