

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Strojnícka fakulta

Ústav aplikovanej mechaniky a mechatroniky

## **Simulácia hviezdicového motora v prostredí MSC ADAMS**

Práca Študentskej vedeckej konferencie Sjf v sekcii:

Aplikovaná mechanika

Autor práce:

Michal Ando, 1. ročník inžinierskeho štúdia

Študijný odbor: 5.1.7 Aplikovaná mechanika

Študijný program: Aplikovaná mechanika

Školiteľ práce ŠVK:

Ing. Vendelín Hók, PhD., Ústav aplikovanej mechaniky a mechatroniky

Bratislava, 16. apríla 2013

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Prehľad problematiky .....</b>	<b>4</b>
1.1 Historický úvod.....	4
1.2 Druhy hviezdicových motorov .....	5
1.3 Hviezdicový motor s nekonvenčným vačkovým mechanizmom .....	5
<b>2 Vlastné riešenie .....</b>	<b>7</b>
2.1 Modelovanie a simulácia hlavnej sústavy.....	7
2.2 Modelovanie a simulácia vedľajšej sústavy.....	8
2.3 Spojenie sústav .....	9
2.4 Vytvorenie vačkového krúžku .....	10
2.5 Vytvorenie kontaktu a pružiny .....	11
2.6 Optimalizácia tuhosti pružiny .....	11
<b>Záver .....</b>	<b>12</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>13</b>

## Úvod

Hviezdicové motory zohrali významnú úlohu v leteckom priemysle, najmä v bojových lietadlách druhej svetovej vojny. Síce ich doba už skončila, mechanika skrývajúca sa pod krytovaním je zaujímavá aj v dnešnej dobe.

Táto mechanika zaujala aj nás, a preto sme si zvolili hviezdicový motor ako predmet našej práce. Najmä nekonvenčné prevedenie vačkového mechanizmu ponúka priestor na využitie nástrojov MSC Adams.

Ďalším dôvodom pre voľbu takéhoto mechanizmu bol fakt, že problematika je dobre spracovaná a stále existuje veľa nadšencov, od ktorých sme čerpali cenné informácie, najmä technickú dokumentáciu.

Programové balíky ako Catia V5 a MSC Adams veľmi napomáhajú moderným inžinierom v modelovaní a simulovaní mechanizmov bez vykonávania finančne a časovo náročných experimentov.

Tieto programy využijeme v praktickej časti našej práce. Podľa technickej dokumentácie vytvoríme v prostredí Catia V5 virtuálny model hviezdicového motora. Model importujeme do prostredia MSC Adams a budeme simulovať pracovný cyklus.

Zameriame sa na vytvorenie profilu vačky podľa známeho priebehu zdvihu ventilov a určenie optimálnej tuhosti pružiny pritláčajúcej vačku ku kontaktnému členu tak, aby nenastal odskok.

# 1 Prehľad problematiky

Táto kapitola nás oboznámi s historickými a teoretickými poznatkami danej problematiky.

## 1.1 Historický úvod

V roku 1901 bol po prvýkrát hviezdicový motor použitý Charlesom Manlym v lietadle Dr. Samuela Langleyho. Let sa mal uskutočniť na rieke Potomac v Spojených Štátoch Amerických, ale nestalo sa tak. Lietadlo nezvládlo štart z rieky, ale motor pracoval bezchybne. Tento moment sa pokladá za zrod high power - low weight leteckých motorov [1].

Počas prvej svetovej vojny **rotačné hviezdicové motory** od spoločností LeRhone, Gnome a Bentley poskytli potrebný výkon pre pohon lietadiel. Gyroskopický efekt obmedzoval manévrovateľnosť lietadiel a preto po krátkom úspechu v prvej svetovej vojne rotačné hviezdicové motory zanikli [1].

Od roku 1920 pokračoval vývoj hviezdicových motoroch v dvoch odlišných smeroch.

Jedným boli **motory s nekonvenčným vačkovým mechanizmom**. Tento prístup priniesli Sir Roy Fedden a L.F Butler zo spoločnosti Bristol Engine Works v Anglicku. Ich motory poháňali Anglické lietadlá v druhej svetovej vojne, ale vysoké výrobné náklady a spotreba oleja prevážili ich výhody [1].

