



Středoškolská technika 2009
Setkání a prezentace prací
středoškolských studentů na ČVUT

STIRLINGŮV MOTOR POHÁNĚNÝ SLUNEČNÍ ENERGIÍ

Kristýna Juránková, Jiří Dvořák

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola
Studentská 1, Žďár nad Sázavou

Úvod

Jsme studenty 3. ročníku oboru TZB (technická zařízení budov) na Střední průmyslové škole ve Žďáru nad Sázavou. O projektu Enersol jsme se dozvěděli od našeho vyučujícího. Náplň této soutěže nás velmi zaujala, proto jsme se rozhodli také zapojit. Ve své práci jsme se zaměřili na problematiku využití solární energie pro pohon Stirlingova motoru. Přestože se vlastně jedná o motor, souvisí s naším oborem víc než se může na první pohled zdát. Naše práce je pokračováním práce studentů naší školy na téma Stirlingův motor z předešlých ročníků. Tento projekt je součástí dlouhodobého projektu na naší škole, kdy výsledkem by měl být skutečný Stirlingův motor vyvíjený na naší škole, který bude poháněn sluneční energií. Náš projekt je v podstatě experimentem pro ověření cenové dostupnosti výroby dostatečně výkonného parabolického zrcadla z důvodu vysoké cenové náročnosti originálních zrcadel. Pokud bude náš experimentální projekt uspokojujivý, nebudeme v podstatě omezeni možnostmi výroby potřebného počtu zrcadel pro pohon Stirlingova motoru.

Stručná charakteristika projektu

Projekt řeší ověření myšlenky výroby cenově dostupného parabolického zrcadla pro pohon Stirlingova motoru.

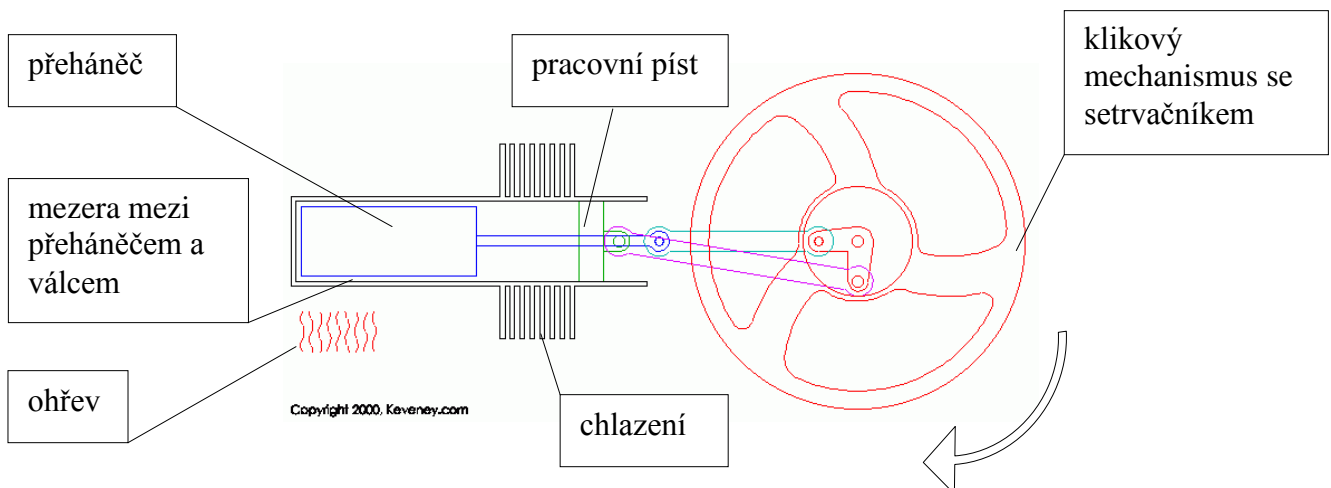
Historie Stirlingova motoru

Historie Stirlingova motoru se začíná psát v Anglii roku 1816 kdy jej vynalezl skotský pastor Robert Stirling. V roce 1818 pak postavil velký motor o výkonu 2 koňských sil, aby mohl čerpat vodu z kamenolomu v Ayrshire ve Skotsku. V letech 1827 a 1840 si pak Robert Stirling nechal patentovat ještě dvě zdokonalené varianty svého stroje. Pan Stirling pracoval s teplovzdušnými motory celý život. Na jeho počest pak byly i pojmenovány. V průběhu 19. století a na počátku 20. století se pak objevovaly nejrůznější aplikace Stirlingových motorů. Malé Stirlingovy motory poháněly zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atp. Dalším průkopníkem Stirlingových motorů se pak stal švédský vynálezce John Ericsson, který si dobře uvědomoval jeho výhody a proto velmi předběhl svou dobu. Postavil například Stirlingův motor poháněný pouze sluneční energií. Kvůli nedokonalosti materiálů a jejich zpracování byly však tyto teplovzdušné motory ve 20. století vytlačeny motory spalovacími. Až v roce 1938 pan Phillips z Nizozemí začal znova rozvíjet tento poněkud pozapomenutý motor. Malý motor o výkonu 200 W používal jako tichý zdroj energie pro jeho

