

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 23 (1995/1996)

Številka 1

Strani 5-11

Janez Strnad:

PRVI PARNI STROJI

Ključne besede: fizika, črpalke, delo, toplota, toplotni stroji, Denis Papin, Thomas Newcomen, James Watt, Sadi Carnot.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/23/1252-Strnad.pdf>

© 1995 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.

PRVI PARNI STROJI

Proti koncu 17. stoletja se je v Angliji pojavila potreba po strojih z večjo močjo od tistih, ki so jih poganjali ljudje, konji ali mlinska kolesa. Predvsem so jih potrebovali za črpanje vode iz vse globljih rudnikov. Ta praktična potreba je pripeljala do novih spoznanj. Pravijo, da dolguje fizika parnemu stroju več kot parni stroj fiziki.

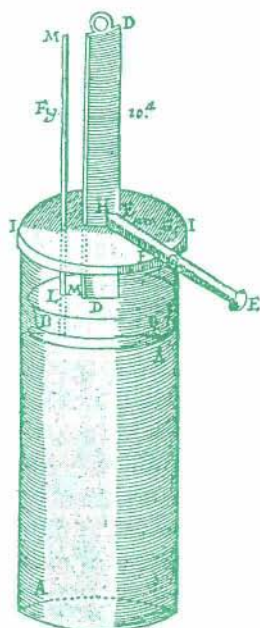
Zgodbo začnimo s Christianom Huygensom, ki so ga v Parizu povprašali, ali bi bilo mogoče s strojem črpati vodo v vodovod za versajske vodomete. Leta 1673 je namreč razmišljal o stroju na smodnik, a je zamisel opustil kot prenevarno. Vprašanje je postavil mlajšemu sodelavcu Denisu Papinu, ki je bil spreten eksperimentator. Njegov dobri glas je segel do Roberta Boyla, ki ga je leta 1675 povabil kot pomočnika v London, preden je lahko odgovoril na Huygensovo vprašanje. V Londonu je Papin leta 1679 izumil tlačni lonec, v katerem je bilo mogoče kuhati v vodi pri višjem tlaku pri temperaturi nad 100°C .

Tedaj so že vedeli, da kapljevina izpareva pri temperaturi, to je pri *vrelišču*, ki je zanjo značilna, in da je vrelišče odvisno od tlaka. Papin je zares ugotovil, da vre voda v loncu pri višjem tlaku pri višji temperaturi, in približno določil odvisnost vrelišča vode od tlaka. Lonec je imel tudi varnostno zaklopko, ki je preprečevala, da bi tlak v njem preveč narastel. Pri višji temperaturi so se jedi skuhale hitreje in so se živila bolj zmehčala. Zaradi tega odkritja je bil Papin izvoljen v Kraljevo družbo, angleško akademijo znanosti. Ob tej priliki je članom družbe postregel s kosilom, ki ga je skuhal v svojem loncu.

Leta 1690, ko je delal v Marburgu, je Papin v članku *Nov način, kako dobiti znatne gonilne sile po nizki ceni* opisal "prvi stroj, ki lahko s silo ognja dviga vodo". Pri tem se je oprl na Huygensovo zamisel in na poskuse magdeburškega župana Otta von Guerickeja. Temu je zračni tlak dvignil bat z bremenom, ko je iz valja nad batom z zračno razredčevalko izčrpal večji del zraka. Izkušnje s tlačnim loncem so Papina napeljale na misel, da je mogoče silo pare uporabiti za opravljanje dela.

