



Středoškolská technika 2010

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

STERLINGŮV MOTOR

Radka Tolmanová, Petr Šebek

ISŠT Benešov
Černoletská 1997, Benešov

Úvod:

Téma mé práce na soutěž Enersol je Stirlingův motor. O tomto motoru jsem se dozvěděl od našeho pana učitele, který se zajímá o historickou techniku. Na jedné vyučovací hodině nám vyprávěl o tomto dnes již pro většinu lidí neznámém vynálezu.

Na příští vyučovací hodině nám pan učitel oznámil, že pro případné zájemce domluvil návštěvu u sběratele, který několik Stirlingových motorů vlastní a předvede nám je v provozu. Se svolením vedení naší školy se v dalším týdnu uskutečnila návštěva pana Tomáše Svobody, majitele firmy „Truhlářství u Lichtenbergů“. Tato firma se zabývá renovacemi historických vozidel vyrobených do roku 1945 a pan Svoboda je navíc sběratelem modelů parních strojů. Než jsme si mohli prohlédnout cíl naší cesty, kterým byl Stirlingův motor, tak nám pan Svoboda ukázal několik starých Tater a Pragovek. Některé byly již po renovaci, jiné v různém stádiu renovace. Majitel vyprávěl, že první model Stirlingova motoru získal na inzerát, kde se nabízel nefunkční model parního stroje. Když tento model pan Svoboda zakoupil, tak začal zjišťovat, co si to vlastně pořídil, protože od všech modelů, které do té doby vlastnil se tento nový přírůstek zásadně odlišoval.

Později se mu povedlo zjistit, co že to vlastně získal, a tak prý byl vytvořen základ jeho dnešní sbírky Stirlingů.

Úvodem nám byl předveden v provozu svislý motor, který má pan Svoboda jednoduchým způsobem zabudovaný v upravených kamnech. Konkrétně tento motor prý pracoval v kovárně, kde se k jeho pohonu využívalo odpadní teplo z výhni, které jinak bez dalšího využití unikalo do komína. Tento motor kovářům poháněl měchy, které vhnějí vzduch potřebný pro hoření do výhni. Takže kováři tak měli zadarmo zajištěný dostatečný přísun vzduchu pro hoření výhni. Na jmenovaném příkladu je jasně vidět ideální možnost využití zbytkového tepla unikajícího do komína, které jinak snad ani využít nelze.

Potom nám předvedl miniaturní rychloběžný motor, který snad vyrobila nějaká švýcarská firma v loňském roce.

Pro mě byl nejzajímavější poslední předvedený motor, který je přesnou kopií dětské hračky vyráběné údajně kolem roku 1920, jedná se o stroj s horizontálně umístěnými válci o výkonu 2W. Pan Svoboda nám totiž slíbil, že nám jeden tento model vyrobí a dodá do školy, abychom si ho mohli sami vyzkoušet a důkladně se s ním seznámit.

Zhruba za měsíc opravdu byl ve škole jeden zbrusu nový Stirling a my ho mohli předvést v provozu všem nedočkavým zájemcům.

Konstrukce modelu:

Vyrobený model Stirlingova motoru je složen ze dvou válců, horkého-ohřívaného a studeného-ochlazovaného. Kompresní prostory obou válců jsou propojeny vrtáním v hliníkovém bloku. Písty z obou válců jsou ojnicemi spojeny s klikovým ústrojím tak, že kliky obou válců jsou pootočený o 92°. Při otáčení je vzduch přefukován ze studeného do teplého válce, kde se ohřeje. Tím vzroste jeho tlak, což vede k pohybu pístů směrem k poloze, při které je souhrnný prostor nad písty největší. Pak následuje přefouknutí vzduchu do studeného válce, jeho smršťování a nucený pohyb pístů do polohy, při které je souhrnný prostor nad písty nejmenší.

Horký válec je u našeho modelu ohříván kostkou tuhého lihu. Aby nebyl vystaven příliš vysokým teplotám, není zde ohříván přímo válec, ale pouze jeho nástavec, který je od samotného válce tepelně odizolován. Tento nástavec zasahuje nad stojánek s tuhým lihem, který tvoří topeniště motoru. Studený válec je chlazený vzduchem pomocí chladicích plechů.

Kliková hřídel je vytvořena z jednoduché hřídelky, na níž je uprostřed umístěn setrvačnický a obou stran klikové mechanismy. Kliková hřídel je na dvou kluzných ložiskách. Celkově lze ke konstrukci říci: „Neuvěřitelně jednoduchá a vysoce účelná“.

Model Stirlingova motoru je upevněn na masivním litinovém stojanu, kterého úkolem je alespoň částečně pohlcení vibrací vznikajících při provozu.

Vlastnosti Stirlingova motoru

Stirlingův motor je teplovzdušný motor s vnějším spalováním, pracující na základě změny tlaku a objemu plynu v závislosti na teplotě. Většinou jsem se ale setkal s nesprávným pojmenováním „spalovací“.

Hlavní výhody tohoto typu motoru jsou:

- **možnost použít prakticky jakékoliv palivo** -

jde o motor s vnějším spalováním, takže jako zdroj tepla lze použít nejrůznějších paliv a to většinou plynů (zemní plyn, LPG, bioplyn), ale také lze využít odpadní teplo z technologických procesů a obnovitelných zdrojů jako například biomasu nebo sluneční záření atd. Z toho vyplývá, že je jen na nás jak ekologické palivo pro svého Stirlinga zvolíme. U tohoto motoru je také možná velmi snadná změna paliva což je u klasických spalovacích motorů takřka neřešitelný problém.

