



Středoškolská technika 2010

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Proč „ANO“ nebo „NE“ Stirlingův motor pro OZE?

David Kolář, Tomáš Bořil, Michal Trnka

VOŠ a SPŠ Žďár nad Sázavou
Studentská 1, 591 01 Žďár nad Sázavou

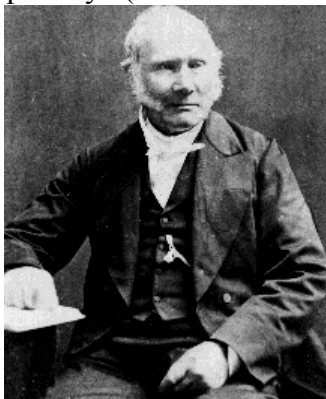
Úvod

Jsem studentem 2. ročníku oboru Strojírenství na Vyšší odborné škole a Střední průmyslové škole ve Žďáru nad Sázavou. Ve své práci se zamýšlím nad problematikou použití Stirlingova motoru v oblasti obnovitelných zdrojů energie.

Asi dva roky se zabývám stavbou funkčních modelů Stirlingova motoru a za tu dobu jsem jich postavil celkem 22 kusů (na motoru číslo 23 pracuji). První funkční motor, který jsem uvedl do chodu, byl v pořadí až čtrnáctý vyrobený kus a já si uvědomoval, že stavba skutečného prakticky použitelného Stirlingova motoru je velmi náročná. Vzhledem k tomu, že Stirlingovy motory při dnešním stupni vývoje techniky a materiálů nejsou doposud vyráběny v masovém měřítku a nasazovány do praxe, začal jsem se zabývat myšlenkou proč tomu tak asi je?

Historie

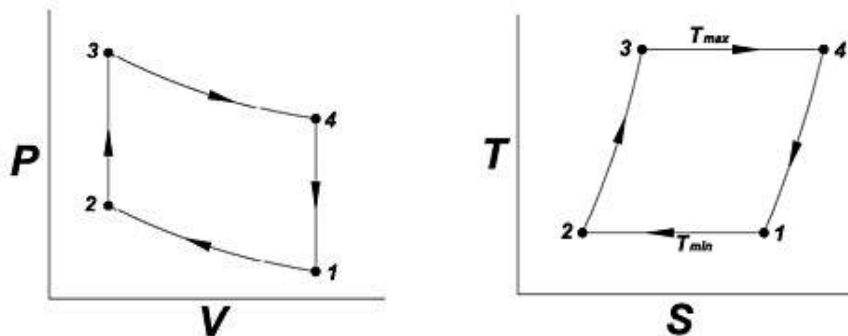
Robert Stirling (1790-1878) si svůj motor nechal patentovat dne 27. 9. 1816. Na jeho motoru máme jasný důkaz, že si Stirling plně uvědomoval všechny podmínky, které jsou nezbytné k efektivní přeměně tepla v mechanickou práci, poněvadž v té době nebyla teorie o spalovacích motorech. V roce 1818 sestrojil svůj velký motor s výkonem 2 kW, aby přečerpával vodu z kamenolomu v Ayrshire ve Skotsku a v letech 1827 a 1840 obdržel Robert Stirling ještě dva patenty (č. 5456 a 8652) na zdokonalené varianty svého stroje. Robert Stirling se



teplovzdušným motorům, jak se jim tehdy říkalo, věnoval prakticky celý svůj život. V průběhu 19. století a na počátku 20. století se začala objevovat nejrůznější použití Stirlingova motoru. Čerpaly vodu pro skot a dobytek na vyschlém západě USA, v dolech, na železnicích a dodávaly vodu bezpočtu sídlům a statkům. Malé Stirlingovy motory poháněly zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atd. Velké typy byly používány k pohonu navijáků a v mnoha dalších průmyslových aplikacích. Používala se kapalná, pevná i plynná paliva. Většina z těchto motorů byla vyvinuta švédským vynálezcem Johnem Ericssonem, jehož nejznámějším projektem byla pancéřová bitevní loď Monitor z doby občanské války v USA. Ericsson zkonstruoval mnoho motorů založených na Stirlingově

