



ODPISANO
11/80 - 1

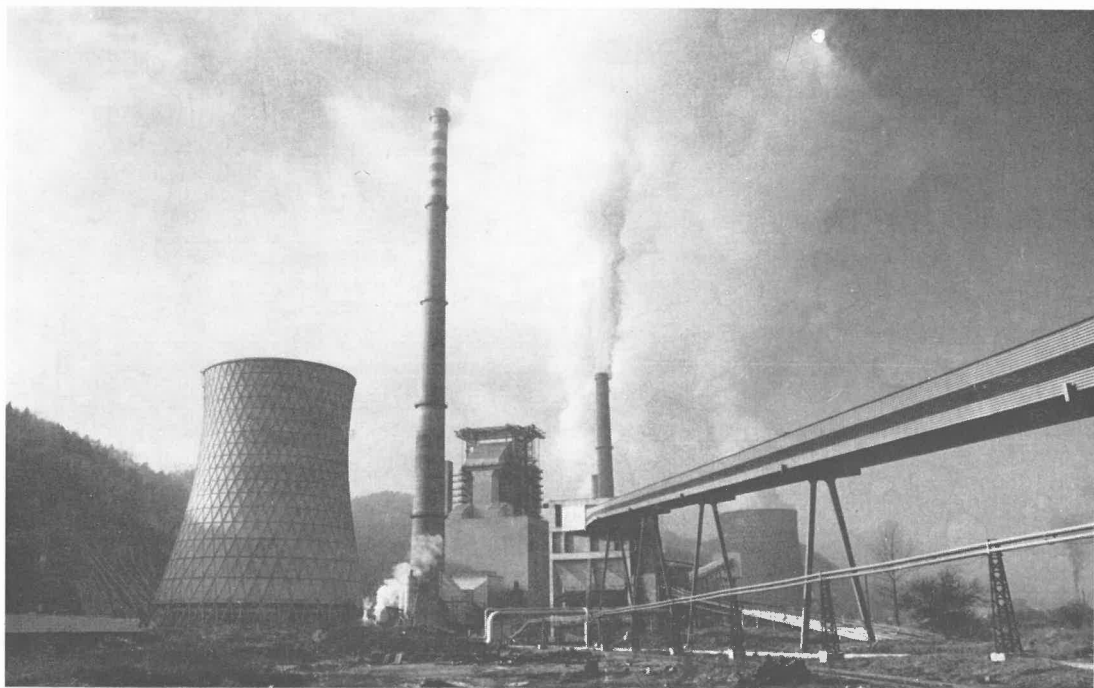
IZDAJA DRUŠTVO MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV SR SLOVENIJE

1980

Letnik 27

1

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO



OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

LJUBLJANA, JANUAR 1980

Glavni in odgovorni urednik: Janez Strnad.

Uredniški odbor: France Avsec, gimnazija Kranj; Robert Blinc, FNT; Alojz Kodre, FNT; France Kvaternik, tehniška šola za lesarstvo, Ljubljana; Peter Legiša, FNT; Jože Lep, VTŠ, Maribor; Anton Moljk, FNT; Mitja Rosina, FNT; Tomaž Skulj, Iskra, Ljubljana; Janez Strnad (urednik za fiziko), FNT; Anton Suhadolc (urednik za matematiko), FNT; Ciril Velkovich (urednik), FNT; Ivan Vidav, FNT; jezikovni pregled Marija Janežič, inštitut za slovenski jezik SAZU. Slike je narisal Miha Štalc.

Naročnina: za posameznike 200.— din (za člane društva je že vračunana članarina), za dijake in študente 100.— din, za ustanove in podjetja 250.— din, za tujino 20 \$ = 400.— din, posamezna številka 50.— din, dvojna številka 100.— din.

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov: **Komisija za tisk DMFA SRS**, 61001 Ljubljana, Jadranska c. 19, p. p. 227, tel. št. 265-061/53, žiro račun 50101-678-48363, devizni račun pri Ljubljanski banki 32009-007-900.

Tiska tiskarna Ljudske pravice v Ljubljani, Kopitarjeva ul. 2. Naklada 1400 izvodov.

Izdajo revije sofinancirata Izobraževalna skupnost Slovenije in Raziskovalna skupnost Slovenije.

© 1980 DMFA SRS — 432

YU ISSN 0473-7466

VSEBINA**Članki**

Matematični modeli oboroževalne tekme in vojaških spopadov (Jože Andrej Čibej)	1
Pomanjkanje energije in pouk fizike (Janez Strnad)	7
Razprava na posvetovanju Energijski problem in pouk fizike, Velenje, 26. oktobra 1979 (Zdravko Petkovšek, Stane Pirnat, Matjaž Žaucer, Ivan Kušcer, Zvonko Trontelj, Franc Cvelbar, Joško Batestin, Janez Ferbar, Alojz Kodre, Ciril Memon)	24

Domače vesti

3. jugoslovanska konferenca o uporabi fizike (Zvonko Trontelj)	28
VII. kongres Zveze društev matematikov, fizikov in astronomov Jugoslavije (Ciril Velkovich)	28
Poročilo o simpoziju, posvetovanju in občnem zboru DMFA SRS (Aenka Verstovšek)	29
Umrli je profesor doktor Lavo Čermelj	31
Nove knjige (Ciril Velkovich, Vladimir Batagelj, Jože Vrabec)	32, III, IV

CONTENTS**Articles**

Mathematical models of arms race and combats (Jože Andrej Čibej)	1
Energy crisis and physics teaching (Janez Strnad)	7
Home news	28
Reviews	32

Na ovitku: Toplotna elektrarna Šoštanj, ki so jo obiskali člani društva matematikov, fizikov in astronomov, zbrani na posvetovanju o energijskem problemu v pouku fizike. TEŠ ima štiri faze — prva je bila zgrajena najprej, četrta nazadnje — z močjo po 60 MW, 75 MW, 275 MW in 335 MW; skupaj torej 745 MW. Izkoristek prve faze je najmanjši, izkoristek četrte največji, slednji doseže 35 do 37 %. Fotografijo je naredil Marjan Smerke.

MATEMATIČNI MODELI OBOROŽEVALNE TEKME IN VOJAŠKIH SPOPADOV

JOŽE ANDREJ CIBEJ

Math. Subj. Class. (1980) 92 A 20

V članku obravnavamo Richardsonov model oboroževalne tekme med dvema deželama in Lanchesterov model vojaškega spopada.

MATHEMATICAL MODELS OF ARMS RACE AND COMBATS

In the paper Richardson's model of an arms race between two countries and Lanchester's combat model are considered.

Vojne so stare kot človeški rod, nekako toliko tudi matematika. Težko bi trdili, da v vseh teh tisočletjih ni vsaj posredno služila tudi Marsu, vendar pa matematični modeli oboroževalne tekme in vojaških spopadov ne štejejo niti sto let. Moje prvo srečanje s temi modeli pomeni [8], nekaj vtisov, ki sem jih odnesel od naslednjih, pa sem se namenil predstaviti širšemu krogu bralcev, ker se mi zdijo omenjeni modeli kljub mnogim pomanjkljivostim vsaj kot kvalitativen prikaz dobra vzpodbuda k razmišljanju...

Richardsonov model oboroževalne tekme obravnava dinamiko oboroževanja dveh (antagonističnih) dežel ali vojaških zvez, temelji pa na treh osnovnih predpostavkah:

1. v oboroževalni tekmi je hitrost oboroževanja kake dežele proporcionalna vojaškemu potencialu njene nasprotnice;
2. v gospodarstvu vsake nasprotnice delujejo ekonomski zakoni varčevanja. Ti povzročajo zmanjševanje hitrosti oboroževanja, zmanjšanje je proporcionalno z že doseženim vojaškim potencialom te dežele;
3. oboroževanje posamezne nasprotnice ni odvisno le od tega, kaj počne druga stran, ampak tudi od njenih lastnih nagibov oziroma namenov.

Na osnovi teh (očitno precej poenostavljenih) predpostavk lahko oblikujemo matematični model takšne bilateralne oboroževalne tekme; v zapisu pomenita oznaki p_1 in p_2 vojaška potenciala obeh dežel, s črtico pa kot običajno označujemo odvod ustreznih funkcij po času. Enačbi

$$p_1' = m p_2 - a p_1 + g \quad (1)$$

$$p_2' = n p_1 - b p_2 + h \quad (2)$$

sta matematični prevod slovenskega teksta naših treh predpostavk.

Količine m, n, a, b, g, h , so pri tem konstante, ki jih ni težko razložiti, zato pa tem težje v praksi izmeriti. Prvi dve, m in n , bi lahko imenovali reakcijska koeficienta, saj povesta, kako je hitrost oboroževanja ene države odvisna od nivoja, ki ga je pri tem dosegla nasprotnica. Drugi par konstant, a in b , meri pojemanje veselja do oboroževanja, ki se pojavlja v gospodarstvu posamezne dežele zaradi že doseženega nivoja oborožitve in s tem povezanih stroškov, ki bremenijo državni proračun, posredno pa seveda gospodarstvo. Vse

štiri konstante so po absolutni velikosti lahko zelo različne, po predznaku pa slejkoprej pozitivne ali vsaj nenegativne. Najbolj zanimivi sta verjetno konstanti g in h , ki opisujeta intenzivnost tistih (včasih popolnoma iracionalnih) motivov za oborožitev ($g, h > 0$) ali razorožitev ($g, h < 0$), ki niso neposredno odvisni od dogajanja v sosednji deželi oziroma v lastnem gospodarstvu, ampak so predvsem posledica ekonomskih, političnih, nacionalističnih, verskih in drugih predsodkov oziroma z njimi povezanih posebnih namenov. Profesor Križanič npr. pravi (glej [8]), da ta dva člena izražata »jezo, ki jo država kuha na drugo stranko«. V splošnem se sicer lahko zgodi, da se jeza spremeni v naklonjenost, vendar je prva možnost ($g, h > 0$) le bolj pogosta; v tem primeru konstanti merita intenzivnost vseh vplivov, ki bi eno od dežel še vedno odvrčali od razorožitve, čeprav bi bil vojaški potencial sosede enak nič.

Kakorkoli že, zapisani model nas lahko kljub enostavnosti pripelje k boljšemu razumevanju oboroževalnih procesov in vrtoglavega naraščanja izdatkov za oborožitev. V ta namen je koristno začeti z analizo nekaterih posebnih primerov.

Če sta konstanti g in h enaki 0, je

$$p_1(t) = 0, p_2(t) = 0 \quad (3)$$

t. i. ravnovesna rešitev sistema (1), (2): če sistem zaide v to stanje, bo v njem ostal za vse večne čase, saj sta oba odvoda $p'_1(t)$ in $p'_2(t)$ enaka 0. Pri tem pa je potrebno opozoriti na naslednje: čeprav obe državi v nekem trenutku t_0 dosežeta stanje popolne razorožitve

$$p_1(t_0) = 0, p_2(t_0) = 0 \quad (4)$$

je takšna umiritev samo prehodna, če ne velja $g = h = 0$; v nasprotnem primeru sta odvoda v enačbah (1) in (2) od nič različna in poženeta sistem iz stanja, opisanega s (4). Če privzamemo, da je Richardsonov model vsaj groba aproksimacija dejanskega poteka dogodkov, je našo ugotovitev v praksi mogoče imeti za opozorilo, da tudi obojestranska popolna razorožitev ne zagotavlja miru, če hkrati ne pometemo z vsemi predsodki, ki pri eni ali obeh straneh povzročajo strah pred potencialnim nasprotnikom, nezaupanje in željo po »preventivnem« oboroževanju.

Tekma v oboroževanju postane posebej nevarna takrat, kadar reakcijska koeficienta m in n izrazito prevladata nad zaviralnima parametroma a in b ter konstantnimi vplivi, opisanimi s parom g, h . V tem primeru lahko sistem (1), (2) aproksimiramo z enostavnejšima enačbama

$$p'_1 = m p_2, p'_2 = n p_1 \quad (5)$$

Splošna rešitev sistema (5) ima obliko

$$p_1(t) = A \exp(\sqrt{m n} t) + B \exp(-\sqrt{m n} t) \quad (6)$$

$$p_2(t) = \sqrt{n/m} (A \exp(\sqrt{m n} t) - B \exp(-\sqrt{m n} t)) \quad (7)$$

Tu sta A in B integracijski konstanti, odvisni od začetnih pogojev. Iz oblike rešitev lahko zaslutimo eksponentno dirko pri $A > 0$, ki jo bomo ilustrirali s konkretnim primerom, ko je

$$m = 1, n = 4, p_1(0) = 1, p_2(0) = 1 \quad (8)$$

Z uporabo sistema zahtev (8) v splošnih rešitvah (6) in (7) dobimo partikularni rešitvi, ki ustrezata enakima začetnima pozicijama obeh nasprotnikov, od katerih pa ima drugi štirikrat večji reakcijski koeficient:

$$p_1(t) = (3e^{2t} + e^{-2t})/4, \quad p_2(t) = (3e^{2t} - e^{-2t})/2$$

Čeprav je $n = 4m$, pa vojaški potencial druge države narašča le (približno) dvakrat hitreje kot potencial nasprotnice; na vprašanje, zakaj sta intenzivnosti oboroževanja vsaj asimptotično v razmerju kvadratnih korenov reakcijskih koeficientov, odgovori pogled na sistem (5).

Vrnimo se končno k prvotnemu sistemu (1), (2)! Splošna teorija dinamičnih sistemov v ravnini (primerjaj npr. [7], stran 269 in dalje) nam najprej pove, da ima proučevani sistem enolično določeno točko mirovanja

$$p_1^* = (hm + bg)/(ab - mn), \quad p_2^* = (ah + gn)/(ab - mn) \quad (9)$$

če le privzamemo, da je vrednost izraza v imenovalcih različna od nič. (Kako je takrat, ko to ni res, bomo povedali kasneje.) Ne samo z matematičnega, ampak tudi s političnega in vojaškega gledišča je zanimivo vprašanje, kdaj je negibna točka (9) stabilna, ali drugače, pri katerih pogojih se sistem (1), (2), ki je bil na kakršenkoli način moten (npr. zaradi pomembnih zunanje-političnih dogodkov) in s tem premaknjen iz točke (p_1^*, p_2^*) , ko motnja preneha, spet vrne v to stanje. Da bomo pri odgovoru na to vprašanje z mirno vestjo uporabili recepte iz [7], najprej predelajmo sistem enačb (1), (2). Stavimo matriko koeficientov

$$\mathbf{K} = \begin{vmatrix} -a & m \\ n & -b \end{vmatrix}$$

in vektorje

$$\mathbf{p}(t) = \begin{vmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \end{vmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{vmatrix} g \\ h \end{vmatrix}, \quad \mathbf{p}^* = \begin{vmatrix} p_1^* \\ p_2^* \end{vmatrix}$$

Proučevani sistem lahko nadomestimo z vektorsko enačbo

$$\mathbf{p}' = \mathbf{K}\mathbf{p} + \mathbf{f} \quad (10)$$

Če postavimo za novo spremenljivko razliko med vektorjem $\mathbf{p}$ in negibno točko $\mathbf{p}^*$, torej $\mathbf{z} = \mathbf{p} - \mathbf{p}^*$, preide enačba (10) v enostavnejšo obliko

$$\mathbf{z}' = \mathbf{K}\mathbf{z} \quad (11)$$

Raziskovanje stabilnosti negibne točke $\mathbf{p}^*$ se s tem spremeni v ugotavljanje, katere vrste točka mirovanja je za sistem (11) točka $\mathbf{z} = 0$. S tem smo prišli v znane vode (glej [7], stran 276—288) in lahko povemo recept: o stabilnosti odločata lastni vrednosti matrike $\mathbf{K}$, torej ničli karakterističnega polinoma oziroma rešitvi enačbe

$$\lambda^2 + (a + b)\lambda + ab - mn = 0 \quad (12)$$

Z nekaj premetavanja ju lahko zapišemo v obliki

$$\lambda_{1,2} = -(a + b) \pm ((a - b)^2 + 4mn)^{1/2}/2 \quad (13)$$

Obe lastni vrednosti sta očitno realni in različni od 0, saj smo privzeli, da je izraz $ab - mn \neq 0$; o njunem predznaku pa odloča ravno predznak ome-

njenega izraza: če je $ab - mn > 0$, sta λ_1 in λ_2 negativni, negibna točka $\mathbf{p}^*$ je stabilni vozle ([7], stran 278). Mirovanje je torej stabilno, če je produkt zaviralnih koeficientov a in b večji od produkta reakcijskih koeficientov m in n . Kadar pa je obratno ($ab - mn < 0$), ima enačba (12) eno pozitivno in eno negativno rešitev, negibna točka $\mathbf{p}^*$ je takrat sedlo ([7], stran 280—281) in praktično vsaka motnja požene dremajoča vojaška potenciala obeh držav v vrtoglavo dirko proč od ravnovesnega položaja.

