

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 4 (1976/1977)

Številka 1

Strani 17-23

Riko Jerman:

STROJI NA VROČI ZRAK

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/4/4-1-Jerman.pdf>

© 1976 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA – založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



STROJI NA VROČ ZRAK

Najbolj vsakdanji toplotni stroji so stroji na notranje iz-gorevanje, kakršna sta bencinski in dizelski stroj. Ta stroja sta zelo hrupna in onesnažujeta zrak. Zato si v zadnjem času prizadevajo, da bi izdelali toplotne stroje, ki ne bi bili pre-več hrupni in ne bi v tolikšni meri onesnaževali zraka. O naj-bolj obetavnih strojih - *strojih na vroč zrak* ali *Stirlingovih strojih* - pripoveduje sestavek.

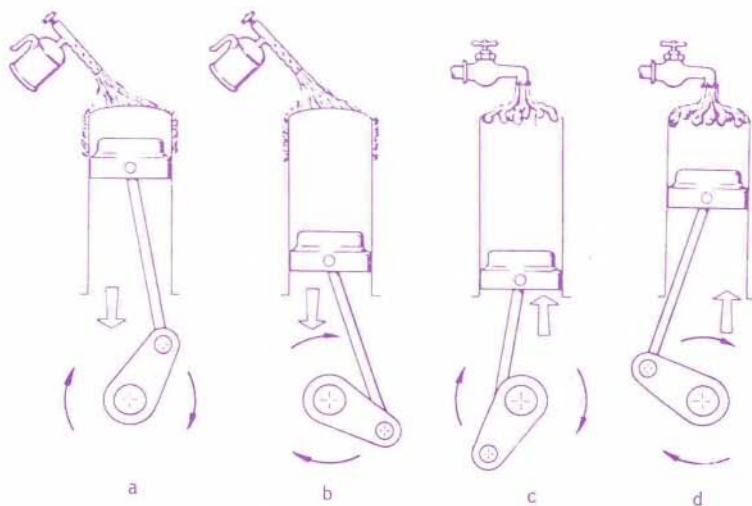
Najprej si bežno ogledjmo del fizike, ki pojasnjuje delovanje toplotnih strojev. Po *energijskem zakonu* v obliki, ki jo navad-no uporabimo v *termodinamiki*, povečamo opazovanemu telesu notra-njo energijo, če mu dovedemo toploto ali delo. Notranja energija je tisti del energije telesa, ki ga določa stanje telesa - tlak, temperatura, prostornina, kemijski sestav. Zakon dopušča, da o-pazovano telo odda delo ali toploto in se mu pri tem zmanjša no-tranja energija. To vključuje na primer tudi možnost, da bi se kamen dvignil zaradi toplote, ki smo mu jo dovedli. Dobro vemo, da takšni in podobni pojavi niso možni. Velja namreč še *entro-pijski zakon*, ki pravi, da lahko le del dovedene toplote spreme-nimo v delo, drugi del pa moramo v obliki toplote odvesti. Zato moramo telesu - *delovni snovi* - dovajati toploto pri višji tem-peraturi in jo odvajati pri nižji temperaturi, če želimo od nje-ga dobivati delo. Razliko med dovedeno in odvedeno toploto stroj odda v obliki dela. Pomemben podatek o toplotnem stroju je *iz-koristek*, to je delež toplote, ki jo stroj odda kot delo:

$$\text{izkoristek} = (\text{dovedena toplota} - \text{odvedena topl.}) / \text{dovedena topl.} = \\ = \text{opravljeno delo} / \text{dovedena toplota}$$

Preden opišemo delovanje stroja na vroč zrak, pogledjmo bežno njegovo zgodovino. Prvi brezhibno delujoči stroj je že 1807 preizkušal George Cayley. 1816 pa je Robert Stirling (duhovnik

pri Church of Scotland) patentiral prvi stroj na vroč zrak. Z njegovim strojem so črpali vodo iz nekega kamnoloma. Moč stroja je z dodajanjem goriva nadziral kurjač. V naslednjih letih je švedski izumitelj John Ericson v Angliji izpopolnjeval malo drugačen stroj na vroč zrak. V njegovem stroju so pretakanje plina krmilili ventili, zato je lahko dosegel velike moči. Stirlingovi stroji so imeli le nekaj konjskih moči, Ericsonov stroj iz 1853. l. pa je pri devetih obratih v minuti delal s 300 konjskimi močmi. Sestavljali so ga štirje valji, bati so imeli premer 4,2 m in gib 1,5 m. Vgradili so ga v ladjo "The Ericson", ki se je potopila v viharju pred luko New York.