Druhým prístupom boli **motory s konvenčným vačkovým mechanizmom**. Jeho vývojom sa zaoberali Páni Rentschler, Willgoos a Mead v novovznikajúcej spoločnosti Pratt & Whitney v Amerike. Výkon týchto motorov zvyšovali turbodúchadlá a boli použité vo väčšine Amerických lietadiel druhej svetovej vojny [1].

Neskôr si obidve spoločnosti uvedomili, že výkon takýchto motorov možno zvýšiť pridaním ďalších radov usporiadaní piestov. Najznámejším sa stal model R-4360 od spoločnosti Pratt & Whitney, ktorý mal 28 valcov usporiadaných v štyroch radoch [1].

Časom výkon hviezdicových motorov nespĺňal nároky moderných lietadiel. Táto skutočnosť otvorila dvere tryskovým motorom.

## 1.2 Druhy hviezdicových motorov

V predchádzajúcej podkapitole sme uviedli základné druhy hviezdicových motorov a ich historické uplatnenie. V tejto podkapitole sa budeme zaoberať ich odlišnosťami, pričom špeciálnu pozornosť budeme venovať anglickej verzii motora s nekonvenčným vačkovým mechanizmom. Tejto konfigurácii venujeme samotnú podkapitulu, pretože je predmetom praktickej časti našej práce.

- **Rotačný hviezdicový motor**

Charakteristickým pre tento druh motora je, že hriadeľ motora je pripevnený k trupu lietadla a rotačný pohyb koná rad piestov spojených s vrtuľou [2].

Tento princíp bol zvolený z dôvodu chladenia. Rotujúce piesty sa chladia rýchlejšie ako fixné. Príchod vysokopevných materiálov takýto princíp eliminoval a spolu s ním aj celý koncept rotačných hviezdicových motorov [2].

- **Hviezdicový motor s konvenčným vačkovým mechanizmom**

Tieto motory pracujú rovnako ako motory s nekonvenčným vačkovým mechanizmom. Rozdiel je len vo vačkovom mechanizme.

## 1.3 Hviezdicový motor s nekonvenčným vačkovým mechanizmom

Táto podkapitola nás oboznámi s tým ako pracuje hviezdicový motor a tiež sa dozvieme o netradičnom vačkovom mechanizme.

Budeme sa zaoberať štvortaktným benzínovým hviezdicovým motorom s piatimi valcami.

- **Princíp fungovania**

Hviezdicový motor má takzvanú hlavnú ojnicu, ktorá je spojená rotačne s vedľajšími ojnicami. Každá ojnica je spojená s piestom, ale iba hlavná ojnica je spojená s hnacím hriadeľom [3].

Uhol medzi valcami je 72 stupňov.

Na obrázku 1 vidieť hlavnú ojniciu ktorá je spojená s najvyšším piestom. Bledomodrou farbou je zvýraznené nasávanie, modrou kompresia, oranžovou expanzia a šedou výfuk [3].

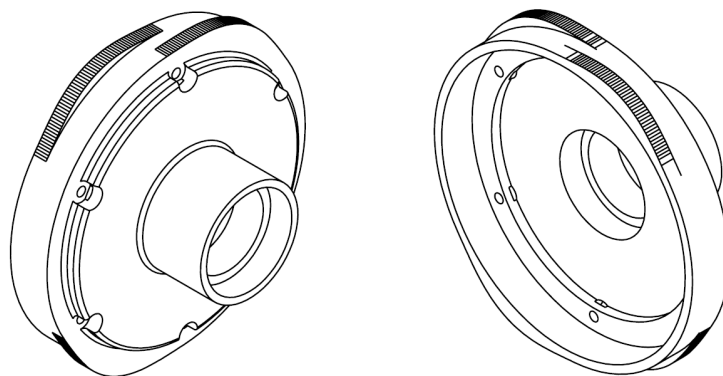


*Obr. 1 Hviezdicový motor*

Pre štvortaktné benzínové hviezdicové motory je typické nepárne poradie zapalovania sviečok, teda: 1-3-5-4-2 a znova 1. Takéto poradie vytvára voľný piest medzi piestom v expanzii a piestom v kompresii. Piest v expanzii priamo pomáha nasledujúcemu piestu (v poradí zapalovania sviečok) v kompresii, čo robí pohyb viac plynulý [2].