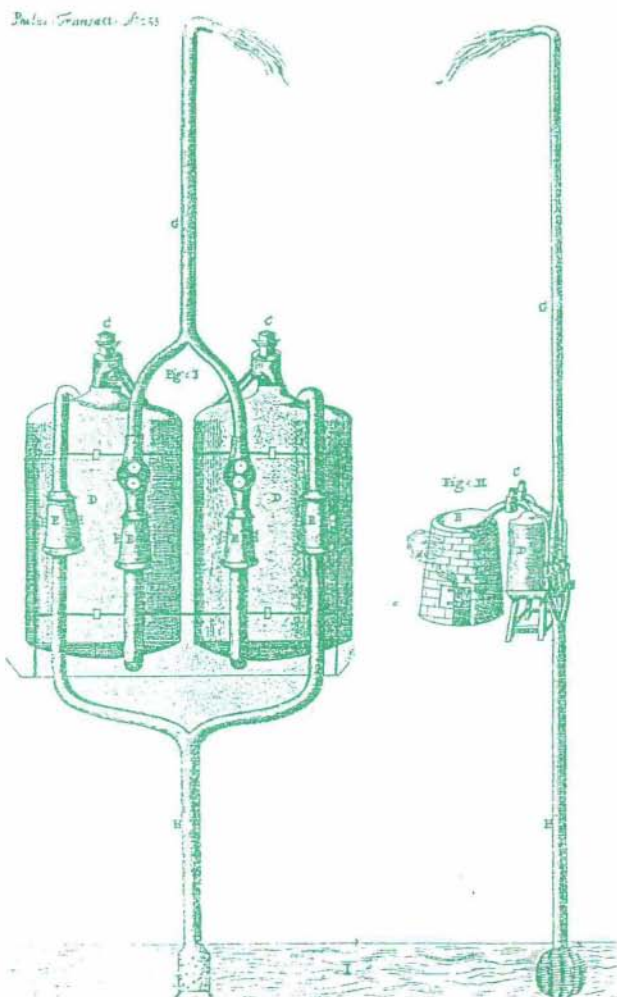
V stroju je Papin s paro dosegel znižani tlak. V valj z batom je uvedel paro pri tlaku, ki ni bil znatno višji od zračnega tlaka. Potem je zunanjo valja oblijal s hladno vodo, da se je para v valju utekočinila. V valju je nastal znižani tlak in razlika zračnega tlaka na zunanjo stran bata in znižanega tlaka v notranjosti je dvignila bat (slika 1). Osem let pozneje je izdelal še parni stroj na zvišan tlak, ki pa ni vplival na nadaljnji razvoj. Mislil ga je vgraditi v ladjico, toda nezaupljivi čolnarji so jo uničili.

Slika 1. Risba Papinove črpalke na znižani tlak iz članka v reviji *Acta eruditorum* leta 1690. V valju A se je gibal bat B, ki je bil povezan z drogom M. Valj je bil obešen v D in po cevi E je dotekala vanj para pod tlakom, ki je bil malo višji od zračnega. Para se je utekočinila, ko so valj oblili s hladno vodo, in zmanjšani tlak nad batom je posrkal bat navzgor.



Na angleške potrebe po črpalkah se je odzval Thomas Savery. Kot izumitelj je bil član Kraljeve družbe in je njenim članom leta 1699 predvajal črpalko, ki jo je patentiral leto poprej. Za razliko od Papinove ni imela bata. Najprej je para pod visokim tlakom stisnila vodo iz posode skozi navpično cev navzgor (slika 2). Nato so posodo ohladili, da se je para v njej utekočinila in je nastali znižani tlak posrkal vodo po navpični cevi iz spodnjega rezervoarja. Zaklopke, ki so urejale tok pare in vode, so vključevali ročno. Savery je zagotavljal, da bodo njegove črpalke poceni črpale vodo iz rudnikov in da se bo angleško rudarstvo močno razmahnilo. Glede tega se je motil. Črpalke v rudnikih niso mogli uporabljati. Potrebno bi namreč paro pri tlaku več barov, česar pa v tistem času še niso obvladali. Uporabljali so jih le za črpanje vode v stavbe in v rezervoarje za vodomete pri višinski razliki manj kot deset metrov. Za ta primer je namreč zadostovala para pod tlakom, le malo večjim od zračnega tlaka. Vseeno je Saveryjeva črpalka poganjala prve vrteče se stroje okoli leta 1750: vodo so črpali v rezervoar v višini kakih 5 metrov in z njo poganjali mlinska kolesa. Saveryjeve črpalke kljub izdatni uporabi ni veliko prispevala k razvoju parnega stroja.

Pomembnejši korak je naredil Thomas Newcomen. O njegovi izobrazbi je mogoče le ugibati, a zdi se, da sta si on in njegov pomočnik John Cawley vsaj z izkušnjami pridobila veliko spretnost. Celo poročilom njunih sodobnikov ni mogoče zaupati, saj najdemo med njimi tudi neverjetne zgodbe. Tako naj bi na primer samodejne zaklopke iznašel fant, ki bi moral ročno uravnati zaklopke pri črpalci, pa je v tem času raje odhajal loviti ribe. Prva Newcomnova črpalka, ki so jo postavili leta 1712 v okolici Birminghama, je dobila dokončno obliko 5 let pozneje. Naslednjih petdeset let so jo izpopolnjevali, ne da bi spremenili zasnovu.



