

POKRETNNA MEĐUNARODNA IZLOŽBA TOPLINA I GIBANJE I STALNI POSTAV ZBIRKE MODELA TOPLINSKIH STROJEVA KOLIN

Znanstveni rad
UDK 621.4(064)

DAVOR FULANOVIĆ

Tehnički muzej
Savska cesta 18
HR-10000 Zagreb

Stalni postav Odjela transformacije energije Tehničkog muzeja u Zagrebu proširuje se u svijetu jedinstvenom (52 modela prosječne veličine 45 cm x 30 cm x 15 cm) Zbirkom modela toplinskih strojeva Kolin. Uz pomoć sjajno zamišljenih, u logičnom slijedu pomno odabranih i usporedivih, pokretnih i u presjeku izvedenih artefakata, prikazan je razvoj strojeva koji pokreću većinu suvremenih energetske postrojenja i prometala. Podjela postava na četiri osnovne cjeline i devet skupina prve cjeline nastojala je biti u suglasju s osnovnim postavkama autora zbirke profesora dr. Ivo Kolina, ali i olakšati posjetiteljima uvid u složenu gradnju toplinskih strojeva i motora.

*Jedinstvenost, izvornost, vjerodostojnost i cjelovitost zbirke nametnula je zamisao o ostvarenju pokretne međunarodne izložbe, koja je strukturom i izvedbom istovjetna rješenjima stalnog postava. U skladu sa zamisli izložbi su prema tematskim cjelinama smješteni u ostakljene, rastavljive vitrine. Pored opsežnih legendi, sastavne dijelove vitrina čine tekstovi s opisima cjelina i fotografijama suvremenih toplinskih strojeva. Postav je nadopunjen funkcionalnim modelima, primjercima stvarnih toplinskih strojeva, portretima i biografijama najvažnijih izumitelja te dvadesetminutnim videofilmom *Pokretna moć vatre*.*

Partout où il existe une différence de température, il peut y avoir production de puissance motrice - Svagdje gdje postoji razlika temperatura može se dobiti pokretna moć

(Sadi Carnot¹, 1824.).

UVOD

Stalni postav *Odjela transformacije energije* Tehničkog muzeja u Zagrebu proširuje se Zbirkom modela toplinskih strojeva *Kolin*², ocijenjenom kao

¹ Sadi (Nicolas Leonard) Carnot (1796. – 1832., Pariz), francuski fizičar, sin Napoleonova ministra i matematičara Lazarea Carnota. Završivši čuvenu školu École polytechnique, pridružuje se (1814.) obrani Pariza od udružene vojske Svete alijanse. Postaje profesionalnim časnikom i taj poziv obnaša od 1814. do 1819. i od 1826. pa sve do 1832., kada umire od pošasti kole-re koja hara Parizom. Carnotovo jedino objavljeno djelo iz 1824., rasprava *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance (Razmišljanja o pokretnoj moći vatre)* temeljnoga je značenja u fizici i čini temelj nove znanosti o toplini - termodinamike i njezina drugoga glavnog stavka. U raspravi se, pored ostalog opisuje načelo rada idealnoga toplinskog stroja, čija bi iskoristivost bila veća od bilo kojeg drugoga, tzv. *Carnotov kružni proces*.

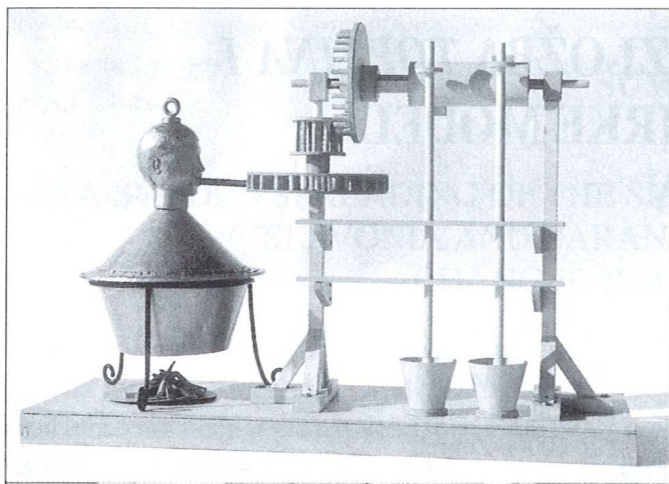
² Autor zbirke je dr. Ivo Kolin, redovni profesor u mirovini Rudarsko - geološko - naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Dugi niz godina intenzivno se bavi istraživanjem i sustavnim prikupljanjem izvorne grade u svezi s razvojem toplinskih strojeva.

jedan od dva najvažnija otkupa u Zagrebu tijekom 1996. (PINTARIĆ 1996.: 15).

Uz pomoć sjajno zamišljenih i savršeno izrađenih artefakata prikazana je jedna od najvažnijih cjelina u povijesti tehnike. Riječ je o strojevima i motorima bez kojih bi naš život bio u osnovi drukčiji. Toplinski strojevi pokreću, doslovno i preneseno, većinu suvremenih energetske postrojenja i prometnih sredstava. Prisjetimo se Wattova parnoga stroja, Ottovih i Diesellovih motora, turbina i raketnih motora, kako bismo mogli sagledati značaj pojave toplinskih strojeva u razvoju civilizacije.

Obilazi najvažnije tehničke muzeje u Europi i svijetu u kojima snima primjerke izvornih strojeva i njihovih replika, proučava arhivsku tehničku dokumentaciju, članke i bogatu literaturu o toplinskim strojevima u muzejskim knjižnicama. Prof. Kolin proučava i druge izvore koji upućuju na izvorne teorijske postavke i tehnička rješenja u višestoljetnom razvoju toplinskih strojeva. U tu svrhu surađuje s nizom državnih i drugih arhiva, patentnih zavoda, sveučilištima, istraživačkim i znanstvenim ustanovama diljem svijeta. Rezultate istraživanja prof. Kolin objavljuje u dva kapitalna djela: *Thermodynamics Atlas 1* i *The Evolution of the Heat Engine (Thermodynamics Atlas 2)*, izdavača *Longman Group Limited* iz Londona

Prof. Ivo Kolin svjetski je autoritet na području Stirlingovih motora. Nosilac je niza priznanja, među kojima i godišnje nagrade za životno djelo *Fran Bošnjaković*.



Sl. 1. Model Brankinog Püstericha

U nemogućnosti izlaganja izvornih primjeraka toplinskih strojeva, rasutih po muzejima širom svijeta, što je najbolje, ali i teško ostvarivo rješenje, pedesetak modela toplinskih strojeva uvest će nas u taj čudesan i slabo poznat svijet mehanike i topline.

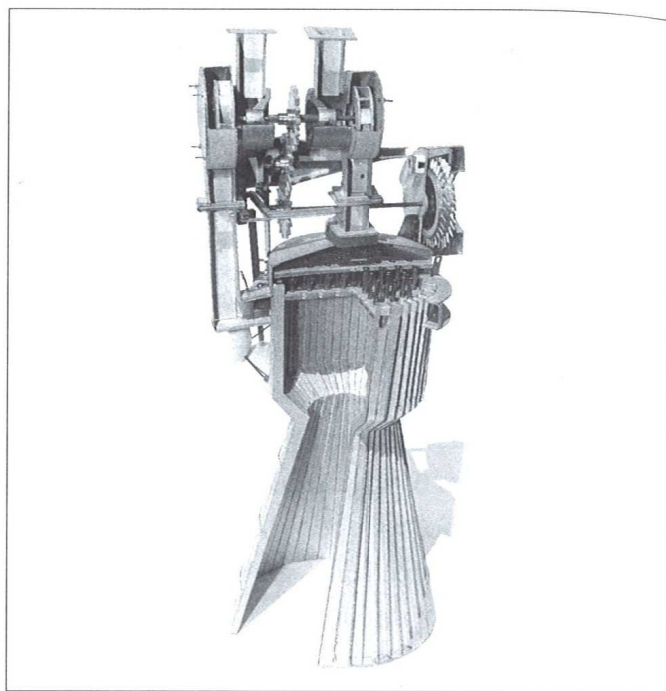
ZBIRKA MODELA TOPLINSKIH STROJEVA KOLIN

Zbirka *Kolin* svjetski je jedinstvena zbirka, koja međusobno usporedivim i u logičnom slijedu pomno odabranim modelima zorno ilustrira tehničku evoluciju toplinskih strojeva od *Püstericha*³ talijanskog arhitekta Branke iz 1629. do suvremenoga raketnog motora *F-1* iz 1969. koji je pokretao *Saturn-V* u njegovu letu na Mjesec.

