

MKP analýza vlastných frekvencií lopatiek plynovej turbíny motora iSTC-21v

Miroslav Spodniak*

Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach

Katedra leteckého inžinierstva

Rampová 7, 041 21 Košice, Slovakia

miroslav.spodniak@tuke.sk

Karol Semrád

Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach

Katedra leteckého inžinierstva

Rampová 7, 041 21 Košice, Slovakia

karol.semrád@tuke.sk

Samer A. S. Al-Rabeei

Technická univerzita v Košiciach

Letecká fakulta

Rampová 7, 041 21, Košice, Slovakia

samer.abdo@tuke.sk

Ing. Nikola Majcherová

Technická univerzita v Košiciach

Letecká fakulta

Rampová 7, 041 21, Košice, Slovakia

Nikola.Majcherova@tuke.sk,

Peter Korba,

Technická univerzita v Košiciach

Letecká fakulta

Rampová 7, 041 21, Košice, Slovakia

peter.korba@tuke.sk

Michal Hovanec

Technická univerzita v Košiciach

Letecká fakulta

Rampová 7, 041 21, Košice, Slovakia

michal.hovanec@tuke.sk

* corresponding author

Abstrakt: Letectvo je odvetvie dopravy, v ktorom je bezpečnosť na prvom mieste, na bezpečnosť lietadiel majú priamy vplyv letecké motory a ich spoľahlivosť. Práca motorov musí byť spoľahlivá za každých podmienok, k tomu je pri vývoji zohľadňovať rôzne špecifiká. V predloženom dokumente je pozornosť venovaná možnostiam získavania vlastných frekvencií lopatiek plynovej turbíny malého prúdového motora iSTC-21v, pomocou CAD programov. Prvá časť práce je venovaná možnosti modelovania exaktnej 3D geometrie v CAD programe na základe reálnej lopatky plynovej turbíny a tvorby výpočtovej siete. Článok svojím obsahom poukazuje na možnosti využitia programov ANSYS APDL a Creo Simulate pri počítaní vlastných frekvencií lopatiek plynovej turbíny motora. V konečnom dôsledku vypočítané hodnoty vlastných frekvencií slúž

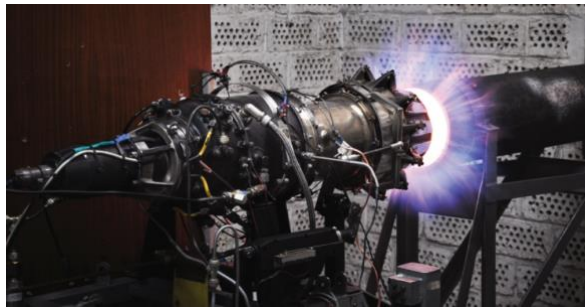
Kľúčové slová: lopatka plynovej turbíny, simulácie, sieťovanie, vlastné frekvencie

1. Úvod

Letecké turbokompresorové motory majú v doprave veľké zastúpenie, ich pomocou sú poháňané veľké dopravné lietadlá, ktoré prepravujú náklad i cestujúcich. Spoľahlivá práca leteckého motora je pre tieto dopravné prostriedky nevyhnutná.

Plynová turbína leteckého motora je tepelný stroj, ktorý premieňa energiu plynov na mechanickú prácu. K premene energie plynov dochádza expanziou plynov na lopatkách turbíny v lopatkovej mreži. Lopatky sú počas prevádzky vystavené vysokým odstredivým silám, aerodynamickým silám od tlaku plynov a v neposlednom rade vysokému teplotnému namáhaniu.