- **minimální pravděpodobnost poruchy** -

motor nemá zapalovací svíčky, karburátor ani vstřikování, složité ventilové rozvody atd.

- **tichý běh motoru** -

palivo je spalováno kontinuálně vně motoru, tudíž nevzniká téměř žádný hluk a zároveň spaliny nepůsobí přímo na píst či lopatky stroje.

- **minimální znečištění životního prostředí** -

palivo je spalováno mimo motor za optimálních podmínek

- **bezpečný provoz** -

motor nemá vysokotlaký kotel jako parní stroj, nehrozí jeho výbuch při přetopení kotle, pracuje s mnohem nižšími teplotami než parní stroj, neuniká z něj horká pára nebo horké

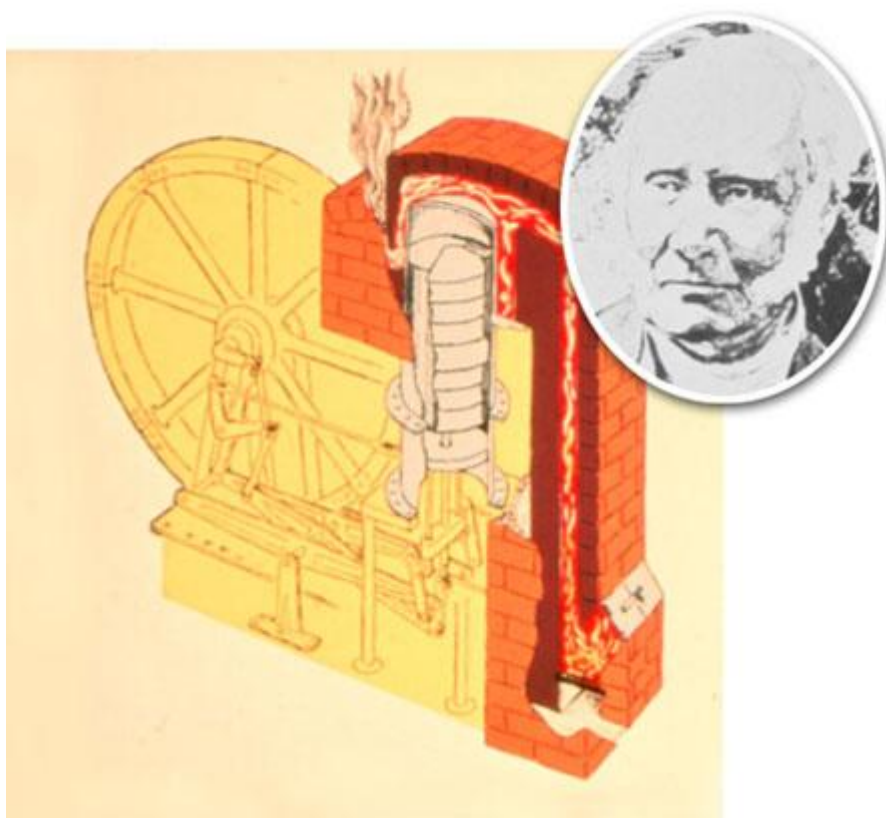
zplodiny hoření.

- **vysoká životnost** –

neuvěřitelně málo pohyblivých součástí, robustní a jednoduchá konstrukce přesvědčuje o dlouhé životnosti bez poruch.

Historie

Stirlingův motor se zrodil 27.9.1816, kdy si tento typ motoru nechal patentovat tehdy šestadvacetiletý skotský pastor Robert Stirling (1790-1878). Stalo se tak osm let před vydáním odborné práce Sadi Carnota „Úvahy o hnací síle ohně a strojích tuto sílu rozvíjet“. Jinak řečeno bylo to v době, kdy ještě neexistovala teorie tepelných motorů. Stirlingův patent však dokazuje, že si autor již tehdy plně uvědomoval všechny podmínky nezbytné k efektivní přeměně tepla v mechanickou práci. V roce 1818 postavil velký motor s výkonem 2 hp, aby čerpal vodu z kamenolomu v Ayrshire ve Skotsku a letech 1827 a 1840 obdržel Robert Stirling ještě dva patenty (č. 5456 a 8652) na zdokonalené varianty svého stroje. Robert Stirling s teplovzdušnými motory, jak se jim tehdy říkalo, pracoval celý život. Na počest jejich duchovního otce nesou jeho jméno do dnešních dnů, kdy prožíváme jejich renesanci pro energetický sektor.