Većina modela, prosječne veličine 45 cm x 30 cm x 15 cm, izvedena je u presjeku kako bi se vidjela unutarnja konstrukcija i razumio radni princip. Modeli su izrađeni na temelju vjerodostojnih izvora pohranjenih u raznim muzejima diljem svijeta, kao što su patentni spisi, ispitni izvještaji iz minulih epoha i auto-rovi izvorni nacrti strojeva.

Struktura izbora vrsta strojeva i način izrade modela Zbirke *Kolin* upućuje na snažni autorski pristup. Autorova svježina duha, znanja i iskustva prožeta

³. Talijanski arhitekt Giovanni Branca (1571. – 1645.) godine 1629. u knjizi *Le Machine* predlaže princip rada toplinskog stroja koji danas prepoznajemo u akcijske (impulsne) parne turbine. Bijaše riječ o vrsti *Püstericha*, naprave u obliku poprsja staro-germanskoga boga. Poprsje napunjeno vodom svećenici bi zagrijavali, što bi za posljedicu imalo izbacivanje čepa i vodene pare iz usta. Slično tome Branca stavlja cjevčicu u usta figure čije poprsje napunjeno vodom neprestance zagrijava. Stvorena vodena para izlazi iz cjevčice, ekspandira na niži tlak i znatno povećava brzinu strujanja. Udarajući zatim u lopatice drvenoga kola para mijenja smjer, smanjuje brzinu, istodobno predajući dio kinetičke energije kolu. Drveno se kolo okreće obavljajući mehanički rad. Drvenim zupčastim prijenosom kolo je spojeno s radnim mehanizmom stupe. Nije poznato da li je Branca ikada izradio svoj *Püsterich*.



Sl. 2. Model raketnoga motora H-1 s rakete Saturn

znanstvenom znatiželjom odiše iz svakog modela. Ivo Kolin jasno ukazuje na mukotrpne, začudne i često međusobno isprepletene razvojne putove toplinskih strojeva. Pritom ne zaboravlja neopravdano zapostavljene i zaboravljene izume, kojima izvornim tumačenjima daje osobni pečat.

CILJ I SVRHA IZLOŽBE

Usprkos tome što su strojevi koji pretvaraju toplinsku energiju u mehanički rad i obrnuto bili ključni međaši i prekretnice u razvoju ljudske civilizacije, o njima se zna vrlo malo. Cilj postavljanja izložbe *Toplina i gibanje - tri stoljeća toplinskih motora* upoznavanje je posjetitelja s izumima koji su obilježili i omogućili višestoljetni razvoj energetike, prometala, i suvremene civilizacije općenito.

Svrha izložbe stoga je približiti posjetiteljima čudesnu isprepletenost razvojnih putova strojeva koji su u posljednja tri stoljeća obilježili našu civilizaciju. Zbog različitoga profila publike i posebnosti tematike prikaz je trebao biti zanimljiv i poticajan posjetiteljima bez posebnih tehničkih predznanja, ali isto tako intrigantan i poučan studentima tehnike, inženjerima i stručnjacima.

TEMATSKE CJELINE POSTAVA

Podjela postava 52 modela na četiri osnovne cjeline i devet podskupina prve cjeline nastojala je biti u suglasju s osnovnim postavkama Ive Kolina, ali i olakšati posjetiteljima uvod u složenu gradnju toplin-

skih strojeva i motora. Razmotrimo koje su to četiri osnovne cjeline:

- I. Toplinski strojevi koji pretvaraju dio toplinske energije u korisni mehanički rad, pri čemu se ostvaruje prijelaz toplinske energije iz toplijeg u hladniji prostor.
- II. Rashladni toplinski strojevi u kojima se mehanički rad pretvara u toplinsku energiju, odnosno ostvaruje prijenos toplinske energije iz hladnijeg u topliji prostor.
- III. Topovi kao toplinski strojevi u kojima se, također, obavlja pretvorba toplinske energije u mehanički rad, ali koji su se upotrebljavali kao oružje.
- IV. Kemodinamički stroj u kojem se izravno, bez izmjene topline, kemijska energija pretvara u mehanički rad. U osnovi ne pripada toplinskim strojevima.

I. TOPLINSKI STROJEVI KOJI PRETVARAJU TOPLINSKU ENERGIJU U KORISNI MEHANIČKI RAD (45 MODELA)

Prva i najveća cjelina ima devet podskupina. Ona prikazuje povijesni razvoj strojeva koji su proteklih tri stoljeća pokretali druge strojeve i generatore električne energije u obrtničkim radionicama i industrijskim pogonima, motora koji pokreću sva vozila na vodi, kopnu, u zraku i svemiru, kao i drugih uređaja, kao što je primjerice prototip umjetnoga srca i sl. Riječ je o strojevima koji "troše" toplinu, a "proizvode" mehanički rad u tzv. desnokretnom toplinskom procesu.

I.1. Začeci toplinskih strojeva - naprave i uređaji koji su prethodili prvim uporabljivim parnim strojevima (3 modela)

Sve do početka 18. stoljeća mehanički rad za pokretanje naprava, strojeva i vozila dobivan je uporabom ljudske i životinjske energije, snage mišića, energije vodenih tokova (vodna kola) i vjetra (vjetrenjače). Bila je nepoznata mogućnost pretvorbe toplinske energije u mehanički rad. Sporadični pokušaji, poput pokusa s vakuumom i naprava s pomičnim stapom u cilindru njemačkoga znanstvenika i izumitelja Otta von Guerickea⁴ (1672.), bili su daleko od praktične primjene.

⁴ Otto von Guericke (1602., Magdeburg – 1686., Hamburg, Njemačka), njemački znanstvenik, fizičar, inženjer, pravnik, diplomat i gradonačelnik Magdeburga izumitelj je vakuumske crpke (1650.). Obavljajući s crpkom niz pokusa proučava djelovanje vakuuma i izvodi (1654.) čuveni pokus s *magdeburškim polukuglama*. Konstruira manometar i prvi elektrostatski stroj (1661.). Objavljuje knjigu *Experimenta nova Magdeburgia de vacuo spatio* (Amsterdam, 1671.), gdje između ostaloga opisuje pokuse i djelovanje vakuuma na cilindar sa stapom.

Prvi uspješno primijenjen toplinski stroj, rudarsku parnu crpku za vodu, konstruirao je i patentirao 1698. engleski inženjer Thomas Savery. Bijaše to stroj bez pokretnih dijelova, voda se crpla uz pomoć vakuma, a izbacivala tlakom vodene pare.

- Model parne turbine (Branca, 1629.)

40,5 x 28 x 15 cm; 0,62 kg; inv. br. 2333

- Model naprave za pokuse s vakuumom (Guericke, 1672.)

