

23. ljetna škola mladih fizičara
Hrvatskoga fizikalnog društva

Fizika u ekologiji



Labin
24.–30. lipnja 2007.
Srednja škola Mate Blažine

Nakladnik: **Hrvatsko fizikalno društvo**

www.hfd.hr

Za nakladnika: Dr. sc. Zlatko Vučić, voditelj

Recenzent: Dr. sc. Zlatko Vučić

Tehnički urednik: Dr. sc. Ticijana Ban

Oblikovanje naslovnice: Dipl. dizajner Jana Čipin

Grafička i tehnička oprema: Prof. Nikola Ricov

Tisak: CROGRAF

naklada 180 primjerka

Zagreb, lipanj 2007.

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 639400.

Predgovor

Hrvatsko fizikalno društvo tradicionalno, po 23. puta, organizira Ljetnu školu mladih fizičara polaznici koje su nadareni učenici svih razreda srednjih škola, ali i završnog razreda osmogodišnje škole, nagrađeni na Državnom natjecanju iz fizike. Ugledni znanstvenici iz raznih područja fizike održavaju predavanja o aktualnom stanju i napretku fizike u područjima u kojima su aktivni. Predavanja su prilagođena dobi i predznanju polaznika Škole ne umanjujući pritom ni stručnu dubinu niti cjelovitost. Učenici aktivno sudjeluju u programu kroz praktikume i rješavanjem problemskih zadataka. I ove godine Škola se održava u Labinu, zahvaljujući susretljivosti i iznimnoj angažiranosti dijela nastavnika Srednje škole Mate Blažine, u vremenu od 24. do 30. lipnja 2007., a smještaj učenika osiguran je u hotelima u Rapcu.

Tradicija je svake godine pozvati u goste i nekoliko nadarenih učenika iz hrvatskih zajednica izvan teritorija RH. Ove godine pozvani su po dvoje nadarenih učenika iz Rumunjske, i iz Crne Gore, u pratnji zaslužnih profesora.

Središnja tema ovogodišnje Ljetne škole jest ekologija. Sadržajno će, predavanjima i praktikumima Škola biti usmjerena na fiziku i fizikalne metode koje se koriste pri opažanju onečišćenja okoliša, modeliranju njihovog širenja i mogućih posljedica incidentnih događaja i havarija, te zaštiti od zagađenja. Službeni naziv ovogodišnje Škole jest **'FIZIKA U EKOLOGIJI'**. Predavanja drže ugledni znanstvenici koji se aktivno bave uvođenjem, primjenom i razvojem fizikalnih metoda i modela u ekologiji. Sve je podređeno želji da se budućim znanstvenicima na primjeren način pruži znanstveni pogled na stanje u ekologiji, i približe postignuća domaćih i inozemnih istraživača u tom za život važnom i osjetljivom području.

Ovogodišnja Škola posvećena je jednom od najvećih hrvatskih znanstvenika, akademiku Andriji Mohorovičiću (1857.-1936.), meteorologu, seizmologu i geofizičaru, u povodu 150. obljetnice njegova rođenja. Prigodnim predavanjem želimo s ponosom istaknuti njegov bogat i nadasve originalan istraživački opus kojega je prepoznala svjetska znanstvena zajednica nazvavši njegovim imenom plohe Zemljinog i Marsovog diskontinuiteta brzina, krater na Mjesecu i asteroid.

Usmjerenost znanosti na ekologiju je nužna i hitna jer su već ponegdje probijene granice prihvatljivosti pa i egzistencijske ugroženosti. Anticipirajući daljnji razvoj tehnologija u tzv. kulturi blagostanja sve je jasnije da ugrožavamo egzistencijski bitak. Trenutak je za uzbunu, ali ne i za paniku koju često nudi jeftini senzacionalizam. Čini nam se primjerenim podsjetiti na sklad antičkih vremena kad su filozofi, za razliku od današnjih sofisticiranih civilizacijskih spoznaja i postignuća, shvatili da je srž života sadržana u 4 temeljna elementa: voda, zemlja, zrak i vatra. Ekološki gledano oni su temelj života i sva četiri (i vatra uključivo!) su ozbiljno ugrožena.

Voditelj Škole i Uprava HFD-a zahvalni su Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa na financijskoj potpori koja pokriva glavninu troškova organizacije i održavanja Škole. Zahvaljujemo se i brojnim sponzorima poimence navedenim u Zborniku predavanja, a posebno Gradu Zagrebu odnosno njegovom Uredu za obrazovanje, kulturu i šport.

Voditelj Ljetne škole mladih fizičara
Dr. Sc. Zlatko Vučić

Organizator:

Hrvatsko fizikalno društvo

Suorganizatori:

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa
Prirodoslovno-matematički fakultat, Zagreb
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Institut za fiziku, Zagreb
Srednja škola Mate Blažine, Labin
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
Institut za medicinska istraživanja, Zagreb

Organizacijski odbor:

Ticijana Ban, IF, Zagreb
Aleksa Bjeliš, PMF, Zagreb
Lahorija Bistričić, FER, Zagreb
Željko Brenčić, SŠMB, Labin
Hrvoje Buljan, PMF, Zagreb
Ines Krajcar-Bronić, IRB, Zagreb
Bogomil Obelić, IRB, Zagreb
Branko Pivac, IRB Zagreb
Miroslav Požek, PMF, Zagreb
Ivica Prlić, IMI, Zagreb
Silvija Tomić, IF, Zagreb
Zlatko Vučić, IF, Zagreb (voditelj)
Krešo Zadro, PMF, Zagreb

Sponzori:

Grad Zagreb, Ured za obrazovanje, kulturu i šport

MG servis d.o.o., Karlovac

Večernji list, Zagreb

Dalekovod d.d., Zagreb

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb

Tehnix d.o.o., Donji Kraljevec

Radion d.o.o., Zagreb

Petrokemija d.d., Kutina

HEP – Zagreb

TE – Plomin d.o.o

Holcim (Hrvatska) d.o.o

Grad Labin

Općine Kršan, Nedešćina, Pićan

Županija Istarska

Vodovod Labin

1. Maj – Labin

Istra Trading – Matulji

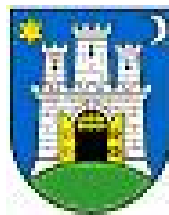
Rabac d.d.

TZ Grada Labina

Sinel – Labin

De Conte – Labin

Didacta Horvat - Zagreb



Holcim



DALEKOVOD

ERICSSON 



HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.



Sudionici 23. ljetne škole mladih fizičara

Učenici:

<i>Ime</i>	<i>Prezime</i>	<i>Mjesto</i>	<i>Kategorija</i>
Borna	Vukadinović	Zagreb	OŠ
Kristijan	Kvaternik	Zagreb	OŠ
Nikola	Konjušak	Bizovac	OŠ
Marko	Šarlija	Zadar	OŠ
Dorotej	Eršek	Velika Gorica	OŠ
Nikola	Štoković	Rovinj	OŠ
Josip	Spajić	Velika Gorica	OŠ
Josip	Grgurić	Karlovac	SŠ – 1. grupa
Petar	Knuštek	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Marija	Kranjčević	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Denis	Osvald	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Lana	Josipović	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Fran	Jurišić	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Josip	Kauf	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Nina	Kamčev	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Petar	Mlinarić	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Ivan	Domladovec	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Roko	Budimir	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Ante	Tojčić	Split	SŠ – 2. grupa
Ana	Kontrec	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Juraj	Klarić	Zagreb	SŠ – 3. grupa
Mario	Menix	Metković	SŠ – 3. grupa
Marko	Čolić	Osijek	SŠ – 3. grupa
Ivan	Peris	Karlovac	SŠ – 3. grupa
Stjepana	Brzaj	Zagreb	SŠ – 3. grupa
Deni	Vale	Pula	SŠ – 3. grupa
Ana	Juričić	Imotski	SŠ – 4. grupa
Rudolf	Tretler	Rijeka	SŠ – 4. grupa
Mate	Milas	Zagreb	SŠ – 4. grupa
Mihita	Cvitanović	Zagreb	SŠ – 4. grupa
Denis	Wertheim	Varaždin	SŠ – eksp. grupa
Pavle	Lacko	Varaždin	SŠ – eksp. grupa
Roberto	Paliska	Labin	SŠ – eksp. grupa

Andrea	Demetlika	Labin	SŠ – eksp. grupa
Iva	Murgić	Gospić	SŠ – eksp. grupa
Maja	Hećimović	Gospić	SŠ – eksp. grupa
Miho	Ilić	Kotor, Cna Gora	međ. suradnja
Maja	Milović	Kotor, Crna Gora	međ. suradnja
Dragan - Milovan	Udovita	Karaševo, Rumunjska	međ. suradnja
Snežana - Miljana	Vorga	Karaševo, Rumunjska	međ. suradnja
Velimir	Mihelčić	Šibenik	ostali
Ivan	Poparić - Grgas	Šibenik	ostali

Nastavnici u pratnji:

Prof. Štefica Božinović, Hrvatsko građansko društvo Crne Gore, Kotor
 Prof. Nedjeljko Marinov, OŠ Primošten, ravnatelj
 Prof. Alina Mistou, Dvojezična rumunjsko-hrvatska gimnazija Karaševo,
 Rumunjska

Studenti u pratnji:

Danijel Pikutić, Varaždin
 Marko Popović, Zagreb

Domaćini:

Prof. Čedomir Ružić, ravnatelj
 Prof. Željko Brenčić, profesor fizike

Najsrdacnije se zahvaljujem mnogim djelatnicima Srednje škole Mate Blažine iz Labina bez čije svesrdne pomoći organizacija ljetne škole ne bi bila moguća.

Posebno se zahvaljujem predavačima i članovima organizacijskog odbora koji su uložili izniman napor i trud u pripremi organizacije ove škole.

Voditelj ljetne škole Zlatko Vučić

Program predavanja i sadržaj zbornika

Nedjelja, 24. lipnja 2007. godine

Dolazak i smještaj u hotelu Mediteran (17:00)

Ponedjeljak, 25. lipnja 2007. godine

8:30 Cjelodnevni izlet u sjevernu Istru
Predavanje u zvjezdarnici u Višnjanu
Korado Korlević
Nove spoznaje o Sunčevu sustavu

Utorak, 26. lipnja 2007. godine

9:00 Svečano otvaranje
9:30 Mladen Juračić (PMF, Zagreb)
Klimatske promjene: prošlost i budućnost
10:30 Mirko Orlić (PMF, Zagreb)
Razvoj fizičke oceanografije: od analize do prognoze
11:30 Marijan Herak (PMF, Zagreb)
Andrija Mohorovičić, univerzalni geofizičar i velikan hrvatske znanosti

17:30 Rješavanje problemskih zadataka

Srijeda, 27. lipnja 2007. godine

9:00 Stjepan Marčelja (PMF, Split)
Promjene klime i razine mora u prošlosti i budućnosti
10:00 Dubravko Pevec (FER, Zagreb)
Nuklearna energija i okoliš
11:00 Mile Baće (FER, Zagreb)
Obnovljivi izvori energije: sunce i vjetar

17:30 Rješavanje problemskih zadataka

Četvrtak, 28. lipnja 2007. godine

- 8:30 Polazak za Koromačno
- 9:00 Ines Krajcar-Bronić (IRB, Zagreb)
Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima
- 10:00 Zvezdana Bencetić-Klaić (PMF, Zagreb)
Meteorologija i ekologija
- 11:00 Katica Biljaković (IF, Zagreb)
Šumski požar kao kompleksni sistem
- 12:00 Zaštita okoliša u Holcimu
- 17:30 Rješavanje problemskih zadataka

Petak, 29. lipnja 2007. godine

- 8:30 Polazak za Plomin
- 9:00 Glenda Šorgo (IRB, Zagreb)
Kakav zrak dišemo
- 10:00 Marko Jusup (IRB, Zagreb)
Utjecaj uzgajališta riba na okoliš
- 11:00 Đuro Drobac (IF, Zagreb)
Ivica Prlić (IMI, Zagreb)
Elektromagnetska kupelj
- 12:00 Zaštita okoliša u TE Plomin
- 17:30 Rješavanje problemskih zadataka

Subota, 30. lipnja 2007. godine

Odlazak

Klimatske promjene: prošlost i budućnost

Mladen Juračić

Geološki odsjek, PMF Zagreb

mjuracic@geol.pmf.hr

Danas se o klimatskim promjenama puno piše i govori. Česti su senzacionalistički naslovi u novinama o predstojećoj klimatskoj katastrofi, međutim i mnogi znanstvenici upućuju na mogućnost znatnih promjena klime djelovanjem čovjeka. U ovom izlaganju pokazat ćemo neke relevantne podatke koji kazuju o znatnim klimatskim promjenama tijekom duge Zemljine prošlosti, te pokušat ukazati na smjer promjena klime u bliskoj budućnosti.

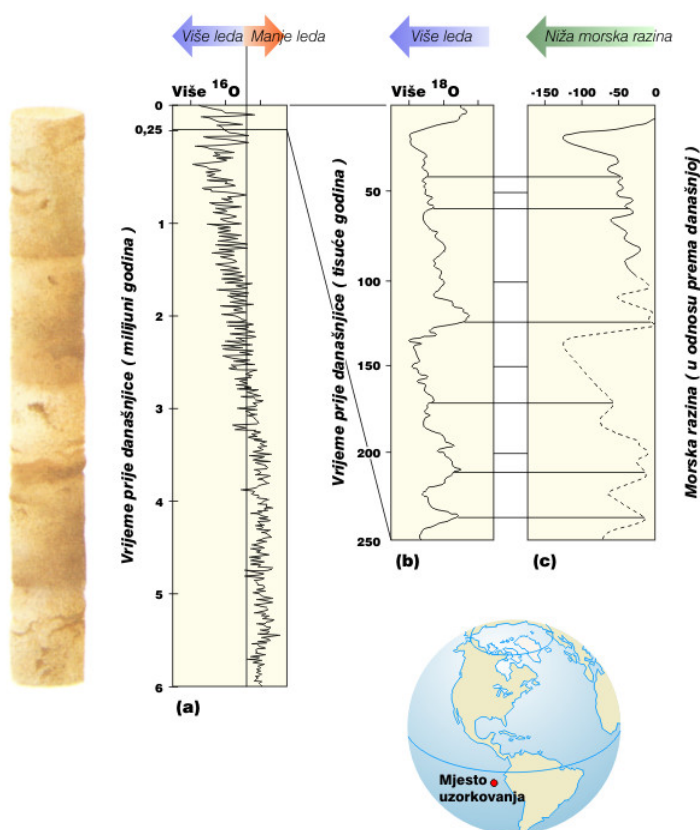
O čemu ovisi klima na Zemlji? Ovisi o količini sunčeve radijacije koja dolazi do površine Zemlje, a izražava se u Wm^{-2} . Razlike u primljenoj količini radijacije uzrokuju klimatsku zonaciju, pa na Zemlji razlikujemo tropsku, suptropsku, umjerenu, i polarnu klimatsku zonu. Atmosfera kao tanki plinoviti omotač sa svojim stakleničkim plinovima uzrokuje da je prosječna temperatura površine Zemlje oko 15°C . Staklenički plinovi (vodena para, CO_2 , CH_4 , NO_x ...) koji adsorbiraju povratno zračenje Zemlje uzrokuju da je Zemlja ugodna za život. Bez utjecaja stakleničkih plinova prosječna temperatura zemljine površine bila bi 20 - 30°C niža. Osim njih, klimu reguliraju i prašina prisutna u atmosferi, raspored kontinenata i oceana na površini Zemlje te intenzitet Sunčeva zračenja. Mogu li se mijenjati i kako sastav atmosfere, koncentracija prašine, raspored kontinenata i/ili intenzitet sunčeva zračenja? Kako se to može otkriti? Tako da se поближе prouči kako se klima Zemlje mijenjala u prošlosti. A kako se može otkriti kakva je bila klima prije recimo 20.000, 100.000 ili 70.000.000 godina?

Naravno, istražujući sedimente koji su se taložili tijekom geološke prošlosti u kojima su zapisane promjene klime, dok su „nedavne“ promjene (u posljednjih 800.000 godina) zapisane su u ledenim pokrovima Antarktike i Grenlanda.

Kako su klimatske karakteristike „zapisane“ u sedimentima ili ledu? Na mnogo načina kao na primjer raznolikošću fosila koje nalazimo u sedimentu, vrsti sedimenta, a o temperaturi nekadašnjih mora puno se može saznati na temelju izotopskog sastava kisika prisutnog u biogenim sedimentima ili ledu. Na temelju omjera izotopa kisika ^{18}O i ^{16}O u jezgri sedimenta iz Pacifika koji su taloženi posljednjih 6 milijuna godina (Sl. 1, iz Juračić 2006) pokazalo se kako se mijenjala temperatura u tom razdoblju. Pregled procijenjene srednje temperature površine Zemlje kroz cijelu geološku prošlost (Sl. 2, prema Coe et al., 2002) pokazuje da je tijekom većeg dijela zemljine prošlosti bilo toplije nego danas, ali i to da su postojala razdoblja kad je bilo znatno hladnije (coldhouse – ledenica!). Za bližu geološku prošlost (pleistocen, posljednjih oko 1,8 Ma) karakteristične su izrazite klimatske oscilacije, te puno dulja hladna razdoblja (glacijali) od toplih (interglacijali). Danas se

smatra da je glavni uzrok tim izrazitim klimatskim oscilacijama tijekom pleistocena ciklička promjena orbitalnih parametara Zemlje (kut nagiba osi rotacije Zemlje, precesija osi rotacije, te promjena ekscentriciteta zemljine orbite oko Sunca). To je poznata Kroll-Milankovićeva teorija uzroka pleistocenskih klimatskih oscilacija. Naime zbog trenutnog rasporeda kontinenata i oceana, smatra se da postoji jedno „osjetljivo“ područje na kontinentima (oko 60° sjeverne geografske širine) u kojem male promjene intenziteta sunčeve radijacije uzrokovane promjenom orbitalnih parametara dovode do nakupljanja ili otapanja leda.