Dolžni smo še pojasniti, kaj se zgodi, če je $ab - mn = 0$. Negibno točko smo dobili kot rešitev sistema

$$-a p_1 + m p_2 + g = 0, \quad n p_1 - b p_2 + h = 0 \quad (14)$$

oziroma kot presečišče premic z zapisanima enačbama. Če je (determinanta koeficientov) $ab - mn = 0$, sta ti dve premici vzporedni. Kadar je dodatno izpolnjen pogoj $hm + bg = 0$ (ali čisto ekvivalentno: $gn + ah = 0$), gre dejansko za dva izvoda ene in iste premice, ki predstavlja geometrijsko mesto vseh negibnih točk sistema (1), (2); kadar sta premici (14) pravi vzporednici, pa naš sistem pač ne premore negibnih točk.

Čeprav je model, ki smo ga spoznali, res enostaven, so z njim zelo dobro pojasnili naraščanje vojaških izdatkov obeh antagonističnih političnih zvez v zadnjih nekaj letih pred I. svetovno vojno (glej npr. [3], stran 378—380). V splošnem pa nam model (vsaj vnaprej) ne daje odgovora na vprašanje, ali bo oboroževalna tekma pripeljala do direktne vojaške konfrontacije, saj je tak dogodek odvisen še od drugih faktorjev, ki v modelu niso upoštevani; tako se zdi npr. zelo realna predpostavka, da ena od dežel prej doseže objektivno (ekonomsko) zgornjo mejo za nadaljnjo rast vojaškega potenciala. V tem primeru je prisiljena čimprej izzvati »odločilni« spopad, saj se zanjo razmerje potencialov slabša iz dneva v dan. Opis enega od modelov, ki upoštevajo tudi ekonomske omejitve, najdemo v [9], stran 48. Tako po vsebini kakor po matematični plati pa je zanimiva Gopalsamyjeva verzija osnovnega Richardsonovega modela (glej [5]); verzija temelji na dejstvu, da so poleg tekme v kvantiteti orožja in vojaške opreme pomembna (in v letih po II. svetovni vojni morda celo pomembnejša) tudi prizadevanja posameznih dežel in vojaško-političnih zvez, da bi dosegle odločilno prednost v kvaliteti bojnih sredstev. Upoštevanje kvalitete orožij je omenjenega avtorja pripeljalo do proučevanja sistema dveh paraboličnih parcialnih enačb drugega reda, ki se ga na tem mestu (po analogiji z zgodbo o lisici in kislem grozdju) ne bomo lotili...

Preselimo se zdaj od oboroževalne tekme, kopičenja orožij in medsebojnih groženj na bojišče, kjer se začne bitka, in poskusimo ugotoviti, kateremu od dveh nasprotnikov se pri določenih predpostavkah obeta zmaga. Najprej vzemimo, da gre za dve konvencionalni sili, ki se srečata v frontalnem spopadu. Označimo z $x(t)$ oziroma $y(t)$ število borcev posamezne nasprotnice, ki so v trenutku t še sposobni za boj in v njem tudi dejansko angažirani. Zaradi predpostavke, da gre za frontalni spopad, lahko pričakujemo, da je hitrost upadanja števila $x(t)$ kot posledica bojnih izgub premo sorazmerna s številom sovražnikov $y(t)$; sorazmernostno konstanto brez skrbi imenujemo koeficient bojne učinkovitosti (druge sile!).

Poleg bojnih izgub običajno nastopajo še druge, npr. zaradi bolezni, dezertiranja itd. Te je včasih težko pojasniti, kaj šele korektno kvantificirati. Zato

se bomo omejili na bitke, kjer so te vrste izgub zanemarljive v primerjavi z bojnimi. Poleg tega naj bosta med bitko obe sili izolirani, to se pravi, da ne dobita nobenih dodatnih okrepitev. Pri takšnih predpostavkah dobimo naslednjo verzijo Lanchesterovega modela:

$$x' = -a y, y' = -b x \quad (15)$$

Pozitivni konstanti a in b sta že omenjena koeficienta bojne učinkovitosti, k enačbama pa sodi še podatek o moči obeh nasprotnikov v začetku bitke, $x(0) = x_0, y(0) = y_0$.

Sistem je linearen in z njim ni težav; preprosta integracija prirejene enačbe faznega tira $d y/d x = b x/a y$ nam da rezultat

$$a y^2 - b x^2 = a y_0^2 - b x_0^2 = C \quad (16)$$

Fazni tiri sistema (15), ki nas iz razumljivih razlogov zanimajo samo v I. kvadrantu, so torej hiperbole. Kriterij, s katerim določimo zmagovalca, naj bo takole preprost: komur prej zmanjka vojakov, izgubi bitko. Zdaj lahko povemo, kaj rešitve pri različnih vrednostih konstante C sploh povedo. Če je $C < 0$, lahko implicitno rešitev (16) razrešimo na obliko $x = ((a y^2 - C)/b)^{1/2}$ in preberemo, da je stanje prve sile v trenutku njene zmage ($y = 0$) enako $(-C/b)^{1/2}$. Če pa je $C > 0$, lahko (16) predelamo do $y = ((b x^2 + C)/a)^{1/2}$, ob koncu bitke je v tem primeru zmagovalcev za $y(x = 0) = (C/a)^{1/2}$.

Odločilen za zmago posamezne strani je potemtakem predznak konstante C oziroma odnos količin $a y_0^2$ in $b x_0^2$. Prva sila bo očitno vsekakor hotela začeti bitko pri izpolnjenem pogoju $b x_0^2 > a y_0^2$, kar si lahko zagotovi bodisi s povečanjem svoje bojne učinkovitosti ali z dodatnimi okrepitvami. Njene možnosti za zmago v frontalnem spopadu rastejo s kvadratom njene moči; to dejstvo včasih imenujejo Lanchesterov kvadratni zakon. Bralcu predlagamo, da razmisli o zmagovalcu v primeru, ko je $C = 0$, in si nariše nekaj faznih tirov pri izbranih konstantah a in b ter različnih vrednostih parametra C (glej npr. [3], stran 383).

Lotimo se še primera, ko je prva sila konvencionalna, druga pa deluje po pravilih partizanske (gverilske) taktike. To pomeni, da prva deluje frontalno in je izpostavljena (kot v prejšnjem primeru) direktnemu napadu druge sile, zato $x' = -\beta y$. Nasprotno pa je druga sila praktično skrita in so njene bojne izgube premo sorazmerne s številom (bolj ali manj slučajnih) »srečanj« z vojniki prve, le-to pa je sorazmerno s produktom moči obeh sil v proučevanem trenutku. Zato opišimo gibanje številčne moči za gverilsko šilo z enačbo $y' = -\alpha x y$. (Takšna oblika enačbe je znana iz teorije epidemij, kjer z njo pojasnjujemo zmanjševanje števila še neokuženih oseb zaradi srečanj z inficiranimi osebami, glej npr. [4].) Dinamični sistem, ki opisuje spreminjanje moči obeh sil, ima potemtakem ob spopadu konvencionalne sile z gverilskim nasprotnikom obliko

$$x' = -\beta y, y' = -\alpha x y \quad (17)$$

Fazni tiri (spet jih opazujemo le v I. kvadrantu) tvorijo tokrat enoparametrično družino parabol

$$\alpha x^2 - 2 \beta y = \alpha x_0^2 - 2 \beta y_0 = C \quad (18)$$

Parameter C je odvisen od začetnih pogojev, spet pa neposredno (in edini!) odloča o zmagovalcu bitke po zapisanem kriteriju: pri $C < 0$ gverilci uničijo konvencionalno silo, pri $C > 0$ se vlogi zamenjata.

Ob proučevanju zgodovine NOB in drugih osvobodilnih vojn se naivnost Lanchesterovega modela pokaže v vsej luči. Kljub temu pa je uporaba modela za spopad dveh konvencionalnih sil v znani japonsko-ameriški bitki za otok Iwo Jima (1945) dala teoretične rezultate, ki se izredno ujemajo z dejanskim gibanjem številčnega stanja obeh sil (glej [3], stran 384—388). Koliko je to samo posledica kvalitete modela, pa je seveda težko presoditi.

Preden končamo tale matematični izlet v vojaško znanost, bi radi opozorili, da so v bogatem repertoarju boja za obstanek človeške vojne samo ena od variant, čeprav gotovo najbolj absurda. Matematiki se že dobrega pol stoletja ukvarjajo tudi z drugimi oblikami (primerjaj [10]), pri katerih gre bodisi za tekmovanje dveh ali več vrst za omejena življenjska sredstva (hrano, svetlobo) ali za smrtni ples roparjev in njihovih žrtev. O teh modelih pa prepuščamo besedo tistim (glej [2]), ki so za to bolj poklicani ...

LITERATURA

- [1] Bender E. A., *An Introduction to Mathematical Modeling*, John Wiley & Sons, New York 1978.
- [2] Blejec A., *Matematični modeli v ekologiji*, diplomsko delo, Ljubljana 1977.
- [3] Braun M., *Differential Equations and Their Applications*, Springer-Verlag, New York 1978.
- [4] Čibej J. A., *O širjenju epidemij*, Obzornik mat. fiz. **25** (1978) 161—169.
- [5] Gopalsamy K., *An Arms Race with Deteriorating Armaments*, Math. Biosc., **37** (1977) 191—203.
- [6] Howes D. R., Thrall R. M., *A Theory of Ideal Linear Weights for Heterogeneous Combat Forces*, Naval Research Logistic Quarterly, **20** (1973) 645—659.
- [7] Križanič F., *Navadne diferencialne enačbe in variacijski račun*, Ljubljana, Državna založba Slovenije 1974.
- [8] Križanič F., M. Braun, *Differential Equations...* (Prejeli smo v oceno), Obzornik mat. fiz., **25** (1978) III/1.
- [9] Saaty T. L., *Mathematical Models of Arms Control and Disarmament*, John Wiley & Sons, New York 1968.
- [10] Volterra V., *Leçon sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*, Gauthier-Villars, Paris 1931.

GRADBENO INDUSTRIJSKO PODJETJE

N.SOLO.



LJUBLJANA

- gradi industrijske, energetske, luške in hidro-tehnične objekte, mostove, ceste in druge zgradbe, objekte družbenega standarda in stanovanja za trg;
- izdeluje gradbene elemente, vse vrste betonskih prefabrikatov, konstrukcijske elemente iz prednapetega betona;
- izdeluje in montira tipizirane industrijske hale in montira gradbene konstrukcije;
- izdeluje gradbene stroje in opremo;
- opravlja vsa hidroizolacijska dela;
- izdeluje jeklene konstrukcije;
- projektira vse vrste objektov;
- izvaja investicijska dela v tujini.

POMANJKANJE ENERGIJE IN POUK FIZIKE

JANEZ STRNAD

UDK 536.7,620.9

Članek daje pogled na vprašanja v zvezi s pomanjkanjem energije s fizikovega gledišča. Najprej ponovi osnovna spoznanja o energiji, predvsem energijski in entropijski zakon. Nato predstavi pojme, ki jih uporabljajo strokovnjaki za pre-skrbo z energijo. Kratko obdela značilnosti eksponentne in pojemaajoče eksponentne rasti. Na koncu na široko, a površno naniza možnosti za varčevanje z energijo in nove energijske vire. Članek naj bi bil v pomoč učiteljem fizike, ki bodo v šoli načeli vprašanje o pomanjkanju energije.

ENERGY CRISIS AND PHYSICS TEACHING

The article gives a survey of questions around the energy crisis from a physicist's viewpoint. At first fundamental aspects of the energy in physics, particularly the first and second law of thermodynamics, are recapitulated. Then the main concepts used in energetics are presented. The characteristics of exponential growth and retarded exponential growth are mentioned. Finally, methods for energy conservation and new energy sources are considered. The article is intended to help physics teachers which will discuss the energy crisis in school.

Uvod

Ob nekaterih dnevih ne smemo z avtomobilom na cesto. Primanjkuje premoga in lahko da nas bo pozimi zeblo. Računajo z možnostjo občasnih izpadov v elektrarnah, zaradi česar bomo morda v temi. Že teh nekaj ugotovitev kaže, da zadeva grozeče *pomanjkanje energije* ali »*energijska kriza*« vsakogar izmed nas. Uvidimo pa tudi, da gre pri tem za splet vprašanj, ki večinoma ne sodijo v fiziko, ampak v politiko, gospodarstvo in drugam in so tesno povezana z vsem našim načinom življenja.

Nekaterim od teh vprašanj je težko dati dokončno obliko. Na nekatera dobimo nasprotujoče si odgovore. Ni lahko priti do zanesljivih podatkov, zgodi se celo, da jih hote prikrojijo. To ustvarja položaj, ki je bistveno drugačen kot pri raziskovanju narave, ko fizik poskrbi za čim preglednejše okoliščine in jih po možnosti spreminja po svoji presoji. Zato ni malo fizikov, ki čutijo, da se je bolje izogibati kopice vprašanj v zvezi z »energijsko krizo«.

Vendar je treba pribiti, da so v tej kopici tudi vprašanja, ki sodijo v fiziko. Tukaj se ne nameravamo ubadati s tožbo, da bi lahko fiziki bolj sodelovali pri reševanju omenjenih vprašanj. Zanima nas druga naloga fizikov, ki je najbrž še pomembnejša. V mislih imamo dolžnost učiteljev, da poučijo učence, med njimi bodoče politike, gospodarstvenike in druge, o fizikalnih vidikih pomanjkanja energije. Kdor v šoli spozna ozadje stvari in se dokoplje do lastnega kritičnega mnenja, bo bolj pripravljen sodelovati pri reševanju obetajočih se težav in se bo tudi bolj premišljeno odločal.

Energija v fiziki

Ponovimo nekaj osnov, ki bi se jih moral učitelj zavedati, ko nanese govor na pomanjkanje energije.

Energija je ena od najpomembnejših fizikalnih količin. Nastopa v *energij-skem zakonu* ali *prvem zakonu termodinamike*:

$$W - W_1 = A + Q \quad (1a)$$

Sprememba energije sistema je enaka dovedenemu *delu* A in dovedeni toploti Q . K energiji sistema W štejemo *kinetično, potencialno, notranjo, lastno ... energijo*:

$$W = W_k + W_p + W_n + W_m + \dots \quad (1b)$$

K delu štejemo delo rezultante zunanjih sil z določenim prijemališčem $\int \mathbf{F} d\mathbf{s}$ (pri tem ne upoštevamo zunanjih sil, katerih negativno delo smo vpeljali kot spremembo potencialne energije), ..., delo tlaka $-\int p dV$, električno delo $\int U d e$, pri toploti pa upoštevamo tudi prispevek svetlobe. Sistem ima energijo. S telesi v okolici si jo izmenjuje kot delo ali toploto. Dovedeno delo in toploto štejemo pozitivno, odvedeno delo in toploto pa negativno. Energija sistema, ki ne izmenja z okolico ne dela ne toplote, se ohrani. To je *izrek o ohranitvi energije*. Energije ni mogoče ne ustvariti ne uničiti.