- **Vačkový mechanizmus**

Vačkový mechanizmus pri hviezdicových motoroch s nekonvenčným vačkovým mechanizmom je realizovaný pomocou vačkového krúžku (obr. 2), ktorý je prevodom spojený s hnacím hriadeľom, tak že krúžok sa otáča proti pohybu a 1/4 rýchlosti hnacieho hriadeľa. Výstupky na vačkovom krúžku zabezpečujú priebeh požadovaného zdvihu ventilov pomocou sústavy tiahel.



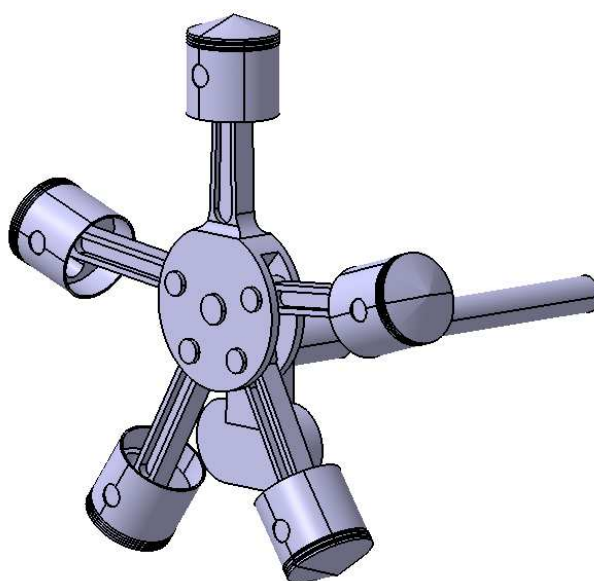
*Obr. 2 Vačkový krúžok*

## **2 Vlastné riešenie**

Získané teoretické znalosti aplikujeme na vlastné riešenie ktoré môžeme rozdeliť do viacerých etáp.

### **2.1 Modelovanie a simulácia hlavnej sústavy**

Východiskom bola technická dokumentácia uvedená v prílohe. V prostredí Catia V5 sme pomocou modulov Part Design a Part Assembly namodelovali hlavnú sústavu, ktorá je zobrazená na obrázku 3.



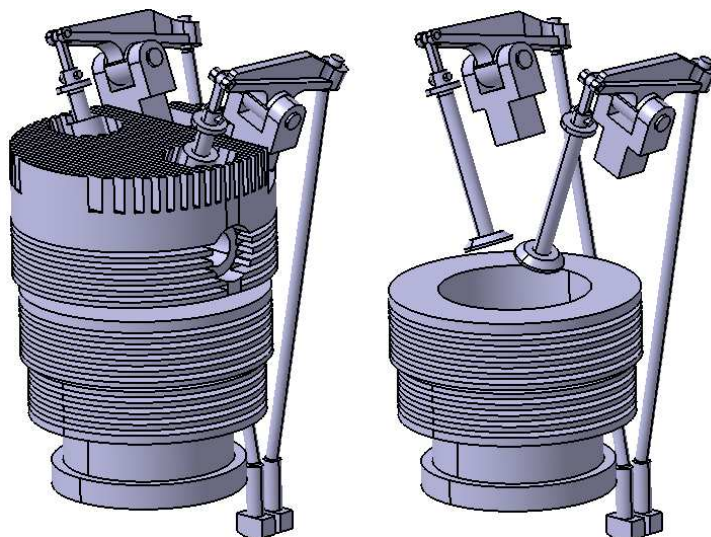
*Obr. 3 Hlavná sústava*

Takto pripravený CAD model sme importovali do prostredia MSC Adams. Jednotlivým prvkom sústavy sme priradili druh materiálu a program dopočítal hmotnosti a momenty zotrvačnosti.

Prvky sme pospájali príslušnými väzbami, predpísali rotačný pohyb hnaciemu hriadeľu a vykonali simuláciu, ktorá prebehla úspešne.

## 2.2 Modelovanie a simulácia vedľajšej sústavy

Podobne ako pri hlavnej sústave sme namodelovali vedľajšiu sústavu, ako vidieť na obrázku 4.



