



Středoškolská technika 2011

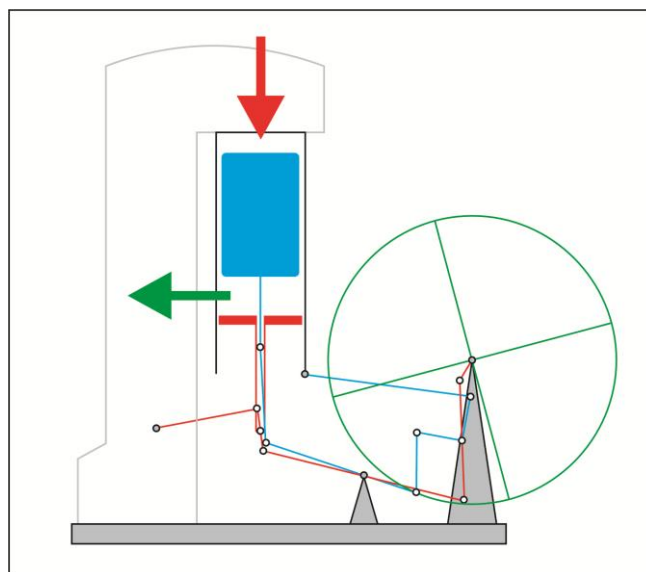
Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

STIRLINGŮV MOTOR – VÍTĚZNÝ MODEL ZE SOUTĚŽE POSTAV SI SVŮJ STIRLINGŮV MOTOR 2011

Josef Gruber, Jan Matoušek, Karel Braun

Střední průmyslová škola strojnická, Plzeň, Klatovská 109

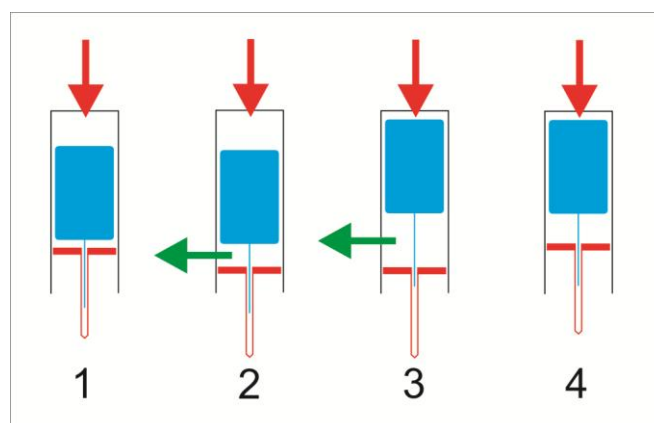
Tzv. Stirlingův motor je částí veřejnosti pokládán za perspektivní zdroj energie, jiní jej ovšem pokládají za slepou uličku vývoje motorů. Je-li vhodně využíván, může se opravdu jednat o pohonný systém se zajímavými výhodami. Jeho historie sahá k počátkům parostrojní techniky. V roce 1816 si skotský pastor Robert Stirling (1790-1878) podal patent na tzv. regenerátor (Heat Economiser), který u tepelných zařízení využívá odpadního tepla. Součástí patentu, který se týkal sklářských a jiných pecí, byl i návrh principu motoru, který měl být bezpečnější než parní stroje a měl mít menší spotřebu paliva. Kazatele totiž znepokojovaly nehody parních kotlů, kotle totiž často nevydržely zvyšování tlaku. Obr. 1 ukazuje rekonstrukci (provedl J. Gruber podle R. Siera, <http://www.stirlingengines.org.uk/pioneers/pion2.html>) původního motoru, jehož princip bude popsán dále. Stirling postavil v roce 1818 motor pro pohon čerpadla v kamenolomu a ve spolupráci s bratrem Jamesem začal motor zdokonalovat. Výsledkem byly další patenty přijaté v letech 1827-1840.