Od srede devetnajstega stoletja so parne stroje in stroje na vroč zrak začeli uspešno nadomeščati stroji z notranjim izgorevanjem. 1914 so v Angliji napravili zadnji industrijski stroj na vroč zrak. Zanimanje za te stroje je upadlo, čeprav so bili bolj varni kot parni stroji in stroji na notranje izgorevanje. Teh so se ljudje sprva zelo bali, saj je parnim strojem dostikrat razneslo kotel, strojem na notranje izgorevanje pa se je večkrat vžgalo lahko vnetljivo gorivo. Vendar zanesljivost in varnost stroja na vroč zrak nista odtehtali njegove glavne pomanjkljivo-



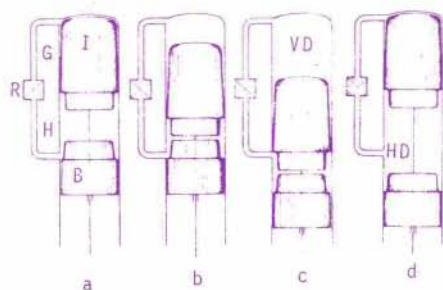
Sl. 1 Potek krožne spremembe pri stroju na vroč zrak. (a,b) - ogrevanje zraka; (c,d) - ohlajanje zraka.

sti - premajhne *specifične moči*, kakor imenujemo na 1 kp teže stroja preračunano moč.

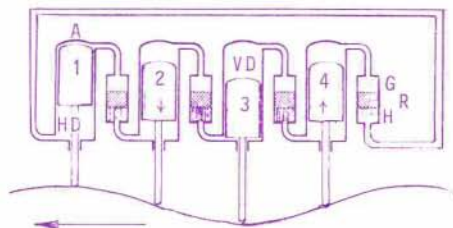
S Stirlingovim strojem so se začeli ponovno ukvarjati šele 1930 v raziskovalnih ustanovah družbe Philips. Potrebovali so zanesljiv in tih stroj za pogon prenosnih električnih generatorjev z močjo 200 W, ki bi napajali elektronske aparate. Odločili so se za stroj na vroč zrak in ga začeli izpopolnjevati. Do 1948 so napravili nekaj sto takih naprav in jih poslali šolam kot učni pripomoček. Že med izpopolnjevanjem stroja je namreč potreba po generatorjih odpadla zaradi izpopolnitve galvanskih elementov in predvsem z odkritjem tranzistorja. Kljub temu je dotedanji razvoj opozoril na zelo dobre lastnosti strojev na vroč zrak.

Sl. 1 nazorno pojasni princip delovanja. Med vrhom valja in batom je zaprt zrak. Ko zrak ogrevamo (a,b), se plin razpenja, odriva bat in pri tem opravlja delo. Nato ohlajamo zrak (c,d), ki se začne krčiti in tako ne ovira bata na poti v najvišjo lego. Vidimo, da stroj na vroč zrak deluje podobno kot stroj na notranje izgorevanje, le da pri prvem odvezemamo in dovajamo toploto skozi stene valja in je delovni plin vedno isti. Če si želimo močan stroj, se mora krožna sprememba hitro ponavljati. V našem primeru bi morali hitro ogrevati in ohlajati plin in seveda še valj, v katerem je plin. Valj mnogo počasneje sledi spremembam temperature kot plin, ki je v njem zaprt. To precej poveča čas, v katerem se krožna sprememba ponovi. Da ni treba izmenoma ogrevati in hladiti sten valja, napravimo raje del valja vroč in drugi del hladen. Med obema deloma valja premikamo plin z dodatnim izmenjalnim batom (sl. 2). Tega se je prvi domislil Robert Stirling.