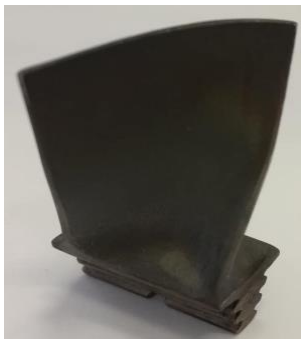
Je zrejmé, že lopatky sú počas prevádzky vystavené vysokým vibráciám a aby nedošlo k rezonančnému kmitaniu lopatiek je potrebné poznať vlastné frekvencie lopatky plynovej turbíny. Na základe znalostí vlastných frekvencií lopatiek je potom možné určiť bezpečné prevádzkové pásmo leteckého motora. Skúmaným objektom je lopatka plynovej turbíny malého prúdového motora s označením iSTC-21v (Obr. 1).



Obr. 1 Malý prúdový motor iSTC-21v

2. Tvorba MKP modelu lopatky plynovej turbíny

Kapitola hovorí o modelovaní geometrie lopatky plynovej turbíny, ktorá vychádza z reálnej lopatky motora iSTC-21v. Geometria bude slúžiť ako základný vstup pri numerických výpočtoch vlastných frekvencií.



Obr. 2 Lopatka plynovej turbíny motora iSTC-21v

2.1 Lopatka plynovej turbíny motora iSTC-21v

Rotor plynovej turbíny motora iSTC-21vsa skladá disk plynovej turbíny, na ktorom je umiestnených 27 lopatiek. V korunovej časti disku sú vyfrézované trojzubové stromčekové drážky pre upevnenie rotorových lopatiek plynovej turbíny. Lopatky plynovej turbíny sú nechladené. K disku sú uchytené pomocou stromčekového závesu, ktorý zachytáva odstredivé sily. Axiálne sily sú zachytené poistkou, ktorá je vložená do tvarovanej drážky na spodnej ploche zámku rotorovej lopatky. Rotorové lopatky sú vyrobené pomocou podtlakového presného odlievania zo žiaruvzdornej oceleovej zliatiny ŽS6K.

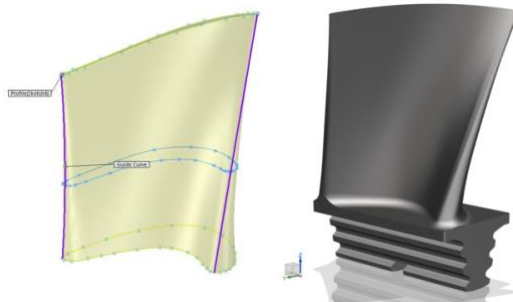
2.2 Tvorba 3D geometrie lopatky plynovej turbíny

Skôr ako začneme vytvárať 3D model lopatky, je potrebné poznať profily listu lopatky minimálne v troch rezoch. Profil lopatky bol narezaný v troch rovinách. Následne boli vytvorené scany profilu, prekonvertované do programu, v ktorom je možné určiť presné súradnice jednotlivých profilov lopatky plynovej turbíny. Súradnice predstavujú aproximáciu reálneho profilu. Jednotlivé rezy lopatky plynovej turbíny motora iSTC-21v sú na obr. 2.



Obr. 3 Rezy lopatky plynovej turbíny motora iSTC-21v

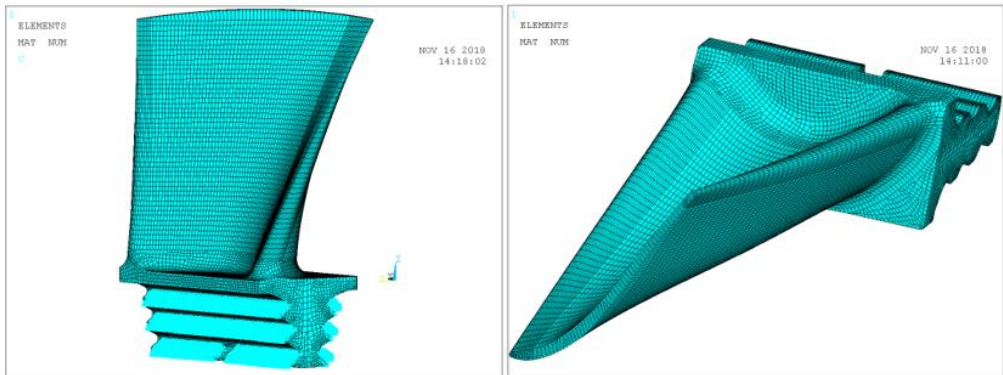
Súradnice získané z reálnych rezov lopatky sú importované do CAD programu Creo, v ktorom sú v troch rovinách vytvorené jednotlivé profily. Importované súradnice sú v každej rovine preložené krivkou, ktorá predstavuje uzavretý profil lopatky v danej rovine. Aby bolo možné vytvoriť list lopatky je nevyhnutné vymodelovať hraničné krivky, ktoré sú zobrazené fialovou farbou (obr. 3).