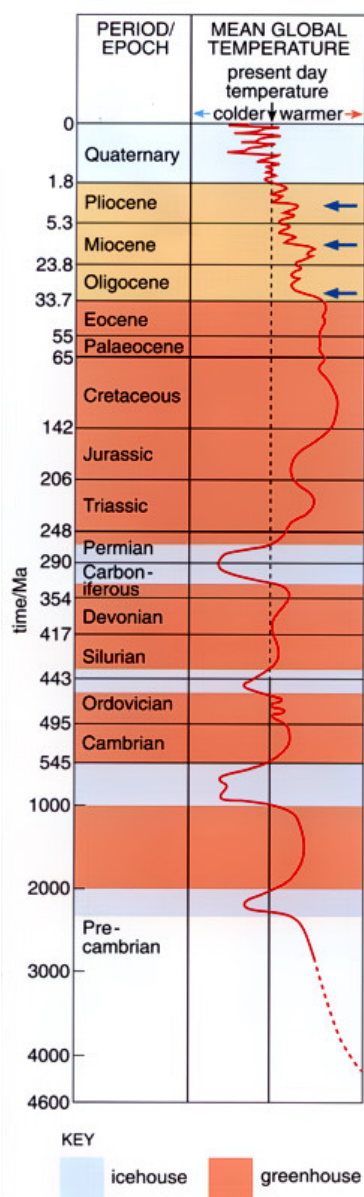
ODNOS $^{16}\text{O} / ^{18}\text{O}$ U SEDIMENTU JEZGRE U PACIFIKU



Slika 1. Promjene izotopskog sastava kisika u jezgri sedimenta iz Pacifika koji su taloženi posljednjih 6 milijuna godina.

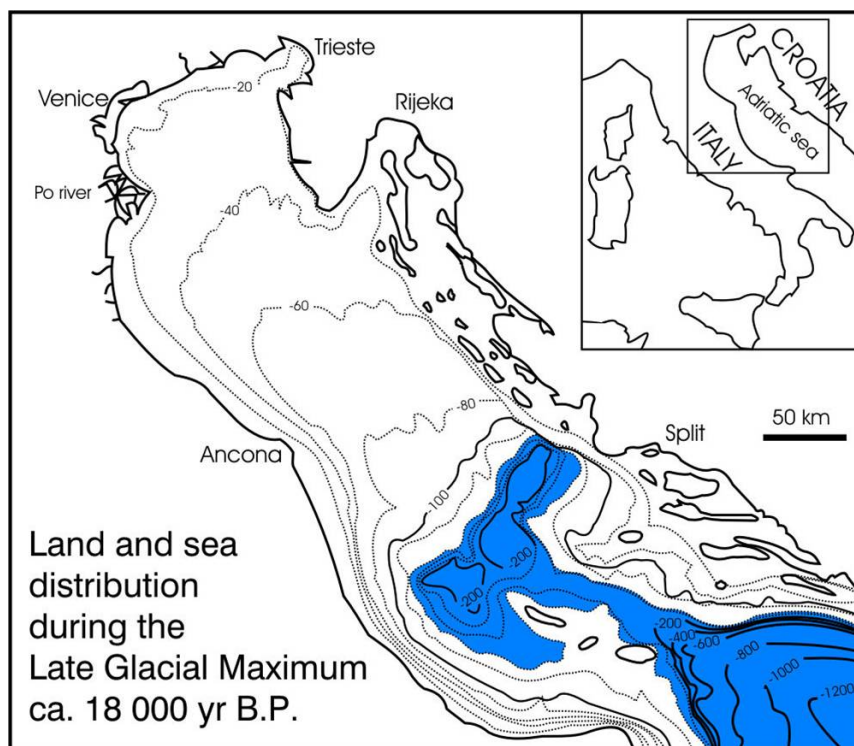
Kako se klimatske promjene odražavaju na Zemlju? Prvenstveno tako da se nakupljaju ili otapaju veliki ledeni pokrovi na kontinentima u većim geografskim širinama, a zbog toga pada ili raste morska razina. Tako je procijenjeno da je tijekom zadnjeg glacijalnog maksimuma (prije 30.000 do prije 19.000 godina) na kopnu bilo akumulirano oko $69 \times 10^3 \text{ km}^3$ leda (u usporedbi s današnjih oko $14 \times 10^3 \text{ km}^3$), te je zato morska razina bila niža za oko 125 m (Lambeck et al., 2002). To je bio uzrok da je Jadransko more tada bilo puno manje no što je danas (Sl. 3, prema Correggiari et al. 1996).

Detaljna proučavanja ledenih jezgri i mjehurića zraka očuvanih u ledu pokazala su izrazitu korelaciju temperature zemljine atmosfere i koncentracije CO_2 i CH_4 (Sl. 4). U doba glacijala koncentracija CO_2 u atmosferi bila je oko 200 ppm, a u doba interglacijala oko 270 ppm.



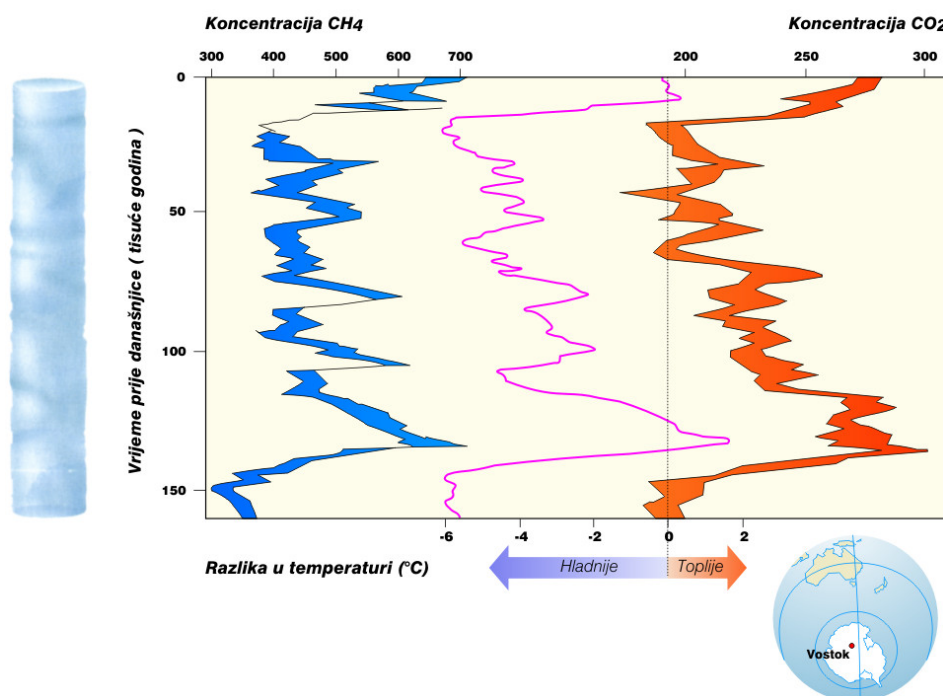
Slika 2. Promjene srednje temperature Zemlje kroz geološku prošlost

Od kraja pedesetih godina prošloga stoljeća kontinuirano se prati koncentracija CO₂ u atmosferi i bjelodano se vidi kontinuirani porast koncentracije (Sl. 5, prema Juračić, 2006). Koncentracija CO₂ od predindustrijskih 270 ppm porasla je na današnjih oko 375 ppm. Osnovni uzrok tom kontinuiranom porastu atmosferske koncentracije CO₂ je ubrzano spaljivanje fosilnih goriva (ugljen, nafta, zemni plin) u posljednjih stotinjak godina, a koji su se u Zemljinoj kori akumulirali milijunima godina. Logično je zaključiti da će porast koncentracije stakleničkih plinova dovesti do daljnjeg porasta površinske temperature Zemlje i promjene klime. Procjene o veličini i brzini promjene znatno se razlikuju. Dio istraživača smatra da je mogućnost samoregulacije Zemlje (puferski kapacitet negativna povratna sprega) dovoljno velik tako da ne treba očekivati velike klimatske promjene, dok drugi dio smatra da bi moglo doći do prijelaza u drugačije klimatsko stanje („run-away“ efekt, pozitivna povratna sprega).

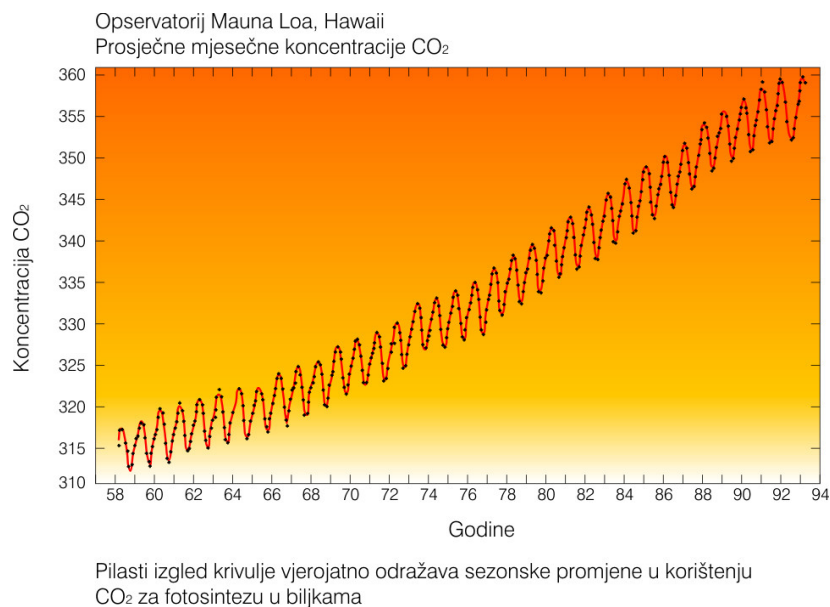


Slika 3. Izgled Jadranskog mora na kraju posljednjeg glacijalnog maksimuma (LGM)

LEDENA JEZGRA POSTAJA VOSTOK (ANTARTIKA)



Slika 4. Promjene koncentracije CO_2 i CH_4 i temperature zemljine atmosfere u posljednjih 150.000 godina na temelju istraživanja ledene jezgre.



Slika 5. Kontinuirani porast koncentracija CO₂ u atmosferi od 1958 godine.

Literatura:

- Coe, A., Bosence, D., Church, K., Flint, S., Howell, J., & Wilson, C. (2002): The Sedimentary Record of Sea-Level Change. The Open University, Milton Keynes, 285 p.
- Correggiari, A., Roveri, M., & Trincardi, F. (1996): Late Pleistocene and Holocene Evolution of the North Adriatic Sea. *Il Quaternario*, 9/2, 697-704.
- Juračić, M. (2006): <http://geol.gfz.hr/Juracic/predavanja/index.html>
- Lambeck, K., Esat, T.M., & Potter, E.-K. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419, 199-206.

Razvoj fizičke oceanografije: od analize do prognoze

Mirko Orlić

Geofizički odsjek, PMF Zagreb

orlic@irb.hr

Uvod

Ovaj je prikaz fizičko-oceanografskih aktivnosti organiziran oko dvije riječi – analiza i prognoza. Osnova za analizu su istraživačka krstarenja na kojima se prikupljaju najrazličitiji podaci, naknadna obrada prikupljenih podataka te njihova usporedba s rezultatima modeliranja. Metodološki pristup prognozi razlikuje se prvenstveno u tretiranju vremena: podaci moraju biti dostupni brzo nakon što su mjerenja obavljena, a numerički modeli koji se koriste u prediktivne svrhe moraju dati rezultate prije nego se promatrana pojava dogodi u prirodi. Transformacija fizičke oceanografije od discipline koja se bavi isključivo analizom u područje u kojem se kombiniraju analiza i prognoza dogodila se u svijetu tijekom proteklih dvadesetak godina. Ta je transformacija bila potaknuta različitim procesima u moru koji zbog svog utjecaja na ljude iziskuju najavu.

Jedan takav proces jest jako zagrijavanje ekvatorskog Pacifika, tj. pojava koja je poznata pod nazivom *El Niño*, kao i njen znatni utjecaj na globalne meteorološke prilike. Veliki *El Niño* iz 1982/1983. godine nastupio je bez ikakve najave, premda su znanstvenici znali da ga uzrokuje međudjelovanje atmosfere i mora (unutarnji valovi u moru dovode do početnog zagrijavanja mora, zbog toga pasati oslabe, to dovodi do daljnjeg zagrijavanja mora, itd.). Pristupilo se stoga organiziranju operativne prognostičke službe: u Pacifiku je uspostavljena mreža postaja, na usidrenim plutačama i na otocima, s koje se podaci svakodnevno dostavljaju u istraživačke centre, stalno se provodi snimanje sa satelita, a modeli atmosfere i mora su tako prilagođeni da – uzimajući u obzir recentne podatke – omogućuju izradu višemjesečnih prognoza. Opravdanost ulaganja u novi sustav najjasnije se pokazala prilikom sljedećeg velikog *El Niña*, onog iz 1997/1998. godine, koji je bio uspješno prognozirani nekoliko mjeseci unaprijed.

Drugi proces je disperzija naftnih mrlja u moru. Za prognozu tog procesa potrebna je mreža automatskih meteorološko-oceanografskih postaja, satelitske snimke te modeli koji omogućuju proračun osnovnih oceanografskih parametara – kao što su temperatura, salinitet i struje – i simulaciju širenja zagađivala u moru. Potrebu za takvim sustavom aktualizirao je tanker *Prestige*, koji je 2002. godine doživio havariju u blizini španjolske obale. Tamošnje su vlasti odlučile da ga odvuču na otvoreno more, ne konzultirajući istraživačke institucije. Tijekom operacije tanker je potonuo zbog loših vremenskih prilika i nepovoljnog stanja mora, a naftna mrlja

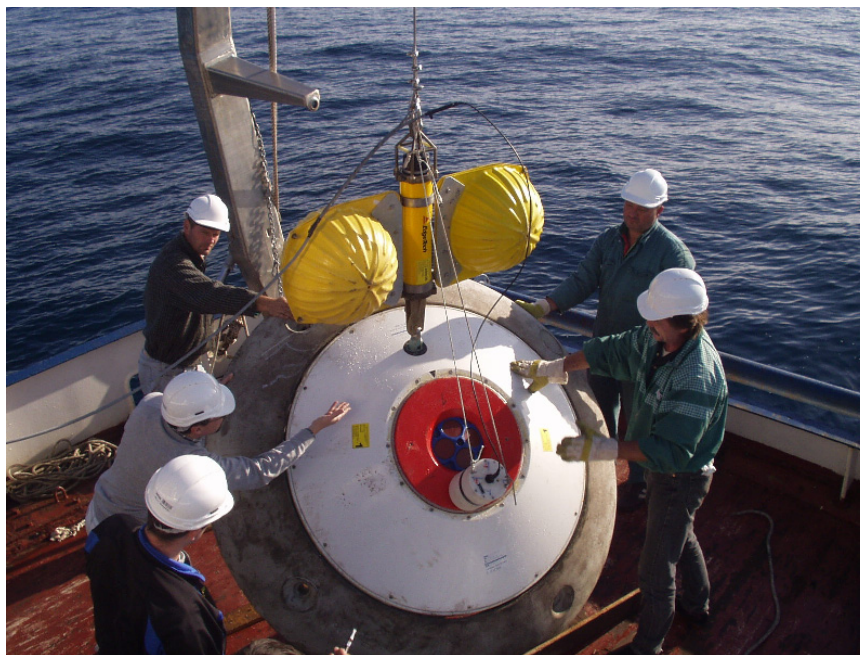
koja je strujama bila prenesena do obale izazvala je znatno veće zagađenje nego što bi se dogodilo da je tanker bio zadržan uz obalu. Slike španjolske obale prekrivene naftom obišle su svijet, ozbiljno upozoravajući sve obalne države na opasnost od havarija i potrebu da se za njih pripreme.

Još jedan proces je nastanak *tsunamija* uslijed djelovanja podmorskog potresa i njegovo širenje morem. Zahvaljujući činjenici da je val u moru sporiji od seizmičkih valova koji nastaju istovremeno kad i val u moru, na *tsunami* se može upozoriti na mjestima koja su udaljena od izvorišnog područja. Nekoliko desetaka minuta nakon potresa seizmološke postaje širom svijeta već raspolažu osnovnim podacima o potresu. Ako se pokaže da je potres bio podmorski, na maloj dubini, te da mu je magnituda bila znatna, provjerava se na osnovi oceanografskih mjerenja da li je došlo do pojave *tsunamija*. Ukoliko oceanografske postaje potvrde da je nastao val u moru, može se izdati upozorenje. Na tom su principu bili razvijeni različiti probni sustavi obavješćivanja u području Pacifika, a najefikasniji se sustav u tom bazenu počeo uspostavljati 1990-ih godina. *Tsunami* koji se 2004. godine dogodio u Indijskom oceanu na dramatičan je način upozorio da je takav sustav potreban i u drugim područjima.

Kakva je situacija u Hrvatskoj? Fizičko-oceanografske analize provode se kod nas tijekom dugog niza godina. Razmišljalo se i o prognozi, ali do nedavno za to nisu postojali uvjeti. Situacija se promijenila dobrim dijelom zahvaljujući međunarodnoj suradnji, koja je tijekom proteklih desetak godina omogućila da se oceanografske analize osuvremene te da se po prvi put pokuša s izradom oceanografskih prognoza [1-4].