principu pro obchod, průmysl a zemědělství. Byl si vědom výhod Stirlingova motoru a svými dokonalými konstrukcemi předběhl svou dobu. Postavil například Stirlingův motor poháněný pouze sluneční energií, což v té době bylo zcela ojedinělé. Stirlingův motor byl v 19. století limitován hlavně metalurgickými možnostmi své doby. Právě proto a z důvodu vyšší hmotnosti byl nakonec vytlačen nově vyvinutými spalovacími motory a elektromotory. Stirlingův motor byly téměř zapomenutý až do 20. let minulého století. V roce 1938 N. V. Phillips z Holandska projevil zájem o tento typ motoru, když začal s vývojem malého Stirlingova motoru s výkonem 200 W. Philips, přední výrobce dobře známých stolních radiopřijímačů, používal tento motor jako kompaktní tichý zdroj energie, který na rozdíl od zážehových motorů nepoužívá zapalovací svíčky, a tudíž nevytváří interferenci radiových vln. Při hledání možností, jak zvýšit měrný výkon a účinnost zjistil, že plyny s nižší molekulovou hmotností, jako helium či vodík, jsou výhodnější než vzduch. Rychlý rozvoj technologie výroby materiálů, který nastal v padesátých letech minulého století, otevřel nové perspektivy i pro Stirlingův motor.

Jak Stirlingův motor funguje?

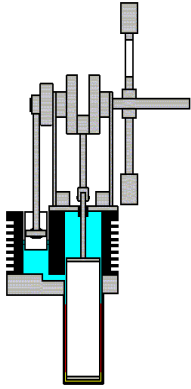


Princip vysvětlím na p-V a T-S diagramu pro ideální oběh plynu Stirlingova motoru. Oběh začíná v bodě 1, kdy je teoreticky veškeré plynné médium při maximálním objemu přemístěno v chlazené části motoru. Při kompresi 1-2 se pohybuje pouze kompresní píst (v chladném válci) a pomocí chladiče je v tomto prostoru udržována stále konstantní teplota. Práce se přitom spotřebovává a teplo se odvádí. V bodě 2 je dosaženo minimálního objemu. Dále dochází k přemístění tohoto objemu bez jeho změny do ohřivané části, což představuje změna 2-3, kde dochází k ohřevu na maximální teplotu. Pak objem plynu v horkém válci expanduje opět za konstantní teploty (teplo je v průběhu expanze stále dodáváno) a koná se práce. Na konci pracovního zdvihu je tedy ve válci stále stejná teplota a pro uzavření oběhu je třeba teplo z plynu odvést, což reprezentuje změna 4-1. Plyn je za konstantního objemu přemístěn zpět do chladného válce. Podstatné je, že mezi oběma prostory je umístěn regenerátor (nádobka vyplněná porézní náplní), v němž se při přechodu z horkého do studeného prostoru teplo odevzdává a je opět přiváděno při příští změně 2-3. Regenerátor tedy zvyšuje termickou účinnost stroje a při 100% účinnosti regenerace bude mít Stirlingův oběh při daných teplotách stejnou termickou účinnost jako Carnotův oběh.

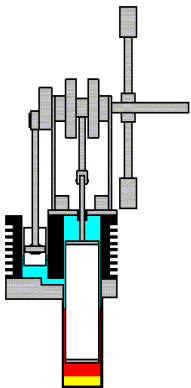
Svémi slovy bych princip jednoduše popsal asi takto: Stirlingův motor má dva pracovní prostory. Jeden je ohříván a druhý je ochlazován. Stirlingův motor je vlastně teplovzdušný motor s vnějším spalováním, což je jeho výhodou. Přeměňuje tepelnou energii (zdroj tepla např. hoření fosilního paliva) na pohybovou (rotující setrvačnick) a následně může přeměňovat pohybovou na elektrickou (zapojením generátoru). Horká část je ohřívána a v motoru roste tlak. Přeháněč se pohybuje směrem dolů, vytlačuje ohřátý pracovní plyn do horní části válce a