Obr. 4 Tvorba modelu lopatky motora iSTC-21v

2.3 Tvorba výpočtového modelu

Výpočtová sieť konečných prvkov v programe ANSYS APDL (Obr. 5) je ručne generovaná. Skladá sa z elementov druhého rádu.



Obr. 5 Výpočtový model lopatky motora iSTC-21v

List lopatky a stromčekový záves sa skladá z 69 577 hexa elementov. Elementy siete konečných prvkov sú vytvorené na základe geometrie, ktorá je popísaná v predchádzajúcej kapitole. Po vytvorení siete konečných prvkov je geometria lopatky plynovej turbíny odstránená, pretože vo výpočtoch nebude potrebná.

Spojenie stromčekového závesu a listu lopatky plynovej turbíny je vytvorené pomocou tetra elementov, ktorých je 101 292, ide teda o hybridnú sieť. Prepojenie tetra elementmi je v oblasti zaoblenia v koreni lopatky plynovej turbíny. Celkový počet elementov výpočtového modelu je 170 869. Je zrejme, že hlavný vplyv na počet elementov má generovanie tetra elementov, avšak celkový počet elementov je pomerne nízky. Tetra elementy sú vytvorené mimo oblasti záujmu lopatky, tzn. nebudú mať negatívny vplyv na výsledky. Elementy siete konečných prvkov sú typu SOLID95. Ide o 3D element, ktorý má 20 uzlov.

3. Okrajové podmienky

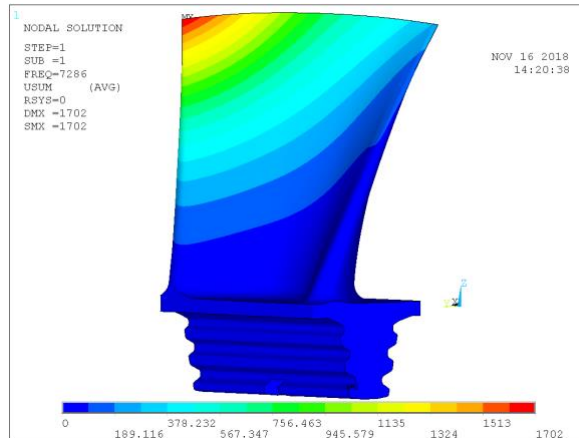
Definovaní okrajových podmienok v programe ANSYS APDL je vytvorený set nodov siete konečných prvkov, keďže geometria sa v modely už nenachádza. Na set je aplikované zaväzbenie posuvu v x, y, z smere. Takými okrajovými podmienkami simulujeme upenenie lopatky v disku plynovej turbíny. Zaväzbenie uzlov siete je na Obr.5 slabou modrou farbou. Po aplikovaní okrajových podmienok sú definované materiálové vlastnosti ako Youngov modul, Poisonova konštanta a hustota material ŽS6K.

Následne je možné definovať modálnu analýzu. Pri definovaní analýzy je navolený počet módov 3. Budú počítané prvé 3 módy kmitania lopatky plynovej turbíny v programoch ANSYS APDL.