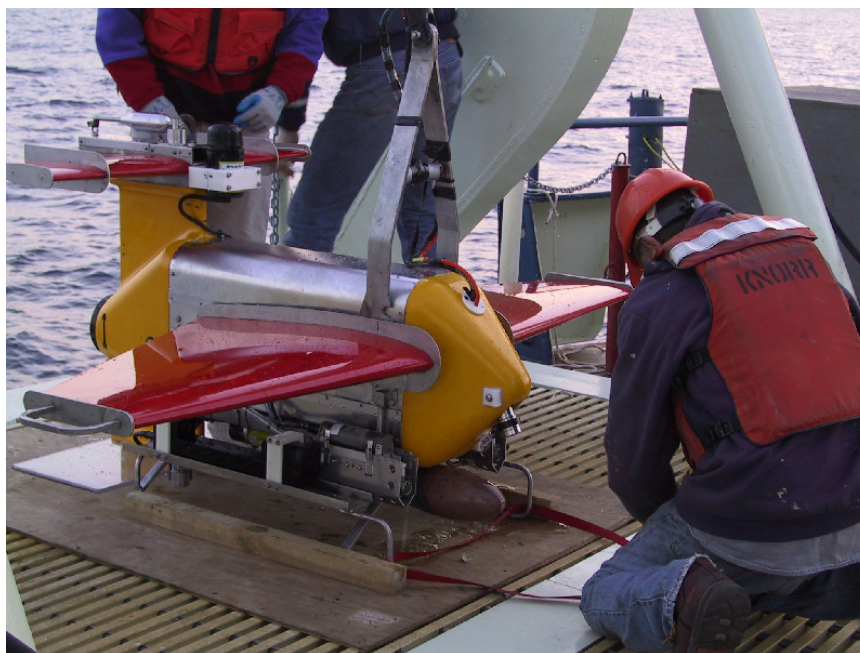
Novi pristupi istraživanju Jadrana

Znatan poticaj analizi fizikalnih procesa u Jadranu dali su hrvatsko-američki projekti. Za potrebe jednog od tih projekata nabavljeni su suvremeni strujomjeri (slika 1). Takvi se instrumenti postavljaju na dno mora, te mjere Dopplerov pomak zvučnih valova koji se emitiraju prema površini i, nakon refleksije na raznim dubinama, vraćaju prema instrumentu. Njihovo postavljanje i dizanje vrlo je zahtjevna operacija, pa je naš istraživački brod *Bios* za tu svrhu morao biti opremljen novom krmenom sohom i novim vitlom. Velika prednost suvremenih strujomjera jest da ih ribari ne mogu ugroziti svojim mrežama, što je bio čest slučaj s klasičnim instrumentima. Posljedično, u nas su po prvi put mogla biti obavljena neprekidna, dugoročna mjerenja struja. Ona su, zajedno s istovremenim mjerenjima hidrografske i meteorološke parametara, izvršena na poligonu ispred Dugog otoka od studenoga 2002. do lipnja 2003. godine. Eksperiment se prvenstveno bavio Istočno-jadranskom strujom koja, kako je dobro poznato, teče uz hrvatsku obalu. Analiza prikupljenih podataka pokazala je da ta struja nije konstantna niti da se jednostavno mijenja između zime i ljeta, kao što se do sada vjerovalo, već da je podvrgnuta višemjesečnim pulsacijama [5].



Slika 1. Postavljanje suvremenog strujomjera s istraživačkog broda *Bios* u studenom 2002. godine.

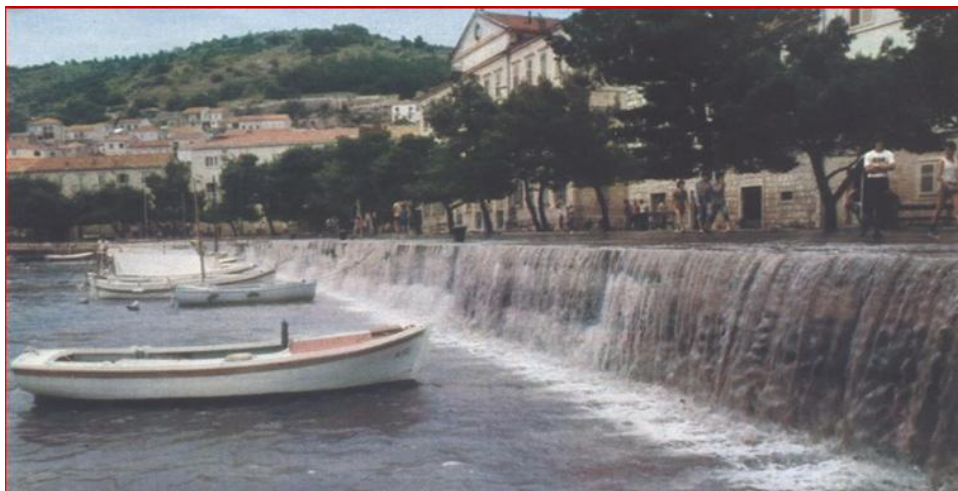
Valja reći da je istovremeno sa spomenutim hrvatsko-američkim projektima ostvareno i nekoliko inozemnih projekata u Jadranu. Posebno su se zanimljivima pokazala krstarenja američkog istraživačkog broda *Knorr*, koji se svojedobno proćuo kad je s njega bio otkriven potonuli *Titanic*, kao i krstarenja njemačkog istraživačkog broda *Alliance*. Riječ je o velikim istraživačkim brodovima, a to znači da su se istraživanja mogla obavljati i po nepovoljnim vremenskim uvjetima što nije moguće znatno manjim hrvatskim brodovima. Kao primjer valja spomenuti da je *Knorr* proveo u Jadranu gotovo čitavu veljaću 2003. godine, radeći na otvorenom moru i za vrijeme olujne bure. Mjerenja su, između ostaloga, vršena undulatorom (slika 2), instrumentom koji se tegli iza broda te se naizmjenice spušta i diže i kojim je u kratko vrijeme moguće obaviti premjer osnovnih svojstava mora na velikom području uz visoku prostornu rezoluciju. To su bila prva takva mjerenja u Jadranu, a svrha im je bila dokumentirati nastajanje guste vode u sjevernom Jadranu. Dosadašnjim istraživanjima pokazalo se da se takva voda formira zimi, pod utjecajem bure koja dovodi do hlađenja mora i isparavanja s površine mora. Posljedično, javlja se silazno, konvektivno strujanje u moru te pojačava površinsko dotjecanje vode u Jadran i pridreno istjecanje vode iz Jadrana. Proces je sličan onome koji nastaje kad se zimi otvori prozor ugrijane prostorije: dolje ulazi hladni zrak, gore izlazi topli. I kao što taj proces dovodi do provjetravanja sobe, tako stvaranje guste vode pomaže pročišćavanju mora. U literaturi prevladava mišljenje da se gusta voda u sjevernom Jadranu formira na jednom mjestu tijekom jedne epizode jake bure. Analizom podataka prikupljenih s *Knorra* definitivno je pokazano da se taj proces ne odvija na jednom mjestu nego barem na dva te da se ne zbiva jednokratno nego tijekom niza epizoda za kojih nad morem puše bura [6].



Slika 2. Na krmi *Knorra* undulator se priprema za rad.

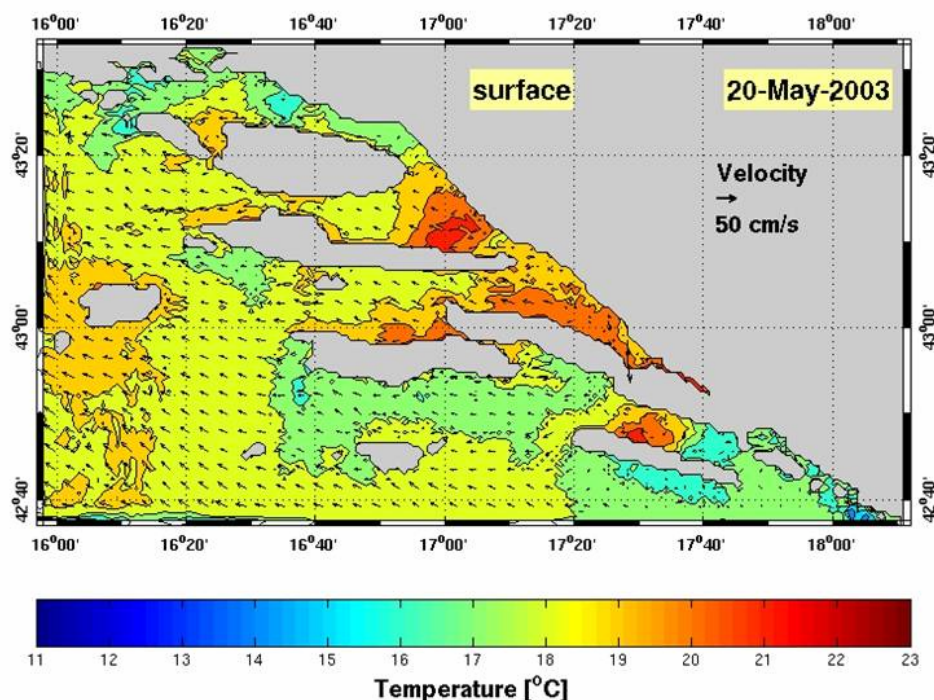
Operacionalizacija hrvatske oceanografije

Prvi korak prema organiziranju operativne prognostičke službe za more jest uspostavljanje meteorološko-oceanografskih postaja koje omogućuju dostavljanje podataka centrali ubrzo nakon što su zabilježeni te osiguravanje pristupa satelitskim snimkama. Taj je korak u nas načinjen zahvaljujući jednom hrvatskom i jednom europskom projektu. Između ostalog, mareografi – instrumenti koji bilježe kolebanje morske razine – opremljeni su analogno-digitalnim pretvaračima i uključeni u operativni oceanografski sustav. Ubrzo nakon što su modernizirane mareografske postaje, tj. 27. lipnja 2003. godine, dogodile su se poplave u Starogradskom i Malostonskom zaljevu. Poplave su odmah podsjetile na sličnu pojavu koja se zbila 21. lipnja 1978. godine u Velolučkom zaljevu, kad je raspon oscilacija morske razine iznosio čak 6 metara (slika 3). Tada je bilo zaključeno da su pojave uzrokovane putujućim poremećajem atmosferskog tlaka, te da relativno slabo razvijen atmosferski val izaziva jako izraženo gibanje u moru zbog rezonantnog prijenosa energije iz atmosfere u more. Međutim, podaci koji su bili dostupni prije četvrt stoljeća nisu omogućili detaljnu provjeru tog zaključka. Zahvaljujući digitalnim podacima s moderniziranih mareografskih postaja, kao i kvalitetnim podacima s obližnjih meteoroloških postaja, istraživanje novog slučaja poplava definitivno je potvrdilo da se radi o rezonantnom povezivanju atmosfere i mora. Osim toga, razvijen je numerički model koji je uspješno reproducirao zabilježene vodostaje i struje te ujedno jasno razlučio dva rezonantna procesa – jedan na otvorenom moru i drugi u obalnim bazenima [7]. Kombinirani efekt u svjetskoj se literaturi unatrag desetak godina naziva *dvostrukom rezonancijom*, a prethodno je opažen u Japanu te na Balearskim otocima.



Slika 3. Izuzetne oscilacije morske razine dovele su u Veloj Luci u lipnju 1978. godine do pojave vodopada.

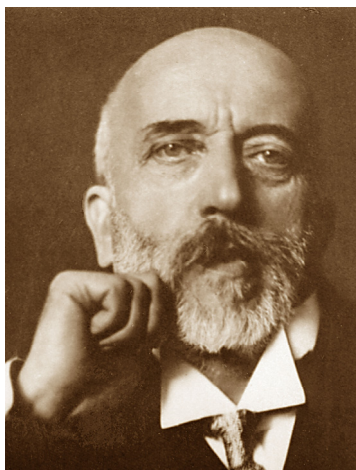
Modernizacija eksperimentalnog rada predstavlja osnovu za razvoj prognostičkog sustava. Da bi se prognozirala kolebanja morske razine i struja te istovremene promjene temperature i saliniteta, koji su pod jakim utjecajem atmosfere i stoga imaju stohastički karakter, potreban je složeni sustav modela za atmosferu i more te stalna dostupnost podataka koji će osigurati da se modeli ne udalje od stvarnosti. Prvi pokušaji prognoze načinjeni su u nas u okviru jednog hrvatsko-slovensko-talijanskog projekta. Prognoze su rađene u razdoblju od 1. travnja do 30. rujna 2003. godine, a obuhvatile su cijeli Jadran s grubljom rezolucijom te dva manja područja – sjeverni Jadran i splitski arhipelag – s finijom rezolucijom [8]. Projekt je imao dvije osnovne komponente. Jedna od njih bila je posvećena mjerenju: svakog tjedna registrirani su hidrografski parametri na četiri mreže postaja, od čega su dvije bile u hrvatskim obalnim vodama, te su podaci odmah dostavljani u prognostički centar gdje su zajedno sa satelitskim podacima asimilirani u modele. Drugu je komponentu činilo prognoziranje modelima, pri čemu su uzimane u obzir meteorološke prognoze, početni uvjeti dobiveni asimilacijom podataka u modele te rubni uvjeti dobiveni modeliranjem šireg područja odnosno preuzeti iz hidroloških baza podataka. Prognoze – prve koje su ikad načinjene za hrvatsko obalno područje – svakog su tjedna bile objavljivane na internetskim stranicama projekta (slika 4). Njihova usporedba s podacima ukazala je na neke probleme, napose na potrebu za uključivanjem hidrologa u operativni sustav, ali i na potencijalnu veliku korist prognoza – posebno kad su u pitanju klimatske promjene, poremećaji u morskom hranidbenom lancu, sigurnost plovidbe, obrana od poplavljanja ili pak zaštita od zagađenja.



Slika 4. Prognoza površinske temperature mora (boja) i struja (strelice) načinjena za 20. svibnja 2003. godine.

Literatura

- [1] <http://www.gfz.hr>
- [2] <http://www.izor.hr>
- [3] <http://www.hhi.hr>
- [4] <http://www.irb.hr>
- [5] M. Orlić, V. Dadić, B. Grbec, N. Leder, A. Marki, F. Matić, H. Mihanović, G. Beg Paklar, M. Pasarić, Z. Pasarić and I. Vilibić: Wintertime buoyancy forcing, changing seawater properties, and two different circulation systems produced in the Adriatic. *Journal of Geophysical Research* 112, C03S07, 2007, doi: 10.1029/2005JC003271.
- [6] M. A. Jeffries and C. M. Lee: A climatology of the northern Adriatic Sea's response to bora and river forcing. *Journal of Geophysical Research* 112, C03S02, 2007, doi: 10.1029/2006JC003664.
- [7] I. Vilibić, N. Domijan, M. Orlić, N. Leder and M. Pasarić: Resonant coupling of a traveling air pressure disturbance with the east Adriatic coastal waters. *Journal of Geophysical Research* 109, C10001, 2004, doi: 10.1029/2004JC002279.
- [8] N. Pinardi, M. Orlić and V. Dadić (Eds.): The ADRICOSM pilot project. *Acta Adriatica* 47 (Suppl.), 2006, 1-266.



Andrija Mohorovičić – univerzalni geofizičar i velikan hrvatske znanosti

Marijan Herak

Geofizički odsjek, Geofizički zavod A. Mohorovičića
PMF Zagreb
herak@irb.hr

Andrija Mohorovičić, geofizičar svjetskog glasa i jedan od najvećih hrvatskih znanstvenika svih vremena, rodio se prije 150 godina, 23. siječnja 1857, u Voloskom kraj Opatije. Studij matematike i fizike u Pragu upisao je 1875. Po završenom studiju predavao je na gimnazijama u Zagrebu i Osijeku, te na Nautičkoj školi u Bakru. 1892. g. postaje upraviteljem Meteorološkog opservatorija na Griču. Za doktora filozofije promoviran je na zagrebačkom Sveučilištu 1893, a 1910. godine postaje naslovnim izvanrednim sveučilišnim profesorom, te na Mudroslovnom fakultetu predaje kolegije s područja geofizike i astronomije. 1893. postaje dopisni, a 1898. pravi član Akademije. Umro je 1922., a umro je u Zagrebu 1936.

U početku svoje karijere Andrija Mohorovičić bavi se meteorologijom. Rad usmjeruje na tri područja – znanstveno tumačenje pojedinih meteoroloških pojava, ujedinjavanje i vođenje čitave meteorološke službe tadašnje Hrvatske i Slavonije, te proširivanje aktivnosti opservatorija i na ostala područja geofizike, posebno na seizmologiju. Od meteoroloških se radova posebno ističu oni o opažanju oblaka i cirkulaciji zraka, o tornadu kod Novske i Čazme, te o klimi Zagreba. Nedavno je otkriveno da je Mohorovičić prvi opisao atmosferski rotor s horizontalnom osi, kakav se povremeno formira i pri puhanju bure na sjevernom Jadranu. Iako je članak o tome izašao 1889. u jednom od vodećih meteoroloških časopisa toga vremena, te je odmah preveden i na engleski, tijekom 30-ih godina 20. stoljeća prestao se citirati te je bio praktički zaboravljen. Njegov pogled na budućnost meteorologije te jasnoću vizije otkriva citat iz 1901. godine: »...Konačni zadatak meteorologa jest, da postavi diferencijalne jednadžbe gibanja zraka, te kao integral dobije općenito kolanje atmosfere, a kao partikularne integrale i ciklone, anticiklone i tornade i nevrijeme sa grmljavinom...«. Ovo je sjajan opis suvremene vremenske prognoze, a za rješavanje spomenutih jednadžbi danas se koriste najsnažnija računala na svijetu. Početkom 20. stoljeća to je bilo posve nezamislivo, čak izvan okvira znanstvene fantastike! Mohorovičić je 1893. započeo i s objavljivanjem vremenske prognoze u dnevnim novinama.

