

Dr NENAD KAŽIĆ

ENERGIJA I DRUŠTVO – TERMODINAMIČKI ASPEKT

ENERGY AND SOCIETY – THERMODINAMICAL ASPECT

***Abstract:** The correlation between society evolution, population and energy consumption in the light of 2. Law of thermodynamics, is analyzed. Today, the consumption society, presents the enormous consumer of limited natural recourse. The developed countries are met with fact that essential global problems can not be solved by brutal force of consumption society, so the new world view has to be introduced. The new paradigm must be based at sustainable development of society in general, introducing the "entropy" production minimum as fundamental principle of the modern time.*

1. GLOBALNI PROBLEMI

Godine 1988. USA je zadesila velika suša praćena paklenim vrućinama na cjelokupnom prostoru od Atlantske do Pacifičke obale. I dok je Amerika cvrčala na temperaturi od 38°C, pred Senatom u Vašingtonu je svjedočio vrhunski ekspert za probleme atmosfere. Njegova poruka prisutnima nije bila nimalo umirujuća:

Ovo što se događa napolju je nešto na što se moramo polako navikavati.

U tom trenutku on je u stvari nagovijestio da je topli dah efekta "Staklene bašte" konačno dodirnuo Zemlju: enormna emisija CO_2 koji je proizvodila industrija povećala je njegovu koncentraciju u atmosferi, što je dovelo do globalnog zagrijavanja planete.

Ali to je bio samo jedan iz niza globalnih problema koji su ili koji će zadesiti Zemlju.

Naime, samo neku godinu nakon toga (CAAA 1990), Kongres je usvojio posebni amandman o smanjenju emisije SO_2 koji je silom zakona uvodio mjere u cilju eliminacije kiselih kiša koje su prijetile da istrijebe ionako smanjeni šumski fond razvijenih zemalja.

Pojava "ozonskih rupa" kao posljedice oštećenja ozonskog omotača je izazvala paniku planetarnih razmjera. Stvari su išle toliko daleko da su vlade pojedinih zemalja apelovale na stanovništvo da ne izlazi iz kuća itd.

Posljednje 2-3 godine u centru pažnje ljudi koji se bave vremenskim prilikama bio je meteorološki monstrum koji se vezuje za poremećaj u *El-Ninju*, odnosno za poremećenu temperatursku ravnotežu okeana. Narušena termička ravnoteža velikih vodenih masa je dovela do pojave snažnih vremenskih nepogoda koje su izazvale pustošenja duž priobalnog područja niza zemalja.

Ovi događaji, koji su sustizali jedan drugog, nametnuli su sljedeća pitanja:

- Šta je to što je izazvalo ove spektakularne promjene,
- Da li su one egzibicija Prirode koja će nestati kao što se pojavila ili će postati naš stalni pratilac u budućnosti.

Teško je u ovom trenutku dati apsolutno tačan odgovor, jer statistika ovih fenomena zahtijeva jedan duži vremenski period. Na žalost, danas prevladuje mišljenje u naučnim krugovima da su najvjerovatnije sve ove pojave posljedica aktivnosti čovjeka. Ali pravoga krivca treba tražiti u 2. Zakonu termodinamike čiji neumoljivi hod čovjek svojom aktivnošću može ubrzati ili usporiti ali ne u potpunosti zaustaviti.

2. DRUGI ZAKON TERMODINAMIKE

Spoznaja Drugog zakona termodinamike je jedan od najblistavijih uzleta ljudskog duha. Njegova jednostavnost u formulaciji a istovremeno ogromna moć kojom vlada Vaseljenom čine ga veličanstvenim. Naime, dok su svi prirodni zakoni formulisani od strane čovjeka pod određenom sumnjom u smislu njihove univerzalnosti, smatra se da 2. Zakon termodinamike vlada i u najudaljenijim djelovima Vaseljene, bar dokle seže ljudski um.