radiopřijímače, který nenarušuje radiové vlny. Při zkoumání jak zvýšit účinnost a výkon zjistil, že výhodnější se jeví použití plynů v motoru s nižší molekulovou hmotností jako je helium či vodík.

Jak vlastně Stirlingův motor funguje?

Princip Stirlingova motoru je velmi jednoduchý. Samotný motor se skládá z dlouhého válce, ve kterém se pohybuje přeháněč - lehké, zpravidla duté těleso. Mezi přeháněčem a válcem je mezera, kterou může proudit uzavřená plynová náplň motoru. Jedna strana válce je ohřívána a druhá naopak chlazena. Plyn, jímž je válec naplněn, po ohřátí zvětšuje svůj objem a proudí kolem přeháněče na pracovní píst, na nějž vytváří tlak a koná tak mechanickou práci – roztáčí klikový mechanismus. Po zatlačení na pracovní píst plyn jednak expanduje a jednak se nachází v chlazené části válce, což způsobí jeho smrštění, případně podtlak. Pracovní píst se tak může vrátit do své horní úvratě (případně je způsobeným podtlakem „nasát“) a celý cyklus se opakuje. Přeháněč, který je vhodně spojen s klikovým mechanismem, má za úkol přesouvat plynovou náplň z teplé části válce do chladné a zpět a tak zajišťovat jeho expanzi (zvýšení tlaku) a smrštění (snížení tlaku).



Obr. 1: Jednoválcový Stirlingův motor

Spolupráce s vývojem Stirlingova motoru

Naše škola v minulém roce navázala kontakt s vývojovým oddělením Stirlingova motoru firmy TEDOM VKS s.r.o. v Hořovicích. Tato firma se zabývá Stirlingovými motory již od roku 2001. Jejich náklady na vývoj již převýšily sumu 40 mil Kč. Tedom však během vývoje musel několikrát přehodnotit konečné využití motoru. Primárně je Tedom výrobce kogeneračních jednotek a tak Stirlingův motor je vyvíjen pro pohon generátorů na výrobu elektřiny. Jedním z nejlepších pohonů Stirlingova motoru se jeví použití obrovských parabolických zrcadel, tedy pohon na solární energii.

Výhody Stirlingova motoru

- velmi nízká hmotnost
- nulová spotřeba oleje
- díky vnějšímu přívodu energie lze využít téměř jakékoliv palivo
- lze využít i odpadního tepla z technologických procesů, geotermální a solární energie
- nižší emise škodlivin
- nižší servisní náklady dané dlouhými servisními intervaly

Nevýhody Stirlingova motoru

- vysoké pořizovací náklady díky nemožnosti prozatím vyrábět některé díly sériově kvůli vysokým přesnostem které Stirlingův motor vyžaduje
- pomalejší regulace výkonu
- vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu
- nižší účinnost

Důležitá fakta

- Stirlingův motor by měl být přednostně užíván tam kde vůbec není možné užití spalovacího motoru anebo tam, kde Stirlingův motor přináší nesporné ekonomické nebo jiné výhody
- Stirlingův motor bude vždy dražší než motor spalovací
- zvládnutí výroby Stirlingova motoru je dosti složitý úkol, ne však nereálný
- nejvhodnější aplikací se jeví výroba elektrické energie z energie sluneční

Aspekty bránící rozšíření Stirlingova motoru

- vysoké nároky na přesnost výroby a jakost povrchů
- vysoké nároky na rozměrovou a vizuální kontrolu dílů
- čistota dílů
- čistota montážního prostředí
- netradiční díly (chladič, regenerátor, ohřívák popř. spalovací systém)
- vysoké nároky na kvalifikaci personálu při výrobě
- chybí tradice (vzdělávání)

Přes všechny výhody nikdy nebude Stirlingův motor pro klasický spalovací motor konkurencí a nikdy ho nepředčí (například výkonem).