Obr. 4 Vedľajšia sústava

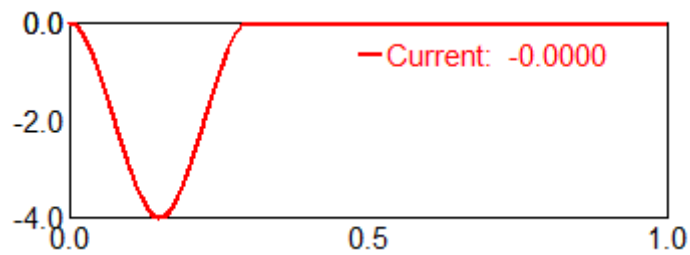
Sústavu tvorí puzdro piesta, hlava piesta s otvormi na nasávanie a výfuk a mechanizmus zdvihu ventilov uskutočnený pomocou vahadiel a tiahel.

Model sme importovali do prostredia MSC Adams a vykonali rovnaké kroky ako pri hlavnej sústave. Saciemu ventilu sme predpísali požadovaný priebeh zdvihu pomocou funkcie step so syntaxou:

```
-(STEP(time, 0, 0, 0.15, 4)+STEP(time, 0.15, 0, 0.3, -4)+STEP(time, 0.3, 0, 1, 0)+STEP(time, 1, 0, 1.15, 4)+STEP(time, 1.15, 0, 1.3, -4)+STEP(time, 1.3, 0, 2, 0))
```



Graf takéhoto priebehu je zobrazený na obrázku 5:

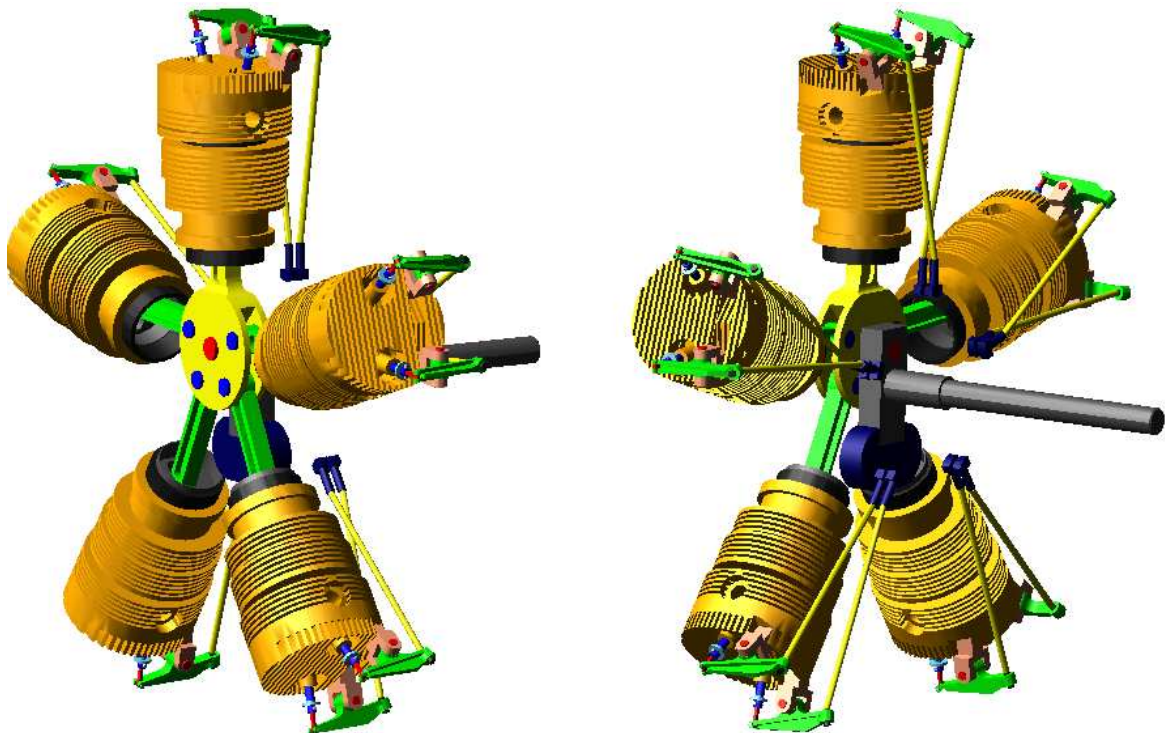


*Obr. 5 Priebeh zdvihu sacieho ventilu*

Vykonalí sme overovaciu simuláciu ktorá prebehla úspešne.