Često za njega kažu da je Zakon svih zakona.

Albert Ajnštajn je za njega rekao da je to najznačajniji prirodni zakon.

Dok Prvi zakon termodinamike definiše energetske bilans sistema, Drugi zakon definiše smjer u kome se odvijaju procesi. Drugim riječima, on definiše strelicu događaja.

Njegova izvorna formulacija glasi:

Svi procesi teku u smjeru povećanja neuređenosti izolovanog sistema.

Pokretačka sila svega u Prirodi je neravnoteža. Da bi se odigrao neki proces mora postojati neravnoteža, odnosno nešto "više" i nešto "niže":

- voda teče iz suda sa višim u sud sa nižim nivoom,
- toplota prelazi sa tijela više na tijelo niže temperature.
- tijelo mijenja brzinu kada sa jedne strane djeluje jača sila nego sa druge itd.

Dakle, da bi se odvijao bilo kakav proces potrebno je da postoji neravnoteža. Sama neravnoteža u termodinamici se vezuje za pojam uređenosti sistema, što treba shvatiti u jednom širem smislu: uređen sistem je onaj koji je sazdan po nekom pravilu.

Međutim, sami procesi spontano teku tako da svojim odvijanjem teže da eliminišu uzrok koji ih izaziva. Oni, dakle, imaju

"samoubilački" karakter: u želji da eliminišu neravnotežu koja ih izaziva, oni time "ubijaju" i sebe. Procesi, dakle, spontano uništavajući neravnotežu, dovode do kvarenja uređenosti sistema. To ne mora uvijek biti tako. Teorijski, postoje procesi kod kojih se ne kvari uređenost, tako da se oni mogu sami od sebe odvijati u jednom ili drugom smjeru. Ti su procesi povratni i, naravno, njih u prirodi nema. Oni su samo jedna idealizovana fikcija.

Međutim, ako se u procesu javlja transfer energije u obliku toplote uz neizbježnu temperaturnu razliku, uređenost izolovanog sistema se sigurno kvari i ti se procesi nazivaju nepovratni. U principu, svi procesi su manje ili više nepovratni, jer se obično javlja bar trenje kao dodatni generator toplote u sistemu.

Dakle ako se nešto zbiva, neizbježno dolazi do kvarenja uređenosti izolovanog sistema, odnosno do uništavanja neravnoteže koja je, kao što smo rekli, pokretačka snaga svih procesa. To stanje gdje ne postoji nikakva neravnoteža naziva se stanje termodinamičke ravnoteže.

Iz čisto praktičnih razloga je uvedena veličina *entropija* koja je mjera neuređenosti sistema. Preko nje formulisan, 2. Zakon glasi:

Procesi teku u smjeru povećanja entropije izolovanog sistema.

Prema tome, entropija Kosmosa stalno raste vodeći ga ka stanju termodinamičke ravnoteže, odnosno stanju gdje se neće odvijati nikakvi procesi na makroskopskom nivou. U vrijeme Clausiusa to stanje je bilo definisano kao "toplotna smrt" vasiona i dugo vremena je to bio zanimljiv istraživački motiv brojnih filozofa. Tako Bertrand Rasel, inspirisan ovom temom, kaže:

Kratak je i nemoćan život Čovjeka, a na njega i cijelu njegovu rasu spušta se neminovno sudba kleta, nemilosrdna i mračna.

Drugi sa više optimizma gledaju na daleku budućnost, našu planetu i na nas same kao na bitan dio nekog *Velikog plana*. Ljudi su ipak skloni da tu daleku budućnost prihvate kao nešto između ova dva prilično različita gledišta. Danas, opšteprihvaćena teorija nastanka Vaseljene tzv. "*Veliki prasak*" - *inflacioni model* ("*Big Beng*"-*inflation model*), predviđa njeno beskonačno širenje koje je vodi ka

njenom odredištu koje joj je namijenio 2. Zakon. Doduše, taj trenutak sumornog kraja Vaseljene je veoma daleko, ali Kosmos je svakim danom sve bliži njemu. Za sada niko nije u stanju da ponudi drugačiju sliku te predaleke budućnosti.