22,5 x 27,3 x 14 cm, 0,24 kg; inv. br. 2334

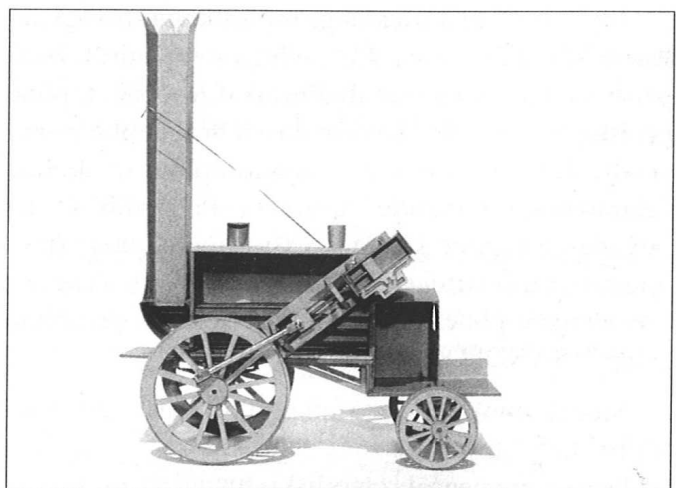
- Model rudarske parne crpke (Savery, 1698.)

28,5 x 44,3 x 7,5 cm, 0,41 kg; inv. br. 2338

I.2. Toplinski strojevi s Papinovima ciklusom (8 modela)

Francuski fizičar i izumitelj Denis Papin konstruirao je 1690. u Marburgu u Njemačkoj prvi toplinski stroj u pravom smislu te riječi. Za dobivanje mehaničkoga rada iskoristio je toplinsku energiju nastalu kemijskim procesom izgaranja goriva, uporabivši vodu paru nastalu grijanjem vode i njezinu kondenzaciju u cilindru sa stapom. Razlika tlakova vanjskog atmosferskog i unutarnjeg podtlaka rezultirala je silom koja bi podigla uteg mase 27 kg (HAUNER 1993: 8, sl. 33546). Stroj je radio u toplinski zatvorenom "kružnom" ciklusu, gdje se nakon kondenzacije pare i spuštanja stapa uspostavlja prvobitno stanje.

Taj toplinski ciklus naknadno je po izumitelju nazvan *Papinovima ciklusom*. Ciklus se sastoji od četiri faze. Dvije faze (zagrijavanje vode i hlađenje vodene pare) odvijaju se bez gibanja stapa, odnosno riječ je o termodinamičkoj promjeni stanja pri stalnom obujmu (izohore). Druge dvije faze: podizanje stapa zbog povišenja tlaka uzrokovana nastajanjem vodene pare, kao i spuštanje stapa zbog nastala podtlaka uzrokovana kondenzacijom pare zbivaju se pri stalnom tlaku



Sl. 3. Model Stephensonove lokomotive Rocket

(izobare). Parni stroj Newcomena, Jamesa Watta, kao i ostali parni strojevi iz ranih faza razvoja, radili su s Papinovima ciklusom (KOLIN 1972:47).

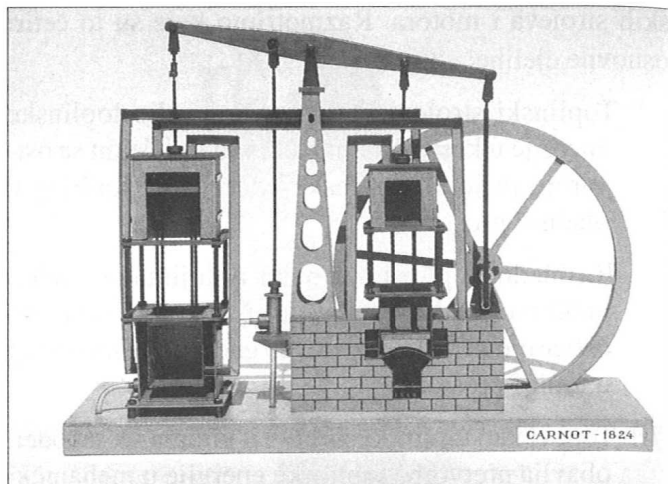
- Model atmosfetskoga parnog stroja (Papin, 1690.)
27 x 27,5 x 14 cm, 0,29 kg; inv. br. 2337
- Model prvog automatskog ventila (Potter, 1712.)
14,5 x 8,5 x 2 cm; 0,03 kg; inv. br. 2336
- Model atmosfetskoga parnog stroja (Newcomen, 1712.)
46 x 62,5 x 24 cm, 1,6 kg; inv. br. 2339
- Model dvoradnoga niskotlačnog parnog stroja (Watt, 1788.)
87,3 x 63,5 x 32 cm, 8 kg; inv. br. 2340
- Model lokomotive *Rocket* (Stephenson, 1829.)
24 cm x 28,3 x 12,4 cm, 0,26 kg; inv. br. 2347
- Model motora na vodu (Schmidt, 1870.)
34,5 x 22,8 x 8,5 cm, 0,44 kg; inv. br. 2356
- Model solarnoga parnog stroja (Ericsson, 1883.)
31 x 22,2 x 16,5 cm, 0,32 kg; inv. br. 2363
- Model prototipa umjetnoga srca na nuklearni pogon (Martini, 1967.)
10 x 22 x 10 cm, 0,12 kg; inv. br. 2381

I.3. Toplinski stroj s Carnotovim ciklusom (1 model)

Za cijeloga života Sadi Carnot napisao je samo jednu raspravu, ali njezino je značenje neizmjerljivo - ona je temelj u znanosti o toplini - termodinamici. Carnot opisuje rad idealnoga toplinskog stroja, čiji stupanj iskoristivosti nije u praksi moguće ostvariti. Toplina se ni u idealnim teorijskim razmatranjima ne može u cijelosti pretvoriti u mehanički rad.

Toplinski ciklus idealnoga toplinskoga stroja, nazvan poslije *Carnotov ciklus*, odvija se u četiri faze: u prvoj širenjem plina u cilindru uz dovođenje topline pri istoj temperaturi (izotermno); u drugoj plin se nastavlja širiti te se bez dovođenja topline iz okoline (adijabatski) ohlađuje; u trećoj fazi plin se uz odvođenje topline sabija pri istoj temperaturi (izotermno), a u četvrtoj plin se i dalje sabija grijući se bez odvođenja topline (adijabatski) te dolazi u prvobitno stanje. (SANDFORT 1962.:133).

Model zamišljenoga i nikad izvedena Carnotova toplinskog stroja uvažava tehnološka ograničenja ondašnjeg vremena. Uz teorijski stupanj djelovanja od 62% (temperaturne granice između +20°C i + 500°C)



Sl. 4. Model zamišljenoga Carnotovoga toplinskog stroja

u zbilji, zbog slabe izolacije, ostalih toplinskih i mehaničkih gubitaka, stroj bi mogao imati ukupan stupanj djelovanja 2-3 % (KOLIN 1991.: 63).

- Model zamišljenoga Carnotova toplinskog stroja (1824.)
38 x 27,6 x 13 cm, 0,62 kg; inv. br. 2345

I.4. Toplinski strojevi sa Stirlingovim ciklusom (13 modela)

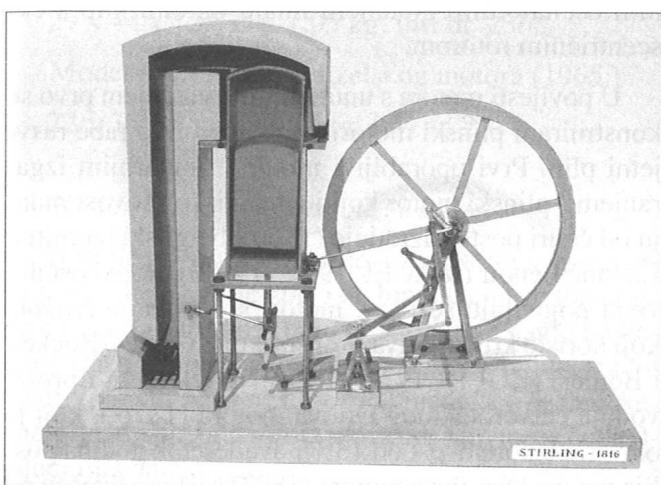
Strojevi koji rade sa Stirlingovim⁵ ciklusom, kako se u termodinamici naziva taj zatvoreni toplinski kružni proces, najzastupljeniji su u zbirci. Predstavljeno je trinaest različitih strojeva izumljenih u nešto manje od protekla dva stoljeća (od 1815. do 1982.). Izloženi modeli Stirlingovih strojeva razvrstani su prema konstrukcijskim karakteristikama u dvije osnovne skupine: strojeve kod kojih se u jednom cilindru nalaze dva klipa i strojeve sa zasebnim klipovima u dva cilindra. Različite su i radne tvari s kojima rade: od prvobitnih strojeva na topli zrak do strojeva na vodu, vodik, helij i druge medije.