### 2.3 Spojenie sústav

Pomocou príkazu Merge Two Models sme spojili vedľajšiu sústavu s hlavnou sústavou. Tento proces sme zopakovali štyrikrát vždy pod uhlom 72 stupňov a dosiahli sme podobu výsledného modelu (obr. 6):



*Obr. 6 Výsledná sústava*

## 2.4 Vytvorenie vačkového krúžku

Vytvorili sme kružnicu patriacu rámu. Polomer kružnice sme zvolili taký, aby sa kružnica dotýkala sacieho kontaktného člena vonkajšej sústavy.

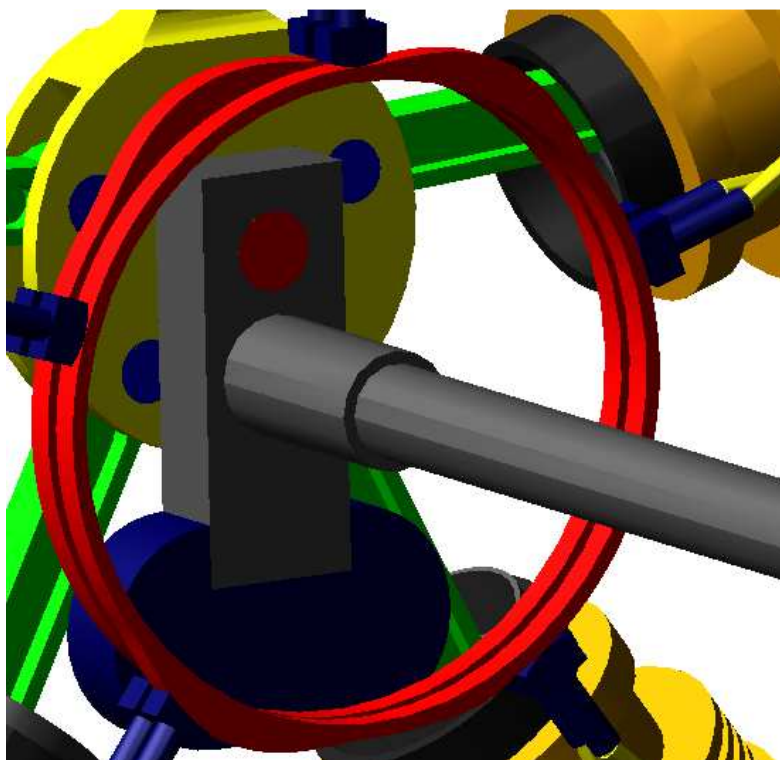
Následne sme vytvorili kružnicu patriacu saciemu kontaktnému členu s polomerom takým, aby sa dotýkala kružnice patriacej rámu.

Kružnici patriacej rámu sme predpísali rotačný pohyb s rýchlosťou 1/4 rýchlosti hnacieho hriadeľa a opačne orientovaný.

Vykonalí sme simuláciu a pomocou príkazu Create Trace Spline medzi oboma kružnicami sme získali požadovaný tvar. Pomocou príkazu Extrude sme profil vytiahli do priestoru a získali sací vačkový krúžok.

Takéto teleso sme skopírovali, posunuli na pozíciu výfukového kontaktného člena a pootočili o uhol zodpovedajúci polohe výfukového krúžku.