Kada je riječ o procesima transformacije energije, 2. Zakon kaže da se u procesu transformacije energije uvijek jedan dio korisne energije pretvara u nekoristan oblik. To ne znači da se energija izgubila. Ne, ona je samo za nas izgubljena u smislu mogućnosti njenog daljeg korišćenja. Taj oblik nekorisne energije se naziva degradirana energija.

Prema tome, bilo kakva aktivnost koja se odnosi na transformaciju energije istovremeno znači i degradaciju jednog njenog dijela. Drugim riječima, gomila nekorisne energije se stalno povećava na račun smanjenja njenog korisnog dijela.

Isto tako, svako zagađenje prirode je *de facto* povećanje neuređenosti sistema, odnosno smanjenje potencijala za dobijanje korisne energije. Iscrpljivanje rezervi fosilnog goriva znači upravo to isto.

3. DRUŠTVO I ZAKONI TERMODINAMIKE

Dobitnik Nobelove nagrade za hemiju *Frederick Soddy* je rekao da zakoni Termodinamike (misli se na 1. i 2. Zakon)

"kontrolišu u krajnjoj mjeri uspon i pad političkih sistema, slobodu ili ropstvo nacija, razvoj trgovine i industrije, porijeklo siromaštva i bogatstva i opštu dobrobit ljudskog roda".

Međutim, možemo reći da su Zakoni termodinamike omeđeni materijalnim svijetom, odnosno oni vladaju svijetom prostora i vremena. Oni ne vladaju područjem duha, dakle jednim prostorom koji nema granica.

Ako se pogleda razvoj civilizacije, kao dva najmarkantnija pokazatelja se javljaju porast stanovništva i utrošena energija kojom se napaja prateća društvena struktura. Ovaj porast ima eksponencijalni karakter. Slika o brzini ovakvoga rasta se najbolje može shvatiti kroz

jedan primjer koji ima eksponencijalnu prirodu: ako bismo list papira presavili 50 puta, njegova debljina bi dosegla rastojanje od Zemlje do Sunca. Sve eksplozivne promjene imaju ovakav trend. Za nesreću, porast stanovništva Zemlje ima baš takav karakter. Pogledajmo podatke koji pokazuju porast broja stanovnika naše planete:

Tabela I. Broj stanovnika zemlje tokom godina

Godina Nove ere	0	1650	1800	1900	1950	1975	2000
Mil. stanovnika	350	600	1000	1900	2600	4000	6000



Slika 1. Broj stanovnika zemlje tokom godina

Očigledno je da eksplozivni rast stanovništva najdirektnije ugrožava opstanak ljudskog društva, jer, kako danas stvari stoje, granica izdržljivosti Zemlje je negdje između 13 do 15 milijardi ljudi. Ako se nešto ne promijeni, tu granicu ćemo vrlo brzo doseći.

Između porasta broja stanovnika i količine utrošene energije postoji direktna zavisnost. Razvoj tehnologije koji je pratio ovaj porast u principu se uvijek svodio na pojačavanje protoka energije korišćenjem nekog novog transformatora energije.

Kada je riječ o razvijenim zemljama, razvoj društva je istovremeno praćen i porastom utrošene energije po stanovniku. Tako,

na primjer, za servisiranje današnjeg stila života jednog stanovnika *USA* potreban je rad koji je ekvivalentan radu 200 robova. To samo govori o ogromnom utrošku energije koji danas praktikuju razvijene zemlje. Jasno je da takav način života ubrzava degradaciju cijele planete kao direktna posljedica 2. Zakona termodinamike.