Stirlingov toplinski ciklus teorijski je jednakovrijedan Carnotovu. Može se predočiti u četiri faze rada, u kojima medij strujeći između toplog i hladnog spremnika (cilindara) prelazi preko regeneratora, predajući, a potom preuzimajući, pohranjenu toplinu. U

⁵ Robert Stirling (1790. Perthshire – 1878., Galston, Ayrshire, Škotska), škotski anglikanski svećenik na službi u Galstonu, Škotska, izumio je i patentirao (1816.) prvi toplinski stroj na vrući zrak koji je radio s toplinskim ciklusom (poslije nazvanom po njemu) čija je teorijska iskoristivost jednaka onom u Carnotovu. Stirlingovi strojevi ubrzo se proizvode i rabe za pogon malih crpki za vodu i sličnih uređaja te strojeva malih snaga. Zajedno s bratom Jamesom, inženjerom u Galsgowu, Robert Stirling patentira nove strojeve (1827. i 1840), u kojih unapređuje prvobitno rješenje. Stirlingov stroj karakterističan je po regeneratoru (*ekonomizatoru*), klipu velike površine s na poseban način perforiranim limovima, koji djeluje kao akumulator topline povećavajući efikasnost rada, odnosno smanjujući potrošak goriva.

prvoj fazi ciklusa plin se uz dovođenje topline pri istoj temperaturi (izotermno) širi; u drugoj fazi plin se uz odvođenje topline k regeneratoru pri istom obujmu (izohorno) hladi uz istovremeno snižavanje tlaka; u trećoj plin se uz odvođenje topline pri istoj temperaturi (izotermno) sabija, dok se u četvrtoj fazi plin uz dovođenje topline od regeneratora pri istom obujmu (izohorno) grije uz istovremeno povišenje tlaka, tako da je stanje plina jednako onom u prvoj fazi (KOLIN 1991.: 23).

Rad Stirlingovih strojeva na primjeru Lehmannova stroja na topli zrak (1866.) teorijski je obradio njemački znanstvenik Gustav Schmidt (1871.), postavivši tzv. *Schmidtovu teoriju* (KOLIN 1972.: 16).



Sl. 5. Model Stirlingova stroja na vrući zrak iz 1816.

Prvi Stirlingovi motori imali su vrlo nisku iskoristivost od svega nekoliko postotaka, da bi suvremeni motori koji rade na tom načelu dosegili visokih 30-40% iskoristivosti goriva, gotovo na razinu dizelskih motora. Predviđa se da će ti motori u 21. stoljeću imati onu ulogu koju motori s unutarnjim izgaranjem imaju danas.

I.4.1. Strojevi sa Stirlingovim ciklusom - jedan cilindar s dva klipa (8 modela)

- Model stroja na vrući zrak (Stirling, 1816.)
40 x 27,5 x 15 cm, 0,76 kg; inv. br. 2344
- Model stroja na vrući zrak (Ericsson, 1860.)
28,5 x 26,5 x 15 cm, 0,66 kg; inv. br. 2352
- Model stroja na vrući zrak (Lehmann, 1866.)
36,7 x 19,7 x 10 cm, 0,86 kg; inv. br. 2355
- Model stroja na vrući zrak (Gloy, 1877.)
24 x 24,5 x 23 cm, 0,3 kg; inv. br. 2384
- Model stroja na vrući zrak (Ericsson, 1880.)

22,5 x 33,2 x 12 cm, 0,57 kg; inv. br. 2361

- Model Stirlingova stroja *Philips* (1947.)
16 x 39 x 14,5 cm, 0,45 kg; inv. br. 2373
- Model Stirlingova stroja s vodikom (Meijer, 1958.)
18 x 38,5 x 13 cm, 0,72 kg; inv. br. 2377
- Model Stirlingova stroja na vruću vodu (Kolin, 1982.)
42,5 x 29,5 x 14 cm, 0,71 kg; inv. br. 2335

I.4.2. Strojevi sa Stirlingovim ciklusom - dva cilindra i dva klipa (5 modela)

- Model stroja na vrući zrak (Stirling, 1815.)
24 x 46 x 19,5 cm, 0,61 kg; inv. br. 2343
- Model stroja na vrući zrak (Stirling, 1827.)
45 x 31,5 x 15 cm, 0,87 kg; inv. br. 2346
- Model stroja na vrući zrak (Laubereau, 1861.)
36 x 29,5 x 15 cm, 0,95 kg; inv. br. 2385
- Model stroja na vrući zrak (Heinrici, 1884.)
21 x 46,5 x 16 cm, 0,45 kg; inv. br. 2364
- Model Stirlingova stroja na vodu (Malone, 1931.)
44 x 30,5 x 15 cm, 1,07 kg; inv. br. 2370

I.5. Toplinski strojevi s Jouleovim ciklusom (2 modela)

Toplinski ciklus nazvao je po Jouleu⁶ engleski profesor William Rankin (KOLIN 1991.: 68). Sastoji se od četiri faze: u prvoj, dovođenjem topline, plin se u cilindru širi i zagrijava pri stalnom tlaku (izobarno); u drugoj se plin nastavlja širiti i hladi se bez dovođenja topline (adijabatski); u trećoj se plin sabija i hladi uz odvođenje topline pri stalnom tlaku (izobarno), a u četvrtoj se fazi nastavlja sabijati i grije se bez odvođenja topline (adijabatski), te dolazi u prvobitno stanje. Riječ je krivoj atribuciji, jer je američki inženjer švedskog podrijetla John Ericsson 1833. godine, dakle osamnaest godina prije Joulea, patentirao stroj na vrući zrak koji radi s istim ciklusom (KOLIN 1991.: 68).

⁶ James Prescott Joule (1818., Salford, Lancashire – 1889., Sale, Cheshire, Engleska), engleski fizičar, jedan od najvećih eksperimentatora, koji je s iznimnom točnošću izmjerio i odredio vrijednost *mehaničkog ekvivalenta topline* (1843. – 1850.). Riječ je o količini rada potrebna za dobivanje jedinične količine toplinske energije. James Joule bio je samouk, ali nevjerojatno predan eksperimentalnom radu. Zajedno s lordom Kelvinom (1852.) otkriva tzv. *Joule-Thomsonov efekt*.

Jouleov eksperimentalni rad bio je, kao jedan od dokaza zakona o održanju energije, poznatiji kao *prvi glavni stavak*, od velikog utjecaja na razvoj nauke o toplini. Jedinica za energiju u njegovu je čast nazvana džul (J)

Prema Jouleovim navodima objavljenim u časopisu *Philosophical Trans.* (1852., str. 65 - 77) Ivo Kolin izradio je model zamišljenoga Jouleova toplinskog stroja na vrući zrak, uvažavajući pritom stanje tehnike polovicom 19. stoljeća.

- Model stroja na vrući zrak (Ericsson, 1833.)

45 x 29,5 x 32 cm, 2,54 kg; inv. br. 2348

- Zamišljeni Jouleov toplinski stroj (1851.)

32,5 x 31 x 13 cm, 0,68 kg; inv. br. 2349

I.6. Toplinski stroj s Ericssonovim ciklusom (1 model)

Od desetak različitih konstrukcija motora švedskoga inženjera Johna Ericssona⁷ samo je jedna vrsta motora radila s toplinskim ciklusom koji je William Rankine prema njegovu otkrivaču nazvao Ericssonovim. (KOLIN 1991.: 69). Svi su ostali strojevi radili s Papinovima, Stirlingovim ili Jouleovim toplinskim ciklusima. Navedeni stroj s Ericssonovim ciklusom bio je sporohodni motor (svega 6,5 o/min) snage između 250 i 300 KS (183 i 220 kW) s cilindrima golemih promjera od 4,27 m, a pogonio je brod od 2000 tona nosivosti.