zároveň vytlačuje pracovní píst do horní úvratě. V další fázi se přeháněč pohybuje směrem nahoru a vytlačuje studený pracovní plyn do spodní horké části, kde se znovu ohřeje, pracovní píst se přemístil do spodní úvratě a vytlačil studený pracovní plyn do horké části válce. Přeháněč je teď v polovině zdvihu a pracovní píst ve spodní úvratí. Takto se to opakuje pořád dokola.

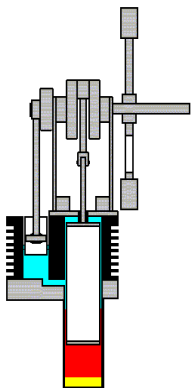
Názorné vysvětlení na obrázcích:



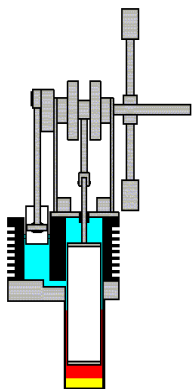
1. Pracovní píst v polovině zdvihu, přeháněč v dolní úvratí. V tomto bodě je téměř všechn vzduch v chladné části motoru, kde se ochlazuje – tlak klesá.



2. Pracovní píst v dolní úvratí, přeháněč v polovině zdvihu. Chladný vzduch se začíná ohřívát od žárové hlavy – tlak vzrůstá.



3. Pracovní píst v polovině zdvihu, přeháněč v horní úvratí. V tomto bodě je téměř všechn vzduch v horké části motoru, kde se stále více ohřívá – tlak vrůstá, pracovní píst koná práci.



4. Pracovní píst v horní úvrati, přeháněč v polovině zdvihu. Horký vzduch se začíná ochlazovat od chladné části – tlak klesá.

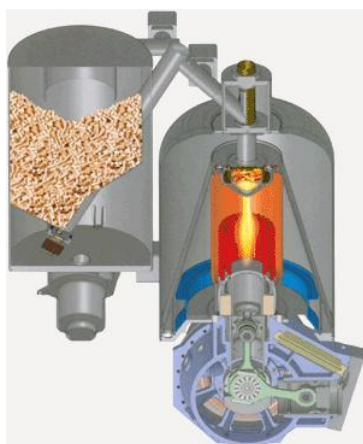
Problematika Stirlingova motoru

Proč „ANO“ Stirlingův motor pro OZE? - Proč ho použít?

Jak jistě víte, Stirlingův motor se jako OZE nejčastěji používá v kombinaci s parabolickými zrcadly, kde na zrcadla svítí slunce a Stirlingův motor s generátorem se umístí do vypočteného ohniska této paraboly, kde vzniká teplo. Následně Stirlingův motor, napojený na generátor, vyrábí elektrickou energii. Toto využití Stirlingova motoru je (dle mého názoru) velmi ekologické a prakticky bez emisí. Motor nevyrábí žádné škodlivé plyny jako je např. CO₂, protože pracuje v uzavřeném cyklu a protože nedochází (v tomto případě) k vnějšímu spalování, nýbrž k ohřevu sluncem. Toto je obrovskou výhodou. Ani spotřeba oleje není u tohoto motoru vysoká. Mazány jsou jen ty části motoru, které jsou za pístem, tj. ojnice, ložiska, klika, hřídel. Podle mých vlastních zkušeností Stirlingův motor nesnáší dobře olej na pracovním pístu, protože s olejem roste tření a motor se může následně zastavit. Naše škola se tímto využitím zabývala již v minulosti a já, coby student, pokračuji v rozvoji parabolických zrcadel. Po malých krůčcích se přibližujeme k vyvinutí velké paraboly, která by poháněla námi vyvinutý Stirlingův motor s generátorem. Další věcí, o kterou se vědci po celém světě pokouší, je vytvořit energeticky nezávislý dům. Myslím, že Stirlingův motor je tou správnou volbou pro využití v tomto domě. V současné době hodně firem investuje do kogeneračních jednotek, protože tak lze snadno získat jednak teplo na vytápění a jednak elektřinu. Stirlingův motor by byl nejideálnější, protože nepotřebuje obrovské teploty pro chod, není tak hlučný, takže se dá umístit například do sklepa domu a v kombinaci s kotlem na biomasu by se dalo dosáhnout velké účinnosti. Jen si to představte. Postavili byste malý rodinný domek, nejideálnější by byla dřevostavba, ten byste zateplili a utěsnili proti zbytečnému úniku tepla. Na zahradu před dům byste umístili Stirlingův motor s parabolickým zrcadlem, který by vyráběl elektrickou energii ve dne a v letních měsících. Na střechu domu byste umístili solární kolektory pro ohřev vody a do sklepení kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem, která