Obr. 1 Robert Stirling a jeho první teplovzdušný motor

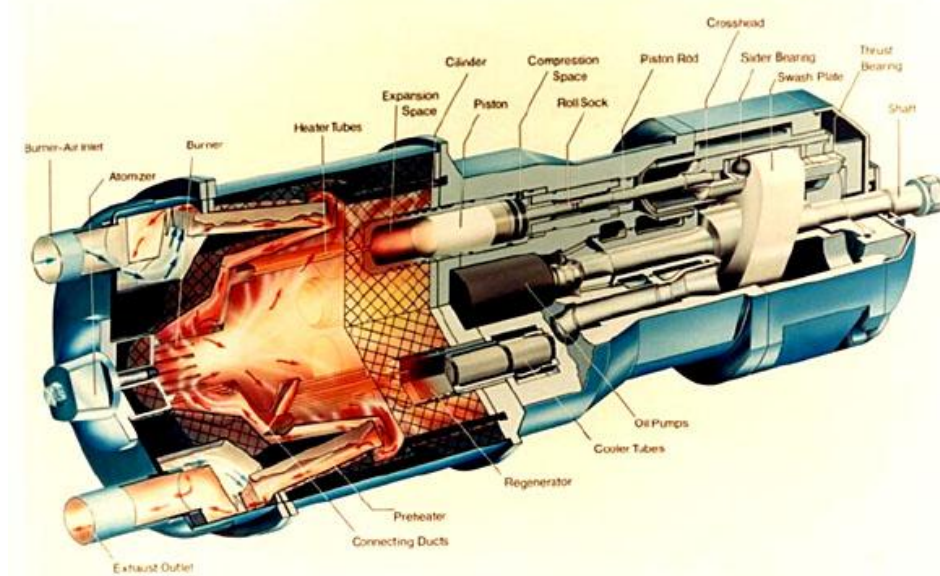
V průběhu 19. století a na počátku 20. století se objevovaly nejrůznější aplikace Stirlingových motorů. Pumpovaly vodu pro dobytek na vyprahlém západě Spojených států, na železnicích, v dolech a dodávaly vodu bezpočtu sídlům a statkům. Malé Stirlingovy motory poháněly zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atp.. Velké typy byly používány k pohonu navijáků a v dalších průmyslových aplikacích. Používala se kapalná, pevná i plynná paliva. Mnohé z těchto motorů byly vyvinuty švédským vynálezcem Johnem Ericssonem, jehož nejznámějším projektem byla pancéřová bitevní loď Monitor z doby občanské války v USA.

Ericsson postavil mnoho motorů založených na Stirlingově principu pro obchod, průmysl a zemědělství. Uvědomoval si výhody Stirlingova motoru a svými konstrukcemi předběhl svou dobu. Postavil například Stirlingův motor poháněný pouze sluneční energií. Stirlingův motor byl v 19. století limitován hlavně metalurgickými možnostmi své doby. Právě z těchto důvodů a z důvodu vyšší hmotnosti byl nakonec vytlačen nově vyvinutými spalovacími motory a elektromotory. Stirlingův motor byly téměř zapomenut až do 20. let minulého století.

Zájem o tento typ motoru znovu podnítil až v roce 1938 N.V. Philips z Nizozemí, když začal s vývojem malého Stirlingova motoru s výkonem 200W. Philips, 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.

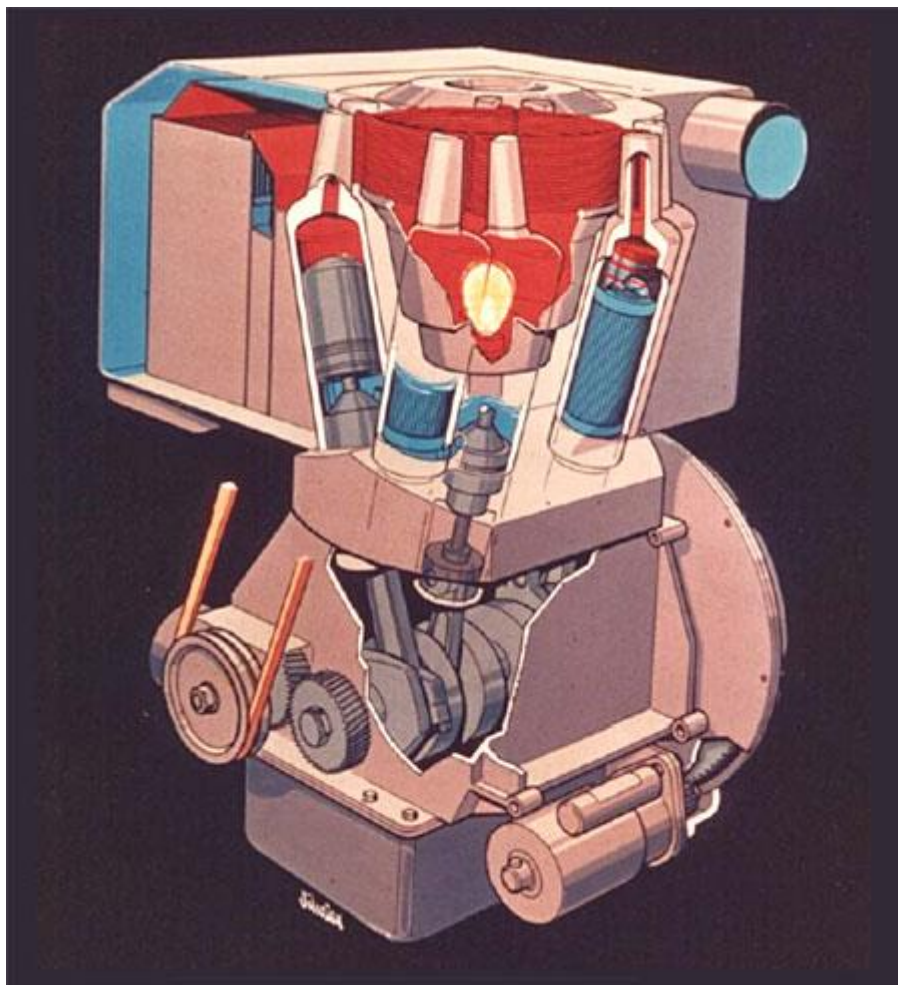
Rychlý rozvoj technologie výroby materiálů, který nastal v padesátých letech minulého století, otevřel nové perspektivy i pro **Stirlingův motor**.