Najprej premesti (a) izmenjalni bat (I) plin iz hladnega dela valja (HD) preko hladilnika (H), regeneratorja (R) in grelca (G) v vroči del (VD) valja. Nato se (med b in c) vroč zrak razpne in opravi delo na delovnem batu (B). Izmenjalni bat premesti plin v hladni del valja. Pri tem gre plin skozi grelec v regenerator. V regeneratorju odda nekaj toplote, preden se v hladilniku dokončno ohladi in vstopi v hladni del valja. Pri ohlajanju se tlak plina zmanjša in delovni bat ga stisne (a). Tako opisana krožna sprememba poteka mnogo hitreje kot prvotna (sl. 1). Zdaj omejuje hitrost krožne spremembe upor pri pretakanju plina skozi grelec, regenerator in hladilnik.



Sl. 2 Potek krožne spremembe v Stirlingovem stroju. I - izmenjalni bat; B - delovni bat; VD - vroči del valja; HD - hladni del valja; G - grelec; R - regenerator; H - hladilnik.



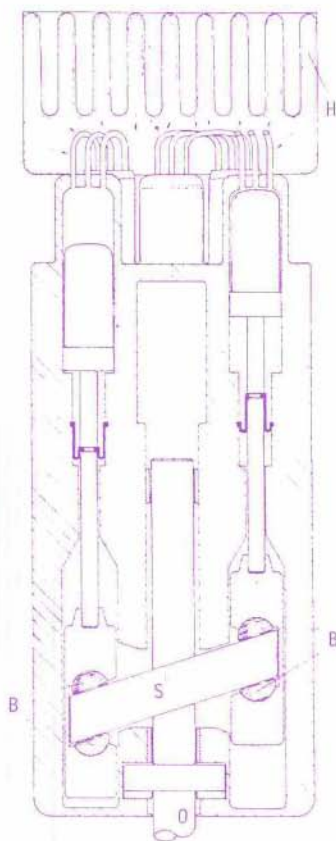
Sl. 3 Stroj z dvojnimi delovanjem. Vsak delovni bat (naprimer bat 2) opravlja hkrati nalogo izmenjalnega bata sosednjega valja (valja A). Ostale oznake kot na sl. 2.

Poleg hitrega teka je za veliko moč potreben velik tlak delovnega plina. To je težko doseči, ker plin uhaja med batom in stenami valja. Pri Philipsu so se tej težavi delno izognili z novim izumom - s *strojem z dvojnimi delovanjem*. Novi stroj sestavljajo štirje bati in štirje med seboj povezani valji (sl. 3). Vsak delovni bat opravlja hkrati nalogo izmenjalnega bata sosednjega valja. Predstavo o delovanju da sl. 3, če si mislimo, da se narisana sinusna krivulja počasi premika v smeri puščice. Opazimo, da gibanje dveh sosednjih batov zdaj ustreza gibanju bata in izmenjalnega bata prej (sl. 2).

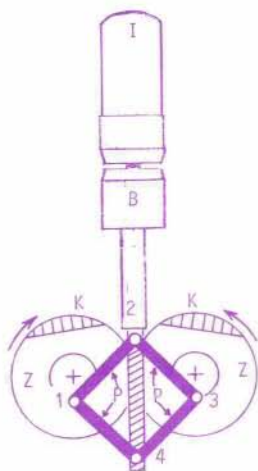
Novi stroji so bili lahki in majhni. Vendar je plin tudi pri njih hitro uhajal, saj je bil tlak plina od 50 do 200 kP/cm². Tesnila (TE) pri tolikšni tlačni razliki niso bila zanesljiva. Zaradi tega so se pri Philipsu vrnili k strojem z enim valjem in z dvojico domiselnih rešitev ugnali težave s tesnjenjem. Bata so povezali z *rombskim prenosom* (1953). Kovinske palice, ki povezujejo bata z zobnikoma, sestavljajo romb (sl. 5). Dvoje diametralnih oglišč (1,3) je pritrjenih ekscentrično na zobnika, ki imata obenem vlogo vztrajnikov. Drugi par (2,4) pa sestavlja dvoje pritrdišč za ročico bata in ročico izmenjalnega bata. Z dolžino prečk je mogoče uravnavati nihanje bata glede na drugi bat in gib batov. Med vrtenjem se spreminja kot med palicami tako, da se ročici batov gibljeta premo.