Odnos između društva i energije ima karakter narkomanske zavisnosti. Hroničari su u jednom trenutku zabilježili riječi jednog predstavnika američke vlade:

Mi ćemo podnijeti sve žrtve da bismo sačuvali našu nezavisnost. Nezavisnost je naša najsvetija baština ugrađena u same temelje našega društva.

Dramatičnost kojom je nabijena ova izjava asocira na proklamaciju načelnika generalštaba neke zemlje koja je spolja napadnuta. Međutim, kontekst u kome je data ova izjava nije imao veze ni sa kakvim osvajačkim pohodom, već je data u vrijeme energetske krize 1973. godine koja je tih dana uzdrmala svijet. Ona je nagovijestila zoru novoga doba u kome će nezavisnost zemalja ma kako one bile velike biti ograničena. One će biti zavisne od prirodnih resursa koji će biti van njihovih granica. Mi smo već danas svjedoci pomjeranja granica interesa zemalja daleko od njihovih geografskih granica, i to u smjeru energetskih resursa koji su još na raspolaganju.

Potrošačka civilizacija, sa svojim pogledom na svijet, rasipnički troši preostale energetske resurse planete uskraćujući ih svom potomstvu. Tako danas nerazvijene zemlje nemaju nikakvu šansu da se približe razvijenim, jer planeta ne posjeduje tolike resurse potrebne da se dostigne taj paritet.

Dokle je potrošačka civilizacija otišla u poimanju svijeta na svoj način, možda najbolje ilustruju sljedeći primjeri:

- u industriji hrane troškovi same hrane iznose 20% ukupnih troškova, dok se 80% troši na pakovanje, omot itd.;
- smatra se da stanovnik *USA* na automobil troši svaki četvrti dolar; kako svi ovi troškovi u krajnjoj liniji zahtijevaju utrošak energije, može se steći slika o tome kako samo posjedovanje i neracionalno korišćenje automobila degradira okolinu;

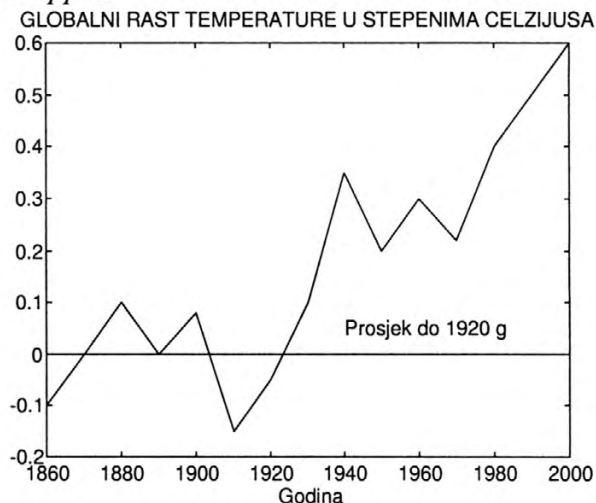
- na svaki kvadratni kilometar *USA* dolazi najmanje 1 km kolskog puta;
- gradovi čije razmjere dostižu dimenzije megalopolisa zahtijevaju ogromne količine hrane, vode, energije, i to svakog dana mora biti dopremljeno sa velikih rastojanja itd.

Sve ovo govori o razmjerama potrošnje goriva koje je potrošačka civilizacija ugradila u same temelje svoga postojanja.

Naravno, nije trebalo dugo čekati na odgovor 2. Zakona termodinamike kao neumoljivog inkvizitora Prirode, koji je stigao u obliku globalnih problema o kojima je bilo govora na početku izlaganja. Dva, danas ključna, globalna problema Zemlje su vezana za efekat staklene bašte i oštećenje ozonskog omotača. Osvrnimo se za trenutak na njih.

4. EFEKAT STAKLENE BAŠTE

Korišćenjem fosilnih (koncentrisanih) goriva procenat CO_2 u atmosferi se dramatično povećao. Od vremena prije industrijske revolucije kada koncentracija nije prelazila 280 ppm, danas ona iznosi negdje oko 340 ppm.