V roce 1968 švédská FFV Group vytvořila joint venture s dalšími švédskými společnostmi, aby prozkoumaly možnosti vývoje zdokonalené sériové verze moderního Stirlingova motoru. Tato nová joint venture dostala jméno United Stirling. K tomuto kroku přispěla velkým dílem hlavně blížící se ropná krize, která vyvolala snahu používat do motorových vozidel jiná paliva, než je benzín či nafta. Za použití licence N.V. Philips začala tato společnost s vývojem motoru o výkonu 200 hp, určeného pro městské autobusy, terénní vozidla a ponorky. V průběhu let 1969-1970 Philips vyvinul pohonnou jednotku s rombickým mechanismem pro městský autobus. Motor byl čtyřválec se zdvihovým objemem 235 cm³ na každý válec a při středním tlaku 22 MPa a 3000 min⁻¹ dosahoval 200 koňských sil (hp). Motor však při tak vysokém tlaku neskýtal předpoklad dosažení očekávané životnosti. United Stirling se proto rozhodl vyvinout svůj vlastní motor s označením 4-65. Tento motor dosahoval stejného výkonu jako motor Philips už při 15 MPa a otáčkách 1500 ot/min. Následovaly další verze společného vývoje Philips a United Stirling s cílem minimalizovat výrobní náklady. Podrobným výpočtem se nakonec ukázalo, že i v sérii 10 000 ks ročně bude cena stále 2,5 krát vyšší než stejně výkonný vznětový motor, a to z důvodu značné komplikovanosti motoru.



Obr. 2 Stirlingův motor Philips V4-65

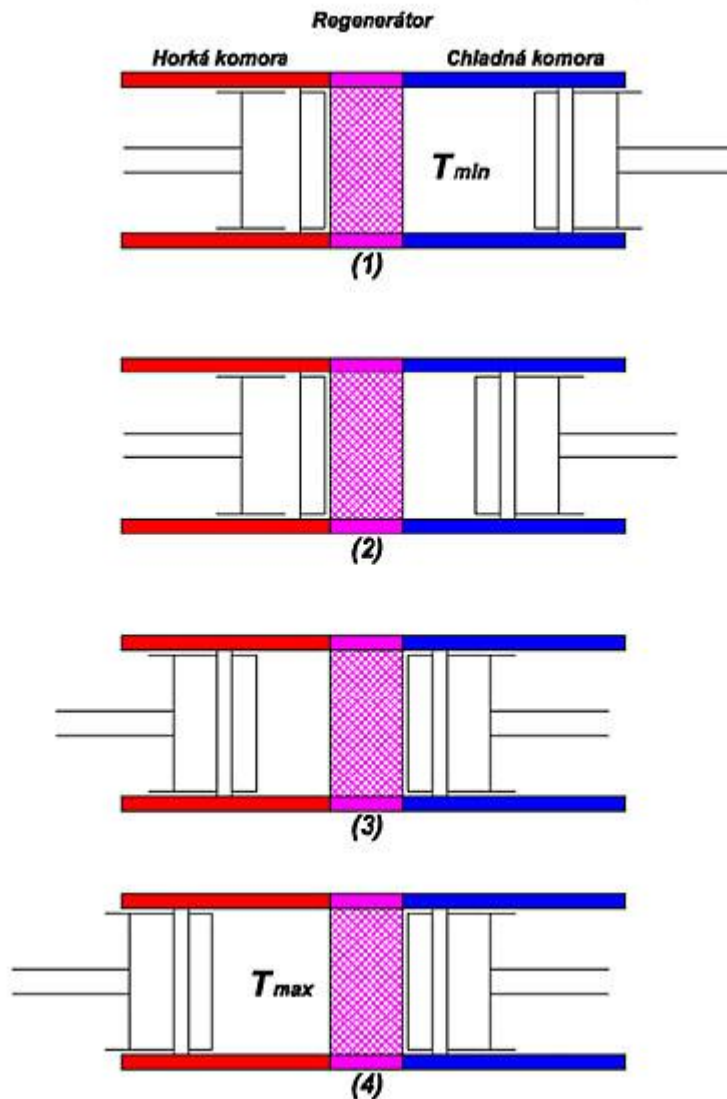
V 70. letech 20. století United Stirling intenzivně pracoval na vývoji pohonné jednotky pro osobní automobily. Po zkušenostech s problematickou výrobou motorů řady 4-615 se rozhodl pro tento účel použít konstrukci motoru Philips 4-65 s naklápěcí deskou (viz. Obr. 2). Tento motor prošel dlouhým vývojem, který byl směřován do použití v osobních automobilech. Jeden z následných typů V4X2 byl roce 1974 zastavěn do osobního vozidla Ford Pinto s automatickou převodovkou a předveden představitelům společnosti Ford. Vůz přesvědčil komfortem a tichostí jízdy, avšak do výroby se nedostal. Vývoj dále pokračoval až do finálního typu V4X35, který byl v roce 1974 zastavěn do vozu Ford Taurus s manuální převodovkou!!! Tři vykřičníky proto, že největší slabinou Stirlingova motoru je právě rychlá změna výkonu, kterou manuální převodovka vyžaduje mnohem více než automatická. Přes uspokojivé jízdní zkoušky v rozsahu 10 000 km a splnění veškerých požadavků na akceleraci i deceleraci (90% výkonu za 0,5 s) nebyla sériová výroba nikdy zahájena z důvodů ceny pohonné jednotky, kterou značně prodražil právě systém regulace výkonu.