může následně zastavit. Naše škola se tímto využitím zabývala již v minulosti a já, coby student, pokračuji v rozvoji parabolických zrcadel. Po malých krůčcích se přibližujeme k vyvinutí velké paraboly, která by poháněla námi vyvinutý Stirlingův motor s generátorem. Další věcí, o kterou se vědci po celém světě pokouší, je vytvořit energeticky nezávislý dům. Myslím, že Stirlingův motor je tou správnou volbou pro využití v tomto domě. V současné době hodně firem investuje do kogeneračních jednotek, protože tak lze snadno získat jednak teplo na vytápění a jednak elektřinu. Stirlingův motor by byl nejideálnější, protože nepotřebuje obrovské teploty pro chod, není tak hlučný, takže se dá umístit například do sklepa domu a v kombinaci s kotlem na biomasu by se dalo dosáhnout velké účinnosti. Jen si to představte. Postavili byste malý rodinný domek, nejideálnější by byla dřevostavba, ten byste zateplili a utěsnili proti zbytečnému úniku tepla. Na zahradu před dům byste umístili Stirlingův motor s parabolickým zrcadlem, který by vyráběl elektrickou energii ve dne a v letních měsících. Na střechu domu byste umístili solární kolektory pro ohřev vody a do sklepení kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem, která



době hodně firem investuje do kogeneračních jednotek, protože tak lze snadno získat jednak teplo na vytápění a jednak elektřinu. Stirlingův motor by byl nejideálnější, protože nepotřebuje obrovské teploty pro chod, není tak hlučný, takže se dá umístit například do sklepa domu a v kombinaci s kotlem na biomasu by se dalo dosáhnout velké účinnosti. Jen si to představte. Postavili byste malý rodinný domek, nejideálnější by byla dřevostavba, ten byste zateplili a utěsnili proti zbytečnému úniku tepla. Na zahradu před dům byste umístili Stirlingův motor s parabolickým zrcadlem, který by vyráběl elektrickou energii ve dne a v letních měsících. Na střechu domu byste umístili solární kolektory pro ohřev vody a do sklepení kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem, která

by vytápěla dům v podzimních a zimních měsících a vyráběla elektrickou energii pro dům v noci. Ale bude to tak fungovat? Nebude to příliš zasahovat do krajiny? Bude to natolik spolehlivé, aby investované peníze nepřišli na zmar? A bude si to moci dovolit každý? A co s přebytkem energie? Toto jsou otázky, na které zatím nedokážeme odpovědět. Ale myslím si, že kdyby se tímto tématem (Stirlingovým motorem) zabývalo více lidí, tak bychom se divili, čeho lze dosáhnou skloubením Stirlingova motoru a ostatních OZE. Na závěr tohoto článku mi dovozte uvést některé výhody Stirlingova motoru, kterými jsou: vyvážená produkce CO₂ při spalování biopaliva, vyšší vnitřní tepelná účinnost, nulová spotřeba oleje, velmi nízká hluchnost, malé provozní náklady. A proto dávám Stirlingově motoru zelenou!