Ericssonov zatvoreni toplinski kružni proces teorijski je definiran u četiri faze rada: dvije faze provode se pri stalnom tlaku zraka (izobarno), i to ili uz odvođenje topline i hlađenje zraka, ili uz dovođenje topline i zagrijavanje zraka; a druge dvije faze procesa zbivaju se pri stalnoj temperaturi zraka (izotermno), gdje se zrak pri dovođenju topline širi, a pri odvođenju topline sabija.

- Model stroja na vrući zrak (Ericsson, 1853.)

27 x 25 x 14 cm, 0,46 kg; inv. br. 2350

I.7. Toplinski strojevi s unutarnjim izgaranjem (9 modela)

Kod toplinskih strojeva s unutarnjim izgaranjem proces izgaranja goriva i zraka zbiva se unutar cilindra samoga stroja. Sile nastale naglim širenjem visokotlačnih plinovitih produkata izgaranja djeluju na pokretne dijelove stroja - klipove, koji gibajući se obavljaju mehanički rad.

⁷ John Ericsson (1803., Långbanshyttan, Švedska - 1889, New York, SAD), švedski inženjer, izumitelj i konstruktor brodova, toplinskih strojeva na vrući zrak i Sunčevih motora. Nakon odlaska u Englesku (1826.) konstruirao je lokomotivu i sudjelovao na natjecanju na kojem pobjeđuje Stephensonova lokomotiva *Rocket*. Razočaran, John Ericsson odlazi u Sjedinjene Američke Države, gdje ostaje do kraja života. Tijekom građanskoga rata Ericsson je u iznimno kratku roku za mornaricu SAD sagradio oklopni ratni brod *Monitor*, prvi brod s okretnim topovskim tornjem na svijetu. Brod *Monitor* vodi borbu (1862.) s južnjačkom oklopnjačom *Merrimack*, što je bila prva borba oklopljenih brodova u povijesti pomorstva.

Prema vrsti rada i konstrukcije danas razlikujemo tri osnovna tipa motora s unutarnjim izgaranjem: Ottov, Dieselov i Wankelov motor.

U Ottovim motorima rasplinuta mješavina zraka i goriva sabija se klipom u cilindru da bi se upalila električnom iskrom neposredno prije nego što klip dosegne vrh cilindra.

U Dieselovim motorima tekuće gorivo uštrcava se pod visokim tlakom u prostor cilindra, gdje se isparava, i zbog temperature stlačenog zraka (u cilindru), koja je viša od temperature paljenja goriva, ono se zapali.

U Wankelovim motorima princip rada jednak je onom u Ottovim, samo što umjesto klipa s ravnocrtnim oscilatornim gibanjem imaju okretni klip s ekscentričnim rotorom.

U povijesti motora s unutarnjim izgaranjem prvo su konstruirani plinski motori koji kao gorivo rabe rasvijetni plin. Prvi uporabljivi motor s unutarnjim izgaranjem - plinski motor koji je imao iskoristivost manju od četiri posto - izrađuje (1860.) belgijski izumitelj Étienne Lenoir (MAUEL 1996.: 19, 20). Pored ostalih vrsta pojavljuju se i tzv. motori s *plamenim zrakom* koji koriste kruta goriva (konstrukcije Cayley-Buckett i Bénier) (KOLIN 1972:73,75). No tek izum i proizvodnja četverotaktnog Ottova motora (1876.), koji je ostvario iskoristivost od 13% i dvadesetak godina poslije pojave Dieselova motora (1897) s iskoristivošću od 25% dovodi do potpune prevlasti uporabe motora s unutarnjim izgaranjem u 20. stoljeću.

I.7.1. Toplinski strojevi s vatom u zraku (2 modela)

- Model stroja s unutarnjim izgaranjem - vatom u zraku (Cayley, 1807.; Buckett, 1883.)

36 x 28 x 16 cm, 0,65 kg; inv. br. 2362

- Model stroja s unutarnjim izgaranjem - vatom u zraku (Bénier, 1887.)

40 x 31 x 15 cm, 0,73 kg; inv. br. 2367

I.7.2. Toplinski strojevi - plinski motori (4 modela)

- Model plinskog motora s unutarnjim izgaranjem (Lenoir, 1860.)

35,5 x 17 x 11 cm, 0,32 kg; inv. br. 2351

- Model plinskog motora s unutarnjim izgaranjem (Otto, 1863.)

19 x 43 x 15,5 cm, 0,6 kg; inv. br. 2353

- Model plinskog motora s unutarnjim izgaranjem (Hugon, 1865.)

30 x 35,5 x 25 cm, 0,7 kg; inv. br. 2354

- Model motora s unutarnjim izgaranjem - *ready motor* (Brayton, 1876.)

34 x 30,5 x 15 cm, 0,82 kg; inv. br. 2358

I.7.3. Motori s Ottovim ciklusom (1 model)

- Model rotacijskoga motora s unutarnjim izgaranjem (Wankel, 1954.)

27 x 32 x 12,5 cm, 0,77 kg; inv. br. 2376

I.7.4. Toplinski strojevi s Dieselovim ciklusom (2 modela)

- Model motora s unutarnjim izgaranjem (Diesel, 1897.)

29 x 44 x 12,5 cm, 1,05 kg; inv. br. 2368

- Model suvremenoga dizelskog motora (1965.)

22 x 35 x 15 cm, 0,62 kg; inv. br. 2379

I.8. Toplinski strojevi - turbine (1 model)

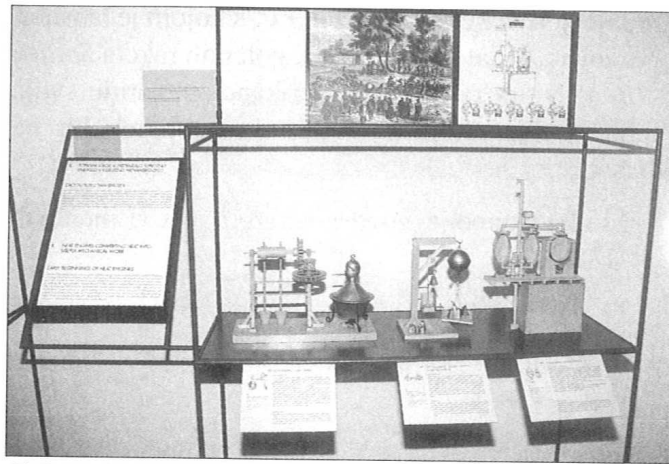
Turbine su toplinski strojevi kod kojih se pretvorba toplinske energije zbiva na lopaticama statorskoga i rotorskog (okretnoga) dijela stroja. Uz naglo smanjenje tlaka i temperature te povećanje obujma, radni medij (para ili plin) predaje dio kinetičke (mehaničke) energije lopaticama rotora okrećući sam rotor i obavljajući mehanički rad.

Povijesno je opravdana, premda danas nije u cijelosti prihvatljiva, osnovna podjela turbina prema vrsti radnoga medija na parne i plinske turbine.

Prvu uporabljivu akcijsku (impulsnu) parnu turbinu, stroj koji je za ono doba imao iznimno velik broj okretaja od gotovo 30 000 u minuti, konstruirao je (1883.) švedski znanstvenik, izumitelj i inženjer Carl Gustaf Laval. Godinu kasnije (1884.) u Engleskoj inženjer Charles Parsons konstruirao reakcijsku turbinu s ekspanzijom u više stupnjeva statorskih i rotorskih lopatica. Važan je i izum posebne vrste rotora - kola sa stupnjevanom brzinom (1895.) Charlesa Curtisa iz Sjedinjenih Američkih Država.