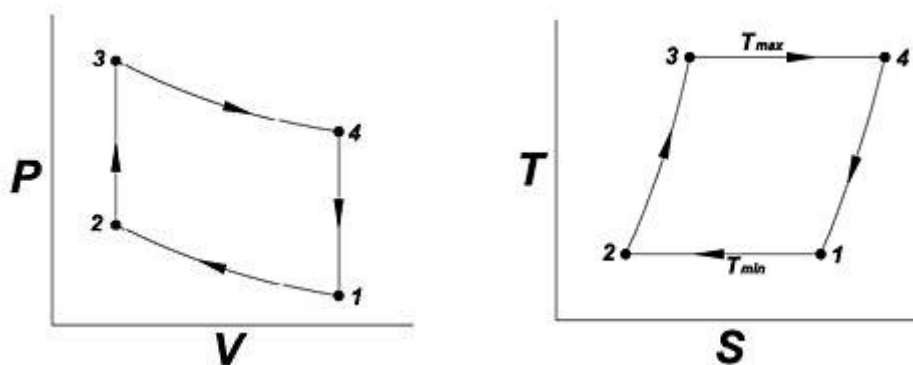
Obr. 3 Stirlingův motor V4X2

Princip funkce Stirlingova motoru

Pro lepší pochopení dalšího textu se pokusím vysvětlit princip funkce Stirlingova motoru na ideálním oběhu. Ideální oběh Stirlingova motoru je tvořen dvěma ději izochorickými a dvěma izotermickými. Neuvažuji reálnou kinematiku mechanismu ani nevyužitě (škodné) objemy „H“, chladiče „C“ a regenerátoru „R“. Oběh je znázorněn na obr. 4 a dále v diagramu na obr. 5.



Obr. 4 Pracovní fáze Stirlingova motoru



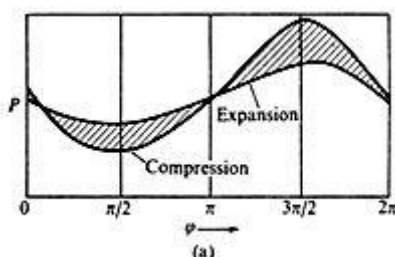
Obr. 5 Ideální p-v a T-s diagram Stirlingova motoru

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 „C“ je v tomto prostoru udržována stále konstantní teplota T_{min} . 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 ohříváné části, což reprezentuje změna 2-3, kde dochází k ohřevu na maximální teplotu T_{max} . 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 „R“ (nádoza 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, jehož účinnost je dána vztahem

$$\eta_t = 1 - \frac{T_{MIN}}{T_{MAX}}$$

účinnost motoru by tedy měla tepelných strojů, teplota T_{min} teplotou chladicího média) a materiálovými vlastnostmi Stirlingova motoru je snížena teoretické kinematiky, škodným objemům ohříváku, chladiče a regenerátoru, jejich tlakovým ztrátám při průtoku pracovního plynu (hlavně regenerátor) a nežádoucím odvodu tepla do okolí. Reálný p-v diagram ukazuje obr. 6.



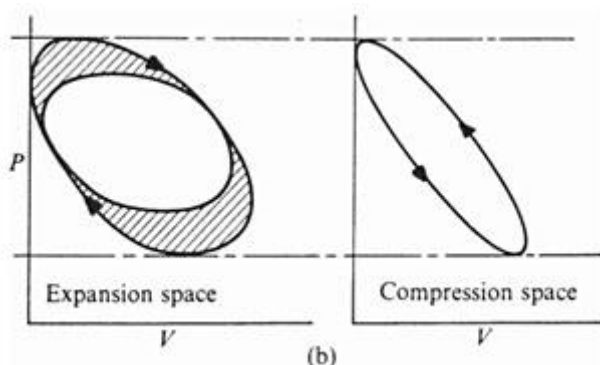
Pro co možná nejlepší být, stejně jako u všech co nejnižší (omezení T_{max} co nejvyšší (omezení ohříváku). Reálná účinnost díky nemožnosti dosáhnout

Obr. 6 p-v diagram reálného motoru

- (a) diagram expanzního prostoru
- (b) diagram kompresního prostoru
- (c) celkový pracovní diagram

Obr. 7 Vliv aerodynamických ztrát na práci motoru

(a) Průběh tlaku v kompresním a expanzním prostoru během jedné otáčky motoru. Rozdíl v tlakových rozdílech je dán aerodynamickými ztrátami v regenerátoru a dalších výměnících.