Proč „NE“ Stirlingův motor pro OZE? - Proč ho nepoužít?

Jak jistě víte, ve Stirlingově motoru vznikají vysoké teploty, píst a válec musí být dokonale těsné a proto má Stirlingův motor vysoké požadavky na použité materiály. Kvalitní materiály s sebou nesou jisté problémy, kterými jsou: vysoká cena a náročnost výroby. Vyrábět Stirlingův motor v sériové výrobě je velice náročné a ke konstrukci a montáži jsou potřeba vysoce kvalifikovaní pracovníci a inženýři, kterých není nazbyt. Navíc při výrobě se musí pracovat ve velmi čistém prostředí, protože jakmile by se dostala nějaká nečistota do pracovního prostoru motoru, motor by se mohl zadřít (zvětšil by se mechanický odpor) a zanesl by se regenerátor (zhoršené podmínky pro průchodnost pracovního plynu a tepelné vlastnosti regenerátoru). Dalším problémem je regulace otáček motoru. Válec, ve kterém „běhá“ přeháněč, se nahřeje na určitou teplotu, kterou nelze nárazově změnit. Ano, můžeme zmenšit přívod tepla, které dodáváme, ale bude chvíli trvat, než se vyrovnají teploty zdroje a



válce. Proto Stirlingův motor nelze použít v automobilovém průmyslu a v dalších odvětvích, kde požadujeme okamžitou regulaci otáček. Ale pro výrobu elektrické energie je ideální, protože když budeme dodržovat konstantní teplotu tak budeme mít zaručeno konstantní otáčení generátoru, a tím pádem konstantní přísun elektrické energie.

Jako další bych zde chtěl uvést zásah do krajiny stavěním velkých elektráren. Tento problém se také řeší u fotovoltaických panelů, které aby měly dostatečný výkon,

musejí zaujímat velkou plochu. Stejně tak paraboly Stirlingových motorů, když budou mít v průměru 25 metrů, aby měly dostatečnou účinnost, a bude jich 200, aby měly dostatečný výkon, budou značnou částí narušovat krajinu svým nepěkným vzhledem a budou oslňovat nejen ptáky a zvěř ale i např. lidi, kteří půjdou kolem. Nebo v případě, že elektrárna bude vybudovaná u dopravní komunikace, může oslnit i řidiče, a tím ohrozit jejich bezpečnost. Problémem těchto elektráren je také proměnlivé počasí. Jsou náročné na údržbu a náchylné na povětrnostní podmínky a déšť. Např. při krupobití by mohlo dojít k obrovským škodám (rozbití všech zrcadel). Stirlingův motor s generátorem by musel být dokonale uzavřen ve vodotěsném obalu, aby se k němu nedostala ani kapka vody, ale zároveň by musel být chlazen, aby měl požadovanou účinnost. Proto bych elektrárny stavěl např. na odlehlých pláních v Americe.

I kogenerační jednotky mají své proti. Spalováním biomasy v kotli vznikají, ať už chceme nebo ne, škodlivé plyny, které narušují ozonovou vrstvu naší planety. Navíc biomasa je drahá záležitost a vezměte si, kolik byste jí spálily za rok. Ano měli byste energeticky nezávislý dům, který by se „uživil“ sám, ale za jakou cenu? Nebylo by jednodušší vyrobit jednu velkou

elektrárnu se Stirlingovým motorem a dodávat proud do domácností? Určitě by to bylo ekonomičtější, než kdyby každý dům v 100 tisícovém městě měl svoji kogenerační jednotku. Na závěr bych chtěl uvést jednu obrovskou nevýhodu Stirlingova motoru. Motor je mezi veřejností velmi málo známý, a když někdo alespoň slyšel jeho název, tak stejně neví, jak vlastně vypadá a jak funguje. Tato skutečnost by mohla přispět k tomu, že Stirlingův motor se nebude využívat v praxi.