Obr. 1: Rekonstrukce původního Stirlingova motoru

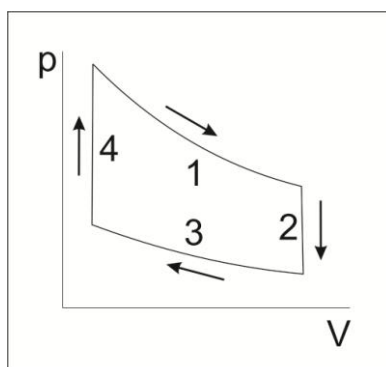
Stirlingův motor byl původně nazýván motorem teplovzdušným. Autorovo jméno se dostalo do názvu až kolem poloviny 20. století, kdy byly prováděny experimenty s plyny majícími větší tepelnou vodivost než vzduch (vodík a hélium). Původní Stirlingův motor vycházel konstrukčně z vahadlového parního stroje, jeho mechanismus byl však invertní (s vahadly dole). Vynálezce nechtěl, aby mazací olej stékal do horkého prostoru, a proto přívod tepla umístil nahoru. Princip Stirlingova motoru ukazuje obr. 2. Jedná se o tepelný motor s vnějším spalováním. Červeně je vyznačen pracovní píst (pohání klikový hřídel), modře tzv. přemísťovací píst – plunžr, který je uložen ve válci s větší vůlí a zajišťuje přesun plynu mezi horkým a studeným prostorem:

1. Oba písty se pohybují společně (dolů), plyn expandující v horkém prostoru koná práci (děj lze v porovnávacím oběhu pokládat za izotermickou expanzi);
2. Přemísťovací píst vytlačuje plyn z horkého do studeného prostoru, celkový objem se nemění, plyn se ochlazuje (izochorický děj);
3. Pracovní píst začíná stlačovat plyn ve studeném prostoru, chlazením se dále odvádí teplo (izotermická komprese);
4. Ochlazený stlačený plyn proniká do horkého prostoru, aby přijal teplo a začal expandovat (izochorický děj).



Obr. 2: Činnost Stirlingova motoru

Původní motor (obr. 1) měl mechanismy pracovního pístu (červeně) a přemísťovacího pístu (modře) řešeny pomocí Wattových přímovodů.

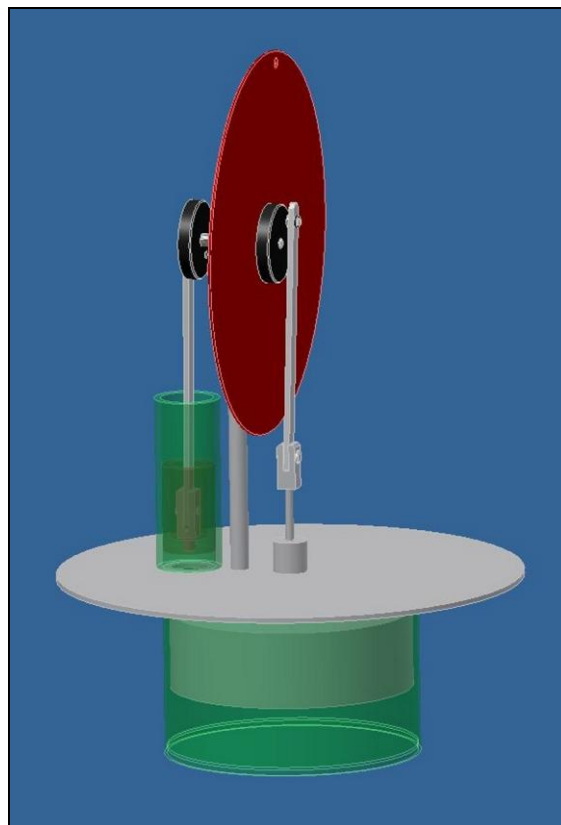


Obr. 3: Pracovní oběh Stirlingova motoru

Na obr. 3 je znázorněn oběh v pracovním diagramu. Oběh Stirlingova motoru připomíná Carnotův cyklus, který má největší tepelnou účinnost ze všech cyklů realizovaných mezi danými dvěma teplotami. Na rozdíl od Stirlingova oběhu obsahuje Carnotův cyklus místo izochorických změn změny adiabatické (bez tepelné výměny s okolím). Tomuto cyklu se může teore-