4. Výsledky a diskusia

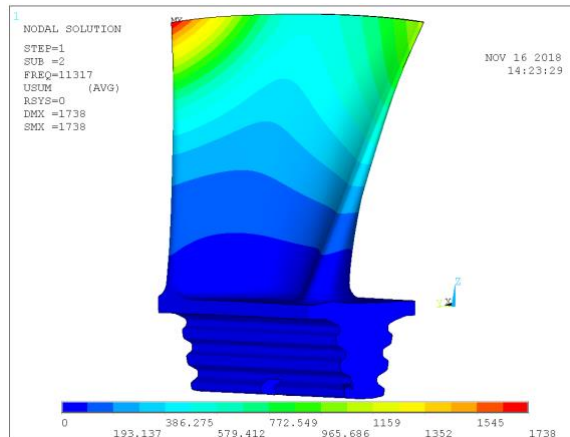
Následujúce obrázku prezentujú vypočítané prvé tri vlastné frekvencie lopatky plynovej turbíny a jej tvary rezonančného kmitania.

Prvá vypočítaná hodnota frekvencie vlastného kmitania lopatky plynovej turbíny má hodnotu 7286 Hz. Tvar kmitania lopatky pri vlastnej frekvencii 7 286 Hz je zrejmy z Obr. 6. Maximálne deformácie pri prvom móde sú koncentrované hlavne v oblasti odtokovej hrany listu lopatky plynovej turbíny malého prúdového motora.



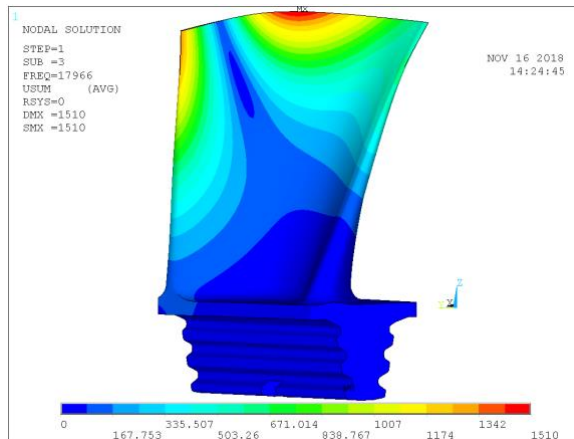
Obr. 5 Prvý mód kmitania lopatky plynovej turbíny v programe ANSYS APDL

Z Obr. 6 je zrejmy druhý tvar vlastného kmitania lopatky plynovej turbíny. Hodnota frekvencie pre druhý mód kmitania má hodnotu 11 317 Hz. Výsledné deformácie majú podobný tvar ako pri prvom tvare kmitania. Pri druhom móde kmitania môžeme pozorovať okrem defirmácií odtokovej hrany aj zvýšené výsledné deformácie v oblasti nábežnej hrany lopatky plynovej turbíny.



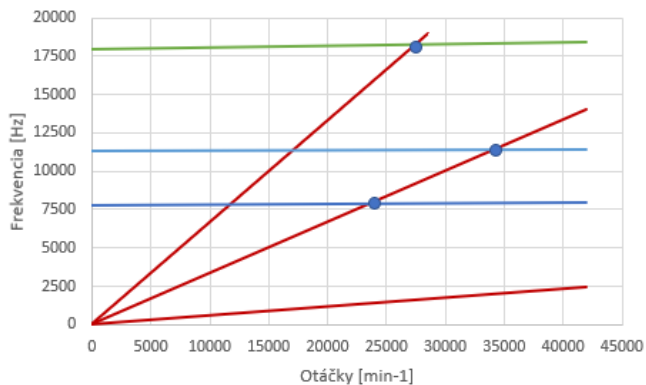
Obr. 6 Druhý vypočítaný mód vlastného kmitania lopatky plynovej turbíny v programe ANSYS APDL

Tretí tvar kmitania lopatky plynovej turbíny motoraiSTC-21v je zrejmy z Obr. 10. Vypočítaný hodnota vlastnej frekvencie pre tretí rezonančný tvar lopatky plynovej turbíny je 17 966 Hz. Z výsledkov je zrejme široké frekvenčné pásmo pre vlastné frekvencie prvých troch módov.