Moje úspěchy a neúspěchy při stavbě Stirlingova motoru

Motor 01 (2008): První pokus o vyrobení Stirlingova motoru, který se skládal z: 2 hliníkových přírub, hliníkového setrvačnicku. Problém byl v pracovním pístu (velké tření, nebyly zkušenosti). Motor nebyl uveden do provozu!

Motor 02 – 06 (2008): Postupné nabývání zkušeností, čerpání informací z internetu z anglických textů, převody anglických palců na milimetry. Získané zkušenosti mi nebyly nic platné a ani jeden z motorů se nerozjel!

Motor 07 (2008): Konstrukce motoru podle japonské webové stránky, kde klika byla uložena na podstavci. Motor byl v chodu cca 10 vteřin, potom již nikdy neběžel!

Motor 08 (2008): Použil jsem epoxidové lepidlo. Poprvé jsem přesně přepočítal anglické jednotky na metrické. Chyba byla v tom, že motor byl zahříván propan - butanovým hořákem a došlo ke spálení papírového přeháněče. Motor tedy nikdy neběžel!

Motor 09 (2008): Našel jsem českou webovou stránku s podrobným popisem výroby, kde byla komora motoru vyrobena z plechovky, píst a válec vyrobeny ze skleněné injekční stříkačky (píst mosazný pochromovaný). Neúspěch spočíval ve velkém tření pístu!

Motor 10 (2008): Přeháněč jsem vyrobil z balzy, slepil kanagomem. Píst jsem vyrobil z hliníkové pístnice, setrvačnick z plexiskla. Motor se nerozbehl. Po zahřátí se lepidlo na přeháněči rozpustilo, odpařilo a vysráželo se na horní části pracovní komory!

Motor 11 (2008): Zkouším přejít na lepší verzi. Rozhodl jsem se opustit výrobu z plechovek. Spodní a horní část (ohřívána a chlazená část motoru) byly vyrobeny z hliníkového plechu tloušťky 4 mm, komora z plastového obalu na CD. První pokusy uložení klikové hřídele na ložiska z vysokootáčkového motoru. Poprvé jsem se také pokusil vyrobit pracovní píst z epoxidového lepidla. Neúspěch spočíval v tom, že píst byl odlitý přímo do válce, který byl nedostatečně namazán (sádlem). Pak jsem vyrobil píst z gumových podložek, přeháněč z polystyrenu, vedení táhla přeháněče z nerezové trubičky a táhlo z hřebíku. Motor měl snahu rozběhu, ale sám nikdy neběžel!

Motor 12 (2008): Pokusil jsem se vyrobit motor ze skleněné zkumavky, ve které se pohybují kuličky, které plní funkci přeháněče. Motor se ani nepohnul!

Motor 13 (2008): Toto byl podobný motor jako předcházející. Změna byla v komoře – místo skleněné byla použita měděná trubka. Motor také nikdy neběžel!

Motor 14 (2008): Použil jsem vlastní návrh komory (opět jsem se vrátil k plechovce) a přeháněče. Informace jsem čerpal z anglické webové stránky. Pracovní píst jsem vyrobil

z balonku, setrvačnick z papíru. Po vyvážení setrvačnicku se motor ROZEBĚHL! BYL TO MŮJ PRVNÍ FUNKČNÍ MOTOR!!!

Motor 15 (2008): Byl podobný jako předcházející, akorát s větším papírovým setrvačnickem.

Motor 16 (2008): Snaha byla zdokonalit předcházejí typ motoru – přejít z balonku na píst z grafitu, válec vyrobít z patrony ze světlice, uložit klikovou hřidel na ložiska. Klika z měděného drátu byla vyžihána, aby se dala dobře ohýbat. Motor skončil neúspěchem (velké tření pístu ve válci a házení kliky)!