Slika 2. Risba Savaryjeve črpalke iz knjižice *Rudarjev prijatelj* iz leta 1702. Iz parnega kotla B nad kuriščem A je pritekla para pod dokaj visokim tlakom v valja D in je vodo iz njiju skozi notranji zaklopki in zgornji navpični cevi G iztisnila na prosto (ob zaprtih zunanjih zaklopkah E). Nato so oblili valja s hladno vodo, da se je para utekočinila. Znižani tlak je skozi zunanji zaklopki E in spodnji navpični cevi posrkal vodo navzgor po cevi H v valja (ob zaprtih notranjih zaklopkah E).

Newcomnova črpalka je tako kot Papinova imela v valju bat. Zanj je bil poleg samodejno delujočih zaklopk značilen delovni vzvod v obliki jarma. Na eni strani je bil nanj z verigo pritrjen bat, na drugi pa težki drog črpalke. V valj so skozi zaklopko uvedli paro pri tlaku, ki je bil malo višji od zračnega tlaka, iz parnega kotla pod valjem. Ob tem se je zaradi svoje teže drog spustil in to je dvignilo bat. Nato so v valj skozi drugo zaklopko vbrizgali hladilno vodo (slika 3). Tlak pod batom se je znižal na kako polovico zračnega tlaka in zračni tlak na zgornji del bata je bat pognal navzdol in dvignil drog skupaj z vodo. Tako je naprava posnemala delovanje črpalk z vzvodom, s kakršnimi pogosto dvigajo vodo iz vodnjakov. Take črpalke vidimo še danes v filmih z naftnih polj jugozahodnega dela ZDA, le da je v njih elektromotor nadomestil parni stroj. Newcomnov parni kotel je bil iz bakra kot kotli v pivovarnah. Tlak v njem ni bil znatno višji od zračnega tlaka, saj je imel prvi kotel varnostno zaklopko naravnano na tlačno razliko dobre desetine bara.

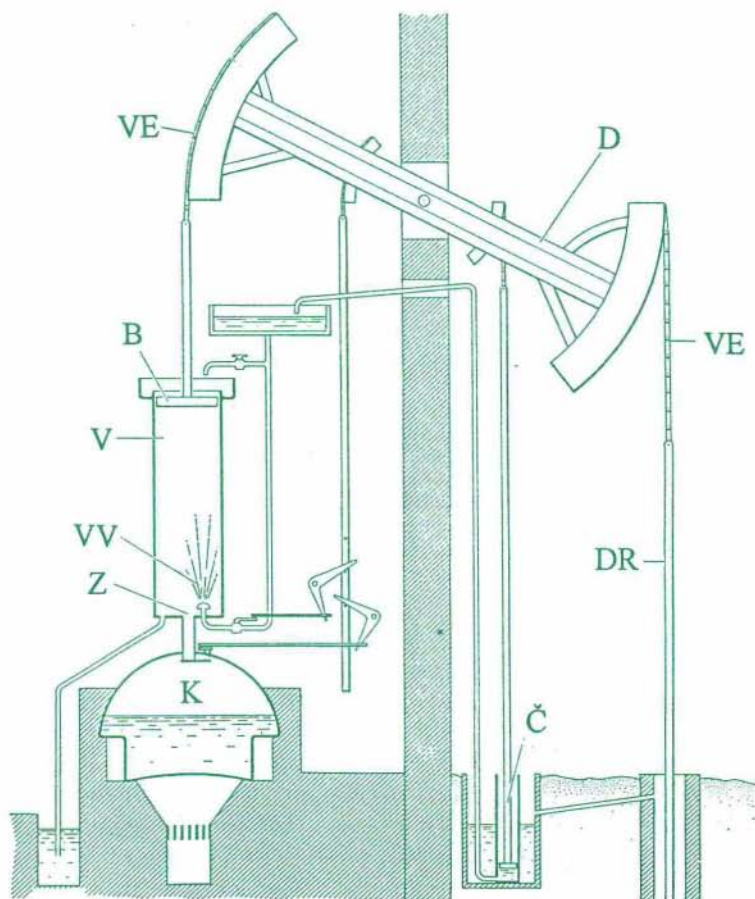
Na začetku so menda tudi Newcomnovo črpalko hladili s tem, da so valj z zunanje strani oblivali s hladilno vodo kot pri Papinovi. Nekoč je po nesreči voda vdrla v valj in tako hitro utekočinila paro, da je vrglo bat iz valja. To naj bi bil razlog, da so v prihodnje vbrizgavali hladno vodo v valj in s tem dosegli, da je črpalka delovala hitreje in zmogla več kot deset gibov na minuto. Papinova črpalka, pri kateri so valj oblivali z vodo, je bila znatno počasnejša; zmogla je 3 do 4 gibe na minuto. Valj prve Newcomnove črpalke je imel premer pol metra in pri 14 gibih na minuto je črpalka delala z močjo več kot 4 kW. Pozneje so črpalke te vrste dosegle skoraj dvajsetkrat večjo moč.