Slika 2. Porast globalne temperature tokom godina

Smatra se da je granica izdržljivosti planete oko 550 ppm. Međutim, spisak gasova koji izazivaju efekat staklene bašte nije time završen: metan (CH_4), hlorofluorougjenici-freoni (CFC) i azotni oksidi (NO_x) pripadaju takođe toj grupi gasova "staklene bašte". Svi oni su direktno ili indirektno posljedica ljudske aktivnosti. Dakle, neumjerenom potrošnjom energije Zemlja je počela da se zagrijeva, odnosno količina degradirane energije je porasla.

5. OŠTEĆENJE OZONSKOG OMOTAČA

Prevažodno kao posljedica sve šireg korišćenja rashladnih uređaja koji su koristili CFC fluide, došlo je do povećanja koncentracije CFC gasova u atmosferi. U gornjim slojevima atmosfere (14-20 km) ovi gasovi pod uticajen UV (ultravioletnih) zraka se raspadaju oslobađajući atome hlora koji reaguju sa ozonom (O_3), usljed čega se smanjuje njegova koncentracija. Kako je ozon glavna barijera prodoru UV zraka ka površini Zemlje, jasno je da oštećenje pojasa O_3 može imati ozbiljne posljedice po ljudsko zdravlje. Ozonska rupa iznad Antarktika, koja je dugo bila u centru medijske pažnje, snažan je signal 2. Zakona da je zagađenje atmosfere poprimilo zabrinjavajuće razmjere.

Očigledno je da u ovako postavljenim stvarima definicija napretka društva formulisana u potrošačkoj civilizaciji postaje problematična. Ispada da ono što je u tom društvu tretirano kao progres, upravo znači obrnuto. Cijenu blagostanja današnjeg društva u razvijenim zemljama u krajnjoj liniji će platiti njihovi i naši potomci. Posljedice rasipnog trošenja zemaljskih resursa već danas se mogu uočiti kroz povećanje cijena energije iz godine u godinu. Naime danas investicije u postrojenja za prečišćavanje produkata koji nastaju u energetske postrojenjima iznose 30% ukupnih troškova izgradnje. Prema jednoj ekonomskoj teoriji to povećanje cijena energije je i osnovni, endemski uzrok inflacije.

Montrealski protokol (1987), Konferencija u Riju (1992), Svjetski skup o klimi u Kjotu (1997) itd. samo su iznuđeni potezi razvijenog svijeta u trenutku otrežnjenja izazvanog globalnim problemima pred kojima se našao.

Gdje je izlaz?

6. NOVI POGLED NA SVIJET

Definitivno se mora napustiti postojeća paradigma utemeljena na materijalističkom gledanju na svijet i usvojiti nova, i to na globalnom nivou. Danas postaje očigledno da je model potrošačke civilizacije potrošen i da je ona na kraju svoga puta. Kada i posljednje tržište bude osvojeno ona će se naći pred problemima koje neće moći da riješi sirovom snagom rezona slobodnog tržišta. Zanimljivo je da i širok krug naučnika koji su se bavili globalnim problemom razvoja društva na Zemlji (od Rimskog kruga pa do danas) direktno ili posredno podržava ovaj stav. Sigurno je da se mora usvojiti nova paradigma u kojoj će svakako svoje mjesto naći entropijski pogled na svijet. Pri tome postoji mala opasnost da se pri definiciji takvoga društva pojave asocijacije kao da se radi o uvođenju nove religije. Naime, sigurno je da će jedna od osnovnih odlika takvoga društva biti jedan skromniji, umjereniji način života u smislu trošenja prirodnih resursa i energije i podrška ravnomjernijem razvoju zemalja na nivou cijele planete. Ovakvi pogledi su najčešće i sadržani u osnovama različitih religijskih učenja.