Zanimajmo se samo za sisteme v stacionarnih razmerah ali za sisteme, ki se vedno znova vračajo v začetno stanje — pravimo, da ponavljajo *krožno spremembo*. Energija sistema je enolična funkcija stanja in v začetnem stanju ima sistem vedno enako energijo, četudi je vmes opravil krožno spremembo. Iz $W = W_1$ in (1a) sledi takoj

$$A_0 + Q_0 = 0 \quad (2)$$

če sta A_0 in Q_0 v izbranem času ali med krožno spremembo dovedeno delo in dovedena toplota. Tak sistem, ki mu ne dovajamo ne dela ne toplote, ne more oddajati ne dela ne toplote. To bi bil *perpetuum mobile prve vrste*.

Sistem lahko odda toploto, če mu dovedemo toploto ali če mu dovedemo delo. V tem primeru govorimo o *peči*. Navadni peči dovedemo toploto, ki se sprosti pri sežigu goriva, in peč odda toploto:

$$A_0 = Q_0 = 0 \quad Q_{odv} = -Q_{dov}$$

Električni peči dovedemo električno delo in peč odda toploto:

$$Q_0 = -A_0 \quad Q_{odv} = Q_0 \quad A_{dov} = A_0$$

Sistem lahko odda delo, če mu dovedemo delo:

$$A_0 = Q_0 = 0 \quad A_{odv} = -A_{dov}$$

V tem primeru govorimo o *stroju*. Stroj, ki mu dovajamo mehanično delo in ki oddaja mehanično delo, je na primer vodna turbina. Stroj, ki mu dovajamo mehanično delo in ki oddaja električno delo, je dinamostroj. Stroj, ki mu dovajamo električno delo in ki oddaja mehanično delo, je elektromotor.

Doslej se nismo ozirali na izgube, se pravi, da smo vzeli *izkoristek* enak ena. V resnici je izkoristek navadne in električne peči in stroja po vrsti

$$\eta = Q_i/Q_{dov} \quad \eta = Q_i/A_{dov} \quad \eta = A_i/A_{dov} \quad (3a)$$

— manjši kot ena. Pri tem sta Q_i in A_i izkoriščena oddana toplota in izkoriščeno oddano delo (po absolutni vrednosti).

Posebej moramo obdelati *toplotni stroj*, ki mu dovajamo toploto in ki oddaja delo. Pri tem ne moremo mimo *entropijskega zakona* ali *drugega zakona termodinamike*

$$S - S_1 \geq \int dQ/T \quad (4)$$

Enačaj velja pri *reverzibilni spremembi*, znak »večji« pa pri *ireverzibilni*. Iz zakona sledi, da ni mogoče uresničiti *izotermnega toplotnega stroja* ali *perpetuum mobile druge vrste*. Entropija S je — kakor energija — enolična funkcija stanja in ostane po krožni spremembi nespremenjena : $S = S_1$. (Enako kot energije entropije ni mogoče uničiti. V nasprotju z energijo pa entropija nastaja pri ireverzibilnih spremembah.) Pri izotermni krožni spremembi je $\oint dQ/T = Q_0/T$, torej $Q_0 \leq 0$ in iz (2) $A_0 \geq 0$. Tak stroj bi delo kvečjemu zapravljal, nikakor ga ne bi oddajal.

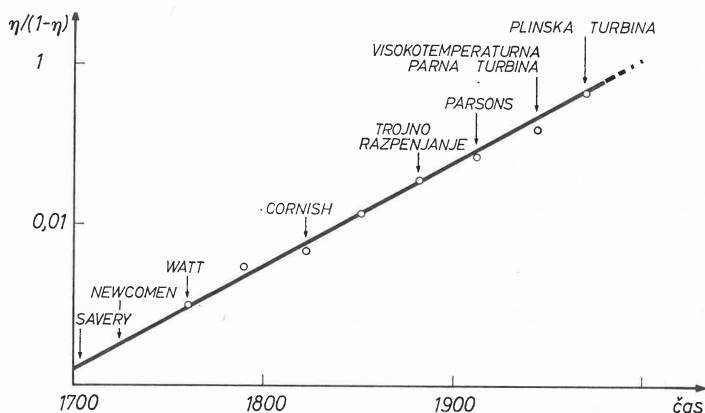
Zamislimo si zdaj toplotni stroj, ki prejema toploto samo pri višji temperaturi T in jo oddaja samo pri nižji temperaturi T_1 . V tem primeru sledi iz (2) $A_0 = -Q_0 = -Q_{dov} + Q_{odv} = -Q_{dov} (1 - |Q_{odv}|/Q_{dov})$ in iz (4) $Q_{dov}/T - Q_{odv}/T_1 \geq 0$, tako da je

$$A_{odv} = A_0 \leq -Q_{dov} (1 - T_1/T)$$

Izkoristek toplotnega stroja je v najboljšem primeru, to je za *idealni* ali *Carnotov toplotni stroj*

$$\eta_c = |A_{odv}|/Q_{dov} = 1 - T_1/T \quad (3b)$$

Izkoristek toplotnih strojev, kot so parni stroj, parna turbina, plinska turbina in bencinski in dizelski stroj, je še manjši zaradi ireverzibilnosti in zaradi tega, ker prejema stroj toploto tudi pri temperaturi, nižji od T in jo oddaja tudi pri temperaturi, višji od T_1 . Z razvojem pa se izkoristek takih strojev prestopa večja (sl. 1).



Sl. 1. Izkoristek prve vrste η za toplotne stroje v odvisnosti od časa — po letu 1900 za velike toplotne stroje, kakršne uporabljajo v elektrarnah. Na ordinatno os je nanesen v logaritemskem merilu kvocient $\eta/(1-\eta)$. Sodobna plinska turbina s helijem pri visoki temperaturi in visokem tlaku doseže izkoristek do 42 %, če ji dovajajo toploto, ki se sprosti pri sežigu goriv. Turbine ob jedrskih reaktorjih dosežejo zaradi strožjih varnostnih zahtev le do 32 %

V mislih obrnimo delovanje opisanega toplotnega stroja, pa dobimo idealni hladilni stroj ali toplotno črpalko. Ta spravlja toploto s kraja z nižjo temperaturo T_1 na kraj z višjo temperaturo T , pri tem dovajamo delo $A_0 = A_{dov}$. (Toplota teče sama od sebe — brez dovajanja dela — samo s kraja z višjo temperaturo na kraj z nižjo temperaturo.) Delo, ki ga je treba dovesti, da odda toplotna črpalka pri višji temperaturi toploto Q_{odv} , je

$$A_{dov} \geq -Q_{odv} (1 - T_1/T) \quad (5)$$

To sledi iz enačb $A_0 = -Q_{dov} - Q_{odv} = -Q_{odv} (1 - Q_{dov}/Q_{odv})$ in $Q_{dov}/T_1 - Q_{odv}/T = 0$.

Pri višji temperaturi oddano toploto lahko izkoristimo, kot izkoristimo oddano toploto peči. V tem primeru je smiselno vpeljati koeficient

$$|Q_{odv}|/A_{dov} = 1/(1 - T_1/T) \quad (3c)$$

Sicer je sestavljen podobno kot izkoristek električne peči, a je lahko večji kot 1.

Veliko gibanj je zelo zapletenih. Pomislimo na gibanje strojev in gibanje našega telesa in okončin. V teh primerih bi prišli do cilja samo z zamudnim računanjem. To pa lahko pogosto izdatno skrajšamo z nekaterimi večje vpeljanimi pomožnimi pojmi. To so delo, energija, gibalna količina.

R. W. Pohl, *Mechanik, Akustik und Wärmelehre*, Springer, Berlin 1955, str. 45

V šoli vodi pot do energije preko Newtonovega zakona in izreka o kinetični energiji. Izrek postopno razširimo s potencialno energijo, notranjo energijo, toploto, lastno energijo. V zadnjem času pa si prizadevajo, da bi dolgo pot skrajšali in vpeljali energijo naravnost. Sklicujejo se na to, da imajo tudi najmlajši učenci pri fiziki dovolj izkušenj z energijo iz vsakdanjega življenja [1]. Najbrž pa gre pri tem za slepo ulico. Energije, ki je do konstantnega člena nedoločena, v resnici namreč ne merimo neposredno, ampak preko energijskega zakona z delom. Pri predlagani bližnjici tako učenci ne bodo imeli jasne slike o energiji, saj pojma tudi ne bodo mogli dograjevati v preglednih korakih.

Kmet ima majhen ribnik, v katerega doteka potoček in iz katerega odteka potoček. Ribnik dobiva vodo še od priložnostnega dežja in jo izgublja z izhlapevanjem. Vzemimo, da je ribnik naš sistem, voda v njem notranja energija, voda, ki priteče ali odteče v potočkih, dovedeno ali odvedeno delo, voda, ki jo prinese dež ali odnese izhlapevanje, pa dovedena ali odvedena toplota.

Z opazovanjem ribnika v določenem trenutku ne moremo ugotoviti, koliko vode, ki je v njem, je priteklo vanj v potočku in koliko je je prinesel dež.

Vzemimo, da bi radi izmerili maso vode v ribniku. Z merilnikom pretoka izmerimo, koliko vode priteče ali odteče v potočkih. Za dež pa nimamo takega merilnika. Lahko pa pokrijemo ribnik s ponjavo. Lastnik ribnika torej postavi v ribnik navpično merilno letev, prekrije ribnik s ponjavo in vstavi merilnika pretoka v pritekajoči in odtekajoči potoček. S tem da zapre pritok ali odtok in upošteva podatek drugega merilnika, lahko umeri maso vode z višino vode, ki jo kaže letev. Tako (na adiabatsko izoliranem sistemu) določi maso vode v ribniku pri katerem koli stanju.

Nato odstrani ponjavo. Maso vode, ki jo je izbranega dne prinesel dež, določi poslej tako, da ugotovi razliko med maso vode v ribniku, kakor jo kaže letev, in maso pritečene vode, kakor jo kaže merilnika pretoka. Razlika meri maso dežja.

H. B. Callen, *Thermodynamics*, J. Wiley & Sons, New York 1960

Še precej teže kot z energijskim zakonom je z entropijskim. V osnovni šoli ga sploh ne kaže vpeljati, ampak se je treba zadovoljiti z ugotovitvijo, da potrebuje uporaben toplotni stroj temperaturno razliko in da odda del prejete

Na vsem območju fizike ni pojma, ki bi ga bilo teže razumeti kot entropijo, pa tudi ni pojma, ki bi bil bolj fundamentalen.

F. W. Sears, *Mechanics, Heat and Sound*, Addison-Wesley, Cambridge, Mass. 1950, str. 447

toplote pri nižji temperaturi. Tudi v višjih razredih srednje šole je najbrž mogoče prebiti brez entropijskega zakona v obliki (4). Izkoristek Carnotovega stroja pa lahko izračunamo za stroj, ki uporablja kot delovno snov idealni plin.

V orjaški tovarni — naravi — sedi nastajanje entropije na mestu direktorja, ki določa vrsto in potek celotnega poslovanja. Energijski zakon ima samo vlogo knjigovodje, ki izravnava prejeme in izdatke.

J. Meixner, *Die Thermodynamik irreversibler Prozesse*, Phys. Blätter 16 (1960) 506

Preskrba z energijo

Strokovnjaki ki se ukvarjajo z energijsko preskrbo — to udejstvovanje imenujejo *energetiko* in sebe *energetike* — so si izoblikovali posebno izrazje. Energija jim je skupno ime za delo in toploto. V fiziki energija nima takega pomena. Ker uporabljajo ime tudi še v starem pomenu, pride včasih do dvoumnosti. Vendar se zunaj fizike ne kaže upirati novemu, že zelo razširjenemu poimenovanju.

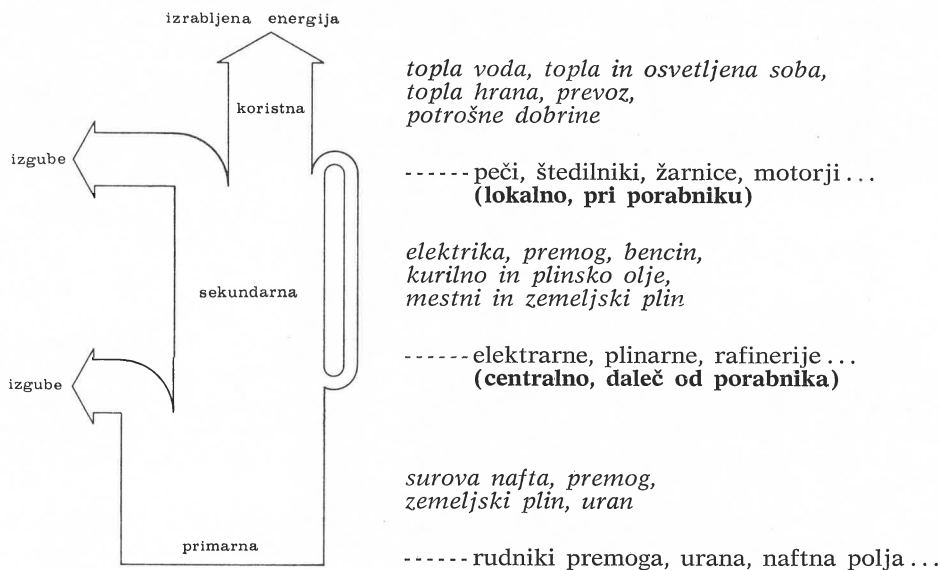
Za ogrevanje prostorov potrebujemo toploto, za razsvetljavo in pogajanje gospodinjskih naprav električno delo, za pogajanje vozil mehanično delo. Vse to obsežemo s skupnim imenom *koristna energija*. Toploto, ki jo naposled prevzame okolica, pa imenujemo *izrabljeno energijo* [2]. Koristno energijo dobimo iz *sekundarne energije* neposredno pri porabnikih. S tem mislimo na notranjo energijo premoga, kurilnega olja, mestnega in zemeljskega plina, s katerimi kurimo peči, bencina in plinskega olja za pogon vozil, ter na električno delo.

Sekundarno energijo dobimo iz *primarne energije* daleč od uporabnikov v velikem obsegu. K njej sodi notranja energija surove nafte, ki jo v rafinerijah predelajo v pogonsko gorivo, premoga, ki ga v plinarnah predelajo v plin, premoga, vseh vrst olj in plina, ki jih uporabljajo v toplotnih elektrarnah. (Premog, surovo nafto in zemeljski plin imenujemo s skupnim imenom *fosilna goriva*. Notranja energija premoga in zemeljskega plina je primarna v elektrarnah in plinarnah, a sekundarna pri porabnikih, na primer v gospodinjstvih.) Sem sodi tudi notranja energija jedrskega goriva, katere majhen del izkoristijo reaktorji v jedrskih elektrarnah, in kinetična ali potencialna energija vode, ki jo izkoristijo v vodnih elektrarnah. Sekundarno energijo, ki jo dobijo iz primarne, je treba transportirati po cesti, železnici, plinovodu, daljinovodu do uporabnika.