Oko prijelaza 19. u 20. stoljeće Mohorovičićev znanstveni interes okreće se gotovo isključivo problemima seizmologije u kojoj stječe svjetsku slavu. Zašto se to dogodilo danas sa sigurnošću ne znamo – možemo samo nagađati da je intenzivna seizmička aktivnost oko Zagreba krajem 19. st. zainteresirala njegov znatiželjan um. Na sreću, postojao je i formalni okvir u koji se mogao uklopiti, jer je nakon velikog zagrebačkog potresa 1880. godina Akademija osnovala svoj Potresni odbor u čiji se rad Mohorovičić kasnije aktivno uključio. 1906. godine u podrumu Meteorološkog opservatorija instalirao je prvi suvremeni seizmograf (Vicentini-Konkoly) kojega je na posudbu dobio iz Budimpešte, čime je osnovao zagrebačku seizmološku postaju koja bez prekida radi još i danas. Vrlo brzo Mohorovičić je shvatio da su konstrukcijska ograničenja toga seizmografa prevelika, pa je nabavio tada najbolje instrumente Wiechertove konstrukcije s masama njihala od 80 i 1000 kg. Tada piše: *»...Tim smo dostigli sve bolje opservatorije srednje Europe, a bilo bi se i više učinilo, da je bilo mjesta, kamo bi se smjestili daljnji instrumenti...«.*

Analizom seizmograma pokupskog potresa od 8. listopada 1909. koje su zapisali novi seizmografi (kao i onih sa mnogih europskih postaja) Mohorovičić je posebno unaprijedio spoznaje o mehanizmu rasprostiranja valova blizih potresa kroz Zemlju. Tom prilikom prvi je u svijetu dokazao da u unutrašnjosti Zemlje mora postojati ploha diskontinuiteta brzina potresnih valova za koju danas znamo da odjeljuje koru od Zemljina plašta. Njemu u čast ta je ploha nazvana Mohorovičićevim diskontinuitetom, a njegovo je postojanje potvrđeno na čitavoj Zemlji. Ovo je otkriće bez sumnje najvažnija znanstvena spoznaja ikada objavljena u jednom hrvatskom časopisu, a Mohorovičića svrstava među osnivače suvremene seizmologije. Ono se smatra i jednim od ključnih znanstvenih dosega 20. stoljeća, te najbolje potvrđuje njegovo viđenje seizmologije kao discipline koja spaja fiziku s geologijom: *»...Zadatak je seizmologije, da prouči unutrašnjost Zemlje i da nastavi ondje, gdje geolog prestaje, a ima u modernim seizmografima neku vrst dalekozora, kojim može posmatrati najveće dubine...«.* Mohorovičićev doprinos seizmologiji time nije iscrpljen – spomenimo samo eksponencijalni zakon porasta brzine elastičkih valova s dubinom, elegantnu metodu lociranja epicentra potresa, te postupak određivanja ukupnog trenja kod seizmografa. Bio je također među prvima koji su shvatili važnost protupotresne gradnje, kao jedinog načina zaštite od potresa. O tome je govorio 1909. u Hrvatskom društvu inženjera i arhitekata, kojima tumači kako seizmolog i graditelj prije svega treba teoretski proučiti *»...kako djeluje gibanje zemlje na zgrade, te da na osnovu rezultata toga proučavanja i na osnovu iskustva kod raznih katastrofalnih potresa pokaže putove i načine, kako se imaju graditi zgrade po mogućnosti otporne protiv potresa....«.* I ovdje je ispred svoga vremena, te postavlja osnovne principe koje valja poštivati pri konstrukciji i gradnji u seizmički aktivnim područjima. Posebno se bavi gradom Zagrebom za koji računa statistiku potresa te time postavlja osnove analize seizmičke opasnosti za naš glavni grad, te upozorava *»...da je neophodno potrebno, da se kod gradnje kuća u Zagrebu osobiti obzir uzme na pogibelj od potresa, te da se potroši nešto više, samo da bude zgrada čim sigurnija od potresa...«.*

Već na samom početku svoga bavljenja seizmologijom Mohorovičić je uvidio nužnost poznavanja apsolutnog točnoga vremena. Zato je svoj opservatorij opremio tada najboljim urama njihalicama i kronometrima, čiji je hod pratio uspoređujući njihovo stanje s točnim vremenom koje je određivao opažanjem trenutka prolaska zvijezda kroz lokalni meridijan. Time je u Hrvatskoj uspostavio i službu točnog vremena, koju je Geofizički zavod održavao sve do 90-ih godina prošloga stoljeća.

Opća je odlika djela Andrije Mohorovičića kritičnost u radu. Volio je spajati opažanja s teorijom, ali nikada nije teoriju pretpostavljao motrenju. Kao istinski erudit, osim na hrvatskom objavljivao je na engleskom, njemačkom i francuskom, a govorio je još i talijanski, češki, latinski i starogrčki. Objavio je 40-ak znanstvenih članaka, na kojima je uvijek jedini autor. Ova činjenica nikako ne govori o njegovoj možebitnoj taštini, nego o teškim uvjetima u kojima je radio, te o kroničnom nedostatku suradnika.

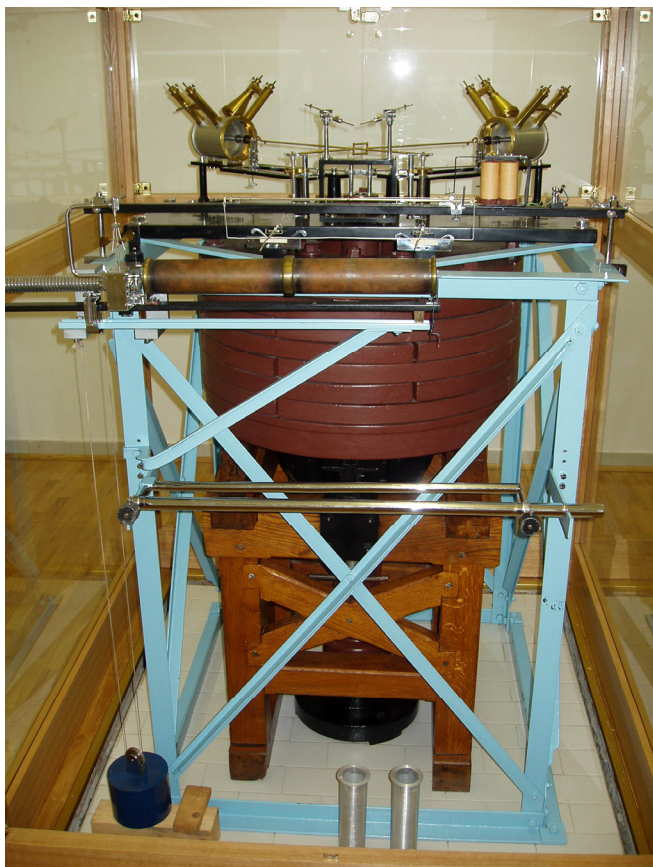
Iako samozatajan, bio je sjajan organizator, pa upravo njemu zahvaljujemo osnivanje seizmološke i meteorološke službe u Hrvatskoj. Zagrebačka je seizmološka škola u svijetu poznata već cijelo stoljeće, a od Mohorovičića potječe i tradicija dodiplomskog seizmološkog obrazovanja po kojoj se zagrebačko Sveučilište izdvaja među malobrojne u svijetu. Njegove misli i ideje bile su istinski vizionarske i došle su do izražaja često tek desetljećima kasnije (djelovanje potresa na zgrade i protupotresna gradnja, iskorištavanje energije bure, modeli Zemlje i atmosfere, duboki potresi, obrana od tuče...). Godine 1970. njemu u čast nazvan je i krater polumjera 55 km na tamnoj strani Mjeseca, a 1996. g. i asteroid br. 8422. U najnovije vrijeme njegovim se imenom naziva i diskontinuitet između kore i plašta na Mjesecu i Marsu. Geofizički zavod PMF-a u Zagrebu također nosi njegovo ime, kao i gimnazija u Rijeci, osnovna škola u Matuljima, te nekoliko ulica u hrvatskim gradovima, a na rektorskom lancu Sveučilišta u Zagrebu nalazi se i medaljon s Mohorovičićevim likom. U povodu 100. godišnjice osnivanja zagrebačke seizmološke postaje, Geofizički odsjek PMF-a otvorio je 2005. godine Memorijalne prostorije Andrije Mohorovičića, gdje su izloženi unikatni geofizički instrumenti (npr. mehanički Wiechertovi seizmografi, mikrobarograf Sprung-Fuess – jedini preostali primjerak u svijetu), njegov namještaj, pribor, korespondencija, radovi, fotografije i sl. *Andrija Mohorovičić je, kao tek rijetko koji naš učenjak, cijelu znanstvenu karijeru napravio u Hrvatskoj, a svojim je otkrićima zadužio čitav svijet. Time se izdvaja kao najveći hrvatski znanstvenik svih vremena, a svjetski ga geofizičari bez dvojbe uvrštavaju među istaknute velikane znanosti 20. stoljeća.*



Ovu fotografiju A. Mohorovičića snimio je 1926. njegov sin Stjepan, poznati fizičar zaslužan za otkriće pozitronija.



Wiechertovi horizontalni mehanički seizmografi izloženi u Memorijalnoj prostoriji A. Mohorovičića na Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu.



»Veliki horizontal«

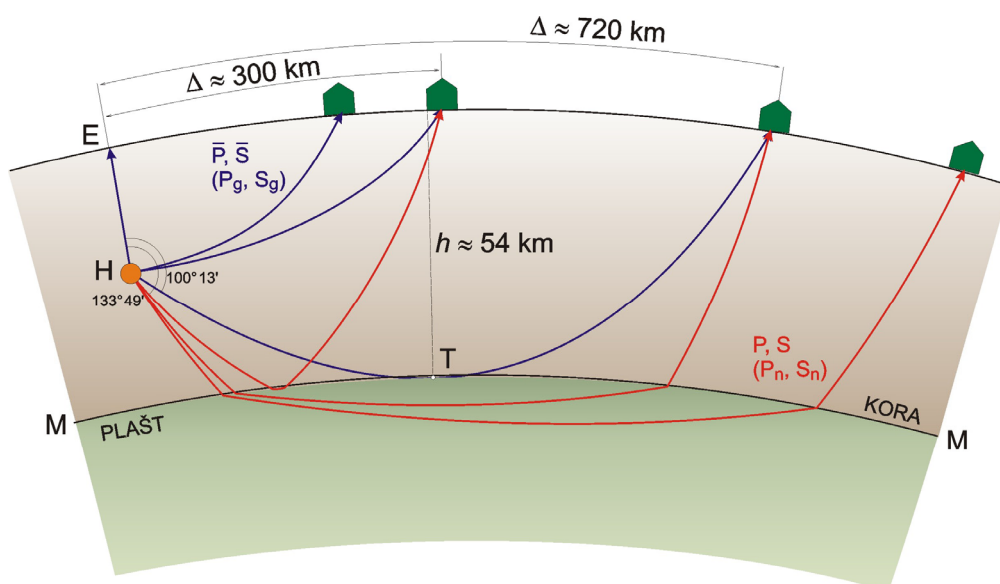
- mehanički seizmograf

Wiechertove konstrukcije s masom njihala od 1000 kg, nabavljen 1909. godine.

Izložen je u posve ispravnom stanju u jednoj od Memorijalnih prostorija

A. Mohorovičića na

Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu.



Shema rasprostiranja valova blizih potresa kroz Zemljinu unutrašnjost. Mohorovičić je zamijetio da na neke seizmološke postaje (koje su na udaljenosti između približno 300 i 720 km od epicentra (E) potresa) stižu po dva longitudinalna (P) i transverzalna (S) vala, dok na bliže odnosno dalje postaje stiže samo po jedan. To se moglo objasniti samo tako da se u nekoj dubini pretpostavi postojanje plohe diskontinuiteta (M) na kojoj se elastički valovi lome i odbijaju, pa na postaju stižu i izravni i lomljeni valovi.



Mikrobarograf Sprung-Fuess,

instaliran na Zagrebačkom opservatoriju 1903. godine.

Danas je restauriran i u posve ispravnom stanju.

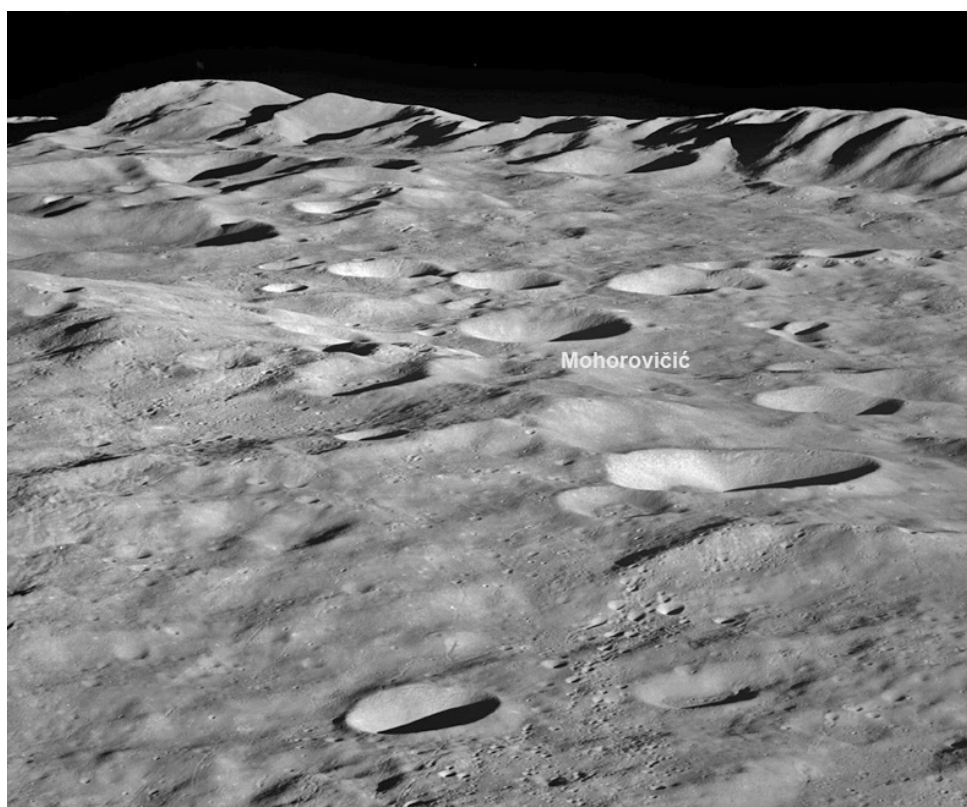
Prema dostupnim podacima, to je jedini preostali primjerak na svijetu. Instrument je izuzetno osjetljiv, te je zapisao promjene tlaka u Zagrebu od atmosferskih nuklearnih eksplozija, kao i od pada čuvenog sibirskog meteora 1908. g.



Detalj Wiechertovog seizmografa – u prvom planu je uređaj za mirenje vlastitih oscilacija njihala.



Ura njihalica Riefler, nabavljena 1905. godine (detalj).



Krater Mohorovičić na tamnoj strani Mjeseca.

Analiza mjerenja u znanostima o okolišu

Stjepan Marčelja

Fakultet prirodoslovno-matematičkih znanosti i kineziologije

Sveučilište u Splitu

marcelja@pmfst.hr

Sažetak

Podatci o raznim veličinama koje opisuju stanja u okolišu ili u geofizici često dolaze u obliku razmjerno kratkih vremenskih nizova, a informacije mogu biti skrivene u šumu koji se stvara zbog pogreške u mjerenju ili nedovoljnog broja uzoraka. Posebno je teško analizirati povijesne podatke koji naravno nemaju istu preciznost kao nova mjerenja.

U predavanju ćemo prikazati nekoliko metoda kojima se može pronaći informacije prisutne u podacima, a primjeri na kojima ćemo raditi su El Nino oscilacije u Južnom Pacifiku i globalni porast razine mora.

Uvod

Tisuće podataka mnogih pokazatelja stanja u okolišu dostupni su na internetu. Moderna instrumentacija sakuplja izvanredno detaljne podatke koje onda voditelji projekata daju na raspolaganje svjetskoj znanstvenoj zajednici. Podatci iz bliske i daleke povijesti, dobiveni analizom raznih indikatora, također su dostupni. Evo par primjera:

National Climatic Data Center (USA): Global Surface Temperature Anomalies

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/anomalies.html>

Met Office Hadley Centre (UK) observations datasets <http://hadobs.metoffice.com/>

University of Colorado at Boulder Sea Level Change

<http://sealevel.colorado.edu/results.php>

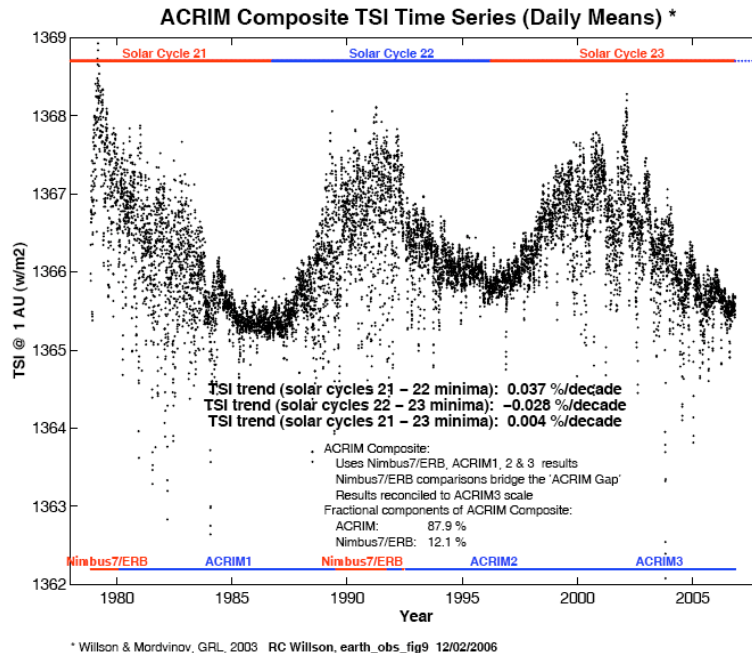
Tropical Atmosphere Ocean project <http://www.pmel.noaa.gov/tao/index.shtml>

Total Solar Irradiance (TSI) Monitoring <http://acrim.com/>

NASA GISS Surface Temperature Analysis <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

Nakon par mjeseci čitanja i studiranja novijih publikacija vidi se da je poznavanje podataka često mnogo bolje nego naša razina razumijevanja problema. Lako dostupna riznica podataka pruža nam mogućnost da se uključimo u igru i pokušamo razumjeti procese koji određuju razvoj klimatskih promjena u prošlosti i budućnosti. Prvi korak u tome je analiza podataka koji opisuju stanja okoliša, tako da bi se informacije koja se nalaze u podacima pokazale u lako uočljivom i razumljivom obliku.