Týmto sme získali sací a výfukový krúžok a pomocou boolean operácie Merge Two Bodies sme dostali jeden člen, ktorý je zobrazený na obrázku 7:



*Obr. 7 Vačkový krúžok*

## 2.5 Vytvorenie kontaktu a pružiny

Po vygenerovaní vačkového krúžku sme vytvorili pružiny medzi telesami hlava piestu a ventil na všetkých ventiloch s tuhosťou  $5 \text{ N/m}$ , tlmením  $0.02 \text{ N.s/m}$  a predpätím  $4 \text{ N}$ . Medzi plochami kontaktných členov a vačkovým krúžkom sme vytvorili kontakt Solid to Solid so suchým trením

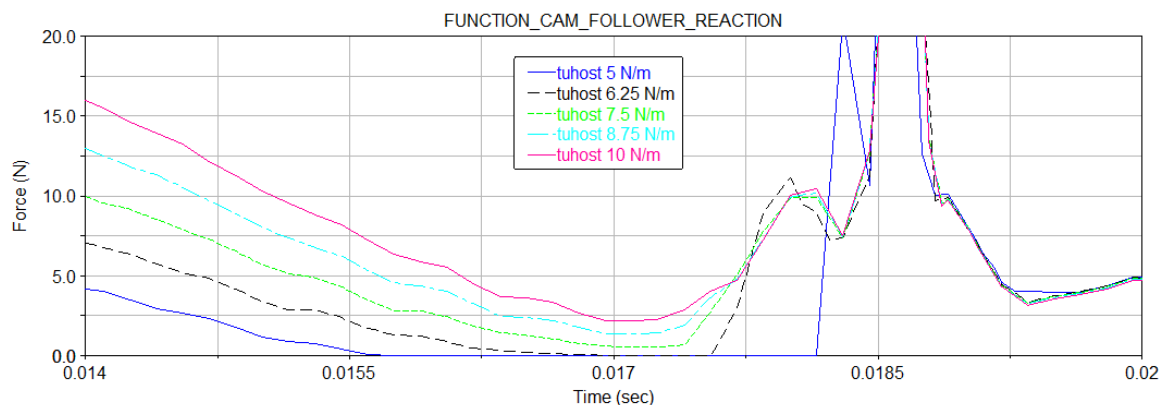
## 2.6 Optimalizácia tuhosti pružiny

Pracovné otáčky benzínového hviezdicového motora s piatimi valcami sú podľa literatúry  $950 \text{ ot/min}$ . Potom pracovné otáčky vačkového krúžku budú  $1/4$  z pracovných otáčok motora.

Takúto rýchlosť sme predpísali vačkovému krúžku a vykonali dynamickú simuláciu. Zistili sme, že odskok kontaktného člena je zreteľný.

Vytvorili sme merač kontaktnej sily medzi vačkovým krúžkom a kontaktným členom, takisto sme vytvorili Design Variable pre tuhosť pružiny s rozsahom  $5 - 10 \text{ N/m}$  a so štandardnou hodnotou  $5 \text{ N/m}$ .

Kontaktný člen nebude odskakovať od vačkového krúžku v prípade, ak kontaktná sila bude nenulová. Pomocou metódy Design Study sme dospeli k výsledkom zobrazeným na grafe 1:



Graf 1: Závislosť kontaktnej sily na čase pri rastúcej tuhosti pružiny

Z grafu je zrejmé, pri tuhosti  $7.5 \text{ N/m}$  a viac nedochádza k odskoku kontaktného člena od vačkového krúžku.

## Záver

Prostredie Catia V5 nám poskytlo priestor na vytvorenie modelov identických s technickou dokumentáciou.

Tieto modely sme importovali do prostredia MSC Adams, v ktorom sme využili nástroje na simuláciu a optimalizáciu, pričom treba vyzdvihnúť bezproblémovú spoluprácu oboch prostredí.

Metódou Design Study bola stanovená optimálna hodnota tuhosti pružiny na 7.5 N/m.

Pokračovaním v práci na tomto modeli by mohlo byť vytvorenie prevodu medzi hnacím hriadeľom a vačkovým krúžkom, ktorý by zabezpečoval potrebné kinematické vlastnosti.

Motor sa pri simulácii nepohyboval, čo nezodpovedá skutočným prevádzkovým podmienkam. V prevádzke na motor pôsobia nezanedbateľné zotrvačné sily, ktoré môžu spôsobiť odskok kontaktného člena od vačkového krúžku.

Tento vplyv by mohol byť ďalším predmetom pokračovania v tejto práci.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] A Brief History of Radial Engines *Agelessengines.com*. [online]. 2010 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.agelessengines.com/history.htm>
- [2] Radial Engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Radial\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/Radial_engine)
- [3] Radial Engine. *HowStuffWorks.com* [online]. 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/radial-%20en>