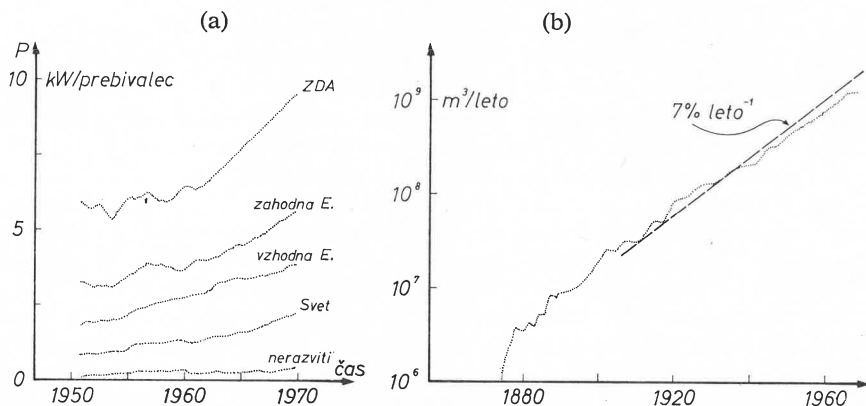
Pri spreminjanju primarne energije v sekundarno in sekundarne v koristno gre precej energije — v povprečju nekaj več kot polovica — v izgubo. Energijo rabimo še v prometu, v rudnikih, na naftnih poljih, v tovarnah za oboga-

titev jedskega goriva. Industrija rabi veliko energije za dobivanje kovin in drugih snovi, za izdelavo strojev, vozil in drugih izdelkov.

Pred nami je zelo zapleten in razvejan tok energije od primarne preko sekundarne do koristne (sl. 2). Tok mora teči, če želimo biti na toplem in svetlem, če želimo imeti toplo vodo in hrano, če se želimo kam peljati in to in ono kupiti. Kolikšen je ta energijski tok pri izviru, z drugimi besedami, koliko primarne energije rabimo na časovno enoto v svetovnem merilu? Razumljivo



Sl.2. Energijski tok od primarne preko sekundarne in koristne do izrabljene energije [2]

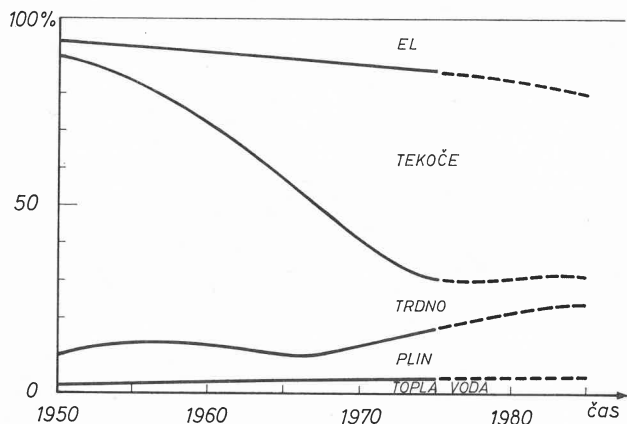


Sl.3. Časovna odvisnost energijske porabe na prebivalca za svet, ZDA, dežele zahodne in vzhodne Evrope in nerazvite dežele. Podatki so iz knjig Združenih narodov *World energy supplies*, UNO, New York 1952—1970 (a). Časovna odvisnost svetovne porabe surove nafte. Podatki so iz dela M. K. Hubberta *A national fuel and energy policy study*, Washington 1975 [5] (b)

je, da ne moremo postreči z zelo natančnimi podatki. Ta energijski tok ali svetovno *porabo* cenijo zdaj na $4 \cdot 10^{20}$ J/leto ali okoli 10^{14} kWh/leto, kar ustreza približno 10^{10} tonam premoga na leto. Pripravno je preračunati porabo na poprečnega zemljana: okoli 10^{11} J/leto ali okoli 30 000 kWh/leto, kar ustreza nekako 3 tonam premoga na leto ali — kratko — okoli 3 kW. V povprečju rabi sleherni zemljan po okoli 3 kW moči noč in dan.

V resnici je poraba zelo neenakomerna: prebivalec ZDA rabi v povprečju več kot 10 kW, prebivalec zahodne Evrope več kot 5 kW, Slovenec več kot 2,5 kW, prebivalec nerazvite dežele pa samo okoli 0,2 kW, ponekod še manj. Tudi znotraj kake dežele so razlike lahko precejšnje. Poraba narašča s časom (sl. 3).

Iz katerih virov krijemo potrebe po primarni energiji? Preglednica 1 kaže podatke za Slovenijo in za svet iz leta 1975 in predvidevanje za svet v letu 2000. V splošnem sta bila v zadnjem času vse bolj cenjena nafta in plin, a premog vse manj (sl. 4).



Sl. 4. Časovna odvisnost relativne porabe raznih vrst sekundarne energije za Zahodno Nemčijo [2]. Gospodarstvo zahteva čedalje več elektrike in tekočih goriv, a čedalje manj premoga. Ker so svetovne zaloge premoga precej večje od zalog surove nafte in zemeljskega plina, bo treba v prihodnje čedalje več premoga upliniti

	Slovenija 1975	Svet 1975	Svet 2000
goriva:	93 %	90 %	74 %
nafta	54 %	40 %	34 %
premog	36 %	20 %	14 %
plin	3 %	30 %	26 %
vodna energija:	7 %	3 %	3 %
jedrska energija:	—	7 %	23 %

Preglednica 1 Viri primarne energije v Sloveniji leta 1975 in na svetu leta 1975 in leta 2000 (napoved)

V kakšne namene rabimo sekundarno energijo? Podatki za Slovenijo za leto 1975 so dokaj skopi: gospodinjstva in drugi majhni porabniki 27 %, industrija 49 %, promet 24 %. Preglednica 2 kaže podatke za ZDA za leto 1968, ki so mnogo bolj razčlenjeni.

gospodinjstva:	27,8 %	Izkoristek druge vrste
ogrevanje prostorov	18 %	0,06
gretje vode	4 %	0,03
kuhanje	1,3 %	0,05
hlajenje prostorov	2,5 %	0,04
hladilniki	2 %	
industrija:	37 %	
dobivanje pare	17 %	0,25
neposredno gretje	11 %	0,3
električni pogon	8 %	0,3
elektroliza	1 %	
promet:	25,2 %	
osebni avtomobili	13 %	0,1
tovornjaki	5 %	0,1
avtobusi	0,2 %	
vlaki	1 %	
letala	2 %	
promet v vojski	4 %	
proizvodnja hrane	5 %	
drugo	5 %	

Preglednica 2 Uporaba sekundarne energije v ZDA leta 1968 [3], [4]

S termodinamičnega gledišča so spremembe, ki tečejo pri navedenih postopkih, dokaj nepregledne. Radi bi jih označili s kakim preprostim koeficientom. V ta namen uporabimo izkoristek prve in druge vrste [3]. *Izkoristek prve vrste* upošteva samo energijski zakon in meri delež dovedenega dela ali dovedene toplote, ki ga izkoristi kakšna naprava:

$$\eta = \text{izkoriščena toplota ali delo} / \text{dovedena toplota ali delo}$$

Preostali delež, to je $1 - \eta$, meri izgubo. Tako je na primer izkoristek peči okoli 0,6, kar pomeni, da izkoristimo 60 % dovedene toplote za ogrevanje zraka v sobi, medtem ko je gre 40 % v izgubo, večinoma skozi dimnik.

Izkoristek druge vrste upošteva tudi entropijski zakon in meri učinkovitost prenosa energije:

$$\varepsilon = \text{izkoriščena toplota ali delo} / \text{največja mogoča prenesena toplota ali delo}$$

Števec je v obeh izkoristkih enak, imenovalec pa ne. Največjo mogočo preneseno toploto ali delo v drugem izračunamo za določen postopek v danih razmerah za reverzibilno krožno spremembo. Enačbi za izkoristek druge vrste je tako treba večkrat dodati še kak smiseln privzetek. Medtem ko je izkoristek prve vrste značilen za napravo, je izkoristek druge vrste značilen za postopek v danih razmerah. Za najučinkovitejši uresničljivi postopek je izkoristek druge vrste enak 1.

Naredimo preprost zgled. Vzemimo, da bi radi dobili z dovajanjem toplote v peči vroč zrak s temperaturo T , pri čemer ima okolica nižjo temperaturo T_1 . Zamislimo si reverzibilno krožno spremembo, pri kateri imata toplotna rezervoarja temperaturo T in T_1 . Toplota Q , ki jo pri višji temperaturi T odvedemo, in toplota Q_1 , ki jo pri nižji temperaturi T_1 odvedemo, sta v razmerju

$Q/Q_1 = T/T_1$. Pri temperaturi okolice T_1 razpolagamo z neomejeno toploto. Odvedena toplota je za $\delta Q = Q - Q_1$ večja od dovedene. (Vemo, da je razlika odvedene in dovedene toplote enaka dovedenemu delu.) Upoštevajmo, da je toplota pri nižji temperaturi T_1 s termodinamičnega gledišča zastonj in je treba dodatno priskrbeti samo razliko δQ . Spoznamo, da je v danih razmerah največja mogoča prenesena toplota $Q = \delta Q / (1 - T_1/T)$. Če bi peči za segrevanje zraka z izkoristkom prve vrste η dovedli toploto δQ , bi lahko izkoristili za segrevanje delež $\eta \delta Q$. Izkoristek druge vrste je tedaj $\varepsilon = \eta \delta Q / Q = \eta (1 - T_1/T)$.

Po tem so najneugodnejši postopki, pri katerih prenašamo toploto čez majhne temperaturne razlike (glej preglednico 2). Pri segrevanju okoliškega zraka s temperaturo 0°C na temperaturo 40°C s pečjo, ki ima izkoristek prve vrste 0,6, je izkoristek druge vrste samo $\varepsilon = 0,6 (1 - 273\text{ K}/313\text{ K}) = 0,077$. Izkoristek druge vrste pri prenašanju toplote je ugodnejši, če je ena od obeh temperatur zelo visoka ali zelo nizka.

Mnogo večji bi bil, če bi segrevali zrak z dovajanjem dela toplotni črpalke. Izkoristek druge vrste za velike toplotne stroje v elektrarnah je blizu 1, dokaj majhen pa je za take stroje v vozilih. Pri velikih toplotnih strojih se namreč izkoristek prve vrste približa η_c (sl. 1), pri motorjih v vozilih pa je precej manjši (preglednica 3).

Razpoložljiva energija		100 %
energija, ki jo odda gorivo (sežigna toplota)	0,96	96 %
reverzibilna Ottova krožna sprememba z idealnim plinom in kompresijskim razmerjem $K = 8 (1 - 1/K^{\kappa-1})$	0,56	54 %
Ottova krožna sprememba z gorivom, ki mu je primešan zrak v stehiometričnem razmerju	0,75	40 %
izgube pri gorenju in na stenah valja	0,8	32 %
izgube zaradi trenja	0,8	26 %
izgube zaradi neenakomerne obremenitve (ocena)	0,75	19 %
izgube zaradi pomožnih naprav (tudi za gretje in hlajenje) (ocena)		11 %
avtomatični menjalnik	0,75	8 %
na pogonski osi oddana energija		8 %

Preglednica 3 Razčlenitev izgub pri 1250-kilogramskem osebнем avtomobilu pri vožnji po mestu, po podatkih Fordove družbe [3].

Eksponentna rast

Pri fiziki v šoli večkrat obravnavamo eksponentno pojemanje, na primer praznjenje kondenzatorja, absorpcijo svetlobe, radioaktivni razpad. Skoraj povsem pa se izognemo eksponentni rasti (v diskretnem: naraščajočemu geometrijskemu zaporedju). Zato zanjo nimamo izoblikovanega občutka. Eksponentno raste denarna vloga v banki zaradi obrestovanja, približno eksponentno raste dolžina cest v kaki razviti deželi, število knjig komisije za tisk, poraba (energijski tok) ...

Vzemimo, da je relativni letni prirastek porabe p konstanten. Iz enačbe

$$dP/Pdt = p \quad (1a)$$

sledi takoj

$$P = P_0 e^{t/\tau} = 2^{t/t_2} P_0 \quad (1b)$$

V relaksacijskem času $\tau = 1/p$ naraste poraba od začetne vrednosti $P(t = 0) = P_0$ na eP_0 , v podvojitvenem času $t_2 = \tau \ln 2 = 0,69/p$ pa se podvoji.

Svetovna poraba, ki naraste približno za 7 % na leto ($p = 0,07$ leto⁻¹), se tedaj podvoji v času $0,69/p$, to je približno po 10 letih.

Porabljen energija v časovnem razmiku od 0 do t je

$$W = \int_0^t P dt = \tau P_0 (e^{t/\tau} - 1) = \tau P - \tau P_0$$

Približno velja $W = \tau P$, če je čas t dovolj dolg in je P mnogo večji od P_0 . Porabljen energija v naslednjem podvojitvenem času je torej približno tolikšna, kot je bila celotna doslej porabljen energija (sl. 5). Celotna zaloga energije W_0 je izčrpana po času T :

$$T = \tau \ln (T_0/\tau + 1) \quad (2)$$

Pri konstantni porabi P_0 bi jo izčrpali šele po času $T_0 = W_0/P_0$ [5].

<i>PRED</i>	<i>1950</i> <i>DO</i> <i>1960</i>	<i>1970</i> <i>DO</i> <i>1980</i>	<i>1990 DO 2000</i>
<i>1950</i> <i>DO</i> <i>1960</i>	<i>1960</i> <i>DO</i> <i>1970</i>	<i>1980 DO 1990</i>	
<i>2000 DO 2010</i>			

Sl. 5. Ponazoritev eksponentne rasti: poraba v naslednjem podvojitvenem času — pri prirastku 7 % leto⁻¹ je to deset let — je enaka vsej do tedaj porabljeni energiji [5]

Začetni prispevek o konstantnem relativnem prirastku je preveč preprost. Poraba namreč v resnici ne narašča eksponentno do časa T , ko so zaloge izčrpane. Namesto da bi tedaj poraba nenadoma padla na nič, se z zmanjšanjem zaloge zmanjša že prej tudi naraščanje porabe. Bolj realističen je tedaj pri-
vzetek [6]

$$dP/P dt = p - a(t - t') \quad (3 a)$$

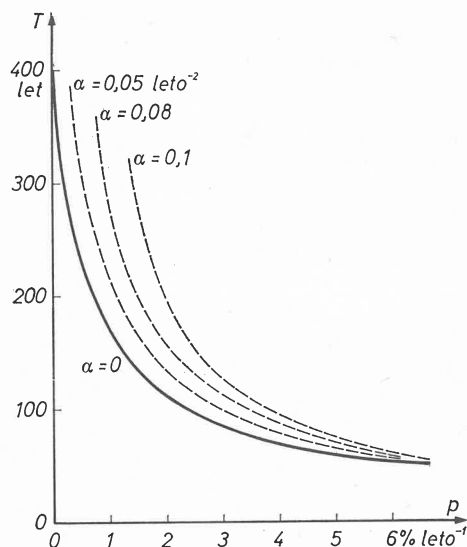
Zdaj je poraba

$$P = P_0 e^{pt - 1/2 at^2 + at' t} = P_0 e^{(p + at')^2 / 2a} e^{-1/2 a(t - t' - p/a)^2} \quad (3 b)$$

To je Gaussova funkcija, katere slika je simetrična Gaussova krivulja. Zaloga bi bila v tem primeru izčrpana po času T , ki nastopa v enačbi

$$T_0 (2\alpha/\pi)^{1/2} e^{-(p+\alpha t')^2/2\alpha} = \operatorname{erf} [p/(2\alpha)^{1/2} + (\alpha/2)^{1/2} t'] - \operatorname{erf} [p/(2\alpha)^{1/2} - (\alpha/2)^{1/2} (T - t')] \quad (4)$$

če je $\operatorname{erf} x = 2\pi^{-1/2} \int_0^x e^{-x^2} dx$ Gaussov integral (funkcija napak). Odvisnost časa T od parametrov p in α je treba ugotoviti z numeričnim računanjem (sl. 6).