Newcomnova črpalka je zadovoljila potrebe tedanjega časa in je imela pomembno vlogo. Zato v njej ne kaže videti samo naključne prehodne razvojne stopnje. Na drugi strani pa je res, da Newcomen kljub svoji spretnosti ni našel nekaterih boljših rešitev, o katerih bi se lahko poučil v starejših knjigah.

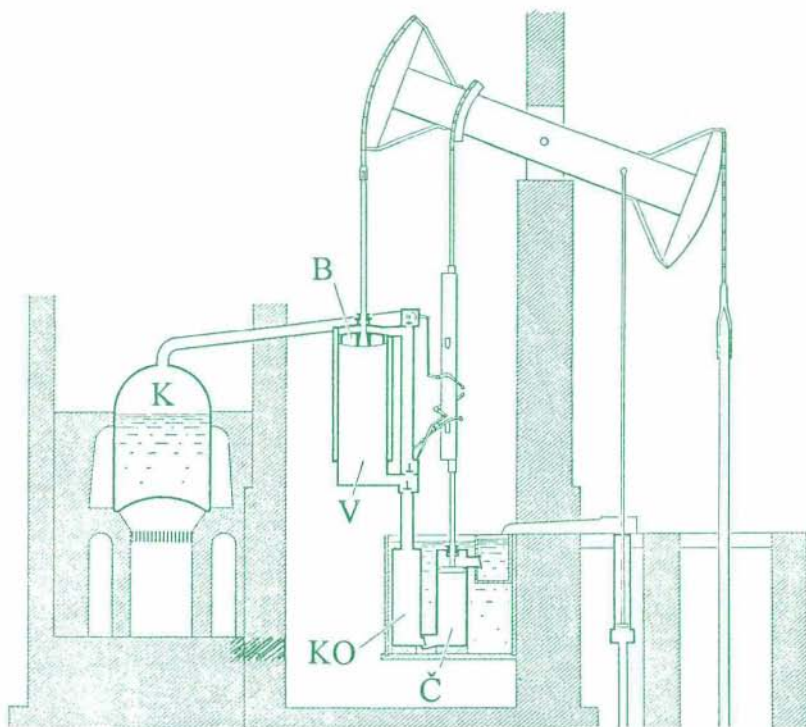
Izučeni mehanik James Watt je bil drugačnega kova. Prvič je prišel v stik z Newcomnovo črpalko leta 1763, ko so mu prinesli v popravilo model za poučevanje. Po dveh letih razmišljanja je uvidel, kako bi bilo mogoče izkoristek črpalke in njeno moč izdatno povečati.

Pare ni več utekočinjal v valju, saj je trajalo precej časa, preden je nato para ohlajeni valj zopet segrela. Paro je odvedel in utekočinil v ločenem kondenzatorju in s tem še pospešil gibanje. Poleg tega je izkoristil *dvojno delovanje*; najprej je uvedel paro nad bat, da ga je stisnila navzdol, nato pa pod njega, da ga je dvignila. Z ekscentrom, drogom in vztrajnikom je gibanje sem in tja spremenil v vrtenje. Nazadnje je valj še postavil v vodoravno lego.

Uporabil je tudi *centrifugalni regulator*, ki so ga dotlej poznali v mlinih, za *povratno vez*. Naprava, ki so jo sestavljali dve uteži v obliki kroglic, vijačna vzmet in vzvodi, se je vrtela z enakim številom vrtljajev na minuto kot stroj. Vzmet se je stiskala tem bolj, čim hitreje se je vrtela naprava, in z vzvodom tem bolj zapirala zaklopko za dovajanje pare. V valj je priteklo tedaj manj pare in stroju se je nekoliko zmanjšalo število vrtljajev na minuto. Tako so dosegli, da se število vrtljajev na minuto ni znatno oddaljilo od naravnane vrednosti.



Slika 3. Poenostavljena risba Newcomenove črpalke: K kotel, Z vstopna zaklopka, V valj, B bat, VE veriga, D delovni vzvod, DR drog, VV vbrizgavanje hladilne vode, Č črpalka za hladilno vodo.