Prvu uporabljivu plinsku turbinu konstruiraju (1903.) u Parizu Lemal i Armengaud, a iste godine prvu eksperimentalnu plinsku turbinu koja radi i s rotacijskim kompresorom izradio u Norveškoj inženjer Aegidius Elling (BRITANNICA 1998.). činjenica da se uporabljive plinske turbine pojavljuju kasnije od parnih razumljiva je zbog potreba ugradnje temperaturno visokootpornih materijala u plinske turbine, a oni se nisu proizvodili prije dvadesetoga stoljeća.

Toplinske turbine (parne i plinske) zamijenile su stapne parne strojeve i danas se ti pogonski strojevi visoke učinkovitosti (stupnja iskoristivosti) i velikih sna-



Sl. 8. Vitrina (začeci toplinskih strojeva) s legendama, opisom tematske cjeline i fotografijama

ga rabe u termocentralama i nuklearnim centralama, za pogon brodova, zrakoplova i u druge svrhe.

- Model suvremene plinske turbine (1965.)

153 x 72,5 x 22 cm, 9,8 kg; inv. br. 2380

I.9. Toplinski strojevi - raketni motori i rakete (7 modela)

Raketni su motori toplinski motori s unutarnjim izgaranjem koji se u osnovi sastoje od komore za izgaranje, izlaznoga mlaznika te spremnika goriva i oksidatora, tako da im u procesu izgaranja goriva nije potreban kisik iz atmosfere. Razlikujemo raketne motore na čvrsta i tekuća goriva. Složeniji raketni motori na tekuća goriva mogu se višestruko uporabiti, za razliku od jednostruke uporabe motora na kruta goriva.

Povijest raketa s motorima na tekuća goriva započinje na početku dvadesetoga stoljeća teorijskim radovima ruskoga znanstvenika Konstantina Ciolkovkog (1837. –1935.). U raspravi *Izučavanje svemirskih prostora reakcijskim letalima*, objavljenoj 1903., Ciolkovski iznosi teoriju gibanja tijela u svemiru (LEWIN 1961.: 148). Sljedeći je bitni događaj u povijesnom razvoju te vrste raketa objavljivanje knjige (1919.) *Metode doseganja ekstremnih visina* Roberta Goddarda (1882. – 1945.), sveučilišnoga profesora fizike na Princetonu, SAD. U knjizi Goddard iznosi rezultate višegodišnjih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja na području raketa i raketnih motora, te predviđa mogućnost leta rakete na Mjesec (BRITANNICA 1998.). Štoviše, godine 1926. Goddard je izveo prvo uspješno lansiranje rakete na tekuće gorivo, koja je dosegla visinu od trinaest metara. Pored niza ostalih istaknutih znanstvenika i inženjera (Esnault-Pelteriea, Ubertha, Sängera, itd.) posebno mjesto u području raketne tehnike i astronautike pripada Nijemcu Wernheru von Braunu (1912. –1977.). Braun je konstruktor raketnih bombi V-2 iz Drugoga svjetskoga rata, kojima Njemačka raketira Englesku, a osobito London. Von Braun je i nositelj projekata iz-

gradnje američke rakete *Jupiter C*, s kojom je lansiran prvi američki satelit *Explorer* i golemih raketa *Saturn I, IB, V*. S tim raketama Amerikanci ostvaruju svoje misije, od kojih je najčudesnija čovjekov let na Mjesec.

- Model jednocijevnoga generatora pare (Lilienthal, 1885.)
11 x 27 x 10 cm, 0,28 kg; inv. br. 2365
- Model zamišljenoga raketnog motora (Tsiolkovsky, 1903.)
23 x 38 x 9 cm, 0,13 kg; inv. br. 2369
- Model raketnoga motora (Sänger, 1935.)
15,5 x 23,5 x 4 cm, 0,21 kg; inv. br. 2371
- Model raketnoga motora leteće bombe V-2 (1944.)
29,5 x 57,5 x 23 cm, 1,33 kg; inv. br. 2372
- Model raketnoga motora H-1 s rakete *Saturn* (1962.)
18,5 x 40 x 14 cm, 0,42 kg; inv. br. 2378
- Model rakete *Saturn V* (*Apollo 11*, 1969.)
10 x 70 x 10 cm, 0,48 kg; inv. br. 2383
- Model Mjesečeva modula s *Apollo 11* (1969.)
6 x 5,5 x 8 cm, 0,08 kg; inv. br. 2382

II. RASHLADNI STROJEVI - TOPLINSKI STROJEVI KOJI MEHANIČKI RAD KORISTE ZA ODUZIMANJE TOPLINE (3 MODELA)

Rashladni su strojevi toplinski strojevi koji troše mehanički rad u tzv. ljevokretnom kružnom procesu kako bi toplinu oduzetu tijelu koje se hladi mogli predati okolišnom zraku. Jednostavno rečeno: "Rashladni strojevi troše rad, a proizvode hladnoću, za razliku od toplinskih motora, koji troše toplinu, a proizvode rad" (Ivo Kolin).

Potreba za hlađenjem hrane, ali i stambenih prostora, seže duboko u povijest ljudske civilizacije. Čuvanje leda i snijega u pećinama, hlađenje vode njezinim ishlapljivanjem, polijevanje krovova vodom, samo su neki od načina koje su ljudi primjenjivali kako bi ohladili namirnice i prostor. Engleski kemičar Robert Boyle prvi objavljuje (1665.) djelo *Historia experimentalis de frigore*, u kojem se navode razmišljanja o hlađenju. No tek u 19. stoljeću izrađuju se prvi uređaji i strojevi za hlađenje. Tako Amerikanac Jacob Perkins 1834. godine patentira uređaj s isparivanjem etera u kružnom procesu, a prvi industrijski rashladni stroj sa zrakom izradio je u SAD (1862.) škotski inženjer Carnegie Kirk. Njemački znanstvenik, inženjer i izumitelj Karl von Linde izrađuje

1876. prvi rashladni stroj s kompresorom i amonijakom kao rashladnim sredstvom da bi nekoliko godina poslije (1895.) usvojio proces ukapljivanja plinova primjenom Joule-Thomsonova efekta (hlađenja plinova njihovim prigušenjem) (JÍLEK 1979.: 93, 95, 112).

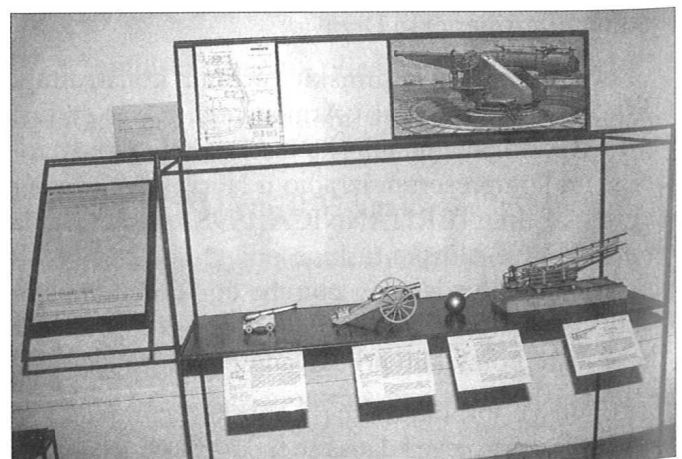
- Model stroja za pravljenje leda s hladnim zrakom (Windhausen, 1870.)
39,2 x 23,8 x 15 cm, 0,76 kg; inv. br. 2360
- Model rashladnoga stroja s hladnim zrakom (Giffard, 1877.)
32,5 x 28 x 15 cm, 0,65 kg; inv. br. 2359
- Model rashladnoga Stirlingova stroja za ukapljivanje zraka tvrtke *Philips* (Köhler i Jonkers, 1954.)
27,5 x 35 x 15 cm, 0,79 kg; inv. br. 2375