Obr. 6 Tretí skúmaný mód vlastného kmitania lopatky plynovej turbíny v programe ANSYS APDL

Pomocou vypočítaných vlastných frekvencií je možné zostrojiť tzv. Campellov diagram, ktorý dáva do súvislosti vlastné frekvencie lopatiek a ich kmitanie v závislosti na otáčkach rotora prúdového motora. Otáčky, pri ktorých dochádza k samobudenému kmitaniu sa nazývajú rezonančné otáčky. Zjednodušený Campellov diagram pre motor iSTC-21v je na Obr. 7, kde sú znázornené prvé tri tvary vlastných frekvencií kmitania lopatky pre tri budiace frekvencie.



Obr. 7 Campellov diagram pre lopatky turbíny motora iSTC-21v

Hoci sa krivky vlastných frekvencií na prvý pohľad javia ako priamky rovnobežné s osou x pri zvyšovaní otáčok stúpajú aj vlastné frekvencie.

5. Záver

Predložený článok sumarizuje výsledky vykonaných FEM analýz modálnych vlastností lopatky plynovej turbíny malého prúdového motora iSTC-21v. Hlavným cieľom bolo určenie vlastných frekvencií pre prvé tri tvary kmitania, na základe ktorých je možné určovať nebezpečné pásmo práce lopatiek plynovej turbíny. Geometria výpočtového modelu je vytvorená na základe reálne získaných rezov lopatky plynovej turbíny malého prúdového motora. Metodiku modelovania podrobne popisuje prvá kapitola. Po aplikovaní okrajových podmienok sú vykonané modálne analýzy. Výsledkom sú vlastné frekvencie lopatky. Prvý tvar vlastného kmitania vypočítaného v programe ANSYS

APDL má frekvenciu 7 286 Hz. Druhý tvar kmitania má vlastnú frekvenciu 11 317 Hz. Výsledky pre tretí tvar prezentuje vypočítaná hodnota vlastnej frekvencie 17 966 Hz.

Zoznam bibliografických odkazov

- M. Spodniak, M. Klimko, M. Hocko, P. Žitek, "Low Cycle fatigue numerical estimation of a high pressure turbine disc for the AL-31F jet engine", *EPJ Web Conf.*, vol. 143, pp. 5, 2017.
- K. Semrád, M. Spodniak, M. Šmelko, J. Čerňan, "CAE analysis of contacts of first Slovak satellite skCUBE", *Acta Avionica*, vol. 2, pp. 22-28, 2017, ISSN 1335-9479.
- R. Andoga, L. Fözö, J. Judičák, "Intelligent Situational Control of Small Turbojet Engines", *International Journal of Aerospace Engineering*, vol. 2018, pp. 16, 2018, [online] Available: <https://doi.org/10.1155/2018/8328792>.
- L. Fözö, "Description of an intelligent small turbocompressor engine with variable exhaust nozzle" in SAMI 2015.- Danvers, IEEE, pp. 157-160, ISBN 978-1-4799-8220-2.
- J. Čerňan, M. Hocko, M. Cutová, K. Semrád, "Analysis of Damaged Turbine Blades of the Engine MPM 20", *Acta Metallurgica Slovaca*, vol. 22, pp. 8, 2016.
- M. Cuttová, J. Čerňan, K. Ratkovská, "Increasing the Operational Life of MPM-20 Jet Engine Using Unconventional Technologies", *13th conference on Power System Engineering*, vol. 2014, pp. 10.
- S. Moaveni, Finite Element Analysis, United States of America, pp. 849, 2008, ISBN 13: 978-0-13-241651-1.