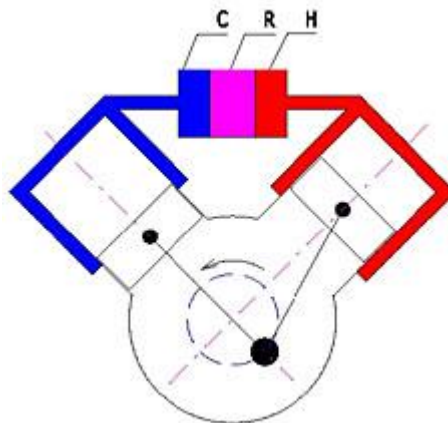
(b) p-v diagram pro expanzní a kompresní prostor. Vyšrafovaná plocha představuje

ztrátu práce aerodynamickými ztrátami v regenerátoru a dalších výměnících.

V případě použití spalování jako zdroje vstupního tepla je třeba počítat i s jistou účinností přestupu tepla do žárové hlavy. Tato účinnost dosahuje maximálně 90 – 92 % i při použití špičkového rekuperačního výměníku, který předehřívá spalovací vzduch spaliny po průchodu žárovou hlavou. Celkově lze říci, že motor, který při daných teplotách T_{\min} a T_{\max} dosáhne $0,4 \cdot \eta_t$ a více, lze považovat za technologicky vyspělý.

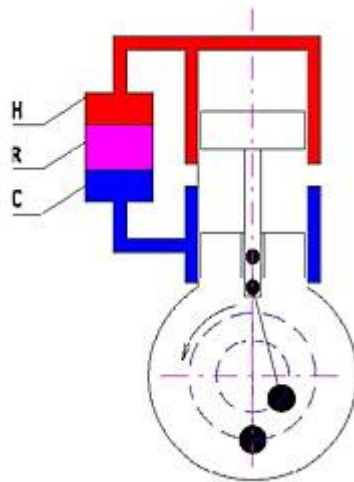
Modifikace Stirlingova motoru

Z konstrukčního hlediska lze všechny konstrukce Stirlingových motorů přiřadit jedné ze tří modifikací \square , \square nebo \square . \square -modifikace se vyznačuje umístěním chladiče, regenerátoru a ohříváku mezi dvěma válci, horkým a studeným. Někdy se označují jako expanzní a kompresní, ale názvosloví není ještě ustáleno. Typickým představitelem jednočinné \square -modifikace (obr. 8) je pohonná jednotka firmy SOLO Stirling GmgH (viz. dále). Je možno se setkat i s dvojčinným provedením, kdy je zapotřebí mít alespoň čtyři válce, v nichž se pohybují čtyři písty. Prostor nad písty je ohříván a prostor pod písty je chlazen, přičemž studený prostor s horkým prostorem sousedního válce jsou propojeny (např. 4-65 - Philips, V4X – United Stirling, SES, STM, Kockums). Toto provedení značně snižuje měrnou hmotnost na jednotku výkonu, a proto je asi nejrozšířenější konstrukční variantou Stirlingových motorů).



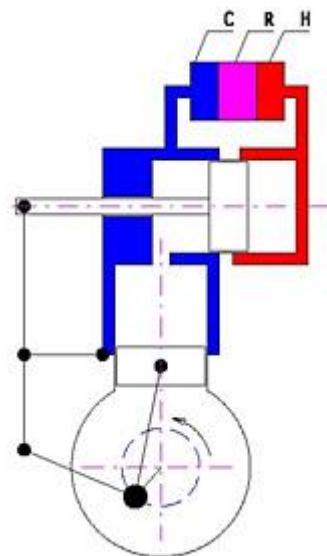
Obr. 8 - modifikace Stirlingova motoru

\square -modifikace se vyznačuje tím, že v jednom válci se pohybují oba písty, které se v tomto případě označují jako pracovní, neboť koná práci (studený), a přemísťovací, který u této modifikace slouží pouze pro přemísťování pracovního plynu z prostoru horkého do studeného a naopak. Chceme-li však docílit netlakové skříně, přináší řešení nutného dvojitého těsnění pístních tyčí značné komplikace, neboť pístní tyč přemísťovacího pístu prochází dutou pístní tyčí pístu pracovního (např. GM Allison PD-46).



Obr. 9 - modifikace Stirlingova motoru

Motory \square -modifikace mají také dva písty, přemísťovací a pracovní, ale každý z nich se pohybuje ve vlastním válci. Jejich charakteristickou vlastností je, že ani teoreticky nemůže nastat situace, kdy je objem chladného prostoru nulový. Tato modifikace se omezuje na modely a velmi malé motory do výkonu v řádech stovek wattů.



Obr. 10 - modifikace Stirlingova motoru

Dále můžeme rozlišovat Stirlingovy motory dle použitých mechanismů pro převod posuvného pohybu na rotační. Nejznámější jsou mechanismy rombické, klopná deska ale i klasický klikový mechanismus, který je výrobně nejjednodušší. Do budoucna se zdá být slibné použití lineárních generátorů.

Využití Stirlingova motoru v praxi

Současné aplikace používající Stirlingův motor směřují především ke kombinované výrobě elektrické a tepelné energie. Jako zdroje tepla pro ohřívák se nejčastěji používá spalování nejrůznějších paliv, a to většinou plyných (zemní plyn, LPG, bioplyny). Začínají se objevovat informace o připravovaných aplikacích spalujících biomasu, ale žádná firma zatím nenabízí komerční produkt. Největší budoucnost Stirlingova motoru je bezesporu ve výrobě elektrické energie právě z odpadního tepla z technologických procesů a z obnovitelných zdrojů energie, jako je např. biomasy či sluneční záření.