Fizikalni procesi koji određuju ponašanje u okolišu rezultiraju u kontinuiranim promjenama. Mjerenja tih kontinuiranih promjena daju nam diskretni niz podataka, u kojemu su prikazane vrijednosti varijabli svaki sat, dan, mjesec, godinu ili više tisućljeka, ovisno o varijabli i tome koliko smo daleko u prošlosti.

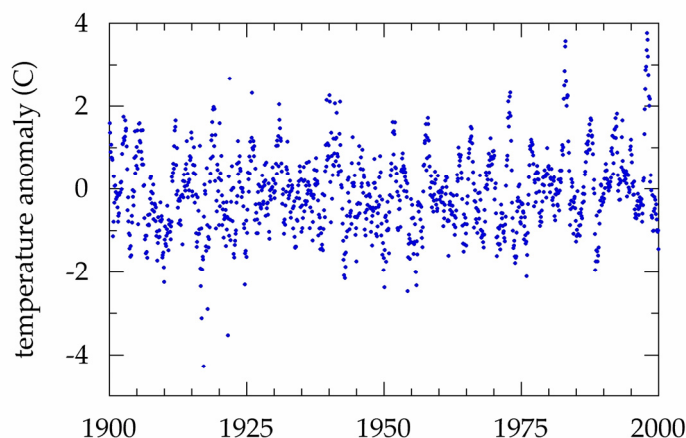


Slika 1. Ukupna snaga zračenja Sunca u razdoblju od kad su započela satelitska mjerenja.

Svaki vremenski niz dobiven mjerenjem sadrži osim vrijednosti veličina i šum koji je rezultat netočnosti u postupku mjerenja ili interpretacije podataka. Lokalne perturbacije u atmosferi ili u oceanu koje su dio prirodnih varijacija također mogu otežati interpretaciju podataka. Kao primjer novih vrhunski točnih podataka u sl. 1 pokazana je ukupna energija u sunčevom zračenju koje stiže na 1 m² površine orijentirane prema suncu na vrhu zemaljske atmosfere ('solarna konstanta', oko 1366 W/m²). Podatke sakuplja ACRIM (Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor) satelit, koji je jedan od niza satelita posvećenih tom zadatku otkad su započela mjerenja.

Solarni ciklus traje oko 11 godina, ciklusi nisu sasvim jednaki a na vremenskoj skali od stotina godina aktivnost se značajno mijenja. Iako nekoliko W/m² ne izgleda velika promjena, varijacije značajno utječu na temperature na Zemlji.

Na slici se odmah vide prvi zadatci u obradi podataka. Iz podataka treba ukloniti šum, ali što je ovdje zapravo šum? To ovisi o odluci na kojoj vremenskoj skali želimo promatrati promjene, jer su mjesečne varijacije zabilježene u podacima nesumnjivo realne a ne rezultat pogreške u mjerenju. Glavni solarni ciklus se jasno vidi, ali postoji li mogućnost za periodičke varijacije na vremenskoj skali od mjeseci? Želimo li iz podataka ukloniti periodičke efekte da bismo dobili dugoročni trend?



Slika 2. Promjena temperature površine mora u Nino3 području tijekom 20. stoljeća

Drugi primjer koji ćemo pogledati je temperature površine oceana u *Nino3* području: 5N-5S, 150W-90W. Ta je temperatura pokazatelj jačine periodičkih El Nino promjena. California, Mexico, Južna Amerika, Indija, Indonezija i Australija nalaze se u području u kojem El Nino varijacija jako utječe na klimu, posebno na količinu oborina. Kad bismo znali predvidjeti količinu oborina u žitnim poljima Australije u slijedećoj sezoni izbjegli bi se veliki gubitci do kojih dolazi kad nakon sjetve žetva zbog suše propadne.

Podatci temperature u *Nino3* području (sl. 2) sugeriraju da u varijacijama postoji kvazi-periodički doprinos na skali 3-5 godina. Da bismo olakšali prognoziranje, pokušajmo izolirati te varijacije.

Na raspolaganju imamo više metoda. Najraširenija je metoda koja koristi Fourierovu transformaciju - prijelaz iz prostora u kojemu fenomen ovisi o vremenu u prostor ovisnosti o frekvencijama. U tom su prostoru doprinosi raznih periodičkih komponenti signala (različite frekvencije) razdvojeni, a vremenska ovisnost je stoga sakrivena.

Naš signal međutim nema striktno periodički doprinos. Varijacije na skali 3-5 g. nisu koherentno povezane, i u duljem razdoblju prosjek bi se reducirao na nulu. Periodičnost se vidi samo ako ne gledamo istovremeno predugo vremensko razdoblje. U predavanju ćemo stoga demonstrirati lokalnu analizu po frekvencijama, služeći se ograničenim vremenskim prozorom kroz koji gledamo na podatke. Propusnost raznih dijelova prozora može se mijenjati da bi se izbjegao efekt oštih rubova na rezultate. Postoje dva standardna načina da se traže doprinosi različitih frekvencija: analizom amplituda harmoničkih komponenti (periodogram) ili analizom snage u svakoj komponenti (snaga je proporcionalna kvadratu amplitude, metoda je onda korelogram).

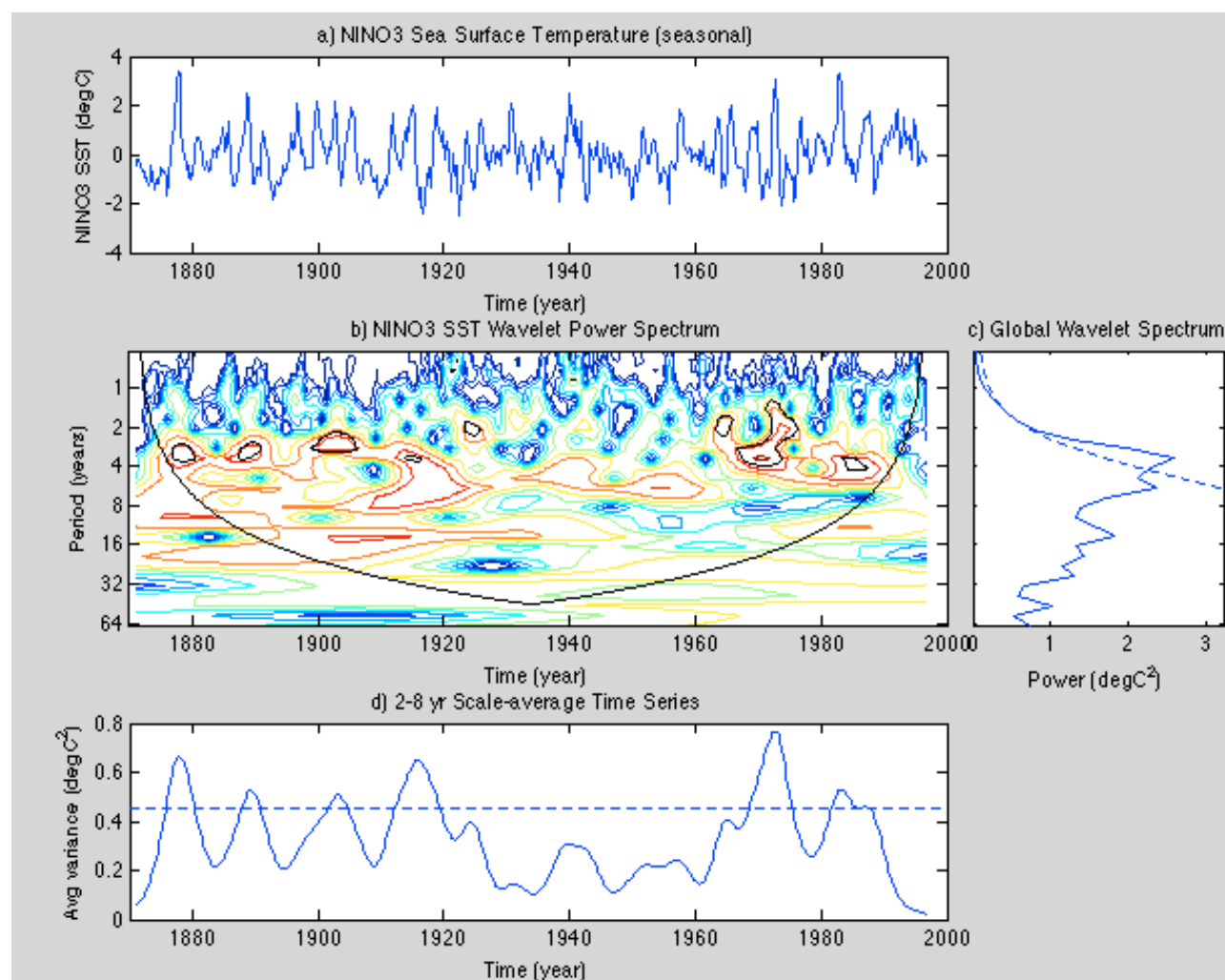
Valići

Jedna od novijih metoda analize upotrebljava prikaz signala kao linearnu sumu valića (engl. wavelets) koji imaju ograničeno trajanje u vremenu i razmjerno dobro definiranu frekvenciju. Postoji mnogo raznih obitelji valića i mi ćemo koristiti Morlet wavelets koji se mogu prikazati kao produkt Gaussove funkcije $\exp[-a(t-t_i)^2]$ i vala

$\sin[\omega_j(t-t_i)]$ ili $\cos[\omega_j(t-t_i)]$. Ovdje t_i i ω_j označavaju trenutak u vremenu i određenu frekvenciju za jedan od valića. Signal se prikazuje kao kombinacija mnogo valića koji se pojavljuju u raznim vremenima s raznim frekvencijama (ili periodima). Znači signal *Nino3* kao funkcija vremena t bit će prikazan kao suma takvih valića, u kojoj je svaki valić pomnožen s odgovarajućim koeficijentom. Sumacija ide preko raznih vremena i raznih frekvencija.

Za demonstraciju koristimo program koji je predstavili Christopher Torrence i Gilbert P. Compo, vidi <http://atoc.colorado.edu/research/wavelets/>.

Primjer analize *Nino3* podataka predstavljen je na sl. 3. Na vrhu (a) vidi se originalni niz koji pokazuje temperature površine mora u *Nino3* sektoru Pacifičkog oceana. U slijedećem dijelu (b) snaga u signalu izražena je kao funkcija vremena (u smjeru x-osi) i frekvencije (u smjeru y-osi, period je $2\pi/\text{frekvencija}$ tako da su valići veće valne duljine su pri dnu slike). Područje ispod crnih linija ne može se uzeti u obzir jer je preblizu početku ili kraju vremenskog niza pa točna analiza nije moguća zbog manjka dijela domene valića.



Slika 3. Analiza temperature površine mora u Nino3 području razvojem u valiće. Detaljni opis je u tekstu.

Vidi se veća snaga signala s periodom 3-5 godina. S desne strane je račun uvjerljivosti analize: samo događaji iznad crtkane linije mogu se pouzdano prihvatiti, ostali događaji mogli su biti rezultat šuma u mjerenju.

Na kraju, u dijelu (d) rekonstruiran je vremenski niz samo sa valićima koji opisuju događaje na vremenskoj skali od 3-5 godina. Vidi se tendencija oscilacija u El Nino fenomenu. U vrijeme Škole, pokušat ćemo provesti analizu uključujući i novije podatke, kao i prognoze El Nino fenomena u budućnosti metodama nelinearne dinamike.

Singular Spectral Analysis i primjena na podatke o razini svjetskih oceana

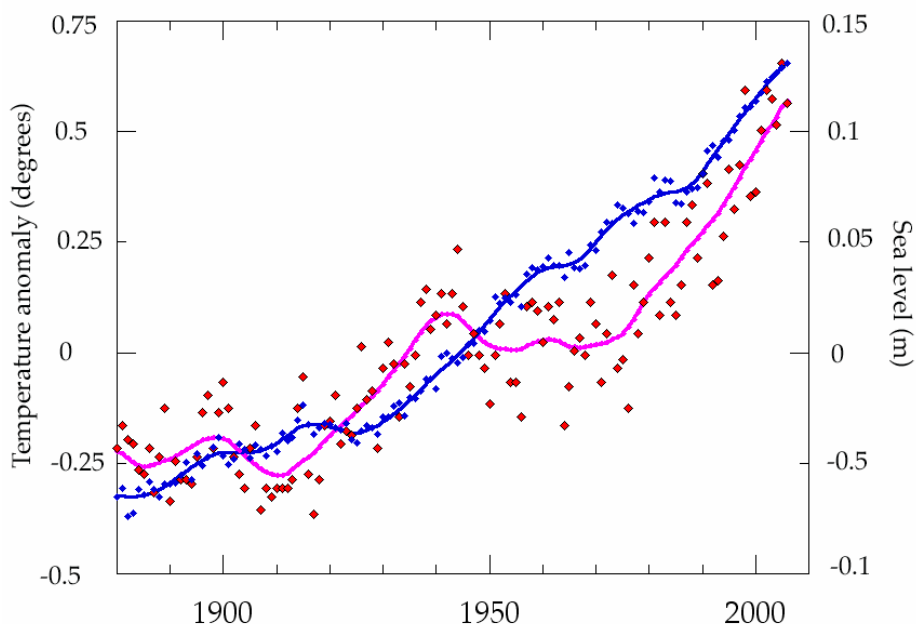
Zadnja metoda koju ćemo prikazati u predavanju (*Singular Spectral Analysis*, SSA) slična je razvoju u valiće, samo što sad funkcije s kojima se signal prikazuje nisu unaprijed određene. Vremenski niz gleda se kao niz segmenata od kojih svaki sadrži n mjerenja, na primjer n godišnjih ili mjesečnih vrijednosti. Matematički teorem (Takens) pokazuje da je to dovoljno da bi se rekonstruirala dinamika n -dimenzionalnog sistema. Parametar n , odnosno veličina prozora kroz koji gledamo dijelove niza, ili duljina svakog segmenta može se izabrati tijekom obrade. Metoda će prikazati vremenski niz kao zbroj od n komponenata, a matematička procedura provodi rastavljanje tako da komponente budu međusobno što manje zavisne, što manje vezane. Formalnijim jezikom, kažemo da u n -dimenzionalnom prostoru segmenata niza tražimo vektore baze tako da su vektori stanja sastavljeni od skoro ortogonalnih komponenti. Ime metode dolazi od matematičkog naziva za pomenuto rastavljanje u nezavisne komponente.

Pogledajmo kako to izgleda u praksi. Na internetu možete naći besplatni program za Macintosh OS X koji će vam omogućiti vrlo sofisticirane SSA analize (<http://www.atmos.ucla.edu/tcd/ssa/>). Program se se može prenijeti na računala koja koriste UNIX ili Linux. Za Windows računala dostupna je demo verzija sličnog programa, <http://www.gistatgroup.com/cat/>. Na sl. 4 prikazani su podatci prosječne svjetske temperature i prosječne razine svjetskih oceana u posljednjih 120 godina, za koje postoje razmjerno točna mjerenja. Originalna mjerenja sadrže dosta šuma, posebno rezultati za temperaturu. Srednja temperatura zraka i srednja temperatura površine mora gotovo su iste. Razina mora, zbog veće termičke inercije unutrašnjosti oceana, ne varira tako naglo. Upotrijebili smo SSA analizu da bismo u podacima izdvojili komponente koje variraju na skali sporijoj od El Nino oscilacija za koje smo vidjeli da je dominantna varijacija na vremenskoj skali 3-5 godina.

U 20. stoljeću, temperatura Zemlje u prosjeku je rasla. Iznimka je razdoblje od otprilike 1940-1975 g. kad je energija sunčevog zračenja bila malo niža. Porast razine mora vezan je uz porast temperature, dosad primarno zbog termičke ekspanzije morske vode kojoj se temperatura također povisila. Veza između temperature zraka na površini zemlje ili na površini mora i razine mora nije jednostavna i predmet je sadašnjih istraživanja.

Time smo došli na početak zanimljivog pitanja. Koja je točno veza između globalnog porasta temperature (uzrokovanog ljudskim aktivnostima) i porasta razine mora? Topljenje leda, posebno kopnenih ledenjaka i leda uz rubove Grönlanda i Antarktika izvanredno je teško predvidjeti ili modelirati. Međutim ti procesi, koji se naglo

ubrzavaju, trenutno još nisu dostigli intenzitet koji bi se vidio u značajnom porastu razine oceana.

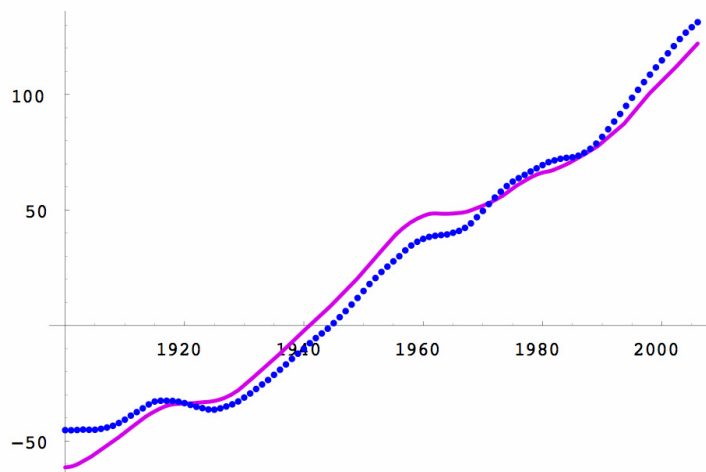


Slika 4. Promjene površinske temperature (ružičasta boja, lijeva skala) i razine mora (plavo, desna skala). Krivulje koje aproksimiraju izmjerene točke dobivene su SSA analizom.