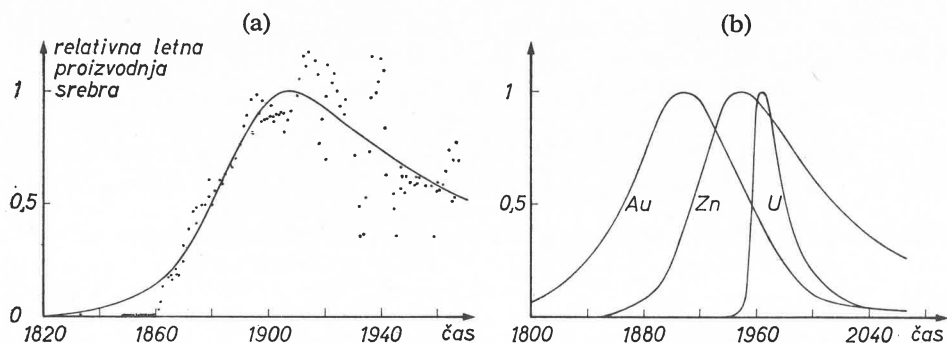
Sl. 6. Čas trajanja zaloge v odvisnosti od relativnega letnega prirastka za eksponentno rast (sklenjeno, $\alpha = 0$, enačba (2)) in za pojemajočo eksponentno rast (črtkano, $\alpha \neq 0$, enačba (4)). Zgled se naslanja na ameriško zalogo premoga, ki bi po oceni pri nespremenjeni porabi ($p = 0$) trajala okoli 400 let [6].

Izkušnje nas prepričajo, da pojema poraba počasi do konca in sicer počasneje, kot je naraščala. To kaže poraba surovin, katerih zaloge so v kaki deželi že izčrpane ali bodo v kratkem izčrpane. Takšno porabo lahko približno opišemo z *Verhulstovo funkcijo* [7]:

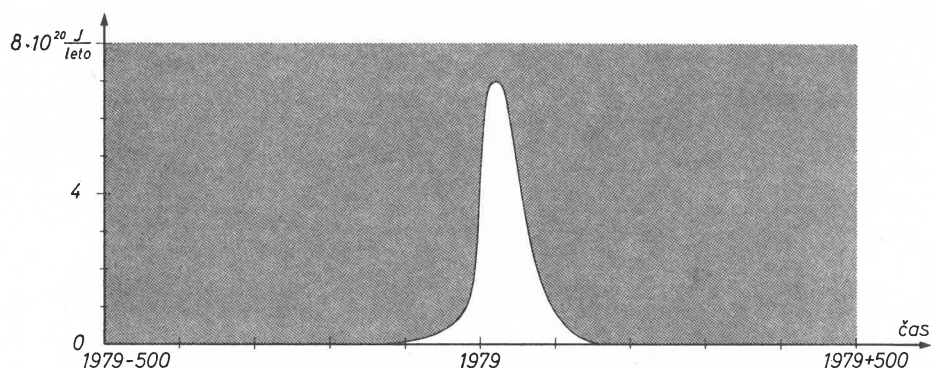
$$P = W_0 (2^n - 1) e^{(t-t')/\tau} / n\tau [1 + (2^n - 1) e^{(t-t')/\tau}]^{(n+1)/n} \quad (5)$$

τ je relaksacijski čas za začetno eksponentno naraščanje, $n\tau$ pa za končno eksponentno pojemanje. Čim večji je n , tem bolj je funkcija nesimetrična. Kolikor toliko zanesljivo je mogoče določiti parametre funkcije le v primeru, da se je poraba zmanjšala že precej pod največjo vrednost (sl. 7).

Poraba fosilnih goriv se še ni začela zmanjševati zaradi izčrpanosti zalog. Poleg tega odkrivajo še nova nahajališča. Zato je tvegano napovedovati potek porabe v prihodnosti. Pri nekaterih privzetkih pa je mogoče priti do ocen, ki imajo pomen vsaj kot svarilo (sl. 8). Pri sedanjem letnem prirastku 7 % bi utegnila svetovna zaloga surove nafte zadostovati za 30 do 35 let, glede na



Sl. 7. Ameriška letna proizvodnja srebra v odvisnosti od časa in Verhulstova funkcija, ki se najbolj prilega podatkom. Slika naj da vtis o odstopanjih. Enota na ordinatni osi je izbrana tako in krivulja normirana, da je največja poraba 1 leto^{-1} (a). Verhulstove funkcije za letno proizvodnjo zlata ($n = 0,8$), cinka ($n = 4,5$) in urana ($n = 14,5$) (b). Pokaže se, da je mogoče glede koeficienta n razvrstiti kovine v tri skupine: prva ima n okoli 1 (zlato, volfram, kobalt), druga okoli 5 (kadmij, cink, svinec, srebro) in tretja okoli 15 (živo srebro, platina, uran) [7]. Upoštevati je treba, da krijejo ZDA svoje potrebe po navedenih kovinah še iz uvoza



Sl. 8. Napoved za časovno odvisnost porabe fosilnih goriv. Krivulji ne gre pripisovati kvantitativnega pomena, mišljena je bolj kot svarilo: »Vžigalica se prižge v vesoljski temi in ugasne.« Po M. K. Hubbertu [5]

to, koliko bodo izkoriščali oljne skrilavce. Čas trajanja zaloge pri eksponentni rasti ni močno odvisen od zaloge in smiselne napovedi bi bile mogoče, če bi predvideli — pozitivni ali negativni — letni prirastek. Tudi če bi bila vsa Zemlja iz surove nafte, bi prebili pri sedanjem letnem prirastku le dobrih tristo let.

Svetovna zaloga premoga je še manj zanesljivo znana kot zaloga nafte. Po oceni, ki velja za ZDA, utegne zaloga premoga zadostovati pri letnem prirastku 7% za 60 do 80 let, glede na to, ali računamo s spodnjo ali z zgornjo mejo za oceno zaloge.

Zaloga zemeljskega plina utegne zadostovati za dalj časa kot zaloga nafte, a za manj časa kot zaloga premoga. Nekaj bolje kaže za zalogo urana. Jedrskim reaktorjem napovedujejo zato nekateri v naslednjih desetletjih pomembno vlogo (primerjaj preglednico 1).

Eksponentna rast izčrpa tudi izdatno zalogo v sorazmerno kratkem času: če je letni prirastek velik, nekoliko prej, kot če je majhen. Tako ali drugače: zaloge fosilnih goriv in urana bodo začele resno pohajati v času, ki ga bodo doživeli naši otroci, če se bo eksponentna rast nadaljevala. Domnevamo lahko, da bo poraba prenehala eksponentno naraščati in bo ostala konstantna ali se bo celo začela zmanjševati, preden bo to zaradi izčrpanosti zalog neizogibno. To pa ne bo ostalo brez posledic, o katerih nočemo niti ugibati. Opozorimo naj le na to, da je bila doslej poraba vezana na naraščanje števila delovnih mest, na bruto narodni dohodek in v razvitih deželah tudi na pridobivanje hrane. (V ZDA potrebujejo za pridelek žita na 1 hektaru okoli 800 litrov bencina, a samo 23 delavčevih ur.) Občutnejše motnje v porabi bodo vsekakor vplivale na gospodarske tokove in na rast prebivalstva, ki tudi ne bo mogla ostati eksponentna. (Nazadnje se je prebivalstvo na Zemlji podvojilo v 30 letih, poraba pa se je podvojila v 10.) Tukaj smo mislili na Zemljo kot celoto. Zaradi velikih razlik med posameznimi deželami pa ne bi smeli biti presenečeni, če bo prišlo do resnih napetosti med njimi.

Varčevanje in neizčrpní viri

Glede virov primarne energije, o katerih smo govorili doslej, spominja Zemlja na vesoljsko ladjo: ko so zaloge izčrpane, jih ni mogoče obnoviti. Zato štejemo fosilna goriva in uran med *izčrpane energijske vire*. Da bi odgodili grozeče pomanjkanje energije, bo v prihodnje treba bolj varčevati z energijo, kot smo doslej. Upanje, da morda ne bo prišlo do občutnega pomanjkanja, pa sloni na izrabi novih, *neizčrpnih energijskih virov*. Pri spoznavanju varčevalnih ukrepov in iskanju novih virov lahko fizika veliko prispeva. Toda o nadaljnjem poteku porabe bo precej odločala pripravljenost in zmožnost ljudi, predvsem v gospodarstvu, za prilagoditve na nove razmere.

Navedimo nekaj možnosti za varčevanje. Vsak izmed predlaganih ukrepov bo imel lahko le majhen vpliv na celotno porabo. Zato si obetamo večji prihranek samo od vseh skupaj.

Z boljšo toplotno izolacijo in bolj premišljeno gradnjo hiš — posebno oken — je mogoče privarčevati precej energije pri ogrevanju. Najpreprostejši varčevalni ukrep je zmanjšanje temperature v ogrevanih prostorih. Nekaj energije se da prihraniti tudi z zmanjšanjem izgub pri gospodinjskih napravah, na primer grelcih vode, hladilnikih.

Uspešno varčevati je mogoče tudi pri vozilih. Med ukrepe te vrste sodijo motorji z boljšim izkoristkom, uvedba novih goriv, lažja vozila z manjšim koeficientom upora, boljše pnevmatike. Najpreprostejši varčevalni ukrep je vožnja z manjšo hitrostjo.

Ogrevanje prostorov s toplotnimi črpalkami je mnogo učinkovitejše kot z navadnimi pečmi. To je pokazala razprava o izkoristku druge vrste. Toplotna črpalka je nekakšen hladilnik, ki ima hladnejši toplotni rezervoar na prostem, toplejšega pa v notranjosti zgradbe. Črpalka prejema toploto pri nižji temperaturi kar od zraka v okolici ali vode v bližnjem potoku in jo oddaja pri višji temperaturi po grelcih v ogrevanih prostorih. Črpalke je treba dovajati električno delo, ki pa je dva do petkrat manjše kot pri enako zmogljivi električni peči.

Toploto, ki jo je pri nižji temperaturi treba odvajati v toplotnih in jedrskih elektrarnah, je mogoče uporabiti za ogrevanje. S termodinamičnega gledišča je ta toplota zastonj. Zato gradijo v zadnjem času posebne elektrarne — imenujejo jih *toplarne*. Toplarna ima za hladilnik razvejano mrežo grelcev, ki oddajajo toploto v ogrevanih prostorih. V prihodnosti, ko bodo elektrarne uporabljale plinske turbine z velikim izkoristkom in z visoko temperaturo, bodo lahko oddano toploto izkoriščali za ogrevanje velikih področij. (Toploto pri višji temperaturi je mogoče uspešneje prenašati na večje razdalje, nekako tako kot električno delo pri visoki napetosti.) Kaže, da bodo v prihodnosti dosegli s toplarnami znaten prihranek energije.

Omenimo še *oplodne reaktorje*. Ne gre sicer za varčevalni ukrep, ampak za reaktorje nove vrste. Navadni reaktorji izkoriščajo lahki izotop urana ^{235}U , ki ga je v naravnem uranu samo 0,7 %; preostanek je izotop ^{238}U . V oplodnih reaktorjih pa nastaja pri obstreljevanju z nevtroni iz težjega izotopa ^{238}U v dveh korakih — preko ^{239}U in neptunija ^{239}Np — plutonij ^{239}Pu . Podobno nastane iz torija ^{232}Th — prav tako v dveh korakih — uranov izotop ^{233}U . Plutonij ^{239}Pu in uran ^{233}U sta uporabna kot gorivo za reaktorje. Cenijo, da bi zaloga goriva za oplodne reaktorje zadostovala za več sto let. Čeprav že gradijo oplodne reaktorje v poskusne namene, so ti glede varnosti mnogo zahtevnejši od navadnih reaktorjev [8]. V njih navadno prenaša toploto raztaljeni natrij. Poleg tega je nastali plutonij uporaben kot eksploziv za jedrske bombe. Tako bo verjetno preteklo še precej časa, preden bodo zgradili vsestransko varen oplodni reaktor.

Razpravljali so tudi o možnosti, da bi s podzemnimi jedrskimi eksplozijami — vsakih deset ur po eno vodikovo bombo z energijo 50 kiloton — poganjali elektrarno z močjo 2000 MW. Toploto naj bi iz podzemne votline do elektrarne prenašal tok ogljikovega dioksida.

Od novih energijskih virov omenimo najprej *veter*. Ta lahko poganja preko velikega vijaka dinamostroj. Moč je sorazmerna s kubom hitrosti vetra. Za učinkovito delovanje je potreben tedaj močan — in kar je še pomembnejše — dokaj stalen veter. Pri vijakih z vodoravno osjo je težava v neenakomerni obremenitvi kril, saj je hitrost vetra ob tleh znatno manjša. V zadnjem času raziskujejo vijake z navpično osjo v vodilu z obliko lijaka [9]. Že leta 1945 so v ZDA zgradili elektrarno na veter z največjo močjo 1 MW, več elektrarn pa so dokončali pred kratkim.

Elektrarne lahko izkoriščajo tudi kinetično in potencialno energijo *plimskih valov*. Na francoski obali deluje že dalj časa elektrarna z močjo nekaj nad 1 MW. Tudi navadni oceanski valovi nosijo precej energije in bi jih bilo mogoče izkoriščati, na primer ob atlantski obali.

V notranjosti Zemlje se razvija toplota predvsem ob razpadu radioaktivnih izotopov. V globini 25 do 30 km je temperatura za 200 °C do 1000 °C višja kot na površini. Toploto — znano kot *geometrična energija* — bi lahko izkoriščali, če bi skozi globoko vrtino uvajali vodo in uporabljali paro, ki bi se dvigala po drugi vrtini. Za zdaj izkoriščajo geotermično energijo tam, kjer izhajajo para ali drugi vroči plini skozi naravne razpoke. V Italiji in v Kaliforniji v ZDA delujejo geotermične elektrarne s skupno močjo po več sto MW. Geotermična energija je praktično neizčrpna.

Najpomembnejši novi vir je vsekakor *sončna energija*. Mogoče jo je izkoriščati na več načinov. Pri nizki temperaturi daje toploto za ogrevanje pro-

storov in vode v enodružinskih hišah in drugih manjših stavbah. Celo v zmer- nem podnebjju je tako mogoče kriti skoraj v celoti potrebe gospodinjstev. Na raznih krajih so zgradili več poskusnih enodružinskih sončnih hiš, v Colo- radu (ZDA) in v Liverpoolu v Angliji tudi sončni šoli. Glavno vprašanje je, kako v poletnih mesecih učinkovito zbrati in uskladiščiti toploto za zimske mesece [10]. Ni nemogoče, da bo v prihodnosti sončna energija krila znaten del potreb za ogrevanje prostorov in toplo vodo v gospodinjstvih. V šoli je mogoče pokazati zanimive poskuse s sončno energijo [11].

Izkoriščanje sončne energije pri visoki temperaturi je bolj zahtevno. Sonč- no svetlobo navadno zberejo z reflektorji in usmerijo na posodo, v kateri se segreva tekočina ali izpareva kapljevina. Toploto dovedejo toplotnemu stroju, ki poganja dinamostroj. Reflektorji sledijo navideznemu gibanju Sonca ali pa imajo posebno obliko. Take naprave je vredno graditi le v predelih z dovolj dolgimi razdobji sončnega vremena. Doslej so zgradili več poskusnih naprav, a so jih večinoma preskusili kot sončne peči, ne pa kot sončne elektrarne.

Sončno energijo je mogoče v *sončnih celicah* [12] spremeniti neposredno v električno delo. Sončne celice so tanke ploščice iz silicija, ki deluje kot pol- prevodniški fotoelementi z izkoristkom okoli 10 %. Za zdaj je njihova cena — več kot 100 dinarjev na watt — še sorazmerno visoka. Na umetnih satelitih in na nekaterih manjših napravah na Zemlji pa so jih že uspešno uporabili. Na- povedujejo, da se bodo sončne celice v naslednjih letih desetkrat in več po- cenile.