Prošlo je vrijeme kada je bilo moguće živjeti u izolacionizmu. Nekada, kontraverzna "*teorija domina*" bila je rezervisana za vojno-političku sferu aktivnosti i po njoj je pad jedne od niza zemalja dovodio do pada ostalih. Događaji na svjetskim berzama pokazuju da se ova teorija preselila na teren berzanskih transakcija. Lančana kriza koja se nedavno prošetala kroz svjetske berze snažno je demonstrirala isprepletenost interesa na globalnom nivou.

Isto tako problem kontrole stanovništva na Zemlji moraće biti riješen na zadovoljavajući način. Možda će za početak biti dovoljno sazrela svijest o tome da trošeći danas više nego što je potrebno, u stvari, potkradamo naše potomstvo i otežavamo mu opstanak.

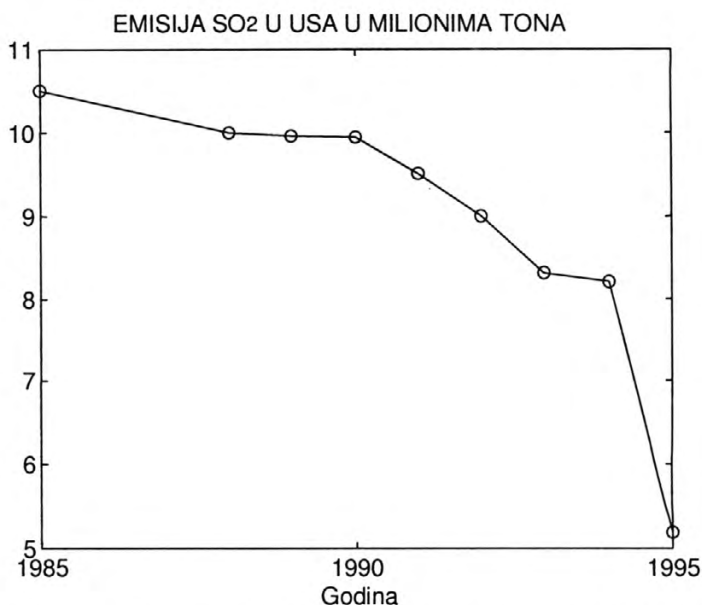
7. NOVE TEHNOLOGIJE

Uloga novih tehnologija će biti prije svega da povećaju efikasnost svih mašinerija, transformatora energije, odnosno da što više uspire hod 2. Zakona. Drugim riječima primjena ovih tehnologija dovešće do smanjenja protoka energije kroz društvo, odnosno smanjiće nivo degradirane energije.

Razvijene zemlje danas troše približno po $1/3$ ukupne energije na industriju, saobraćaj i stanovanje. Ogromne pare se ulažu u razvoj tehnologija koje će povećati efikasnost u sva ova tri sektora. Već u ovom trenutku postoji niz tehnologija koje daju ohrabrujuće rezultate:

- Termoelektrane sa kombinovanim ciklusima (efikasnost 50-60 %),
- Ekološki gorionici sa višestepenim sagorijevanjem (veća efikasnost i značajno smanjenje NO_x u odnosu na klasične),
- Solarna i tehnologija vjetra,
- Gorivne ćelije (efikasnost oko 36 %),
- Bolje izolacije na objektima za stanovanje,
- "Ozone - friendly" rashladni fluidi,
- Keramički motori,
- Super-provodnici itd.

Istovremeno će vlade svojim mjerama ohrabrivati uvođenje takvih tehnologija. Jedan vrlo poučan primjer je vezan za eksperiment koji je prije nekoliko godina izveden u *USA*. Država je uvođenjem dozvola za emisiju SO_2 , poslije samo godinu dana značajno smanjila ukupnu emisiju SO_2 iz termoelektrana. To smanjenje je prevazišlo i najhrabrija predviđanja, što samo govori o tome da društvo ima na raspolaganju niz instrumenata koji još nijesu aktivirani (na slici period 1990-1995).