U nedavnom članku u vrhunskom časopisu *Science* (v. 315, str. 368, 19 Jan 2007) S. Rahmstorf predlaže shemu prema kojoj je brzina porasta razine mora proporcionalna odstupanju temperature od dugoročnog prosjeka. Shema se slaže s podacima ako se svi detalji u mjerenjima zanemare. Međutim to nije uvjerljivo rješenje, jer varijacije u ponašanju na skali dekada nisu objašnjene.

Umanjena solarna aktivnost i pad temperature na površini Zemlje u razdoblju 1940-1975 predstavljaju prirodni eksperiment, koji bi nam trebao pomoći u razumijevanje veze između površinske temperature i razine mora. Međutim svaki pokušaj konstruiranja linearnog odnosa između te dvije veličine (kao što je navedeni članak) ne će se slagati s podacima. Razlog je za to što odgovor razine mora na promjenu temperature dolazi dosta kasnije. Poslužimo se dakle s krivuljama dobivenim SSA metodom i pokušajmo uporediti razinu mora s temperaturom mjerenom u ranijim razdobljima. U struci je prihvaćeno da porast razine mora ima i linearni član, za koji se drži da je posljedica nekih davnih događaja. Naš numerički pokus zato traži zavisnost razine mora o promjeni površinske temperature uz dodani linearni član. Najbolje slaganje nalazi se kad se razine mora u vrijeme t upoređuje s temperaturom 17.2 godine prije tog vremena (sl. 5). Slaganje nije perfektno, jer nakon što temperatura prestane rasti porast razine mora se nastavlja - indikacija fenomena histereze koji se često vidi u velikim simulacijama koje se na više mjesta u svijetu provode s vezanim modelima oceana i atmosfere. Tipično ponašanje koje se nalazi je

da promjene morskih strujanja ne počinju dok se ne dosegne neki prag u sili koja ih na to tjera, a kad sila opada strujanje ne trne na tom pragu nego se još neko vrijeme nastavlja i za niže vrijednosti sile.



Slika 5. Slaganje porasta razine mora s porastom temperature 17.2 godine ranije. Uključen je i linearni član, a $(t-t_0)$. Godine na apcisi odnose se na vrijeme kad je mjerena razina mora, dok je za temperaturu vremenska skala pomaknuta.

U ovom predavanju imali smo dva cilja: prikazati nekoliko novih metoda analize podataka u znanostima vezanim uz okoliš, i ukazati kako su istraživanja u tim znanosti otvorena svima, jer problema koje tek treba razumjeti ima jako mnogo, a svi potrebni podatci dostupni su na internetu. Studentima stoga želim uspješan rad na sticanju novih spoznaja o okolišu.

Nuklearna energija i okoliš

Dubravko Pevec

Zavod za primijenjenu fiziku, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

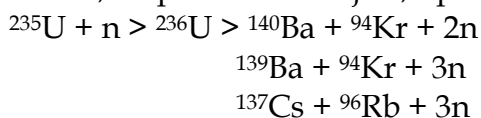
dubravko.pevec@fer.hr

Nuklearna energija pokazala se kao pouzdan i ekonomičan izvor električne energije. Povoljan utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš (posebno u smanjenju globalnog zatopljenja) otvara perspektivu daljnjem razvoju i gradnji nuklearnih elektrana.

Nuklearni reaktor

Nuklearni reaktor je uređaj u kojem se zbiva kontrolirana lančana nuklearna reakcija. Svi današnji reaktori primjenjuju reakciju fisije, dok su reaktori bazirani na nuklearnoj fuzijskoj reakciji u fazi razvoja i njihova je realizacija za sada još upitna. Prvi nuklearni reaktor sagradili su 1942. u SAD-u E. Fermi i L. Szilard. Nuklearni reaktor prvo je služio u proizvodnji plutonija za nuklearno oružje, a danas se najviše rabi za proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama. U pogonu je i velik broj istraživačkih nuklearnih reaktora različitih namjena, npr. za proizvodnju radioaktivnih nuklida, testiranje materijala, razvoj novih tipova reaktora. Nuklearni reaktor služi i za pogon brodova i podmornica, a razmatrana je i mogućnost primjene za pogon zrakoplova. Moguća je i primjena u proizvodnji vodika, procesne topline i topline za centralno grijanje, te u desalinizaciji morske vode.

Nuklearni reaktor sastoji se od reaktorske posude u kojoj se nalazi reaktorska jezgra s nuklearnim gorivom, moderator, reflektor, rashladno sredstvo i kontrolne šipke. U nuklearnom gorivu zbiva se nuklearna reakcija u kojoj se apsorpcijom neutrona jezgra fisibilnog nuklida raspada na dvije lakše jezgre i dva do tri brza neutrona. Pritom se raspadom svake fisibilne jezgre oslobađa energija od oko 200 MeV. Lančana fisijska reakcija može se ostvariti ako bar jedan od oslobođenih neutrona prouzroči novu fisiju u okolnim fisibilnim jezgrama. Uranij je jedini kemijski element u prirodi u kojem se pod određenim uvjetima može zbivati kontrolirana lančana fisijska reakcija. Prirodni uranij smjesa je izotopa ^{234}U (0,006%), ^{235}U (0,711%) i ^{238}U (99,283%), od kojih je samo izotop ^{235}U fisibilan, tj. može se neposredno iskoristiti za lančanu fisijsku reakciju, u kojoj se sudarom s neutronom, uz emisiju novih neutrona, raspada u dva dijela, npr.:



Osim izotopa ^{235}U , fisibilni su i plutonijevi izotopi ^{239}Pu i ^{241}Pu te uranijev izotop ^{233}U . Njih u prirodi nema, ali se mogu proizvesti u nuklearnom reaktoru nuklearnim reakcijama radijativnog uhvata neutrona, i to plutonijevi izotopi od uranijeva izotopa ^{238}U , a izotop ^{233}U od torijeva izotopa ^{232}Th (konverzija nefisibilnog u fisibilan

materijal). Energija fisijskih neutrona relativno je visoka (prosječno oko 2 MeV) i oni ne mogu održavati lančanu reakciju sve dok im se energija bitno ne smanji (proces termalizacije) sudaranjem s jezgrama atoma nuklearnog goriva. Pritom se neutroni mogu izgubiti nefisijskom apsorpcijom u nuklearnom gorivu ili bijegom u okoliš. Termalizacija je neutrona djelotvornija ako se gorivu dodaju laki elementi (moderator) i ako se oko goriva stavi materijal koji reflektira neutrone i vraća ih u gorivo. Za moderatore i reflektore rabe se materijali koji sadrže atome s lakim jezgrama, npr. voda, teška voda, berilij i grafit. Lančanom reakcijom oslobađa se toplina koju je potrebno stalno odvoditi iz nuklearnog goriva kako se ono ne bi pregrijalo i rastalilo. Toplina se iz jezgre odvodi cirkulacijom rashladnog sredstva, što je najčešće obična voda (koja može ključati ili biti pod tlakom), teška voda, rastaljeni (tekući) natrij, ugljični dioksid i helij. Brzina odvijanja lančane reakcije (razina snage reaktora) regulira se kontrolnim šipkama od materijala koji jako apsorbiraju neutrone (kadmij, hafnij, bor), tj. njihovim uvlačenjem ili izvlačenjem iz reaktorske jezgre.

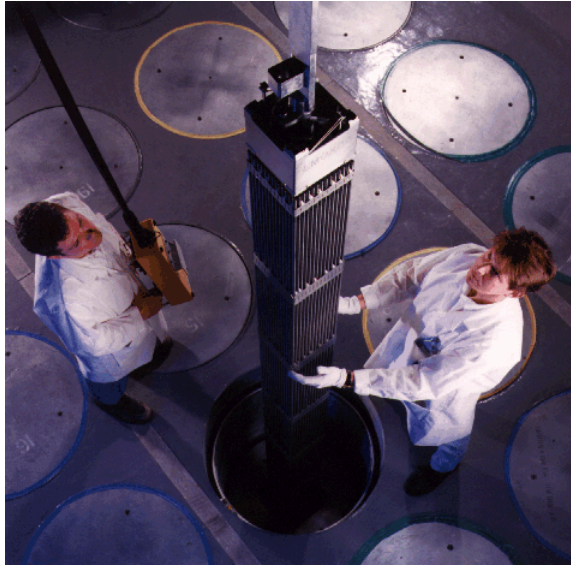
Nuklearni se reaktori klasificiraju na različite načine. Tako se *prema energiji neutrona* razlikuju: termički (sa sporim neutronima), intermedijarni (s neutronima srednjih energija) i brzi reaktori (s brzim neutronima); *prema rashladnom sredstvu*: lakovodni (s običnom vodom), teškovodni (s teškom vodom) i plinom hlađeni; *prema namjeni*: energetske (proizvodnja topline), istraživačke (dobivanje neutrona za istraživanja) i konvertori, u kojima se od nefisibilnog materijala konverzijom dobiva fisibilan (^{239}Pu i ^{241}Pu od ^{238}U , a ^{233}U od ^{232}Th). Konvertori koji proizvode više fisibilnog materijala nego što ga svojim radom troše nazivaju se *oplodni reaktori*.

Radom nuklearnog reaktora nastaju radioaktivni fisijski produkti, kojih bi ispuštanje ugrozilo stanovništvo i okoliš. Stoga se pri projektiranju, izgradnji i pogonu nuklearnih reaktora velika pažnja posvećuje njihovoj sigurnosti. Nakon nesreća na reaktorima nuklearnih elektrana «Otok tri milje» u SAD-u i Černobil u Ukrajini poboljšana je sigurnost sadašnje generacije nuklearnih reaktora. Daljnje poboljšanje očekuje se kod novih generacija, kod kojih će sigurnost biti bazirana na fizikalnim principima, a ne na aktivnom djelovanju inženjerskih sustava (inherentna sigurnost). Dobre su strane nuklearnih reaktora što ne onečišćuju okoliš ispuštanjem dima i plinova, a nedostaci su povećano toplinsko opterećenje okoliša i stvaranje radioaktivnog materijala. Najveći je sigurnosni problem zbrinjavanje istrošenog nuklearnog goriva, koje treba izolirati od okoliša za razdoblje od desetak tisuća godina.

Nuklearno gorivo

Nuklearno gorivo je fisibilan materijal koji podliježe kontroliranoj lančanoj fisijskoj reakciji uz oslobađanje golemih količina energije iskoristivih u tehničke svrhe. Jedini kemijski element u prirodi koji sadrži fisibilni izotop (^{235}U) je uranij. Zbog vrlo malog udjela fisibilnog izotopa ^{235}U u prirodnom uraniju otežano je održavanje lančane reakcije te je potrebno povećati njegov udjel u gorivu. Taj se postupak naziva obogaćivanje uranija, a dobiveno se gorivo naziva *obogaćenim gorivom*. Uranij se najčešće obogaćuje difuzijskim i centrifugalnim postupcima. Kao gorivo većine energetskih nuklearnih reaktora rabe se prirodno ili slabo obogaćeno uranijsko gorivo (do 5% izotopa ^{235}U).

Uranij je na Zemlji vrlo raširen kemijski element, no pojavljuje se u malim koncentracijama, tako da su troškovi njegova izdvajanja iz ruda vrlo veliki. Rezervama uranija nazivaju se utvrđene količine uranija (zalihe) kojima je cijena izdvajanja do 80\$/kg. Rezerve uranija u siječnju 2003. iznosile su približno 2,46 milijuna tona (od toga Australija 28%, Kazahstan 16%, Kanada 14%, Južnoafrička Republika 9%, Namibija 6%, Rusija 5%, SAD i Niger po 4%). Godišnja proizvodnja uranija u zadnjih se nekoliko godina ustalila na približno 36 tisuća tona. To ne zadovoljava godišnje potrebe (67 tisuća tona), tako da se manjak nadoknađuje iz civilnih i vojnih zaliha te preradbom istrošenog goriva.



Slika 1. Manipulacija svježim gorivnim elementom

Nuklearno gorivo najčešće se proizvodi u obliku metalnog uranija i uranijeva dioksida (UO_2). Metalni uranij služi kao gorivo za istraživačke i neke energetske reaktore, a u načelu se može rabiti za reaktore u kojima temperatura goriva ne prelazi 660 °C. Naime, na toj se temperaturi zbog faznog prijelaza mijenjaju njegova fizikalna svojstva, što nepovoljno utječe na pouzdanost i sigurnost rada reaktora. Kod većine energetskih reaktora gorivo je uranijev dioksid. Njegove su prednosti nepromjenljivost faza sve do tališta na vrlo visokoj temperaturi (2860 °C), otpornost na neutronske zračenje te otpornost prema koroziji u dodiru s vrućom vodom, odnosno vodenom parom.

Priprema nuklearnog goriva za primjenu u energetskim reaktorima uključuje izradbu tableta, koje se stavljaju u metalnu cijev od cirkonijeve slitine ili nehrđajućeg čelika, čime se dobije gorivni štap. Gorivni se štapovi slažu u *gorivni element* (Slika 1), čvrstu mehaničku konstrukciju kvadratnog ili heksagonskog oblika, a gorivni se elementi ulažu u reaktorsku posudu tako da tvore cilindričnu strukturu (*reaktorska jezgra*).

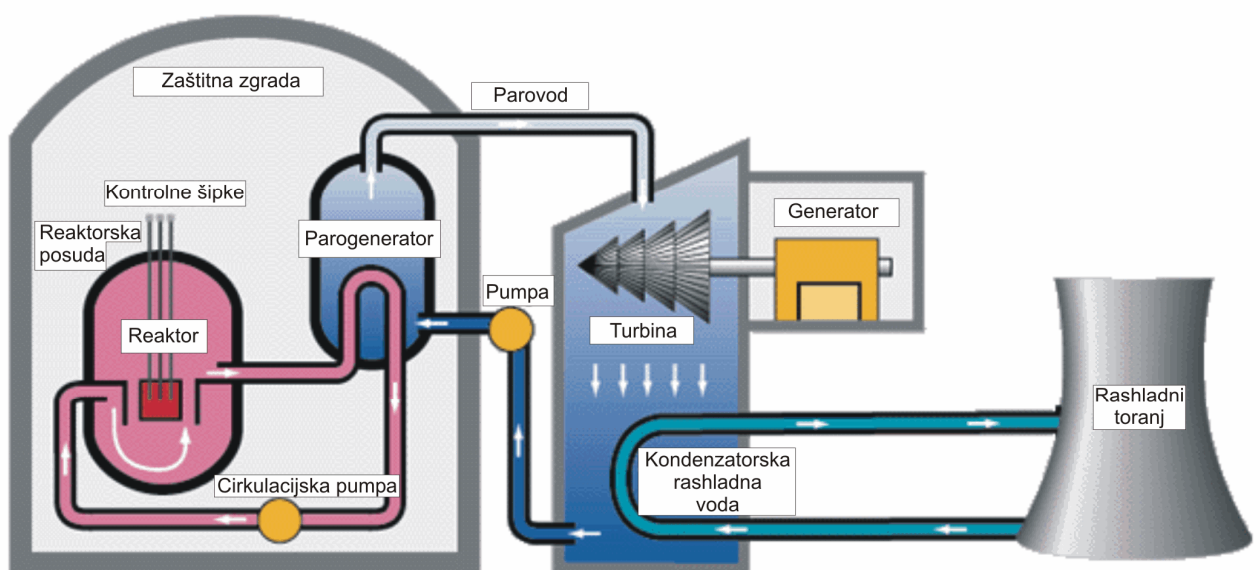
Odvijanjem lančane fisijske reakcije nuklearno se gorivo troši; kada se količina fisibilnih nuklida u gorivu toliko smanji da se lančana reakcija više ne može održati, istrošeno nuklearno gorivo ili jedan njegov dio treba zamijeniti svježim. Istrošeno se gorivo stavlja u duboki bazen, u kojem debeli sloj vode osigurava hlađenje goriva i

zaštitu od radioaktivnosti. Istrošeno gorivo još uvijek sadrži malu količinu fisibilnih nuklida, koji se njegovom preradbom mogu izdvojiti i koristiti za pripremu novog nuklearnog goriva. Takav način korištenja nuklearnog goriva naziva se zatvorenim gorivnim ciklusom. Alternativni je način otvoreni gorivni ciklus, u kojem se istrošeno gorivo ne prerađuje nego se tretira kao visokoradioaktivni otpad. Zbog visoke cijene preradbe i relativno niske cijene uranija sve veći broj zemalja primjenjuje otvoreni gorivni ciklus.

Visokoaktivni otpad dobiven preradbom istrošenog goriva potencijalna je opasnost za stanovništvo i okoliš za razdoblje od više tisuća godina pa ga valja trajno spremati na siguran način. Odlaganje u stabilne geološke formacije prihvaćeno je kao tehnologija kojom se može dugoročno riješiti problem visokoaktivnog otpada.