Razpravljajo o sinhronskem umetnem satelitu z velikimi krili s sončnimi celicami [13]. Električno delo bi s satelita v obliki mikrovalov z velikimi ante- nami prenesli na Zemljo in ga izkoriščali za napajanje električnega omrežja. Za zdaj so sončne celice še pretežke. V prihodnosti pa utegne postati načrt uresničljiv.

Druga možnost je toplotni stroj, ki izkorišča toploto tropskih morij pri temperaturni razliki okoli 20 stopinj med vodo na površini in vodo v globini nekaj deset metrov. Izkoristek takega toplotnega stroja je v idealnem primeru okoli 7 %, praktično pa samo 2 do 3 %, vendar je razpoložljiva toplota ne- izčrpana.

Samo mimogrede omenimo še *fotonapetostne celice*. To so elektrolitični elementi, ki izkoriščajo energijo fotokemijske reakcije, ki jo povzroči sončna svetloba na eni elektrodi. Preiskujejo več vrst takih celic, praktično uporabne inačice pa še ni.

Neizčrpani viri so povezani s Soncem. To velja tudi za vodno energijo, ki jo že izkoriščamo (glej preglednico 1). Velja pa tudi za fosilna goriva; v nji- hovi notranji energiji je nakopičena sončna energija iz prejšnjih geoloških obdobij. Sončna svetloba povzroča pri fotosintezi v zelenih rastlinah nasta- nek škroba in posredno drugih organskih snovi, znanih kratko kot *biomasa*. Izkoristek je pri tem zelo majhen — okoli 1 %. Vendar pojav tudi v prihodnje ne bo zanimiv samo za pridobivanje hrane. Pomislimo samo na dobivanje lesa za kurjavo in etanola iz škroba za dopolnilo k pogonskemu gorivu. Pri gnitju biomase nastaja metan, ki ga je mogoče — v nerazvitih deželah — v manjšem obsegu uporabljati kot plinasto gorivo.

Za konec smo pustili nov energijski vir, ki bi nas po splošnem mnenju rešil pomanjkanja energije. To je *zlivanje* lahkih atomskih jeder, *fuzija* ali *termonuklearna reakcija*, s kakršno dobivajo energijo Sonce in druge zvezde.

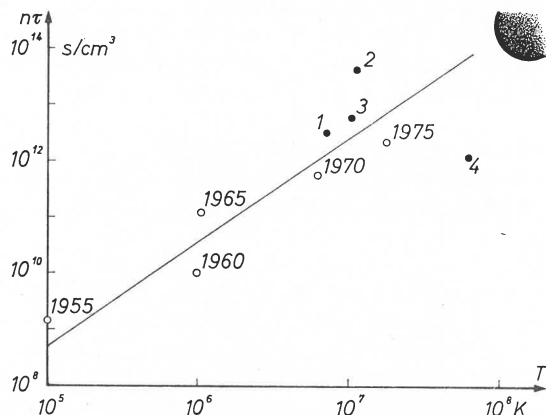
V Soncu se sprosti komaj nekaj desettisočin joula na sekundo in na kilogram. V uporabnem *reaktorju na zlivanje* ali *fuzijskem reaktorju* bi se vsekakor morala sproščati moč z večjo gostoto. Plazma, v kateri poteka zlivanje, mora biti dovolj gosta, dovolj vroča in mora obstajati dovolj dolgo.

Odpirata se dve načelni možnosti: *magnetno* in *inercialno zadrževanje* plazme. Pri prvem preprečimo z magnetnim poljem plazmi, ki jo segreva električni tok, dostop do stene posode, kjer bi se ohladila in onesnažila. Pri drugem obsevamo kroglico goriva z maso nekaj mikrogramov z vseh strani s kratkotrajnimi curki laserske svetlobe ali elektronskimi curki. Del snovi odpari, preostala pa se močno stisne in segreje. Tako pride do sunkovitega zlivanja in po zelo kratkem času deli kroglice odletijo vsaksebi z veliko kinetično energijo.

Najugodnejše gorivo je mešanica enakih delov devterija in tritija. Devterija je v naravnem vodik le 0,02 %, a zaloga vodika je praktično neizčrpana. Tritija v naravi ni in ga bo treba pridobivati sproti, na primer z jedrsko reakcijo ${}^6\text{Li} (n, \alpha) {}^3\text{H}$ iz litija.

Večina fizikov upa, da bo prej ali slej uspelo izkoriščati zlivanje. Vendar za zdaj ni mogoče napovedati, kdaj bo to uspelo in po kateri poti. Energije zlivanja si ne smemo obetati prezgodaj. Tudi če bi raziskovanja tekla brez zastojev, bo treba še precej dela, preden bo deloval prvi uporabni fuzijski reaktor (sl. 9). V ZDA, SZ in tudi v manjših razvitih državah vlagajo v raziskovanja zlivanja velika sredstva.

Na koncu bežno omenimo še dvoje. Tudi pri *transportu energije* utegne prihodnost prinesiti več novosti. Daljnovode bodo gradili za čedalje višjo napetost. Raziskujejo tudi prenos z enosmernim tokom. Transport premoga je neučinkovit; morda bo stopil na njegovo mesto vodik. Z dovajanjem energije,



Sl. 9. Napredovanje proti kontroliranemu zlivanju pri magnetnem zadrževanju plazme. Na ordinatno os je nanesen produkt gostote ionov n in časa zadrževanja plazme τ , na abscisno os pa temperatura plazme. Votli krožci kažejo najboljše dosežke iz prejšnjih let, polni pa najboljše dosežke iz let 1977 in 1978: 1 DITA, 2 ALCATOR, 3 PLT (princetonski veliki torus) — v njih segrevajo plazmo z električnim tokom — in 4 PLT — plazmo segrevajo z vbrizgavanjem curka hitrih delcev. Osenčeno je nakazano območje, na katerem smemo pričakovati, da se pri zlivanju sprosti več energije, kot jo je treba dovesti

najbolje sončne svetlobe, ga bodo dobivali iz vode in po ceveh vodili do porabnikov. Tam bo s kisikom iz zraka v peči zgorel v vodo ali pa ga bodo uporabili z večjim izkoristkom v *gorivnih celicah*.

Drugo je *varovanje okolja*. Uporaba fosilnih goriv je zvezana z onesnaževanjem. Nastanejo strupeni plini (žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ogljikov monoksid), ogljikov dioksid in toplota. Ogljikov dioksid sicer ni strupen, a absorbira sončno svetlobo in prispeva k ogrevanju ozračja. V jedrskih reaktorjih nastajajo radioaktivni izotopi, ki lahko ob nezgodi pridejo v okolico. Glede varovanja okolja je najugodnejša sončna energija. Zlivanje jeder ne bo dalo toliko radioaktivnih snovi kot cepitev. Vendar opozarjajo v zvezi z njim na novo nevarnost. Če bi neomejeno uporabljali ceneno energijo, bi se utegnila zaradi toplotnega onesnaževanja Zemlja nevarno pregreti.

Ta bežen pogled na ozadje pomanjkanja energije zapusti nezadovoljiv vtis. Najmanj, kar bi si bralec želel — že zaradi boljšega pregleda — je razvrstitev raznovrstnih vprašanj po pomenu. Vendar to za zdaj ni mogoče, ker so mnenja o pomenu vprašanj in o vrstnem redu, po katerem jih bo treba reševati, zelo neenotna. Zato sestavek ne more ponuditi že izdelanih predlogov. Njegov namen je bil le razgrniti pred bralcem nekatera vprašanja, ki so resen izziv dosedanjemu načinu življenja za znaten del človeštva, zbuditi njegovo zanimanje in ga pripraviti do razmišljanja. Le tako si bo lahko ustvaril lastno mnenje o pogostnih vesteh, načrtih in ukrepih v zvezi s pomanjkanjem energije.

LITERATURA

- [1] H. J. Schlichting, U. Backhaus, *Energie als grundlegendes Konzept*, Physik und Didaktik **7** (1979) 139.
- [2] W. Häfele, *On energy demand*, IAEA Bulletin **19** (1978) 21 (6).
- [3] The Study Group on Technical Aspects of Efficient Energy Utilization, *Efficient use of energy*, Phys. Today **28** (1975) 23 (8).
- [4] L. Pincherle, P. Rice-Evans, *Energy for mankind*, Phys. Education **12** (1977) 97.
- [5] A. B. Bartlett, *Forgotten fundamentals of the energy crisis*, Am. J. Phys. **46** (1978) 876.
- [6] J. E. Drumheller, R. T. Robiscoe, *Effect of conservation on the use of a resource*, Am. J. Phys. **46** (1978) 766.
- [7] L. D. Roper, *Depletion of nonrenewable resources*, Am. J. Phys. **47** (1979) 467.
- [8] W. Klose, *Der schnelle Brüter*, Phys. Blätter (1978), 461.
- [9] G. T. Reynolds, *Energy research for physicists*, Phys. Today **29** (1976) 34 (12).
- [10] A. O. Stinner, *A solar home for northern latitudes*, Phys. Teacher (1978) 25 (1).
- [11] G. J. Vella, H. J. Goldsmid, *Simple experiments on the use of solar energy*, Phys. Education **11** (1976) 413.
- [12] P. Gosar, *Sončne celice*, Obzornik mat. fiz. **18** (1971) 15.
- [13] P. E. Glaser, *Solar power from satellites*, Phys. Today **30** (1977) 30 (2) in obsežna diskusija, ki je sledila v pismih bralcev.

RAZPRAVA NA POSVETOVANJU ENERGIJSKI PROBLEM V POUKU FIZIKE VELENJE, 26. OKTOBRA 1979

Razpravo je vodil **Sergej Pahor**, ki je predsedoval posvetovanju. V uvodnih besedah je nakazal širino energijskega problema. Poudaril je, da mora biti dober občan tudi energijsko zaveden. Za to pa lahko veliko stori šola.

Po predavanju Janeza Strnada Pomanjkanje energije in pouk fizike, ki je objavljeno v nekoliko razširjeni inačici, je stekla razprava.

Zdravko Petkovšek: Pri nas ni veliko možnosti za izkoriščanje energije vetra in sonca. Ležimo v zavetju Alp, kjer je okoli 30 % opozovalnih terminov brez vetra. Vrh tega raste moč vetra s tretjo potenco hitrosti, ki pri nas ni velika. Tudi povprečna gostota sončnega energijskega toka pri tleh je majhna. Večina mest je v dolinah, ki jih pozimi navadno pokriva megla. Torej nam preostane le boljša toplotna izolacija. Pri tem nastane dodaten problem. Ker ta izolacija navadno ne zadržuje vlage, je treba prostore vlažiti, pri čemer potrebujemo dodatno toploto. Često je s stališča varčevanja z energijo arhitektska politika pri uporabi gradbenih materialov in oblikovanju zgradb pravi nesmisel. Tako na primer v Ljubljani vsekakor velika okna in kovinska ogrodja stavb niso primerna, ker je pozimi le malo sonca, poleti pa je v takih stavbah prevroče. Znano je tudi, da zahteva hlajenje — če prostore hladimo — še več energije kot ogrevanje.

Stane Pirnat: Preden bomo lahko vzgajali energijsko zavedne občane, moramo rešiti dve vprašanji: kako časovno približati odkritja in pouk o njih ter kako doseči, da bo znanje vplivalo na ravnanje. V šolski fiziki prvo vprašanje v splošnem ni zadovoljivo rešeno, saj je na primer minilo od nastanka posebne teorije relativnosti več kot 70 let, pa ta še ni docela prodrla v šolo. Zgleda, o katerih smo slišali, bo seveda lažje vgraditi v pouk. Morda bi lahko uporabili za primer toplotnega stroja plinsko turbino. Poleg elektrarne z jedrskim reaktorjem na cepitev bi lahko omenili prizadevanja za zgraditev reaktorja na fuzijo. Teže rešljivo je drugo vprašanje. Zgled za to je poučevanje ekologije, ki poteka zdaj pri biologiji in kemiji. Tudi vsem nešolarjem so problemi splošno znani. Ravnanje pa je večkrat v popolnem nasprotju z znanjem. Izogniti se moramo temu, da bi bilo tudi poučevanje o energijski krizi podobno jalovo informiranje brez vzgoje.

Matjaž Žaucer: Obdobje, ko smo imeli energije dovolj in ko je bila poceni, je minilo. Jugoslavija ima premalo lastnih energijskih virov; uvažamo predvsem nafto. Motnje v svetovni preskrbi čutimo tudi mi.

Po naftni krizi jeseni 1973 so povsod po svetu začeli sprejemati razne ukrepe za zmanjševanje odvisnosti od tekočih goriv in za racionalnejše izkoriščanje vseh oblik energije. Jeseni 1978 smo v Sloveniji sprejeli *Družbeni dogovor o ukrepih in aktivnostih za zagotovitev racionalnega pridobivanja, pretvarjanja, transporta in porabe energije*. V programu ukrepov in nalog bomo našli svojo vlogo tudi fiziki. Aktivneje se bomo morali vključevati v napore za pridobivanje in izkoriščanje energije. Učitelji fizike pa stojijo pred odgovorno nalogo: posredovati znanje o energiji mladim. Danes se vse bolj uveljavlja mnenje, da s parcialnimi ukrepi energetske krize ne bomo odpravili

in da bomo morali spremeniti način življenja in odnos do energije. Povprečni občan daje zanjo dobršen del svojih dohodkov, ne ve pa o njej skoraj nič. Zato je razumljivo, da je poraba marsikdaj neracionalna. Tako naseljujemo klimatsko neugodne kotline, gradimo toplotno potratna bivališča, se dušimo v prometnih zmešnjavah, uvajamo energijsko neustrezne tehnologije, nastale probleme pa skušamo reševati z administrativnimi ukrepi.

Nujno bo torej posvetiti energiji v pouku fizike večjo pozornost in to na vseh stopnjah izobraževanja. Angleži bodo do septembra 1980 pripravili program za vse šole za starostni skupini od 5 do 9 let in od 9 do 13 let. Energijski program za srednješolce bo pripravljen leto kasneje.

Iz izkušenj s področja, na katerem delam — to so toplotne karakteristike zgradb — vem, da večina ljudi nima niti približnega občutka za stopnjo toplotnih tokov skozi različne gradbene materiale, ki bi jim, na primer, omogočal primerjavo izgub skozi okna z izgubami skozi zidove. Pač pa je večina ljudi s srednješolsko izobrazbo sposobna izračunati električni tok skozi zaporedne upore. Če bi le nekaj nalog iz elektrike nadomestili z ustreznimi nalogami iz toplote, bi bilo že precej bolje. Ne pozabimo, da je polovica novih stanovanjskih gradenj individualnih in da lahko tu posamezniki bistveno vplivajo na stopnjo toplotne zaščite.

Tudi na drugih področjih široke porabe energije ni ozaveščenost ljudi nič večja, zato pozivam vse predavatelje fizike, naj posvetijo obravnavi energije večjo pozornost.

Ivan Kuščer: Ob vse hujši energijski krizi bo šola lahko dosti pripomogla, da bodo ljudje bolje razumeli težave in potrebne varčevalne ukrepe. Predvsem moramo na to misliti pri pouku fizike, kjer obravnavamo energijo ne le kot pojem, ampak tudi z njo računamo. Več znanja na tem področju bi lahko ugodno vplivalo na varčevanje z energijo. Poglejmo, kako je s toplotno izolacijo mnogih novejših stavb, na primer predavalniške stavbe za fiziko na Jadranski 26 v Ljubljani. S toploto, ki tu uhaja skozi streho, celo ob hudem mrazu predelujemo sneg v debele ledene sveče. Zdi se, da so stari zidarji intuitivno znali več fizike, ker niso delali takih napak.

Vprašal bi rad, kako je s toplotnimi črpalkami, ki menda omogočajo precej prihranka pri ogrevanju. Ponekod že imajo izkušnje z njimi, a vendar se še niso širše uveljavile. Zakaj ne?