Motor 17 (2008): Termoakustický motor byl vyroben ze skleněné zkumavky, ve které byla použita drátěnka jako regenerátor. Píst byl vyroben z teflonu. Motor jsem umístil na dřevěný podstavec, setrvačnick jsem uložil na kuličkové ložisko. Motor se nerozběhl kvůli netěsnosti pístu!

Motor 18 (2008): Pokus o výrobu low temperature differential stirling engine (česky pracující s malým rozdílem teplot). Komora byla vyrobena z Petriho misky (skleněná), setrvačnick z papíru, píst (kovový) ze skleněné stříkačky. Motor se na horkou vodu nerozběhl. Pak byl motor nahříván svíčkou a miska praskla – NEÚSPĚCH!

Motor 19 (2008): Stejný typ motoru jako předcházející, akorát s jiným pístem (z grafitu) v měděné trubce. Motor se rozběhl na horkou vodu – ÚSPĚCH!

Motor 20 (2009): První motor, který byl postaven za účelem účasti v soutěži „Postav si svůj Stirlingův motor“, která je pořádána Střední průmyslovou školou v Betlémské ulici v Praze. Pro stavbu motorů nám pražská průmyslovka poskytla základní díly jako stavebnici (ložiska, skleněný válec, píst, ...). Soutěž spočívala v dosažení maximálních otáček motoru. Viděl jsem rezervy, kterých by se dalo využít, a tak jsem na soutěž stačil postavit další motor!

Motor 21 (2009): S tímto motorem slavím prvenství v soutěži „Postav si svůj Stirlingův motor“ (1. kolo soutěže), kde jsem dosáhl maximálních otáček 483 min^{-1} . Můj motor měl startovní číslo 7. Že by mi toto číslo vyneslo prvenství? Motor má hliníkový píst opatřený drážkami a válec ze šedé litiny. Motor sklídl na soutěži velký obdiv za některá technická řešení. Během cesty ze soutěže přemýšlím o stavbě dalšího motoru, se kterým se chci zúčastnit 2. kola soutěže, které se koná 30. dubna 2009. S tímto motorem ještě absolvuji i 2. kolo soutěže, kde se mi však nedaří dosáhnout max. otáček, kterých jsem dosáhl v 1. kole (asi o 100 min^{-1} méně).

Motor 22 (2009): Tento motor mi již přináší hodnotná ocenění v podobě sady náradí a nástrojů za umístění ve dvou ze tří disciplín. 2. kolo soutěže „Postav si svůj Stirlingův motor“, konané 30. dubna 2009 na pražské Průmyslové škole v Betlémské ulici, spočívalo v těchto disciplínách: dosažení maximálních otáček motoru, design motoru a technická vylepšení motoru. Tentokrát se mi nedaří dosáhnout ani maximálních otáček, kterých jsem dosáhl s minulým motorem v 1. kole soutěže, zato však jednoznačně získávám 1. místo za design motoru a 2. místo za technická řešení a vylepšení motoru. Motor má opět hliníkový píst a válec ze šedé litiny, dále ložiska s keramickými kuličkami, vedení přeháněče je z důvodu těsnosti a minimálního tření vyrobeno z pístu naftového vstřikovacího čerpadla, chladič je uzpůsoben pro chlazení vodou, celkové provedení motoru je velice pečlivé. Pro zajímavost je třeba uvést, že motor se mi ještě den před soutěží nechce rozeběhnout a provádím s velkým

psychickým a fyzickým vypětím poslední úpravy – tolik hodin práce na motoru nemůžu nechat jen tak bez úspěchu!!!

Motor 23 (2009 - 2010): Tomuto motoru se věnuji poslední dobou. Jedná se o termoakustický motor. Snažím se o jedinečný design a o jiná konstrukční řešení jednotlivých částí (například setrvačnick je umístěn vodorovně, místo aby byl kolmý na podstavu, jako je tomu u většiny motorů). Je odlišný od předcházejících motorů, protože má jenom jeden píst. Jako regenerátor je opět použita drátěnka uložená ve zkumavce. Motor prozatím nejede – čekají mě časově náročná „ladění“ prostoru pro termoakustické vlnění. Myslím si, že i tento motor se mi podaří uvést do provozu!