Myšlenka výroby parabolického zrcadla pro pohon Stirlingova motoru

Pro pohon vyvíjeného Stirlingova motoru na naší škole byla myšlenka použití většího počtu parabolických zrcadel pro jeho pohon sluneční energií. Protože na naší škole máme jedno parabolické zrcadlo o průměru 0,5 metru, udělali jsme s ním zajímavé pokusy ve venkovním prostředí při slunečním záření. V ohnisku zrcadla, které je ve vzdálenosti asi 1,1 metru od zrcadla jsme spolehlivě zapálili dřevěné prkno. Dále jsme pokračovali v experimentech tak, že jsme do ohniska umístili kus plechu. K našemu úžasu se plech v ohnisku rozžhavlil do červena, z čehož usuzujeme, že v ohnisku může být teplota přes 700°C. Je jasné, že při větším počtu zrcadel by šlo Stirlingův motor rozběhnout. Zde však vyvstává problém ekonomický, neboť cena jednoho takového zrcadla se pohybuje řádově 10 tisíc korun, což by bylo nedostupné. Zrodila se tak myšlenka pokusit se vyrobit zrcadlo podle originálu v amatérských podmínkách. Pokud bychom dosáhli např. 80 % výkonu originálu, můžeme to

považovat za úspěch a bylo by pak možné vyrobit jakýkoliv počet zrcadel podle potřeby. Byla zvolena technologie výroby sádrové matrice zrcadla podle originálu. Matrice by pak sloužila jako forma pro výrobu tvaru budoucího zrcadla laminováním. Tyto materiály jsou běžně dostupné v drogerii.

Postup při výrobě parabolického zrcadla pro pohon Stirlingova motoru

Originální parabolické zrcadlo jsme pokryli smršťovací průhlednou fólií, abychom jej nepoškodili. Museli jsme fólii dobře vyhladit, aby nám pod ní nezůstal žádný vzduch. Pro vyrobení kopie zrcadla jsme potřebovali opačný vzorek, neboli matrici, která by nám poskytla stejný tvar, jako má zrcadlo. Pro odlití matrice jsme použili technickou sádro. Bylo třeba, aby byla matrice dostatečně silná, aby například při oddělování od zrcadla nepraskla. Na okraj zrcadla jsme nalepili pásy papíru a izolopy, aby nám sádra po stranách nevytékala. Sádro jsme postupně nalévali na zrcadlo ve vrstvách, aby nám rychleji uschla. Asi po druhé vrstvě jsme vyrobili ze silnějšího drátu výztuhy pro zpevnění matrice. Dále jsme nalili další vrstvy sádry. Matrici jsme nechali volně, aby nám co nejlépe unikalo teplo z tuhnoucí sádry. Když sádra dostatečně vyschla a ztvrdla, což trvalo několik týdnů, přiložili jsme na matrici silnější polystyren, který jsme následně spolu s matricí otočili a oddělili od sebe matrici a originální zrcadlo. Výsledek byl velmi uspokojivý, přesto nám na povrchu vzniklo několik menších dutin, které jsme vyplnili akrylátovým tmelem a po jeho ztuhnutí jsme povrch zarovnali brusným papírem.

Problém nastal, jak vyřešit vyrobení samotného těla budoucího zrcadla. Příčinou nebyl materiál, který jsme zvolili laminát s velmi dobrými vlastnostmi, ale způsob, jak laminát nanést na povrch sádrové matrice a přesto aby laminát zůstal z potřebné strany hladký. Na matrici jsme natáhli smršťovací fólii a dobře vyhladili, odstranili z pod fólie veškerý vzduch a připevnili ji izolopou a špendlíky k polystyrénovému podkladu. Připravili jsme patřičný poměr směsi pryskyřice se ztužovadlem, kterou jsme nalili na povrch matrice, překryli skelnou tkaninou a štětcem jsme postupně dostatečně prosytili tkaninu pryskyřicí.

Po vytvrdnutí jsme laminátové tělo zrcadla sejmuli. Zjistili jsme však, že nám na povrchu vznikly vlnky a nerovnosti z důvodu chemické reakce pryskyřice a smršťovací fólií, které by na zrcadle následně velmi vadily. Museli jsme proto přistoupit na jinou metodu. Bylo jasné, že překrytí matrice fólií není možné. Proto se zdálo lepší, vyzkoušet jiné metody na menších vzorcích, abychom samotnou matrici nepoškodili.