Prostor s plinom so še zaprli s tesnilom, ki se giblje kot dokolenka med slačenjem in oblačenjem (1960) (sl. 6). Sama gumijasta nogavica ne bi prenesla velikih tlačnih razlik. Zato je v prostoru pod njo olje pri malo manjšem tlaku tako, da je nogavica vedno napeta. Obe rešitvi sta se v praksi dobro obnesli. Omejitev je še vedno gumijasta nogavica, ki prenese okoli dve milijardi pregibov. Zamenjati jo je treba po enem letu delovanja stroja z 1500 obrati v minuti. To domala hermetično tesnilo uporabljajo sloviti Philipsovi hladilni stroji, ki izkoriščajo obratno Stirlingovo krožno spremembo.

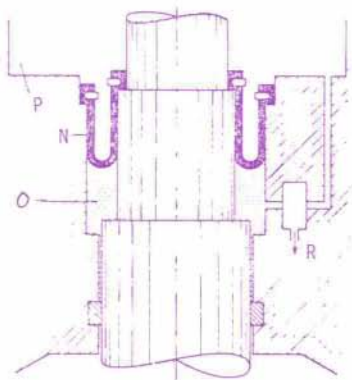
Omenjeni rešitvi sta obudili zanimanje za dvojno delujoče stroje. V modernem stroju te vrste (sl. 4) se premo gibanje batov preko valujoče plošče prenaša na enakomerno vrtečo se os. Štirje bati polzijo po plošči v točkah, ki so razmaknjene za četrtnino oboda (valji so razporejeni kot oglišča kvadrata). Tako se bati gibljejo prav tako kot pri prvih dvojno delujočih strojih (sl. 3). Od naklona plošče je odvisen gib bata, ki določa navor in moč stroja. Pri strojih, ki jih sedaj šele preizkušajo, je možno hidravlično nastaviti naklon valujoče plošče in do-



Sl. 4 Sodoben dvojno delujoč Stirlingov stroj. S - valujoča plošča; O - enakomerno vrteča se os; B - vložki na ročici bata, ki polze po valujoči plošči. Gretje delovnega plina je posredno. V prostoru -H- pri vrhu izpareva natrij in se kondenzira na cevkah, ki sestavljajo grelec. Tekoči natrij se nato dviga po kapilarni snovi (črtkano označena) in ponovno izpari na valoviti ogrevani površini.



Sl. 5 Rombski prenos. P - palice, ki povezujejo bata z zobnikoma; Z - zobnik; K - protiutež; 1,3 - pritrdišči na zobnikih; 2 - pritrdišče na ročici delovnega bata; 4 - pritrdišče na ročici izmenjalnega bata.



Sl. 6 Tesnilo z gumijasto nogavico. N - gumijasta nogavica; P - prostor z delovnim plinom; O - olje; R - ventil, ki uravnava tlak olja.

seči izbrani navor. Dodatna naprava bo poskrbela, da bo produkt kotne hitrosti in navora konstanten. Takšen stroj bo pri različnih kotnih hitrostih obratoval s stalno močjo. Avtomobili s tem motorjem ne bodo potrebovali menjalnika.

Za konec si oglejmo še nekaj uporabe Stirlingovega stroja. Pri Philipsu so napravili nekaj strojev (sl. 4) z močjo 150 kW in enega vgradili v avtomobil. Z isto količino goriva je avtomobil prevozil 1,35-krat tolikšno pot kot tekmeč s klasičnim motorjem. Čeprav Stirlingov stroj v mnogočem ne zaostaja za stroji z notranjim izgorevanjem, omejuje njegovo širšo uporabo visoka cena. Manjše stroje z enim valjem uporabljajo zaradi velike zanesljivosti pri izotopskih električnih generatorjih na osamljenih svetilnikih in odročnih merilnih postajah. Potrebno toploto za poganjanje stroja daje radioaktivni razpad kobalta 60. Ena polnitev zadostuje za približno triletno obratovanje.

W. Beale z univerze v Ohio je napravil nenavaden Stirlingov stroj *s prostim batom* (1953). Težak bat in izmenjalni bat sta neprodušno zaprta in prosto gibljiva v valju. Ko valj na enem koncu grejemo, na drugem pa hladimo, se začne tresti v vzdolžni smeri z 10 do 20 nihaji v sekundi. Takšen stroj z radioaktivnim izvirom toplote bo morda že kmalu poganjal srčno črpalko, ki bo nadomeščala človeško srce. Že pred štirimi leti so napravili uspešen poskus na živali. Za človeka je naprava še neprimerna, ker bi bilo treba prepogostokrat zamenjati radioaktivni izvir.

Riko Jerman