Závěr

Problematika obnovitelných zdrojů energie je v současné době velmi aktuální. Vědci čím dál tím více přemýšlí, jak minimalizovat škodlivé vlivy nás lidí na životní prostředí prostřednictvím OZE. Myslím si, že Stirlingův motor má v tomto oboru velikou šanci na úspěch a doufám v to, že v budoucnu se i já uplatním při jeho využití v praxi! Líbí se mi, že se do projektu ENERSOL mohou zapojit nejen školy, ale i mladí a nadaní studenti, kteří by jednou mohli přijít na to, jak tu naši „modrou planetu“ zachránit!

A na závěr bych chtěl dodat, že při konstrukci a navrhování Stirlingova motoru práce nikdy nekončí! Pořád je co zlepšovat!

Použité zdroje informací

Webové stránky:

www.stirling.cz

<http://www.stirlingengine.com/>

<http://www.redrok.com/engine.htm#stirling>

http://poisson.me.dal.ca/~dp_03_3/

<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/indexe.htm>

<http://www.pureenergysystems.com/os/StirlingEngine/photologie/index.html>

Použitá literatura:

- Brent H. Van Arsdell: Around the World by Stirling Engine, San Diego, CA 92106
- Roy Darlington and Keith Strong: Stirling and hot air engines, 2005, The Crowood Press

Další zdroje:

- Ing. Josef Brož, TEDOM – VKS s. r. o., Hořovice – Výroba elektrické energie pomocí Stirlingova motoru – prezentace
- vlastní myšlenky a zkušenosti

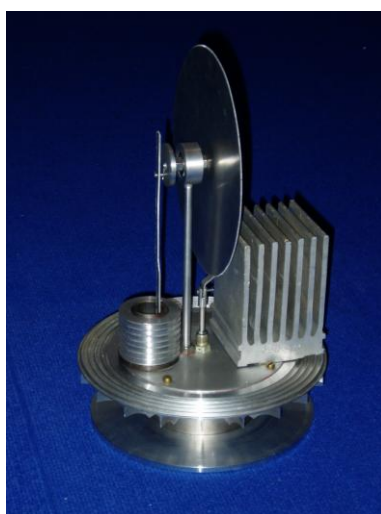
Obrazová příloha:



Motor 14 - Po dlouhé éře neúspěchů konečně první funkční motor.



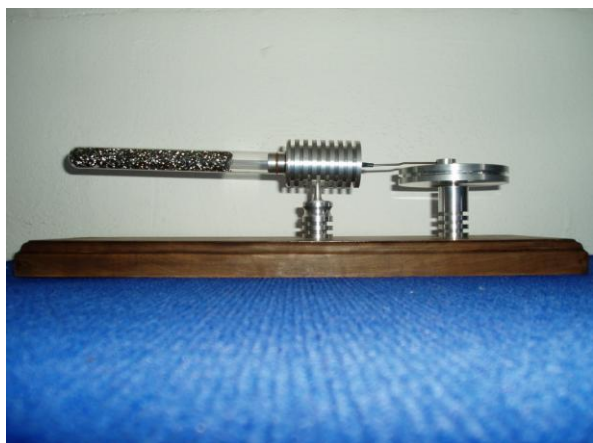
Motor 17 - První pokus o výrobu termoakustického motoru.



Motor 21 - Jako chladič u tohoto motoru jsem použil část kompresorového kola z turbíny.
Motor dosáhl 483 ot/min.



Motor 22 - Motor, který je již velmi profesionální. Získal 1. místo za design.



Motor 23 - Toto je můj nejnovější model termoakustického motoru, který byl v mé hlavě dlouhé měsíce a stále mi nezbyval čas na jeho konstrukci. Ale nakonec se mi ho přece podařilo zkonstruovat a tady ho vidíte.