Menší vzorky jsme opět vyrobili ze sádry s mírným vypoulením. Potřebovali jsme, aby se lamino nepřichytávalo na matrici, proto bylo dobrým nápadem opatřit povrch leštidlem na parkety. Vyrobili jsme dva zkušební vzorky. Jeden vzorek jsme natřeli rozehřátým leštidlem a druhý jsme nechali bez úpravy. Na oba jsme nanесли jednu vrstvu skelné tkaniny s pryskyřicí. Po ztuhnutí jsme z obou vzorků odloupli laminát. Šlo to sice hůře, ale výsledek byl uspokojivý. Byl tedy zvolen postup nanesení leštidla na matrici. Při samotném laminování se nám podařilo nanést celkem asi 5 vrstev tkaniny pro lepší tuhost celého zrcadla. Po ztvdnutí jsme se pokusili oddělit laminát od matrice. Bylo až podivuhodné, jak laminát na matrici držel. Po vyčerpávajícím úsilí jsme dosáhli svého, lamino se odlepilo. Na povrchu však zůstaly místy kousky sádry a akrylátu. Bylo nutné zrcadlo patřičně očistit a zarovnat brusným papírem.

Následně jsme orýsovali kraj zrcadla a nechali oříznout a začistit. Teď už nás čekalo jen to nejlepší - nalepení zrcadlové fólie. Dobře jsme povrch odmastili a pokusili se nalepit co

největší plochu, aby byl povrch celistvý, ale ukázalo se, že prohnutím zrcadla se fólie značně deformuje a krabátí. Proto jsme fólii nastříhali na 3 proužky o šířce 7 centimetrů a okrajové proužky o šířce 5 centimetrů, které jsme postupně nalepili na zrcadlo. Ve finále zbývalo už jen sejmutí ochranné vrstvy z fólie.

Výsledek práce

Výsledek je doslova vynikající a vyrobené zrcadlo dává slibné výsledky při testování jeho optických vlastností. Samozřejmě kvalita zrcadla bude patřičně otestována při slunečním dni, kdy s vyrobeným zrcadlem provedeme stejné pokusy jako s originálním zrcadlem a budeme moci srovnat výsledky.

Ekologické a ekonomické zhodnocení

Pohon Stirlingova motoru sluneční energií je z ekologického hlediska velmi pozitivní, protože při provozu takového zařízení nevzniká odpad ani emise. Pokud bychom se podívali na celou záležitost komplexně, například kolik energie bylo do takového zařízení vloženo při jeho výrobě a kolik energie se během životnosti celého zařízení získá, musíme konstatovat, že z důvodu velice levné a jednoduché výroby parabolických zrcadel je velmi pozitivní nejen energetická bilance, ale i ekonomika. Jediné, co by mohli oponenti naší práce namítnout, že celé zařízení bude pracovat pouze při slunečním svitu.

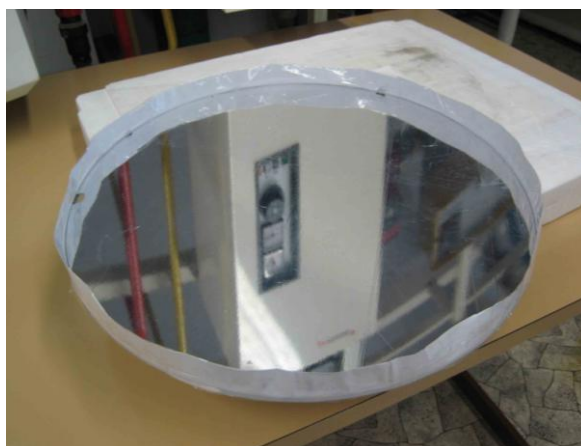
Závěr

Tento projekt měl být jakýmsi experimentem, jestli je možné především dostupnými prostředky vyrobit poměrně kvalitní parabolické zrcadlo pro pohon Stirlingova motoru. Již máme zrcadlo otestováno i při slunečním svitu, kde jsme zaznamenali rozostření ohniska asi o průměru 100 mm, což přesně odpovídá našim potřebám, protože ohřívák Stirlingova motoru bude smyčka z trubiček o průměru přibližně 100 mm. Znamená to, že již teď můžeme konstatovat, že vyrobené zrcadlo bude plně vyhovovat pro pohon motoru. Ekonomická stránka výroby je nesporně pozitivní, když si představíme, že výroba našeho zrcadla nepřesáhne 500 korun oproti přibližně 10 tisíc (a více) korun za originální zrcadlo!