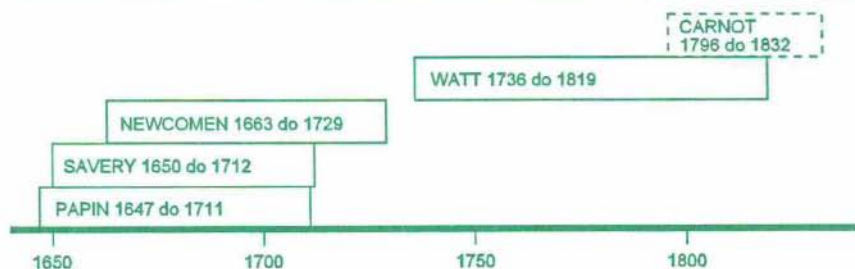


Slika 4. Poenostavljena risba Wattove črpalke: K kotel, V valj, B bat, KO kondenzator, Č črpalka za zrak.

James Watt je svoje iznajdbe patentiral leta 1769, a šele leta 1775 je zgradil prvi stroj. Tedaj je parni stroj začel svojo pot, na kateri je omogočil razvoj industrije v Angliji. Dandanes pa ga več ne uporabljajo, popolnoma ga je izpodrinila parna turbina.

Sadi Carnot je opazoval ta razvoj in obžaloval, da Francija v gradnji parnih strojev zaostaja za Anglijo. Namenil se je storiti kaj proti zaostajanju. Na splošno je raziskal značilnosti parnega stroja. Podrobnosti ga niso zanimale, osredotočil se je na tok toplote. Ugotovil je, da stroj poleg "visoke temperature potrebuje tudi nizko". Stroj je primerjal z mlinjskim kolesom. Če pade na lopatice voda z maso m za višinsko razliko $z_2 - z_1$, stroj v najugodnejšem primeru odda delo, ki je sorazmerno z maso vode in višinsko razliko:

$$A_{\text{odd}} \propto m(z_2 - z_1).$$



Slika 5. Življenski čas mož, ki so zaslužni za razvoj parnega stroja. Denis Papin iz Coudraisa blizu Bloisa v Franciji je končal študij medicine. Najprej je kot fizik delal v Parizu in nato v Londonu. Kot protestant se ni vrnil v Francijo, ampak je nekaj časa preživel v Italiji in se nato preselil v Nemčijo. Umrl je v revščini v Londonu. Thomas Savery iz Shilstonea je izumil več naprav. Umrl je v Londonu. Thomas Newcomen iz Darthmoutha je bil trgovec z železnino in izdelovalec kovinskih predmetov. Tudi on je umrl je v Londonu. O obeh Angležih in še posebej o Newcomnu in njegovem pomočniku Johnu Cawleyu so podatki nenavadno skopi. James Watt iz Greenocka na Škotskem se je kot vajenec v Londonu izučil za mehanika. Predpisi niso dopuščali, da bi odprl lastno delavnico, zato je leta 1756 postal mehanik na glasgowski univerzi, kjer je ostal do upokojitve leta 1800. Dosegel je veliko časti, plemiški naslov pa je odklonil. Umrl je v Heathfieldu blizu Birminghama. Kot enoto za moč je vpeljal konjsko moč. Ugotovil je namreč, da lahko konj v sekundi dvigne breme 150 funtov za $3\frac{2}{3}$ čevlja: $1 \text{ KM} = 550 \text{ teža funta-čevlja/s}$. Danes uporabljamo kot enoto za moč watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$; $1 \text{ KM} = 746 \text{ W}$, $1 \text{ kW} = 1,34 \text{ KM}$.

Po podobnosti toplotni stroj odda delo

$$A_{\text{odd}} \propto Q(T_2 - T_1).$$

Masi vode ustreza toplota Q , ki jo prejme toplotni stroj pri višji temperaturi T_2 , višinski razliki pa razlika temperatur $T_2 - T_1$. Carnotu je bila podobnost domača, saj so tedaj imeli toploto za nekakšno snov. Zato je Carnot mislil, da stroj odda pri nižji temperaturi T_1 enako toploto, kot jo pri višji prejme. Danes vemo, da ni tako: stroj prejme pri višji temperaturi toploto Q_2 in pri nižji temperaturi odda manjšo toploto Q_1 . Oddano delo je razlika obeh toplot: $-A = Q_2 - Q_1$. Po odkritju energijskega zakona sredi prejšnjega stoletja so v tem pogledu dopolnili Carnotovo izvajanje. Vseeno je Sadi Carnot s knjižico *O gibalni moči ognja in o strojih, namenjenih izkoriščanju te moči* leta 1824 začel razvoj, ki je pripeljal do *entropijskega zakona* ali *drugega zakona termodinamike* (glej Presek 10 (1982/83) 24).