Zvonko Trontelj: Toplotne črpalke so tudi pri nas že naredile prve korake. Sodelavci Loških tovarn hladilnikov so izdelali nekaj toplotnih črpalk, ki jih uporabljajo v sušilnicah lesa. Prav tako so naredili poskusno toplotno črpalko za ogrevanje družinske hiše. V obeh primerih črpa toplotna črpalka toploto iz zraka. Pri ogrevanju hiše je toplotna črpalka kombinirana s klasično centralno kurjavo, ki vskoči, če postane temperatura ozračja neprimerna. Prihranek je tudi pri kombinaciji toplotne črpalke in klasičnega načina ogrevanja še vedno znaten.

Še beseda o sončnih celicah. V zadnjih dveh letih sta bili doseženi pomembni izboljšavi. Kot vemo, izvira danes največji strošek pri sončni celici od priprave surovega silicija in izdelave monokristalov. Da dobimo 1 kg razrezanega monokristalnega silicija, potrebujemo na primer 2300 kWh energije. Uvedli so nov, cenejši metalurški postopek za pripravo surovega silicija in

uspelo jim je izdelati tako imenovano orientirano polikristalno obliko silicija. Proizvodnja le-te je znatno cenejša, izkoristek sončnih celic iz takega silicija pa je za velike celice (1 dm^2) 10 % ali več, za majhne celice (nekaj cm^2) pa celo 14 %. To pa je zelo blizu 15 % — izkoristku celice iz monokristalnega silicija. Ti dosežki dopuščajo upanje, da bo v bližnji prihodnosti padla cena silicijevih sončnih celic za faktor 30 in bodo tako postale ekonomsko konkurenčne in sprejemljive.

Franč Cvelbar: Odnos do svetovne in domače energijske krize ne sloni samo na znanju, ampak je to predvsem moralno vprašanje. Mislim, da bi celo med ljudmi brez popolne osnovne šole težko našli koga, ki ne ve, da so zaloge nafte in premoga končne. Nekateri sicer razmišljajo o tem, kaj bo, ko bodo te zaloge pošle. Zelo malo pa je takih, ki bi se po lastnem premisleku odpovedali daljši vožnji z avtomobilom zato, da bi tudi bodoči rodovi uživali dobrote iz nedrij matere Zemlje. Kateri arhitekt je na primer pri gradnji stavbe pripravljen imeti za osnovno vodilo njeno toplotno izolacijo, stvar, ki je bila zidarskim mojstrom v preteklosti — kljub slabemu poznavanju fizike — sama po sebi umevna.

Neodgovorno razmetavanje z energijo, ki se ga mnogi celo zavedamo, opravičujemo s tem, da bo vsemogočna znanost odkrila nove vire. Sploh pa živimo v veri, da imamo državo, ki je dolžna skrbeti za naše udobje. Odnos do energijske porabe moremo spremeniti le tako, da ob izobraževanju ne pozabimo na vzgojo. Novo znanje ne sme biti samo sebi namen ali služiti samo proizvodnji, ampak ga moramo vedno oceniti tudi glede na prihodnost človeštva.

Jožko Battestin: V zvezi s porabo energije mislim, da je dolžnost učiteljev fizike opozarjati na varčevanje v okolju, kjer delujejo.

Oglejmo si primer potrate na šolah, ko učenci zapuste razred in ne ugasnejo luči, ko so vključena vsa stikala v prostoru le zaradi pometanja ali pomivanja podov, ko je vendar za to delo dovolj vključiti le polovico svetil. Naloga fizikov bi bila seznaniti upravo šole in druge s približnim prihrankom energije in denarja, ki bi ga šola lahko ob smotrni razsvetljavi drugače izkoristila.

Za primer naj navedem približen račun letnega prihranka za šolo, ki ima 20 učilnic in dva prostora z več svetili. Učilnica naj ima 6 svetil po 150 W in dve svetili po 150 W za razsvetljavo table. Druga dva prostora naj imata 6 svetil po 150 W. Svetila naj bodo brez potrebe vključena zvečer 1 uro in zjutraj pozimi, ko je že dovolj dnevne svetlobe, tudi 1 uro. Za ta čas je dnevna poraba energije $(22 \cdot 6 + 20 \cdot 2) \cdot 150 \text{ W} \cdot 2 \text{ h} = 172 \cdot 300 \text{ Wh} = 51,6 \text{ kWh}$. Zaokrožen dnevni strošek pri ceni 3 din/kWh je 52 kWh $\cdot 3 \text{ din/kWh} = 156 \text{ din}$. Če smo v poprečju potratni 100 dni na leto, je letni strošek 15600 din. Izračunajmo strošek za Slovenijo, kjer, postavimo, se to dogaja v 300 šolah. Dobimo $15600 \text{ din} \cdot 300 = 4\,680\,000 \text{ din}$. Če si očitamo, da pretiravamo, pomnožimo znesek s približnim faktorjem istočasnosti 0,5. Še vedno ostane 2 340 000 dinarjev izgubljenega denarja. To pa je premisleka vredna vsota v novih dinarjih — da ne bo pomote — ker mnogi še niso pozabili na stare.

Janez Ferbar: Pouk o energiji naj bi bil zlasti v osnovni šoli prikrojen tako, da bi vplival na praktično ravnanje učencev v vsakdanjem življenju. Glede tega za zdaj še ne moremo biti zadovoljni. Poudarek je na fizikalni

strani energijskega zakona, o njegovih praktičnih posledicah pa učencem povemo premalo. Nekateri celo trdijo, da s poudarjanjem zakona o ohranitvi energije v zaključenih sistemih učence napeljujemo na misel, da je nesmiselno govoriti o varčevanju z energijo, ki je tako ali tako neuničljiva.

Čeprav takšni kritiki ni mogoče pritegniti, pa ne moremo mimo dejstva, da je za razumevanje varčevanja z energijo potrebno že zelo zgodaj vključiti v pouk tudi entropijski zakon. Kako naj bi to storili dovolj zgodaj, da bi vzgojno sporočilo seglo do vsakega delavca in občana, pa je vprašanje, ki ga je treba še razrešiti.

Alojz Kodre: Energijska kriza nas spodbuja k iskanju novih energijskih virov v velikem merilu, obenem pa se že porajajo praktične rešitve v malem merilu, za male porabnike. Tudi v slednjih, čeprav niso tako imenitne, se skriva obilo fizike. Pred dnevi mi je prišel v roke nekakšen priročnik za ameriške kupce ogrevalnih sistemov na sončno energijo. Čeprav v knjigi (imamo jo tudi v šolski knjižnici) ni niti ene formule, najdemo v njej pravo bogastvo fizikalnih razmislekov, podprtih z meritvami in poskusi na realnih sistemih. Rad bi navedel nekaj zgledov.

Sončni sistem, ki bi zagotovil popolno ogrevanje hiše vso zimo, bi bil velik, kompliciran in drag, zahteval bi velikanske zbiralnike in hranilnike toplote, drago izolacijo in pogon. Njegova celotna zmogljivost bi bila izkoriščena le nekajkrat v sezoni, ko bi bilo treba premostiti daljše obdobje brez sonca. Račun pokaže, da je najgospodarnejši sistem, ki pokriva do 80 % potrebe, za omenjene konice pa predvideva dopolnilno klasično ogrevanje. V takem sistemu je treba skladiščiti toploto le za dan ali dva, zato zadošča zbiralnik v velikosti sončne grede in hranilnik s prostornino kubičnega metra. Najgospodarnejša delovna snov je zrak, pri katerem ni težav s črpalkami, korozijo in z zamrzovanjem cevi.

Čeprav ima voda od običajnejših snovi največjo specifično toploto, so iskali tudi snovi, pri katerih bi z latentno toploto faznih prehodov dosegli še večjo gostoto shranjene energije. Pokaže pa se, da je najgospodarnejše polnilo za toplotne hranilnike — kamenje. Ker se — v primeri z vodo — le malo dotika sten in se tudi ne meša, so izgube skozi stene manjše, razen tega pa lahko odvedemo večji del vložene toplote, če sta le dovod in odvod toplega zraka urejena protitočno.

Mislim, da bi s takimi zgledi preprostih fizikalnih razmislekov pri reševanju realnih problemov naš pouk samo obogatili. Tudi gospodarnosti pri tem ne bi smeli izpustiti.

Ciril Memon: Dejstvo je, da so zaloge energije na Zemlji končne in da poraba iz dneva v dan narašča. To obvezuje slehernega človeka, da uporablja energijo smotrno in da z njo varčuje. Šola je dolžna, da vzgaja in opozarja mlade ljudi h gospodarnemu izkoriščanju energije. Preseneča, da porabimo v prometu pri nas 24 % energije. Podatek je zaskrbljujoč in nas obvezuje k posebnemu varčevanju. Veliko se da doseči že s smotrno vožnjo in s prilagajanjem razmeram na cesti ter z urejenim vozilom, to je s pravilnim izogrevanjem. Še več je mogoče doseči z izgradnjo sodobnih cest, z dobro urejenim prometom po mestu in z uporabo vozil z manjšo porabo goriva. Tako velike

porabe energije v prometu bi se morali zavedati tudi izdelovalci in uvozniki avtomobilov ter ponuditi kupcu vozila z čim manjšo porabo.

Ali je zares že nastopila prava svetovna energijska kriza? Ali je upravičena bojazen nekaterih napovedovalcev, da je energijskih zalog na Zemlji le še za nekaj let? Osebnostno menim, da je v sedanjem trenutku kriza bolj politična kot energijska, kajti v Zemlji je verjetno še veliko neodkritih zalog. Grozijo predvsem vedno večje špekulacije in neupravičeno dvigovanje cen, posebno tekočim gorivom. Bolj kot zavest bodo prav visoke cene prisilile voznike k smotrnejši porabi goriva.

VII. KONGRES ZVEZE DRUŠTEV MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV JUGOSLAVIJE

Iz prvega obvestila, ki nam ga je poslalo Društvo matematikov in fizikov SR Črne gore, povzemamo podatke, da bo sedmi kongres Zveze društev matematikov, fizikov in astronomov Jugoslavije od 6.—11. oktobra 1980 v Bečićah pri Budvi. Na kongresu bodo predvidoma naslednje sekcije:

Matematika (1. matematična logika in osnove matematike, 2. algebra in teorija števil, 3. analiza — splošni problemi, 4. analiza — diferencialne in integralne enačbe, 5. topologija, 6. geometrija, 7. numerična matematika, 8. verjetnostni račun, statistika in informatika, 9. zgodovina in filozofija matematike, 10. uporabna matematika, 11. pouk matematike).

Fizika (1. fizika delcev, 2. jedrska fizika, 3. atomska fizika, 4. molekulska fizika, 5. fizika trdne snovi, 6. biofizika, 7. matematična fizika, 8. uporabna fizika, 9. zgodovina in filozofski problemi fizike, 10. pouk fizike).

Astronomija (samo ena sekcija).

Upravni odbor Društva matematikov, fizikov in astronomov SR Slovenije vabi svoje člane, da se v čim večjem številu udeležijo kongresa, po možnosti z referatom. Udeleženci kongresa lahko dobijo vsa pojasnila v začetku leta 1980 pri tajniku ali predsedniku društva.

Ciril Velkovrh

3. JUGOSLOVANSKA KONFERENCA O UPORABI FIZIKE

Dragi kolega

Organizacijski odbor 3. jugoslovanske konference o uporabi fizike vas vabi na konferenco na Bledu 12. in 13. junija 1980. Na njej bodo predavanja in prispevki z različnih področij, na katerih se je uveljavila uporaba fizike.

Podrobnejše informacije o konferenci dobite na

VTO fizika (za konferenco Bled 80), 61001 Ljubljana, pp 543.

Zvonko Trontelj

DOMAČE VESTI

POROČILO O SIMPOZIJU, POSVETOVANJU IN OBČNEM ZBORU DMFA SRS

1. Društvo DMFA SRS je v sodelovanju z nekaterimi drugimi organizacijami pripravilo dne 26. oktobra 1979 v Velenju v dvorani skupščine občine Velenje simpozij o eksperimentalnem pouku fizike in o učni opreми. Odziv učiteljev fizike z osnovnih in srednjih šol je bil izreden, saj je bila velika dvorana nabito polna. Zvrstila so se predavanja, demonstracije poskusov in prispevki učiteljev o njihovih izkušnjah pri eksperimentalnem pouku fizike. Debata je bila živahna. Udeleženci so si lahko ogledali tudi razstavo učil. Pripravljalni odbor simpozija pod vodstvom Antona Moljka namerava prispevke s simpozija priobčiti v posebni publikaciji.

2. Posvetovanje Energijski problem v pouku fizike je društvo priredilo dne 26. oktobra zvečer v dvorani Kulturnega doma v Velenju. Janez Strnad je spregovoril o pomanjkanju energije in pouku fizike. Po predavanju se je razvila živahna debata o problemu energije in o tem, kako naj se ta pereči problem vključi v pouk fizike na šolah.

Pogovori o problemih, ki člane društva zanimajo, so se končali šele proti polnoči v prostorih restavracije Nama.

3. 31. občni zbor DMFA SRS je bil dne 27. oktobra 1979.

Številni udeleženci so se zbrali v dvorani Kulturnega doma. Uvodne besede sta spregovorila Anton Suhadolc kot predsednik društva in Drago Šulek v imenu gostiteljev.

Preden so začeli z delom, so vsi zbrani z enominutnim molkom počastili spomin dveh pred kratkim preminulih članov društva Marije Percan iz Kopra in Andreja Pedička iz Ljubljane.

Komisija za podelitev priznanj učiteljem matematike in fizike za delo z mladimi je predlagala, naj se priznanje podeli Roziki Panjan in Aljoši Žerjalu.

Rozika Panjan je učiteljica na Osnovni šoli Majde Vrhovnik v Ljubljani. Poleg svojega rednega dela že več kot deset let vodi krožke, na katerih pripravlja učence za tekmovanja iz matematike, za manj uspešne učence pa pripravlja dopolnilni pouk. Že več let vodi prirodoslovno-matematični aktiv na šoli.

Aljoša Žerjal je profesor fizike na gimnaziji v Kopru. V pouk fizike vnaša novosti, dijake uči opazovati, misliti in samostojno eksperimentirati. Skupina dijakov je pod njegovim vodstvom raziskala vodne tokove v Piranskem zalivu. Ta naloga je dobila v okviru tekmovanja Znanost mladini prvo nagrado. Poleg tega je bil



Delovno predsedstvo na občnem zboru (Foto Tomaž Škulj)

Aljoša Žerjal eden od glavnih organizatorjev prireditve, ki je obsegala tekmovanje srednješolcev iz fizike in tekmovalni preskus v znanju o sončni energiji.

Oba imenovana sta ob močnem ploskanju vseh prisotnih prejela priznanji iz rok predsednika društva Antona Suhadolca.

Sledila so poročila o delu društva. Vsi udeleženci občnega zbora so dobili bilten, v katerem so bila ta poročila objavljena. Njihova obsežnost kaže na izredno bogato in vsestransko razgibano dejavnost društva v preteklem obdobju. Pohvale vredno je bilo zlasti delo komisije za tisk in aktivnost mariborske in koprške podružnice društva.

Iz živahne razprave so izšli nekateri pomembni sklepi. Aleksander Kregar je opozoril na to, da je bilo v zadnjem času nekaj pomislekov glede naravoslovno-matematične usmeritve pri usmerjenem izobraževanju. Zbrani člani društva so soglasno sprejeli sklep:

Slovenski matematiki, fiziki in astronomi, zbrani na 31. občnem zboru svojega društva v Velenju, smo prišli po temeljitem premisleku do sklepa, da razraščajoči se pomen matematike in naravoslovja — tudi zunaj strokovnih meja, v širšem družbenem okolju — in naraščajoče potrebe po kadrih z naravoslovno-matematičnim znanjem na srednji stopnji usmerjenega izobraževanja nujno zahtevajo obstoj samostojne naravoslovno-matematične usmeritve.