Obrazová příloha



Obr. 2: Originální zrcadlo



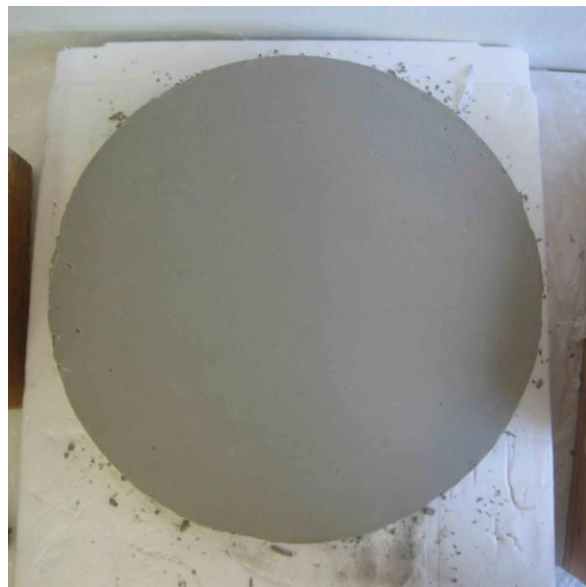
Obr. 3: Originální zrcadlo potažené smršťovací fólií a připravené k vylití sádry



Obr. 4: Rozpracovaná sádrová matrice opatřená dráty jako výztuží



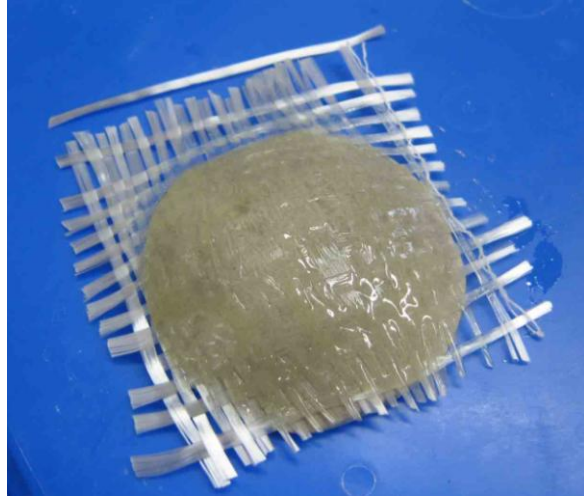
Obr. 5: Matrice po odlití



Obr. 6: Matrice po oddělení od originálního zrcadla



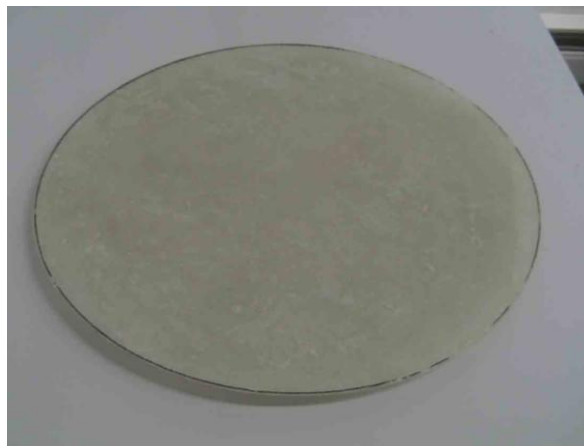
Obr. 7: Nedostatky na povrchu matrice jsou vytmeleny akrylátovým tmelem a celá matrice je přetažena smršťovací fólií.



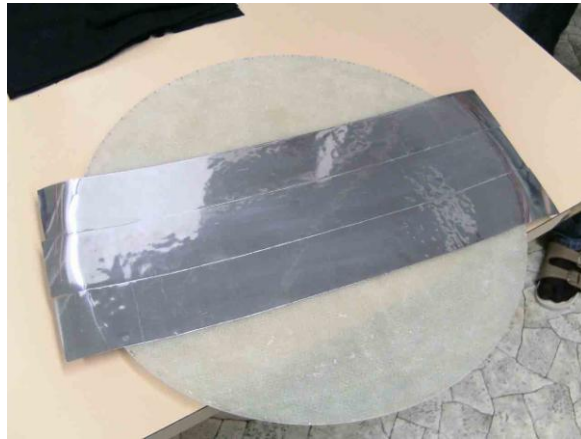
Obr. 8: Experimentální vzorek opatřený laminátem



Obr. 9: Vytvrzený laminát na matrici



Obr. 10: Oříznuté tělo zrcadla



Obr. 11: Lepení zrcadlové fólie



Obr. 12: Konečný výsledek vyrobeného zrcadla



Obr. 13: Konečný výsledek vyrobeného zrcadla