III. TOPOVI - TOPLINSKI STROJEVI (4 MODELA)

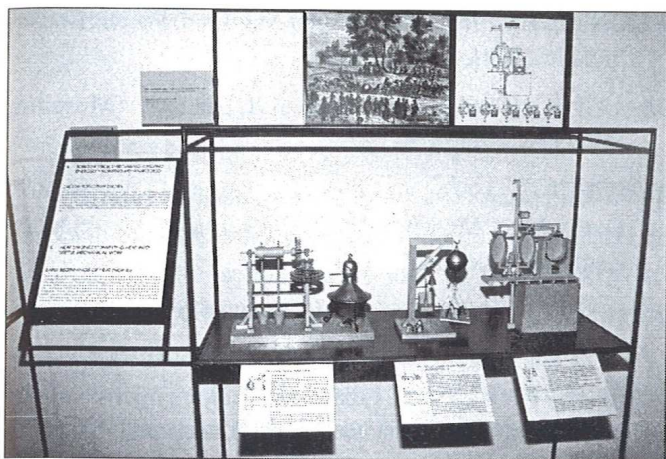
Topovi su vrsta jednostavnih toplinskih strojeva s unutarnjim izgaranjem i kao takvi pojavljuju se prije svih ostalih toplinskih strojeva. Unutar topovske cijevi (cilindra toplinskoga stroja) toplinska energija stvarana burnim izgaranjem (eksplozijom) eksplozivnog punjenja pretvara se u mehanički rad izbacivanja projektila (klipa toplinskoga stroja) iz cijevi.

Topove kao toplinske strojeve prvi je znanstveno obradio talijanski termodinamičar Saint Robert u djelu *Principles de Thermodynamique*, objavljenu u Firenci (1870.) (KOLIN 1972.: 54).

- Model brodskoga topa (*H.M.S. Victory* admirala Nelsona, 1765.)
18,5 x 6,5 x 8 cm, 0,11 kg; inv. br. 2341
- Model poljskoga topa (topništvo francuskog maršala Gribeauvala, 1765.)
30,5 x 12,5 x 16,5 cm, 0,25 kg; inv. br. 2342
- Model topa - kugle s ledom (Williams, 1873.)



Sl. 7. Vitrina s modelima topova

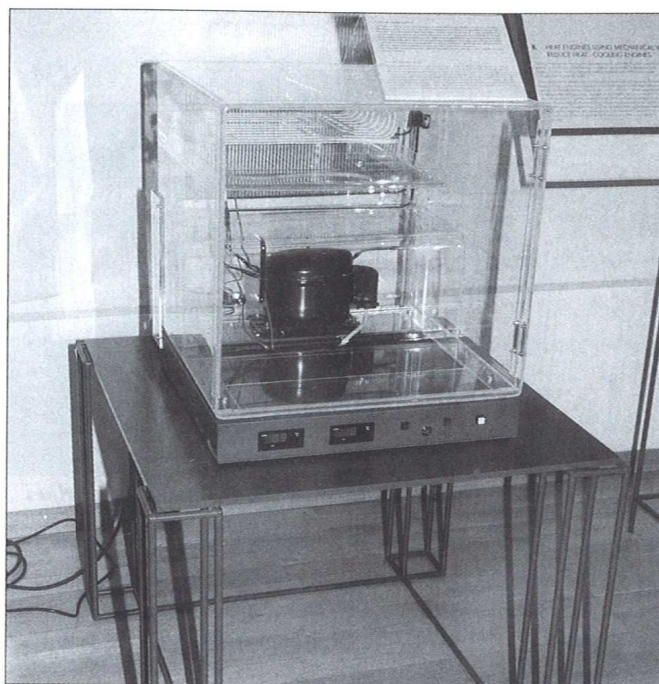


Sl. 8. Vitrina (začeci toplinskih strojeva) s legendama, opisom tematske cjeline i fotografijama

12 x 7,7 x 8 cm, 0,07 kg; inv. br. 2357

- Model zračnoga topa (Zalinski, 1886.)

46 x 22 x 15 cm, 0,78 kg; inv. br. 2366



Sl. 9. Funkcionalni model kućanskog hladnjaka

IV. KEMODINAMIČKI STROJ (1 MODEL)

Protekla su tri stoljeća od izuma i uporabe toplinskih strojeva, ako ne uzmemo u obzir da su sve životinjske vrste i ljudi toplinski strojevi koji metabolizmom pretvaraju toplinsku energiju u mehanički rad gibanja. Koji nas oblik pretvorbe energije i koje vrste toplinskih strojeva očekuju u budućnosti? Jesu li to i nadalje Ottovi i Dieselovi motori na fosilna goriva? Možda je budućnost u Stirlingovu motoru na različite vrste goriva, uključujući i Sunčevu energiju? Ili je budućnost u motorima na nuklearni pogon te magnetohidrodinamičkom motoru, koji radi na iznimno visokim temperaturama s plazmom?

Možda jedan od potvrdnih odgovora pronademo u kemodinamičkim strojevima, gdje se kemijska energija izravno pretvara u mehanički rad. Na taj način simbolično bi se zatvorio povijesni krug vraćanjem na sam početak toplinskih strojeva - žive ljudske i životinjske organizme.

- Model kemodinamičkog stroja (Katchalsky, 1949.)

38 x 31 x 15 cm, 0,79 kg; inv. br. 2374

IZVEDBA POSTAVA IZLOŽBE

Uz ograničenja proistekla iz relativno skromnih raspoloživih novčanih sredstava, osnovna zamisao autora izložbe bila je ostvarenje stalnoga postava koji bi strukturom i izvedbom bio istovjetan i udovoljio specifičnim zahtjevima i rješenjima pokretne međunarodne izložbe⁸.

Slijedeći zamisao da istovjetna izvedba omogućí ostvarenje stalnoga postava kao i pokretnu izložbu, modeli - izložci su prema navedenim tematskim cjelinama smješteni u ostakljene, rastavljive vitrine - apstrakte. Uz lijevu stranu, kao sastavni dio vitrina, postavljeni su panoi s dvojezičnim tekstovima opisa pojedinih tematskih cjelina. Iznad vitrina, također kao njihov sastavni dio, nalaze se panoi s fotografijama suvremenih strojeva koji su u izravnoj vezi s modelima u vitrini.

Na ulaznom prostoru izložbene dvorane, na postamentu od apstrakte, postavljen je funkcionalni model prikaza pretvorbe topline u mehanički rad koji pokušom uvodi posjetitelja u svijet toplinskih strojeva.

Tri osnovne tematske cjeline predstavljene su: suvremenim benzinskim motorom 1,2 l, tip D7F iz automobila *Clio II* proizvođača *Renault* (inv.br. 2386), funkcionalnim modelom hladnjaka, čije je kućište izrađeno od pleksiglasa i brončanim topom, okolica Siska, iz 18. stoljeća (inv. br. 12.943), posuđenim iz Hrvatskoga povijesnog muzeja.

Kako se toplinska energija koja se potom pretvara u mehanički rad dobiva kemijskim procesom izgaranja goriva, u zasebnoj vitrini izloženi su uzorci različitih vrsta goriva: baruta, drva, ugljena, benzina, dizelskoga goriva.

U dijelu izložbene dvorane nalazi se zid izrađen od apstrakte, s frizom panoa portreta i biografija (dvojezičnih) dvanaest najvažnijih izumitelja na području toplinskih strojeva. Ispred zida postavljen je televizor na kojem se prikazuje dvadesetminutni videofilm *Pokretna moć vatre*, posebno snimljen za potrebe izložbe.

⁸. Tehnički muzej, Zagreb postavio je Zbirku *Kolin* kao pokretnu izložbu od 6. listopada do 30. studenoga 1998. *Toplota in gibanje - tri stotletja izumov toplotnih motorjev* u Tehniškom muzeju Slovenije. Zbirka ulazi u stalni postav Tehničkog muzeja u listopadu 1999.