V případě použití biomasy je výhoda Stirlingova motoru v tom, že spalování probíhá vně motoru, což je výhodnější ve srovnání s klasickými pístovými motory či turbínami, kdy spaliny působí přímo na píst či lopatky stroje.

V případě slunečního záření je zase Stirlingův motor jediným pístovým motorem, který dokáže teplo slunečního záření přeměnit přímo na elektrickou energii. Navíc dosahuje v porovnání se solárními elektrovoltaickými panely vyšší účinnosti. Komerční aplikace Stirlingova motoru nabízí jen několik následujících firem.



Obr. 11 Solární jednotka SES, 25 kW

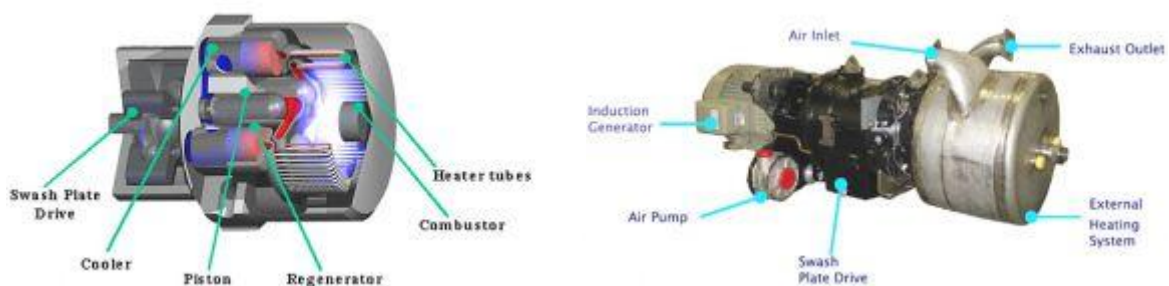
SES (Stirling Energy Systems, Inc., USA) vyvinula solární jednotku pro výrobu elektrické energie, zobrazenou na obr. 11, s elektrickým výkonem 25 kW a se špičkovou účinností 29,4%. Koncentrátorem sluneční energie je parabolické zrcadlo o průměru 11,37 m. Použitý Stirlingův motor vychází z typu V4-95 Kockums. Pracovním plynem je vodík s tlakem až 20 MPa. Celý projekt je realizován za spolupráce firem United Stirling, Kockums, Volvo a Boeing. Několik těchto zařízení bylo podrobeno provozním zkouškám v reálném provozu téměř 20 let a v současné době je připravována sériová výroba. SES totiž uzavřela kontrakt na dodávku jednotek pro jednu solární elektrárnu s výkonem 500 MW s možností rozšíření až na 850 MW a druhou podobnou s výkonem 300 MW s možností rozšíření na 900 MW. Obě elektrárny by měly být postupně realizovány do roku 2025 v poušti Mojave a v Imperial Valley. Další aktivity firmy směřují k vývoji motoru na plyná paliva, především na bioplyn.

Dalším produktem na trhu je výrobek americké firmy STM Power, Inc.. Je jím kogenerační jednotka na bázi Stirlingova motoru určená pro plyná paliva s elektrickým výkonem 55 kW, elektrickou účinností až 30% (obr.13). Nespornou výhodou u tohoto stroje je jeho servisní

interval, který činí 10 000 hodin. Pracovním plynem je v tomto případě opět vodík, který je vytvářen pomocí elektrolýzy z vody a dle potřeby je možno pokrývat jeho ztráty. Další aktivity této společnosti směřují k vývoji výkonnější verze motoru.



Obr. 12 Kogenerační jednotka STM Power, Inc.



Obr. 13 Stirlingův motor z KJ STM-Power, Inc.

Z evropských firem je nejvýznačnější německá SOLO STIRLING GmbH. Ta vyrábí a dodává kogenerační jednotku na bázi inovovaného motoru, který vychází z dobře známého United Stirling V-160. Jedná se o jednočinnou \square -modifikaci s válci V pod úhlem 90° , což je co do výrobní náročnosti a dosažených parametrů bezesporu jedno z nejlepších řešení pro výkony do 10kW. Tato kogenerační jednotka dosahuje elektrického výkonu 7,5 kW při 13 MPa helia (dříve uváděný výkon 9 kW při 15 MPa) a účinnosti 24% při 650°C teploty helia v expanzním válci a 50°C topné vody. Servisní interval pro výměnu oleje, doplnění helia atp. je udáván na 5000 – 8000 hodin. Cena základní kogenerační jednotky na zemní plyn je však při dnešních cenách energií poměrně vysoká .



Obr. 14 KJ SOLO STIRLING 16 (zemní plyn)

Velice zajímavým produktem je i malá kogenerační jednotka novozélandské firmy Whispergen s elektrickým výkonem 1,2 kW, tepelným výkonem 8-10 kW a účinností 10-13%, která je díky svým parametrům přímo předurčená pro běžné domácnosti. Vyznačuje se velmi nízkou hlučností, malými zástavbovými rozměry a zdařilým designem, umožňujícím instalaci jednotky do běžné kuchyňské linky. Jednotka má velmi malou elektrickou účinnost, tudíž by byla lepší charakteristika „plynový kotel s doplňkovou výrobou elektřiny“. Malá elektrická účinnost však podstatně snižuje cenu stroje, a tak provozní filozofie má své opodstatnění. Provoz je řízen výhradně potřebou tepla. V topné sezóně je pak vyráběný přebytek elektrické energie dodáván do sítě. Naopak mimo topné období, kdy je potřeba tepla malá a jednotka většinou není v provozu, je elektrická energie se sítě odebírána. Energetická síť je tak využívána jako „roční akumulátor elektřiny“, pro což však ve většině zemí chybí legislativní podpora. Instalace v systému rodinného domku je naznačena na obr. 15.