ticky přiblížit Stirlingův cyklus zařazením regenerátoru, tepelného výměníku, který akumuluje část odpadního tepla a vrací ji do oběhu. Dokonalá regenerace by tedy vyloučila tu část sdílení tepla, která probíhá při izochorických dějích a motor by měl účinnost Carnotova cyklu. To je však velmi obtížně realizovatelné a u malých modelů by nevhodně navržený regenerátor mohl svými průtokovými odpory celou situaci ještě zhoršit.

Mechanismus dnešních Stirlingových motorů se pochopitelně od původního návrhu skotských bratří liší. U pístů se používají uspořádání, která se označují písmeny řecké abecedy; motor s oběma písty ve společném válci má označení beta (původní stirling). Konfigurace alfa má dva válce, jeden ohříváný, druhý chlazený a je nejčastější u průmyslových stirlingů. Konfigurace gamma je v podstatě „beta ve dvou válcích“ a je nejčastější u modelů (zájemci si jistě vyhledají schémata na internetu, např. <http://stirlingmotor.cz/princip.html>).



Obr. 4: Soutěžní model Stirlingova motoru v programu Autodesk Inventor

Mezi hlavní výhody stirlingů patří variabilita zdroje tepla; může jím být fosilní palivo, biomasa, solární ohřev, geotermální teplo apod. Motor je jednoduchý, tichý a spolehlivý. Nemá sice nijak velký výkon a účinnost v porovnání s jinými spalovacími motory, ale je využitelný pro společnou výrobu tepla a elektřiny v malých kogeneračních jednotkách. Připojením oběhu absorpčního chlazení vznikne tzv. trigenerace (společná produkce elektřiny, tepla a chladu). Obrácením Stirlingova cyklu lze realizovat tepelné čerpadlo nebo kryogenerátor, což představuje další pozoruhodné využití principu.



Obr. 5: Vítězný motor soutěže stirlingů 2011

Střední průmyslová škola strojnická, Plzeň se v roce 2011 poprvé zúčastnila soutěže „Postav si svůj Stirlingův motor“, kterou tradičně pořádá SPŠS v Betlémské ul. v Praze. Pražská průmyslovka dodává i polotovary součástí, z nichž je možné model motoru postavit. Při dodržení zadaných parametrů není ovšem použití polotovarů povinné. Žáci maturitního oboru Mechanik seřizovač využili svých znalostí strojního obrábění a základní součásti vyrobili v Centru praktického vyučování, jímž plzeňská průmyslovka disponuje. Původní motor (na obr. 4 je počítačový model) opatřili duralovým pracovním válcem, v němž se pohyboval grafitový pracovní píst. Přemísťovací píst byl vyroben z balzy (!), trochu se při provozu pálil, ale tento motor byl stavěn pro jednorázové použití v soutěži. Vedení pístnice přemísťovacího pístu bylo vyrobeno z bronzu, ostatní součásti mechanismu pak z oceli 11 600 a z duralu. Hliníkový chladič byl zcela přepracován s cílem nejen dosáhnout účinného chlazení, ale také zlepšit design modelu. Rotační součásti byly vyráběny na klasickém univerzálním hrotovém soustruhu, pro chladič byl zpracován CNC program a chladič byl frézován na CNC frézce s operačním systémem Heidenhain. Ve druhém soutěžním kole, kdy bylo dosaženo vítězných 748 ot/min, bylo chlazení podpořeno vrstvou vody na chladiči (ochlazenou navíc kapalným dusíkem) a do pracovního prostoru bylo dopraveno hélium. Ve finále soutěže, které se konalo na počátku května v NTM Praha, obsadila SPŠ strojnická, Plzeň první místa v kategoriích Otáčky, Design a Technické inovace. Vítězný motor je na obr. 5.