Sl. 10. Zid od apstrakte s portretima i biografijama izumitelja i televizijskim prijammikom

LITERATURA

- BOŠNJAKOVIĆ, F., 1970., Nauka o toplini, I dio, Tehnička knjiga, Zagreb.
- ECKOLDT C., 1996., Kraftmaschinen I, Deutsches Museum, München.
- FELDMAN A., Ford, P., 1979., Scientists & Inventors, Aldus Books, Ltd, London, 152 - 153, 220 - 221, 294 - 295, 308 - 309.
- HAUNER N., KREUZER, R., 1993., Die Damdfmaschine verändert die Welt, Deutsches Museum und Museumspädagogisches Zentrum, München.
- JÍLEK F., KUBA J., JÍLKOVÁ J., 1979., The World Inventions in Dates, Národní tehnické muzeum, Praha.
- KOLIN I., 1972., The Evolution of the Heat Engine, Longman Group Limited, London.
- KOLIN I., 1979., Stirling Motor, History-Theory-Practise, University Publications, Ltd, Zagreb, 17 - 134.
- KOLIN I., 1983., Isothermal Stirling CycleEngine, Inter University Center, Dubrovnik, 7 - 65.
- LEITHÄUSER J. G., ,1959., Drugo stvaranje svijeta, Novinarsko izdavačko poduzeće, Zagreb 11 - 42, 105 - 126.
- LEWIN M., 1961., Vom Wasserrad zum Atommotor, Der Kinderbuchverlag, Berlin, 9 - 84.
- LOON van H., 1953., The Story of Mankind, Pocket Books, Inc, New York, 385 - 395.
- MAUEL K., 1996., Kraftmaschinen II, Deutsches Museum, München.
- RAFFELT G., 1997., Vom Flaschenzug zum Dieselmotor, Deutsches Museum und Museumspädagogisches Zentrum, München.
- PINTARIĆ, S., 1996., Informatica muzeologica, 27 (1 - 2), MDC, Zagreb, 15 - 18.
- RAŽNJEVIĆ, K., 1985., Fizikalne veličine i mjerne jedinice međunarodnog sustava (SI), Nakladni zavod Znanje, Zagreb.
- SANDFORT J. F., 1962., Heat Engines, Thermodynamics in Theory and Practise, Anchor Books, Doubleday & Company, Inc, New York.
- ŠOLIĆ, F., 1950., Istorija parnog stroja i parobroda, Tehnička knjiga, Beograd.
- BRITANNICA, 1998., Internet Guide by Encyclopaedia Britannica, London.
- DAS BUCH DER ERFINDUNGEN, GEWERBE UND INDUSTRIEN, Zweiter Band, 1889., Verlag und Druck von Otto Spamer, Leipzig, Berlin, 523 - 582.
- DAS BUCH DER ERFINDUNGEN, GEWERBE UND INDUSTRIEN, Zweiter Band, 1898., Verlag und Druck von Otto Spamer, Leipzig, Berlin, 671 - 779.
- HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA, Svezak III, 1942., Hrvatski izdavački bibliografski zavod, Zagreb, 625 - 626.
- DER SIEGESLAUF DER TECHNIK, Erster Band, Dritte, neubearbeitete Auflage, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 197 - 322.
- TEHNIČKA ENCIKLOPEDIJA, Svezak 10, 1986., Jugoslavenski leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 164 - 165, 202 - 204.
- TEHNIČKA ENCIKLOPEDIJA, Svezak 13, 1997., Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 222-226.

SUMMARY

Permanent exhibition of Energy transformation Department of the Technical Museum in Zagreb is expanded with the unique (52 models of average size 45 cm x 30 cm x 15 cm) Collection of the heat engine models Kolin. With the help of magnificently designed and perfectly made artefacts we can see one of the most important entireties in the history of technology. Heat engines keep in motion most of contemporary energetic plants and traffic means. Let's just remember Watt's steam engine, Otto's and Diesel's engines, turbines and rocket engines, so that we can understand the significance of heat engines in the development of our civilization. Choice of engine types and the way of model making in Kolin collection show a strong authorial approach. Professor dr. Ivo Kolin suggests the hard, amazing and interlaced development ways of heat engines. He does not forget unjustifiably neglected and forgotten inventions and gives them an individual seal.

The exhibition of models, which show historical development of heat, engines from Branka turbine from 1629. to the rocket Saturn V from 1969. and Stirling/Kolin engine from 1992. is in consonance with the basic postulations of the author, but also enables the visitors to have a good insight into complex matter of heat engines and motors. Let's have a look at the four basic unities.

I. HEAT ENGINES THAT CONVERT HEATING ENERGY INTO USEFUL MECHANICAL OPERATION.

The first and the greatest unity of 45 models is classified into nine groups. It shows historical development of engines that were starting other engines and generators of electric power in trade shops and industrial plants, motors that start all the vehicles on water, land, in the air and space, and other appliances like artificial heart etc. These are the engines that expend heat and produce mechanical operation.

I.1. The origins of heat engines-devices and facilities, which precede the first steam, engines.

I.2. Models of heat engines with Papin cycle-besides the most important heating engines made by Papin, Newcoman, Watt and Stephenson's locomotive, other heat engines that operate with Papin cycle are also exhibited.

I.3. Model of imaginary heat engine by Sadi Carnot. This engine would operate with heating so-called Carnot cycle. This cycle theoretically has the highest thermodynamic level of operation, i.e. the highest possible level of conversion of energy into mechanical work.

I.4. Models of heat engines with Stirling cycle-whose theoretical level of operation is the same as Carnot cycle. These are called Stirling engines, neglected and forgotten invention from the beginning of 19th century, but which many are interested in again during the last few decades. Thirteen exhibited engines show the development of Stirling engines from 1815. to the contemporary Stirling/Kolin engine from 1982.

I.5. Models of heat engines with Joule cycle-imaginary engine which James Joule never constructed, and which would operate with heating cycle later named after him. We can also see the engine with the same heating cycle, which was constructed by John Ericsson in 1833, eighteen years before Joule's engine.

I.6. Model of heat engine-prototype of the engine that John Ericsson used for operating a ship with carrying capacity of 2000 t. the engine worked with heating cycle that was later named after Ericsson.

I.7. Models of heat engines with internal combustion - motors in which chemical process of combustion and heating energy release happens inside the engine cylinder. The most famous one and the most spread heat engines start various kinds of vehicles: motorcycles, cars, trucks, buses and ships, but also for driving some other engines. Among others are exhibited engines with combusting air, gas engines, Wankel's engine operated with Otto cycle and engines with Diesel cycle.

I.8. Model of contemporary gas turbine - heat engines irreplaceable in thermo-electric and nuclear power plants for electric power generators drive. They are also used for jet planes drive.

I.9. Models of rocket engines and rockets - heat engines that enabled the flight into space.

II. REFRIGERATING MACHINES

The second unity consists of three models of refrigerating machines in which mechanical drive is used of heat depriving. All refrigerating machines and de-

vices operating in the process in which a machine "employs" work and "produces" cold.

III. CANNONS

The third unity consists of four cannon models - the simplest heat engines. Comparing heat engines and cannons, engine cylinder would correspond to cannon barrel, engine piston to cannon ball, and engine rotation speed to cannon fire speed.

IV. CHEMODYNAMIC ENGINE

A model of chemodynamic engine prototype represents the fourth unity, where chemical energy directly turns into mechanical work. This engine symbolizes alternative in new energy sources.

Uniqueness, originality, credibility and completeness of the collection imposed the idea on realization of mobile international exhibition, which is the same as the permanent exhibition. The exhibits are placed into showcases and completed with boards with bilingual descriptions and photographs. Three basic thematic unities are represented with a contemporary car engine, functional model of a refrigerator and a cannon from 18th century, with functional model of imagery of heat transformation into mechanical operation. Portraits and biographies of the most important inventors of heat engines are also a part of the exhibition, as well as a twenty minutes long videofilm "Starting power of fire".