Nadaljnja misel je bila, da naj bi poskusili ponovno oživiti predavanja za srednješolce. Nekoč je bila ta dejavnost v ospredju sekcije za popularizacijo matematike, kasneje pa je težišče prešlo na tekmovanja.

Prav tako bi bilo treba pritegniti k aktivnemu delu društva tudi matematike in fizike, ki ne delajo po šolah. Teh je okoli 150, delajo pa na zelo različnih področjih. Ustanovljena je bila sekcija, ki bi naj poskrbela za to vejo članstva, vendar žal še ni zaživela, kot bi bilo želeli.

Na predlog nadzornega odbora so člani društva podelili razrešnico staremu odboru in soglasno izvolili novega.

Udeleženci občnega zbora so se spomnili tudi na dr. Lava Čermelja, ki praznuje te dni 90-letnico. Ob tem visokem jubileju so mu poslali pozdravno pismo, v katerem so mu zaželeli še mnogo zadovoljstva in uspehov, predvsem pa zdravja.

Zaključne besede je spregovoril Anton Suhadolc. V imenu novega odbora se je zahvalil organizatorjem občnega zbora zlasti Dragu Šuleku in Andreju Kuzmanu, ki sta prispevala levji delež k vzorni organizaciji simpozija, posvetovanja in občnega zbora. Zahvalil se je tudi delovnim organizacijam, ki so finančno podprle občni zbor. S tem se je srečanje matematikov, fizikov in astronomov zaključilo.

4. Na občnem zboru je bil izvoljen novi odbor društva v sestavi:

UO DMFA SRS: Anton Suhadolc, predsednik; Dušan Modic, podpredsednik; Janez Žitnik, tajnik; Jožefa Stefitz, blagajnik.

Komisije: Gorazd Lešnjak, za popularizacijo matematike; Bojan Golli, za popularizacijo fizike; Pavle Zajc, za popularizacijo matematike v osnovni šoli; Martina Koman, za pedagoško dejavnost; Janez Strnad, za tisk; Dušan Modic, za Plemljevo dom. Komisija za tisk: Janez Strnad, predsednik; Anton Suhadolc, podpredsednik; Ciril Velkovrh, tajnik, računovodja, urednik publikacij, Plemljeva spominska soba; Janez Markelj, blagajnik; Andrej Likar in Jože Kotnik, Presek; Gabrijel Tomšič, član.

Obzornik za matematiko in fiziko: Janez Strnad, glavni in odgovorni urednik; drugih 12 članov glej v OMF.

Presek: Andrej Likar, urednik; Tomo Pisanski, urednik za matematiko; Marjan Hribar, urednik za fiziko; Andrej Čadež, urednik za astronomijo; Norma Mankoč-Borštnik, Presekova knjižnica-fizika; Andrej Kmet, Presekova knjižnica-matematika.

Knjižnica Sigma: Ivan Vidav.

Zbirka izbranih poglavij: Janez Strnad, za fiziko; Ivan Vidav, za matematiko. Matematika-fizika: Jože Vrabec.

Postdiplomski seminar: Anton Suhadolc, za matematiko; Janez Strnad, za fiziko. Nadzorni odbor: Iva Mulec, predsednica; France Plevnik in Agica Tiegel, člana. Častno razsodišče: Ivan Vidav, France Bezjak.

Delegata za plenum ZDMFAJ: Anton Moljk in Dušan Modic.

Alenka Verstovšek

Umrl je
profesor doktor

LAVO ČERMELJ

častni član

Društva matematikov, fizikov in astronomov SRS

V enaindevetdesetem letu starosti je 26. januarja 1980 umrl prof. dr. Lavo Čermelj — poleg prof. dr. Josipa Plemlja edini častni član našega društva. Dolgoletnega urednika Proteusa in pisca številnih strokovnih in poljudnih knjig in člankov ter zavzetega Slovenca, ki se je boril za pravice slovenske in hrvaške manjšine v Italiji, bomo ohranili v častnem spominu.



Še na slovesnosti, ki jo je priredilo Prirodoslovno društvo Slovenije ob njegovi devetdesetletnici, mu je v imenu našega društva sporočil najboljše želje profesor Anton Moljk. (Foto Ciril Velkovrh)

NOVE KNJIGE

PUBLIKACIJE KOMISIJE ZA TISK DMFA SRS v letu 1979

	Cena v din
1.—6. OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO 26 (1979) št. 1—6 (375, 380, 411, 415, 429, 431)	—
7. Strnad J., Količine in enote v fiziki. Obzornik mat. fiz. 26 (1979) 89—92 (412)	4.—
8.—13. PRESEK — list za mlade matematike, fizike in astronome 6 (1977/78) št. 3, 4, 5 (Presekova knjižnica 4, Strnad J., Začetki sodobne fizike), 7 (1978/79) 1, 2, 5 (Presekova knjižnica 6, Landau L. D., J. B. Rumer, Kaj je teorija relativnosti) (368, 372, 373, 410, 428, 414)	—
14. PRESEKOVA KNJIŽNICA — 5 (Strnad J., Relativnost za začetnike) (409)	48.—
15. PREPRINT SERIES OF THE DEPARTMENT OF MATHEMATICS 16 (1978) (367)	—
16. Letno poročilo IMFM (1977/78) (369)	—
17. Republiško tekmovanje iz matematike (1979) (379)	—
18. Republiško tekmovanje iz fizike (1979) (404)	—
19. 31. občni zbor DMFA SRS (1979) (421)	—

KNJIŽNICA SIGMA

20. 2b. Vadnal A., Elementarni uvod v verjetnostni račun, 3. natis (413)	120.—
21. 19a. Lebedinec F., A. Vadnal, Funkcije, 2. del, 2. natis (370)	112.—
22. 20f. Uršič, S., Štirimestni logaritmni in druge tabele. 8. natis (359)	28.—
23. 28. Strnad J., Posebna teorija relativnosti (360)	144.—
24. 30. Vadnal A., Osnove diferenčnega računa (376)	184.—

MATEMATIKA-FIZIKA — Zbirka univerzitetnih učbenikov in monografij

25. 7a. Vidav I., Višja matematika, 2. del, 2. razširjena izdaja (378)	605.—
26. 12. Jamnik R., Matematična statistika (427)	—

ZBIRKA IZBRANIH POGLAVIJ IZ MATEMATIKE

27. 4c. Zakrajšek E., Programski jezik pascal. 4. natis (422)	56.—
28. 6d. Dobovišek M. in dr., Rešene naloge iz analize, 1. del (405)	64.—
29. 8a. Zakrajšek E., Update. 2. natis (374)	32.—
30. 10a. Suhadolc A., Sebi adjungirani operatorji. 2. natis (371)	10.—
31. 11. Suhadolc A., Linearni topološki prostori (377)	120.—
32. 12. Wirth N., Računalniško programiranje (401)	200.—
33. 13. Petek P., Vaje iz diferencialnih enačb (408)	180.—
34. 14. Nadrah N., Cobol (425)	200.—
35. 15. Kramar E., Zbirka nalog iz verjetnostnega računa (430)	48.—

ZBIRKA IZBRANIH POGLAVIJ IZ FIZIKE

36. 13. Prelovšek P., I. Kuščer, Zbirka formul za vektorje in tenzorje (403)	12.—
37. 14. Rosina M., Osnovni delci. Zbirka tabel in nalog (416)	20.—
38. 15. Kuščer I., Pregled klasične fizike (423)	100.—
39. 16. Kuščer I., Matematične naloge iz fizike. 2. predelana izdaja (424)	280.—

POSTDIPLOMSKI SEMINAR IZ MATEMATIKE

40. 12. Vidav I., Uvod v teorijo C*-algeber (402)	60.—
41. Alkalaj V., Baze v Banachovih prostorih (391)	—
42—62 Seminar za numerično in računalniško matematiko (381—390, 392—400, 406, 407)	—

POSTDIPLOMSKI SEMINAR IZ FIZIKE

- | | |
|---|------|
| 63. 5a. Čadež A., Fizika zvezd. 2. natis (426) | 52.— |
| 64. 6. Kuščer I., Wignerjeve porazdelitve (366) | 12.— |

UČBENIKI IN PRIROČNIKI ZA OSNOVNO IN SREDNJO ŠOLO

- | | |
|--|------|
| 65. Štalec I., Zbirka vaj iz aritmetike, algebre in analize za 1. razred gimnazije. 9. natis (363) | 44.— |
| 66. Štalec I., Zbirka vaj iz aritmetike, algebre in analize za 2. razred gimnazije. 8. natis (364) | 42.— |
| 67. Avsec F. in dr., Zbirka vaj iz aritmetike, algebre in analize za 3. razred gimnazije. 4. natis (365) | 41.— |
| 68. Zabkar A., Tablice kvadratov, kubov, kvadratnih in kubičnih korenov naravnih števil... 13. natis (362) | 11.— |
| 69. Strnad J., Fizika, Leksikon CZ (361) | 96.— |

Na desni strani seznama so navedene znižane cene, ki veljajo za člane društva, študente in naročnike Preseka.

Na koncu naslovov so v oklepajih zaporedne številke izdaje pri Komisiji za tisk DMFA SRS od leta 1951 do danes.

Ciril Velkovrh

Ottó Steinfeld, Quasi-ideals in rings and semigroups. Disquisitiones mathematicae Hungaricae 10. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978, 154 strani.

Knjiga je prva monografija o kvaziidealih, ki jih je avtor uvedel v algebro v letih 1953 (za kolobarje) in 1956 (za polgrupe) ter so se izkazali kot dokaj ploden koncept, ki je pritegnil pozornost več znanih algebraikov.

V osrednjem delu knjige se najprej seznanimo z osnovnimi definicijami in rezultati (§ 1—3), tem pa sledijo globlji rezultati o vlogi kvaziidealov pri karakterizaciji kolobarjev in polgrup (§ 4—12). V dodatku je opisan še poskus posplošitve pojma kvaziideala za delno urejene grupoide s posebnimi lastnostmi (grupoid-mreže). Na koncu knjige najdemo tudi seznam 21 nerešenih problemov in bibliografijo o kvaziidealih, ki vsebuje čez 50 referenc.

Ker je knjiga razmeroma drobna in razen določenega poznavanja algebre ne predpostavlja nikakršnega posebnega predznanja, bi jo priporočil predvsem študentom višjih letnikov, ki se zanimajo za algebro.

Vladimir Batagelj

B. A. Trahtenbrot, Što su algoritmi / Algoritmi i računski automati. Moderna matematika. Školska knjiga, Zagreb, 1978, 227 strani.

Pred kratkim je v zbirki Moderna matematika (Školska knjiga, Zagreb) izšel pod naslovom *Što su algoritmi* prevod knjige B. A. Trahtenbrota, *Algoritmy i vychislitel'nye avtomaty* (Sovetskoe radio, Moskva, 1974). Knjiga predstavlja poljuden a kljub temu dovolj podroben in strog uvod v najpomembnejše dosežke logične (splošne) teorije algoritmov. Snov je razdeljena v tri poglavja: algoritmi (intuitivni uvod); Turingovi stroji (formalizacije pojma algoritma); problemi teorije algoritmov (najpomembnejši rezultati). Na koncu je še nekaj strani pripomb prevajalcev, ki so svoje delo opravili s precejšnjo zavzetostjo.

Knjiga je mojstrsko napisana in bo prijetno branje za vsakogar (dostopna je že srednješolcem), ki se želi približe seznaniti z osnovami logične teorije algoritmov; ta je tudi eden od temeljev teoretičnih osnov računalništva.

Vladimir Batagelj

Yung-Chen Lu, Singularity Theory and an Introduction to Catastrophe Theory, Universitext, Springer, New York-Heidelberg-Berlin, 1976, XII + 199 str.

Teorija katastrof je poizkus matematične obravnave nenadnih, nezveznih sprememb v naravi. Mislimo si fizikalni sistem v stabilnem ravnovesju. Če se zunanje razmere ne spreminjajo, bo sistem seveda miroval v tem ravnovesnem stanju. Toda v naravi se zunanje razmere običajno spreminjajo, zato tudi (vsa mogoča) stabilna ravnovesja spreminjajo lego v množici vseh stanj sistema. Večinoma so ti premiki »počasni«, zvezni; v tem primeru bo tudi naš sistem počasi sledil »svojemu« stabilnemu ravnovesju. Zgodi pa se, da pri kakih zunanjih okoliščinah kako stabilno ravnovesje preide v labilno in nato izgine. Sistem, ki je dotlej sledil temu stabilnemu ravnovesju, bo v tem trenutku zdrknil v kako drugo, »oddaljeno« stabilno ravnovesno stanje. Teorija katastrof raziskuje prav »gibanje« stabilnih ravnovesij pri spreminjanju zunanjih parametrov, in sicer predvsem v okolici takih vrednosti parametrov, pri katerih kako stabilno ravnovesje izgine.

Teorija katastrof sloni na teoriji singularnosti gladkih preslikav, ki je stara že nekaj desetletij. Začetki teorije katastrof v ožjem pomenu besede pa segajo le dobro desetletje nazaj. Ta teorija je dvignila toliko prahu kot morda še nobena matematična teorija, predvsem zato, ker sta njen začetnik R. Thom in glavni propagator E. C. Zeeman zelo poudarjala njeno uporabnost v biologiji, ekonomiki in sociologiji. Nekateri so jo imenovali največji matematični dosežek v zadnjih 300 letih. Zeeman je izdelal »katastrofične« matematične modele za tako raznovrstne pojave, kot so borzni polomi, upori v jetnišnicah, vojne, razvoj (živalskih in rastlinskih) vrst, živčni impulzi, bitje srca, delitev celic, stabilnost ladij in mostov. Zdi se, da je malo preveč ne-kritično verjel v univerzalnost modelov teorije katastrof. V zadnjih nekaj letih je nastopilo več ostrih kritikov. Nekateri obtožujejo Zeemana šarlatanstva, drugi hočejo teorijo katastrof popolnoma izničiti. Verjetno je resnica kje na sredi. Zdi se, da je teorija katastrof nedvomno dokazala svojo uporabnost in pomembnost v fiziki in tehniki.

Glede na povedano ni čudno, da se je o teoriji katastrof in njeni uporabi že kmalu pojavilo mnogo knjig, ki imajo razne cilje. Zdi se mi, da je za matematika nespecialista, ki bi rad dobro razumel matematični del teorije, ni mu pa do fines in ni pripravljen pregristi se skozi vse dokaze, citirana Lujeva knjiga za zdaj najboljša (mimogrede povedano, nekateri dokazi v teoriji katastrof so zelo dolgi in dokaj težki). Avtor ne pričakuje od bralca drugega znanja kot standardno linearno algebro, osnovne pojme splošne algebre in topologije ter infinitezimalni račun za funkcije več spremenljivk. Razumevanje je olajšano z velikim številom zgledov; v povprečju pride na vsaki dve strani (razmeroma redkega tiska) po en zgled. Vendar pa teorija katastrof ni zelo preprosta in bralec ne sme pričakovati izrazito lahkega branja.

Knjiga je razdeljena na 6 poglavij in ima dva dodatka. V 1. poglavju so razloženi osnovni pojmi o singularnostih gladkih preslikav. 2. poglavje uvaja osnovne metode in pripomočke pri študiju singularnosti in avtor za zgled obdela singularnosti preslikav ravnine v ravnino. Osrednji sta 3. in 4. poglavje; v 3. obravnava avtor končno določene zarodke funkcij in razgrnitve (unfoldings) singularnosti, v 4. pa uvede katastrofe ter razloži pojme in rezultate 3. poglavja s stališča teorije katastrof. V 5. in 6. poglavju prikaže še dva pojma, ki sta zelo koristna pri študiju singularnosti.

Jože Vrabec