Nuklearna elektrana

Nuklearna elektrana je energetska postrojenja u kojem se toplinska energija, proizvedena u nuklearnom reaktoru kontroliranom lančanom reakcijom fisije atoma uranija ili plutonija, pretvara u električnu. Nuklearna elektrana slična je termoelektrani samo što se umjesto toplinske energije dobivene izgaranjem fosilnog goriva koristi toplinska energija fisije iz nuklearnog reaktora. Uobičajena je podjela nuklearnih elektrana prema tipu reaktora korištenom u toj elektrani. Od 439 nuklearnih elektrana, koje su krajem 2006. godine bile u komercijalnoj eksploataciji, 357 elektrana je lakovodnog tipa (u 263 elektrane koristi se reaktor s vodom pod tlakom a u 94 elektrane reaktor s ključajućom vodom), 22 elektrane su sa plinom hlađenim reaktorom, 44 elektrane koriste teškovodne reaktore, 16 elektrana koristi lakovodne reaktore moderirane grafitom a u 2 elektrane koriste se brzi oplodni reaktori. Kako najveći broj elektrana radi s tlakovodnim reaktorom, tj. onim u kojemu je voda pod tlakom ujedno i moderator i rashladno sredstvo, to ćemo princip rada nuklearne elektrane objasniti na tom tipu elektrane. Shematski prikaz principa rada nuklearne elektrane s tlakovodnim reaktorom prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Shematski prikaz principa rada nuklearne elektrane s tlakovodnim reaktorom

Nuklearna elektrana s tlakovodnim reaktorom ima dva odvojena rashladna kruga. U primarnom krugu reaktor zagrijava rashladnu vodu koja cirkulira u zatvorenoj petlji sastavljenoj od pumpe, cjevovoda, i parogeneratora. Ovisno o snazi, reaktor može biti povezan s više petlji. U primarnom se krugu nalazi i tlačnik kojim se regulira tlak. Tipični su parametri rashladne vode: tlak 15 do 16 MPa, srednja temperatura 570 do 590 K, promjena temperature u reaktoru 40 do 50 K, volumni protok po petlji oko 6 m³/s. Parogeneratori su izmjenjivači topline koji povezuju primarni sa sekundarnim krugom. Na sekundarnoj strani parogeneratorsa proizvodi se zasićena para relativno niskog tlaka (6 do 7 MPa) koja služi za pogon turbine. Slično kao i u termoelektrani, toplinska se energija termodinamičkim kružnim procesom u turbini prvo pretvara u mehaničku energiju, a turbina pokreće generator, u kojemu se mehanička energija pretvara u električnu. Fotografija američke nuklearne elektrane tlakovodnog tipa, Shearon Harris, prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Nuklearna elektrana tlakovodnog tipa Shearon Harris, SAD

Razvojno se nuklearne elektrane mogu podijeliti u četiri generacije. U prvoj su one koje su najprije probno, a zatim komercijalno započele s proizvodnjom električne energije: elektrana u Obninsku (Rusija, 1954), Calder Hall (Velika Britanija, 1956), Shippingport (SAD, 1957). U drugoj su generaciji elektrane građene 1970-ih godina; one čine većinu današnjih elektrana u komercijalnom pogonu. Treća generacija uključuje elektrane naprednije izvedbe, tj. s poboljšanjima postojeće tehnologije kojima se unaprjeđuje sigurnost i ekonomičnost. U četvrtu se generaciju ubrajaju reaktori i elektrane koji bi se trebali pojaviti nakon 2030. godine, uz ispunjenje sljedećih zahtjeva: zanemariv utjecaj na okoliš, minimizirano stvaranje nuklearnog otpada, povećana sigurnost od proliferacije nuklearnih materijala. Mogućnost oštećenja jezgre reaktora praktički bi trebala biti isključena, čime bi nestala i potreba za planiranjem zaštitnih akcija izvan kruga postrojenja. Takve elektrane trebale bi ostvariti ekonomsku

prednost cjelokupnog gorivog ciklusa u odnosu na ostale energetske tehnologije, a uz proizvodnju električne energije omogućiti i isplativu proizvodnju vodika.

Status korištenja nuklearne energije

Razvoj civilne primjene nuklearne energije za proizvodnju električne i toplinske energije započeo je 50-tih godina prošlog stoljeća. Prva civilna nuklearna elektrana, snage 5 MWe, u Obninsku u Rusiji puštena je u pogon 1954. godine. 1957. godine je u SAD-u u pogon pušten prototipni BWR reaktor, da bi 1960. godine u pogon bile puštene i komercijalne PWR i BWR elektrane svake snage 250 MWe.

Danas je u 30 zemalja svijeta u pogonu 439 komercijalnih nuklearnih elektrana, ukupne instalirane snage preko 370.000 MWe. 280 istraživačkih nuklearnih reaktora locirano je u 56 zemalja. 2006. godine proizvodnja električne energije u nuklearnim postrojenjima zadovoljavala je 16% ukupnih svjetskih potreba za električnom energijom. 16 zemalja zadovoljava preko 25% svojih potreba za električnom energijom iz nuklearnih elektrana. Prednjače Francuska i Litva s preko 75%, dok Belgija, Bugarska, Mađarska, Slovačka, Južna Koreja, Švedska, Švicarska, Slovenija i Ukrajina zadovoljavaju preko trećine svojih potreba za električnom energijom iz nuklearnih elektrana. Japan, Njemačka i Finska zadovoljavaju 25%, a SAD, s gotovo trećinom ukupne svjetske proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama, zadovoljava 20% svojih potreba.

Tablica 1 . Nuklearni reaktori na svijetu 2006. godine (prema izvještaju WNA od 21.09.2006.)

	Proizvodnja el. energije u NE		Reaktori u pogonu		Reaktori u izgradnji		Reaktori u planu		Predviđeni reaktori	
	TWh	% e	broj	MWe	broj	MWe	broj	MWe	broj	MWe
Argentina	6,4	6,9	2	935	1	692	0	0	1	1.000
Armenija	2,5	43	1	376	0	0	0	0	1	1.000
Belgija	45,3	56	7	5.728	0	0	0	0	0	0
Brazil	9,9	2,5	2	1.901	0	0	1	1.245	0	0
Bugarska	17,3	44	4	2.722	0	0	2	1.900	0	0
Češka	23,3	31	6	3.472	0	0	0	0	2	1.900
Egipat	0	0	0	0	0	0	0	0	1	600
Finska	22,3	33	4	2.696	1	1.600	0	0	0	0
Francuska	430,9	79	59	63.473	0	0	1	1.630	1	1.600
Indija	15,7	2,8	16	3.577	7	3.088	4	2.800	20	10.360
Indonezija	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4.000
Iran	0	0	0	0	1	915	2	1.900	3	2.850
Izrael	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.200
Japan	280,7	29	55	47.700	2	2.285	11	14.945	1	1.100
Južna Afrika	12,2	5,5	2	1.842	0	0	1	165	24	4.000
Južna	139,3	45	20	17.533	1	950	7	8.250	0	0

Koreja										
Kanada	86,8	15	18	12.595	2	1.540	2	2.000	0	0
Kazahstan	0	0	0	0	0	0	0	0	1	300
Kina	50,3	2	10	7.587	5	4.170	13	12.920	50	35.880
Litva	10,3	70	1	1.185	0	0	0	0	1	1.000
Mađarska	13	37	4	1.773	0	0	0	0	0	0
Meksiko	10,8	5	2	1.310	0	0	0	0	2	2.000
Nizozemska	3,8	3,9	1	452	0	0	0	0	0	0
Njemačka	154,6	31	17	20.303	0	0	0	0	0	0
Pakistan	1,9	2,8	2	400	1	300	2	600	2	1.200
Rumunjska	5,1	8,6	1	655	1	655	0	0	3	1.995
Rusija	137,3	16	31	21.743	3	2.650	8	9.600	18	21.600
SAD	780,5	19	103	98.054	1	1.065	2	2.716	21	24.000
Sj. Koreja	0	0	0	0	0	0	1	950	0	0
Slovačka	16,3	56	6	2472	0	0	0	0	2	840
Slovenija	5,6	42	1	696	0	0	0	0	0	0
Španjolska	54,7	20	8	7.442	0	0	0	0	0	0
Švedska	69,5	45	10	8.975	0	0	0	0	0	0
Švicarska	22,1	32	5	3.220	0	0	0	0	0	0
Tajvan	38,4	20	6	4.884	2	2.600	0	0	0	0
Turska	0	0	0	0	0	0	3	4.500	0	0
Ukrajina	83,3	49	15	13.168	0	0	2	1.900	0	0
Velika Britanija	75,2	20	23	11.852	0	0	0	0	0	0
Vijetnam	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.000
SVIJET	2.626	16	442	37.0721	28	22.510	62	6.8021	161	120.425

Iako je dinamika izgradnje novih nuklearnih elektrana danas manja nego 70-tih i 80-tih godina prošlog stoljeća, današnje elektrane imaju veći faktor kapacitivnosti, a time i veću proizvodnju električne energije. Tako je 2005. godine u nuklearnim elektranama proizvedeno 2.626 milijardi kWh električne energije. Stalno poboljšanje kvalitete rada postojećih reaktora najbolje se očituje u činjenici da je proizvodnja u posljednjih 5 godina porasla za 218 TWh (ekvivalent proizvodnje u 30 reaktora velike snage), a istovremeno su u pogon puštena samo dva nova reaktora. Danas četvrtina nuklearnih elektrana u svijetu ima faktor kapacitivnosti veći od 90%, a dvije trećine veći od 75%, za razliku od 1990. godine kad je to ostvarivalo samo 25% elektrana. Prednjače nuklearne elektrane u SAD-u, od kojih je 12 među 25 najboljih svjetskih nuklearnih elektrana s faktorom kapacitivnosti većim od 97,5%.

Pregled četiri kategorije nuklearnih reaktora (u pogonu, u izgradnji, u planu i predviđeni) u svijetu dan je u Tablici 1.

Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš

Pri ocjenjivanju značenja nekog energetskog izvora za praktičnu primjenu jedan je od bitnih kriterija je utjecaj tog izvora energije na prirodni okoliš. Utjecaj na okoliš je u posljednjim desetljećima postao jedan od dominantnih faktora za prihvrat energetskog objekta od strane javnosti.

Svi energetske objekti pa tako i nuklearne elektrane utječu na promjenu životne sredine. Najveća opasnost za okoliš iz nuklearne elektrane dolazi od radioaktivnog materijala koji se nuklearnim reakcijama stvara u nuklearnom reaktoru. Količina tog radioaktivnog materijala, koja se sastoji od istrošenog goriva visoke aktivnosti i aktivacijskih produkata niske i srednje aktivnosti, je relativno mala. Nuklearne elektrane projektirane su, izgrađene i korištene na takav način da se spriječi ispuštanje radioaktivnog materijala u okoliš. S druge strane toplinska se energija u nuklearnoj elektrani ne dobiva sagorjevanjem goriva nego nuklearnom fisijom tako da nuklearna elektrana ne ispušta u okoliš štetne produkte sagorjevanja kao što su ugljični dioksid, dušični oksidi i sumporni dioksid. No takvi kvalitativni argumenti nisu dovoljni da bi se moglo utvrditi koji energetski izvor najmanje štetno djeluje na okoliš, te je potrebno provesti odgovarajuće kvantitativne komparativne analize. Kod tih analiza treba uvažiti ne samo izravni utjecaj rada energetskog postrojenja na okoliš (ispuštanje štetnih tvari iz postrojenja, mogućnost kvarova i katastrofalnih događaja, pohranjivanje otpada i slično), nego i utjecaj na okoliš pri proizvodnji materijala (cementa, čelika i dr.) potrebnih za njegovu gradnju, zahvate u okolišu u toku gradnje (iskopi, poplavljanje terena, raseljavanje stanovništva), utjecaj na okoliš pri dobivanju i preradi energetskog goriva (ugljen, nafta, plin, uran), transporta tog goriva i zbrinjavanje otpadnog materijala svih vrsta.

Početak 90-ih godina prošlog stoljeća unutar Europske Unije pokrenut je opsežan istraživački projekt pod nazivom ExternE (eksterni troškovi kod proizvodnje energije) s ciljem da se utvrde kvantitativni pokazatelji koji će omogućiti usporedbu energetskih objekata sa stajališta njihovog utjecaja na okoliš. Na području proizvodnje električne energije projekt se je koncentrirao na obradu utjecaja na okoliš temeljnih tehnologija za tu proizvodnju: termoelektrane na ugljen i plin, elektrane s obnovljivim izvorima energije i nuklearne elektrane. Zadatak projekta je bilo kvantificiranje šteta u okolišu izazvanih energijskim lancem svake od navedenih tehnologija. Pod pojmom energijski lanac su obuhvaćene sve faze procesa potrebnog za proizvodnju električne energije (od dobivanja rude za gorivo i materijala za gradnju, cjelokupnog transporta, gradnje objekta, pogona i dugoročnog zbrinjavanja svih otpadnih materijala). Studijom se nastojalo obuhvatiti lokalni, regionalni i globalni utjecaj emisija svih faza energijskog lanca prvenstveno na ljudsko zdravlje (a manje na vegetaciju i ostale elemente okoliša) te štete od emisija stakleničkih plinova (prvenstveno CO₂), te sve štete izraziti u novčanim jedinicama po jedinici proizvedene električne energije u elektrani. Jedinčna cijena prouzročene štete u okolišu je poznata kao eksterni trošak.

Za određivanje dijela eksternog troška koji se odnosi na ljudsko zdravlje (koji je posebno značajan za nuklearne elektrane jer kod njih otpada šteta zbog emisija stakleničkih plinova) treba poznavati odnos broja oboljenja ili smrtnih slučajeva s koncentracijom krutih čestica i aerosola koje uzrokuju energijski lanci termoelektrana i koncentracije radioaktivnih tvari, odnosno odgovarajućom dozom zračenja, koje uzrokuje energijski lanac nuklearne elektrane. Kod elektrana na fosilna goriva se određuje broj oboljenja i smrtnih slučajeva zbog atmosferskih emisija i prizemnih koncentracija polutanata na okolno stanovništvo. Za te elektrane treba u eksterni trošak uključiti i štetu zbog emisija stakleničkih plinova.

Elektrane s obnovljivim izvorima energije u pogonu nemaju atmosferskih emisija pa nemaju ni tog dijela energijskog lanca. Međutim za gradnju tih elektrana treba utrošiti relativno velike količine materijala po jedinici proizvedene energije i često izvršiti znatne radove na lokaciji. Sve to traži utrošak energije za čiju proizvodnju treba oštetiti okoliš. U pogonu i te elektrane negativno utječu na okoliš (buka, utjecaj na životinjski svijet, opasnosti od lomova) pa sve navedeno treba izraziti eksternim troškom po jedinici proizvedene energije. Zbog male proizvodnje električne energije u tim elektranama eksterni trošak nije zanemariv.

Kod nuklearnih elektrana (studija ExternE je rađena na temelju analiza elektrana s lakovodnim reaktorima, koje su najzastupljenije u EU) u eksterni trošak ulaze i štete uzrokovane velikim kvarovima. Ulazni podaci za proračun su vjerojatni interval između sukcesivnih kvarova (odnosno količina proizvedene energije između dva sukcesivna kvara) i mogući broj žrtava zbog kvara. Zbog vrlo male vjerojatnosti velikog kvara s ozbiljnim radiološkim posljedicama u okolišu (jedan slučaj u 10^6 - 10^7 godina po reaktoru), to je proizvedena količina energije između dva sukcesivna kvara veoma velika pa je iznos štete po jedinici proizvedene energije vrlo malen. Utjecaj energijskog lanca na okoliš treba računati za cijelo vrijeme trajanja posljedica gradnje i pogona objekta. Budući da u slučaju nuklearnog energijskog lanca visokoradioaktivni otpad ima dugo vrijeme djelovanja procjena utjecaja tog energijskog lanca na okoliš je izvršena za razdoblje od 100.000 godina.

Korištenjem opisane metodologije mogu se odrediti eksterni troškovi svih vrsta elektrana od interesa za elektroenergetski sustav (termoelektrane na kruta, tekuća i plinovita goriva, nuklearne elektrane te relevantni tipovi elektrana na obnovljive izvore energije kao što su sunčeve elektrane s fotonaponskim ćelijama, vjetroelektrane i hidroelektrane). Valja istaći da dosadašnja saznanja ne daju dovoljno podloga za kvantifikaciju svih eksternih troškova jer brojni aspekti utjecaja na okoliš još nisu određeni. Procjena eksternih troškova je uglavnom vrjednovana na temelju oštećenja zdravlja i gubitka života ljudi te šteta od emisija stakleničkih plinova, dok ostali aspekti djelovanja polutanata na ekosustav (zemljište, vodotoci, vegetacija, životinjski svijet) nisu kvantificirani. U tom pogledu je procjena eksternih troškova podcijenjena kod termoelektrana na fosilna goriva, jer njihove emisije za razliku od emisija nuklearnih elektrana, imaju znatno veći utjecaj upravo na aspekte djelovanja na okoliš (primjerice djelovanje kiselih kiša na vegetaciju) koji nisu obuhvaćeni sadašnjom procjenom eksternih troškova. Treba nadalje uočiti da je procjena eksternih troškova nuklearnih elektrana u okviru dokumenta ExternE izvršena na mnogo detaljnijim analizama nego što je to slučaj kod konvencionalnih elektrana.

Usporedba procijenjenih eksternih troškova energijskih lanaca elektrana prikazana je u Tablici 2.

Analiza vrednovanja ekološkog utjecaja tehnologija proizvodnje električne energije je pokazala da su eksterni troškovi elektrana na fosilna goriva znatno veći od eksternih troškova energijskih tehnologija koje ne koriste ta goriva. Razlog tome su atmosferske emisije krutih čestica, sumpornih, dušičnih i ugljičnih oksida. Među konvencionalnim elektranama je u tom pogledu izrazito nepovoljna termoelektrana na ugljen, dok je najpovoljnija termoelektrana na plinovito gorivo. Eksterni troškovi nuklearnih elektrana, koji su pokazatelji štete izazvane u okolišu od cijelog

energijskog lanca, su za jedan red veličine niži nego kod termoelektrana na fosilna goriva (posebno ako ih uspoređujemo s termoelektranama na ugljen) i istog su reda veličine kao i eksterni troškovi elektrana koje koriste obnovljive izvore energije.

Rezultat pokazuje da su među elektranama koje mogu neograničeno proizvoditi velike količine električne energije u pogledu utjecaja na okoliš najpovoljnije nuklearne elektrane. Time je nedvojbeno utvrđeno da se razvoj i gradnja nuklearnih elektrana nikako ne mogu osporavati ekološkim razlozima.