Obr. 15 KJ Whispergen v systému rodinného domu

Špičkou ve vývoji a výrobě Stirlingových motorů je švédská společnost Kockums AB. V současné době je jedna z jejích divizí i United Stirling AB. Kockums se však v posledních letech zaměřuje většinou na vývoj a výrobu vysoce výkonných pohonných jednotek pro ponorky, v nichž používají téměř k dokonalosti dotažený motor V4-235 s výkonem 75 kW.

Jejich hlavním zájmem jsou pouze parametry motoru, a tak není divu, že cena jednoho takového dosahuje i 1,5 milionu. Společnost Kockums vyvinula pro ponorky unikátní AIP systém (Air Independent Propulsion System) na bázi Stirlingova motoru. Tento systém je založen na spalování vodíku za přítomnosti syntetického vzduchu, připravovaného z tlakových lahví. Proto může být motor v provozu i pod hladinou. Produktem spalování je pouze vodní pára, která je následně kondenzována a ukládána v zásobníku. Součástí celého pohonného systému jsou dále akumulátory elektrické energie, dieselagregát, elektromotor a elektrický generátor. Hlavním pohonem je většinou elektromotor. Při plavbě na hladině jsou dobíjeny akumulátory dieselagregátem a současně elektrolýzou rozkládána dříve zkondenzovaná voda opět na kyslík a vodík. Tento systém umožní ponorce zůstat pod hladinou několikanásobně déle než při použití klasického řešení (dieselagregát a akumulátory).

Charakteristické vlastnosti Stirlingova motoru

Výhody Stirlingova motoru oproti klasickým spalovacím motorům:

- díky vnějšímu přívodu tepla lze přímo využít prakticky jakéhokoli paliva (plynná, kapalná a pevná paliva)
- lze využít i odpadního tepla z technologických procesů, geotermální energie, solární energie a s rozumnou účinností toto teplo převést přímo v elektřinu
- vyšší vnitřní tepelná účinnost
- výrazně nižší servisní náklady, dané dlouhými servisními intervaly, který činí běžně 5 000 až 10 000 hodin; dlouhá životnost je dána hlavně skutečností, že olej není v přímém kontaktu se spaliny ani horkými díly motoru a náplň motoru je z výroby velmi čistým, k materiálům netečným plynem
- nulová spotřeba oleje
- velmi nízká hlučnost vlivem pozvolné změny tlaku během cyklu a absence cyklických zážehů či vznícení
- při správné konstrukci spalovacího systému má motor díky vnějšímu spalování nižší emise škodlivin

Nevýhody Stirlingova motoru oproti klasickým spalovacím motorům:

- vyšší cena z důvodu malé sériovosti a náročné, čisté montáže vysoce kvalifikovanými pracovníky, nutnosti použití speciálních materiálů a některých technologií nevhodných pro sériovou výrobu
- pomalejší regulace výkonu - pro výrobu elektřiny a tepla to nepředstavuje žádný problém
- vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu, opět není problémem pro výrobu elektřiny a tepla
- většinou mírně nižší účinnost, která je však u malých výkonů bohatě kompenzována podstatně nižšími servisními náklady

Závěr

Podle našeho názoru je Stirlingův motor je velmi zajímavé technické řešení přeměny tepelné energie na mechanickou. Myslíme si, že je do budoucna velmi nadějným a perspektivním zdrojem energie. Jeho velikou předností je jednoduchost řešení, zejména nás zaujala snadná možnost změny paliva. Pro tuto vlastnost je také dnes Stirlingův motor považován za alternativní zdroj energie.

Pokud použijeme odpadové teplo, vznikající například v elektrárnách tak se tím zvýší jejich účinnost, využívat lze i teplo vznikající jako vedlejší produkt při výrobě například v továrnách.

Další možnost je spalování biomasy nebo využití sluneční energie. V případě sluneční energie je Stirlingův motor jediným pístovým motorem, který dokáže přímo přeměnit sluneční záření na elektrickou energii.

V současné době intenzivně probíhá výzkum a pokusy o zabudování tohoto motoru do automobilů. V České republice se tímto výzkumem zabývá firma Tedom, která pracuje na motoru, záměnným s motorem Škoda EA111 (tříválec 1,2l).

Tento vyvíjený motor je plánován jako alternativní záměna do kogeneračních jednotek KJ Tedom řady micro. Jako palivo je u tohoto motoru zatím používán zemní plyn a bioplyn.

Hlavní využití Stirlingova motoru se předpokládá právě v oblasti mikrokogenerace na bioplyn a jiné typy obnovitelných zdrojů jako je slunce či odpadní teplo.

Myslíme si, že Stirlingův motor jako alternativní zdroj elektrické energie je velmi zajímavé a perspektivní řešení, které bylo v minulosti takřka zapomenuto.