Slika 3. Emisija Sumpor-dioksida u USA u zadnjih nekoliko godina

8. SOLARNA ERA?

Kako sada stvari stoje, najvjerojatnije je da će sljedeća stepenica razvoja društva biti u znaku Solarne ere koja će se oslanjati na neku hibridnu kombinaciju solarne sa nekim drugim vidovima energije. Po svojoj prirodi solarne energije je za razliku od fosilnih goriva niske gustine. Dakle, njena priroda ne odgovara današnjem društvu, koje je izgrađeno na modelu visoko-koncentrisane energije i njenog protoka kroz sistem. Taj prelazak iz današnje u solarnu eru neće biti ni lak ni bezbolan. On će zahtijevati dramatično prestrukturiranje društva kao cjeline i načina života u smislu kako smo to već naveli. Kao primjer uzmimo jedan bizaran, na prvi pogled marginalan detalj koji najbolje odslikava spektar teškoća sa kojim će se suočiti društvo u procesu tranzicije. Ako bi se uzele fotonaponske ćelije na bazi kadmijum-sulfata kao energetska rješenje, bila bi potrebna cjelokupna svjetska proizvodnja kadmijuma u 1978. godini da bi se proizvelo 180 GW električne energije (oko 10 % svjetske produkcije u tom trenutku). Iako malo stari, ovi podaci ukazuju na

jedan banalni problem prestrukturiranja društva koji predstavlja samo jedan od niza mogućih.

Očekivanje da će nauka i tehnologija u nekoj daljoj budućnosti uspjeti da nađe neko novo rješenje, neki novi izvor energije, ostaje za sada u domenu nade.

9. ŠTA DA RADE MALE ZEMLJE

"Odgođeni problem predstavlja 50% riješenog problema".

Kažu da su ovo riječi koje je izrekao V. Čerčil u trenutku kada je V. Britaniji prijetila invazija od strane Njemačke. Možda je to stav koji bi trebalo da slijede male zemlje kada su u pitanju energetske problemi i nove tehnologije. Naime, treba se učiti na iskustvu malih-uspješnih zemalja kao što su na primjer Danska ili Finska. Na pitanje o primjeni novih tehnologija, jedan danski ekspert je rekao:

"Male zemlje nemaju novca za razvoj novih, skupih energetskih tehnologija. One treba da ih pametno primjenjuju".

LITERATURA

1. B. Rasel, *A Free Man's Worship*, 1923.
2. M. Mesarović, E. Pastel: *Mankind of The Turning Point*, Hutchinson&Co Ltd, London 1974.
3. J. Rifkin, *Entropy - A New World View*, The Viking Press, NY 1981.
4. C. Revkin, *A Life With Green-House Effect*, Discover 1988.
5. R. A. Bajura, H. A. Webb, *The Marriage of gas Turbines and Coal*, Mech. Eng., September 1991.
6. L. Langston, *Combined Cycle Power Plants*, Global Gas Turbine News, February 1994.
7. J. H. Hirchenhofer, R. H. McClelland, *The coming of age of fuel cells*, Mech. Eng., October 1995.
8. T. Appeenzeller, *Filling a Hole in the Ozone Argument*, Science, Vol. 262, 1993.

9. *Reducing Indoor Air Pollution and Saving Energy*, e-lab MIT, December 1997.
10. *Dealing With Global Warming: The Need for Long-Term Actions*, e-lab MIT, December 1997.
11. *Energy Laboratory's "Low NOx" Burner*, e-lab MIT, September 1997.
12. *Reducing SO₂ Emissions Through Market-Based Regulation*, e-lab MIT, March 1997.
13. *Predicting Global Climate Change: New Tools, New Insight*, e-lab MIT, January 1997.