Tablica 2. Usporedba eksternih troškova energijskih lanaca elektrana

Vrsta elektrane	Eksterni trošak mEUR/kWh
Termoelektrana na ugljen	64
Termoelektrana na tekuća goriva	39,5
Termoelektrana na prirodni plin	21,5
Hidroelektrana	2,4-6
Sunčeva elektrana s fotonaponskim ćelijama	5,2-12,1
Vjetroelektrana	1,02- 2,6
Nuklearna elektrana	2,5-7,3

Literatura

- [1] V. Knapp: Novi izvori energije, Nuklearna energija fisije i fuzije, Školska knjiga, Zagreb (1993)
- [2] D. Feretić: Uvod u nuklearnu energetiku, Školska knjiga, Zagreb (1993)
- [3] D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić: Elektrane i okoliš, Element, Zagreb (2000)

Sunce i vjetar-obnovljivi i čisti izvori energije

Mile Baće

Zavod za primijenjenu fiziku, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

mile.bace@fer.hr

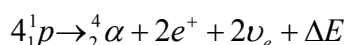
Uvod

Dva su osnovna razloga recentnog intenzivnog istraživanja alternativnih energetske izvora, oba su sadržana u pridjevima «obnovljivi» i «čisti», koji su sadržani u naslovu. Energija koju čovječanstvo troši, dominantno je obnovljiva. Ustvari se u obliku fosilnih goriva (ugaljen, nafta, plin), troši u dalekoj prošlosti kroz milijune godina pohranjena sunčeva energija (u obliku fosilnih ostataka biljnog i životinjskog svijeta). Nuklearna energija, koja u ponekoj zemlji dominira (Francuska s 80%), globalno sudjeluje sa svega 5%. Već do polovine tekućeg 21. stoljeća rezerve nafte i plina bit će iscrpljene, a ugaljen koji bi mogao potrajati još oko stotinjak godina, već je i danas smatran nepoželjnim. Izgaranjem fosilnih goriva oslobađa se CO₂ u količinama koje mijenjaju globalnu klimu u nepovoljnom smjeru. U prošlih 400 000 godina, koncentracija CO₂ varirala je između 200 i 300 dijelova u milijun dijelova zraka, da bi tijekom 20. stoljeća porasla je na 370 dijelova na milijun, a prognoza je da će u tekućem stoljeću taj omjer porasti na 700 dijelova na milijun. CO₂ kao staklenički plin ne propušta toplinsko zračenje koje Zemlja odašilje u svemir i na taj način uzrokuje njeno globalno zagrijavanje, koje je uzrokom katastrofalnih klimatskih promjena.

Očita je nužnost orijentacije k obnovljivim izvorima, odnosno energetske izvorima koji se ne iscrpljuju tijekom vremena i koji ne zagađuju atmosferu stakleničkim plinovima poput CO₂. Dugoročno, energetske potrebe čovječanstva mogu zadovoljiti samo sunčana i nuklearna energija, ova druga samo ako se energija fisije urana koristi u potpunosti, što je oko 60 puta više nego kod današnjih klasičnih reaktora, ali to izlazi iz okvira predmeta našeg članka. Predmet našeg interesa je sunčeva i energija vjetra koja je derivat sunčeve energije.

Energija Sunca

Sunce se sastoji od 80% vodika i 20% helija, te svega oko 0.1% ostalih elemenata. Porijeklo energije kojom Sunce zrači nuklearna je fuzija. Čine ju tri reakcije, no ako prikazemo ulazne i izlazne članove možemo pisati:

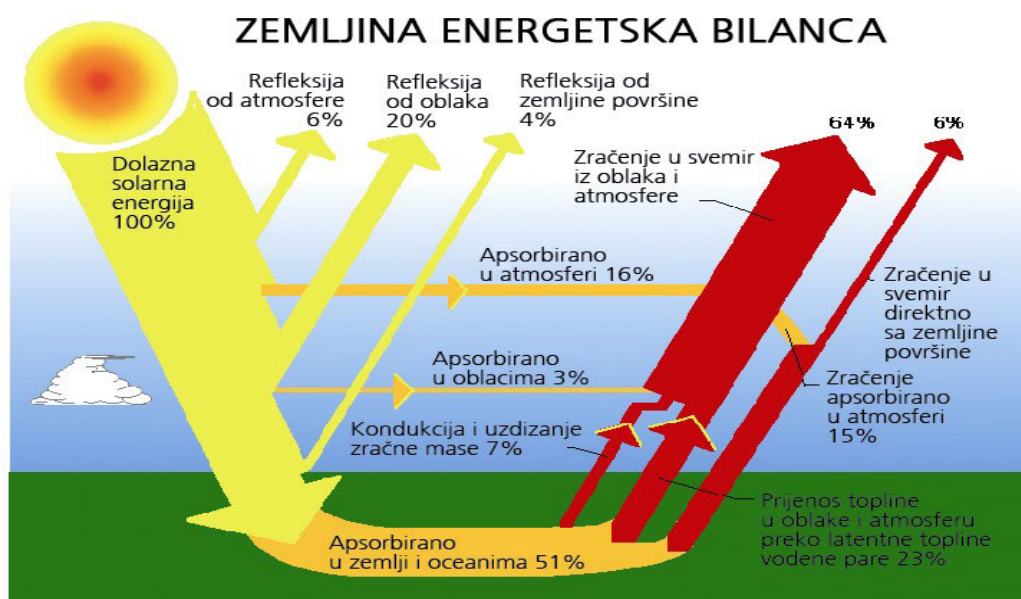


ili riječima, 4 jezgre vodika (protoni) spajaju se u jezgru helija, čemu prethodi beta plus raspad dva protona, čime oni postaju neutroni a emitiraju se dvije beta plus čestice i dva neutrina. Razlika ulazne i izlazne mase množena kvadratom brzine

svjetlosti određuje energiju koja se u reakciji oslobodi kao $\Delta E = 24.687 \text{ MeV} = 3.955 \times 10^{-12} \text{ J}$. Spomenuta se reakcija odvija u sunčevoj jezgri, razvijena toplina prenosi se prema površini Sunca (fotosferi), koja zrači u dobroj aproksimaciji kao površina crnog tijala zagrijana na temperaturu od 5777 K, snagom od 63.11 MW/m². O kakovoj se golemoj energiji radi ilustrirat će podatak da je površina Sunca ($6.0874 \times 10^{12} \text{ km}^2$) 109 puta veća od površine Zemlje, te da je energija koju zrači svega 1/5 kvadratnog kilometra Sunca jednaka ukupnoj potrebi za primarnom energijom čovječanstva.

Iskorištavanje sunčeve energije

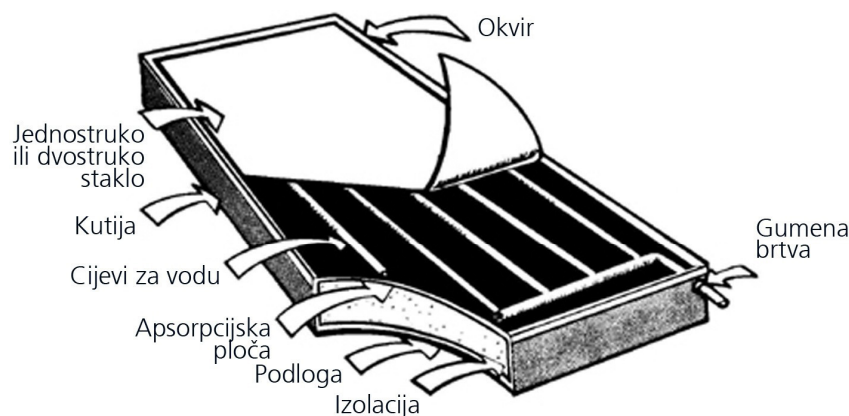
Zemlju obasjava sunčevo zračenje snagom od 1.367 kW/m², poznatom pod imenom solarna konstanta. Kako se ona raspoređuje i u što se troši prikazuje slika 1. Približno je moguće pri vedrom danu, na plovu okomitom na smjer sunčevih zraka, primiti 700-900 W/m². Ta se energija može koristiti na dva glavna načina, kao termička energija (toplina), i kao električna energija direktnom pretvorbom u fotonaponskim ćelijama. S obzirom na promjenjivost izvora (noć-dan, vedro-oblačno, ljeto-zima i sl.), masovno iskorištavanje sunčeve energije traži postojanje efikasnog spremnika energije iz kojeg bi se energija crpila kad ju trebamo, a bivala pohranjena kad je raspoloživa, a jednako vrijedi i za iskorištavanje energije vjetra.



Slika 1. Sudbina sunčeva zračenja na Zemlji

Energiju sunčeva zračenja najjednostavnije je koristiti tamo gdje postoji potreba za toplinom umjerenih temperatura, poput zagrijavanja i klimatizacije zgrada i stanova, zagrijavanja bazena, pripremu tople sanitetske vode u domaćinstvima, predgrijavanje vode u tehnološkim procesima, sušenju žitarica nakon žetve i sl. Radi se o području temperatura do 100° C. Uređaji kojima se potrebna toplina skuplja vrlo su jednostavni, poznati kao toplinski ili termički kolektori. Glavni je dio apsorpcijska ploča koja ima veliki (oko 0.9) koeficijent apsorpcije sunčeva zračenja i mali (0.1)

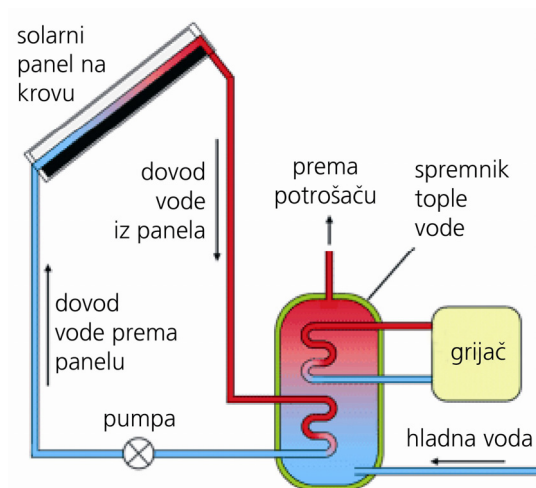
emisijski koeficijent toplinskog zračenja (govorimo o tzv.selektivnim apsorberima). Ploča je u kontaktu s cijevima kojima protiče fluid, najčešće voda, koji odnosi apsorbiranu toplinu u spremnik ili već tamo gdje ju trebamo. Da bi se minimizirali gubici topline, ploča je smještena u kutiju izoliranu s donje i pokrivenu staklom s gornje strane.



Slika 2. Presjek jednog termičkog sunčeva kolektora

Uloga stakla je da propušta sunčevo zračenje, a ne propušta toplinsko zračenje apsorpcijske ploče koja zrači poput crnog tijela temperature 350-400 K. Postoje varijante kolektora sa zrakom umjesto vode, kao i s vakuumom između ploče i vanjskog stakla, čime se isključuju konvekcijski gubici. Slika 2. prikazuje presjek jednog termičkog kolektora, a slika 3. shemu jednostavnog kućnog sustava za pripremu tople vode. Stupanj djelovanja termičkih kolektora ovisi o izvedbi i temperaturi fluida i iznosi od maksimalnih 80% na niže.

Više se temperature radnog fluida dobivaju koncentriranjem sunčeva zračenja zrcalima, čiji se položaj mora mijenjati kako bi slijedili dnevno prividno kretanje Sunca. Najjednostavniji je sustav paraboličnih cilindričnih zrcala (slika 4.) u čijem se žarištu nalazi cijev s fluidom visoke točke ključanja, okružena staklenom evakuiranom (vakuum) cijevi. Radni fluid svojom toplinom generira vodenu paru koja tjera turbinu povezanu s generatorom, te na taj način sunčeva toplinska energija proizvodi električnu struju.

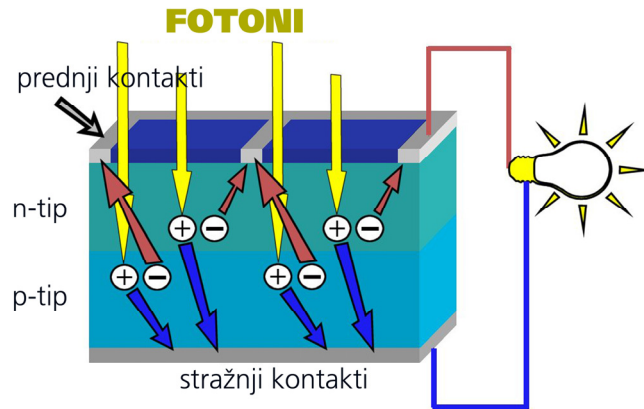


Slika 3. Shema jednostavnog kućnog sustava za pripremu tople vode



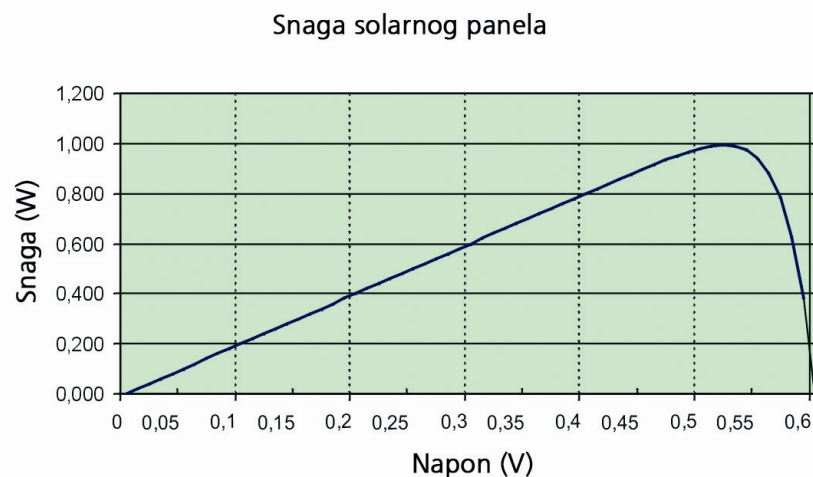
Slika 4. Parabolična cilindrična zrcala koncentriraju sunčevo zračenje na cijev u žarištu

Sunčane fotonaponske silicijeve ćelije proizvode elektroenergiju direktnom konverzijom. Da bi se shvatio mehanizam rada tih ćelija trebalo bi vladati kvantnom mehanikom i fizikom čvrstog stanja, no u nedostatku toga zadovoljimo se sljedećim. Četvorovalentan silicij kao čisti (intrinzični) poluvodič ima gotovo elektronima potpuno popunjenu valentnu vrpcu i gotovo praznu vodljivu vrpcu, koje su međusobno udaljene 1.11 eV. Dopira li se trovalentnim atomima-akceptorima (bor na pr.) s jedne strane i petovalentnim-donorima (fosfor na pr.) s druge, formira se PN spoj, nešto poput poluvodičke diode. Između P i N sloja dolazi do difuzije elektrona sve dok time uspostavljeno snažno električno polje ne uspostavi ravnotežu. Apsorpcijom fotona dovoljnje energije (veće od 1 eV), elektron se iz valentne prebaci u vodljivu vrpcu, ostavivši šupljinu (formira se par elektron-šupljina). Uspostavimo li vanjsku vezu s trošilom elektron će se preko nje vratiti u valentnu vrpcu izgubivši energiju jednaku umnošku napona ćelije i naboja elektrona (slika 5.)



Slika 5. Slikoviti prikaz rada fotonaponske ćelije. Stražnji kontakt je neprekinut metalni sloj, a prednji fina metalna mreža koja pokriva oko 10% površine, smanjujući za isti postotak ozračenje ćelije.

Tok fotona u sunčevom spektru je golem, (približno $3 \times 10^{21}/\text{m}^2\text{s}$), no nemaju svi dovoljnu energiju za opisani proces, a oni pak s većom energijom korisno utroše samo nužno potrebnu energiju, a ostatak se pretvara u toplinu, pa kao rezultat imamo relativno umjeren stupanj djelovanja ćelije. Teoretski za silicijevu ćeliju on iznosi oko 23%, u praksi oko 15% za monokristalične do oko 8% za amorfne silicijeve ćelije. Oblik sunčeva spektra je takav da bi poluvodič s energetske procjepom E_g jednakim oko 1.5 eV, imao maksimalan teoretski stupanj djelovanja od 28%, a tome su najbliži poluvodiči GaAs i CdTe, no komercijalne ćelije dominantno su silicijeve. Snaga solarnog panela ovisna je o radnoj točki, odnosno o naponu na kojem radi, što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Snaga silicijevog solarnog panela maksimalna je ako je radna točka oko 0.53 V, dok je napon otvorenog kruga, kad ne teče struja, oko 0.6 V.

Energija vjetra

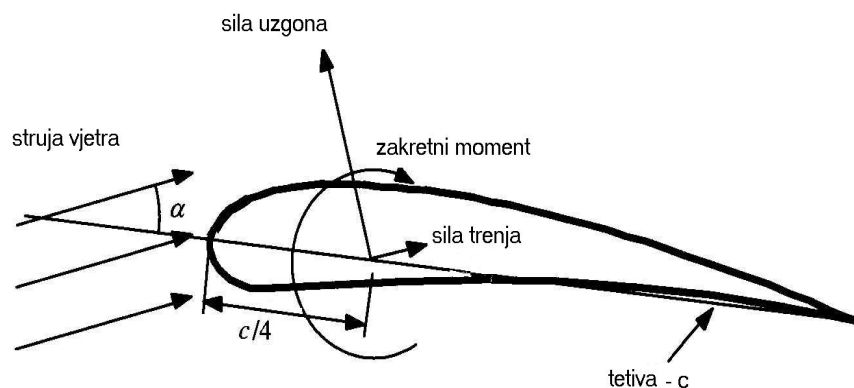
Pretvorba energije vjetra u mehaničku energiju vjetroturbine

Pretvorba energije vjetra u korisnu mehaničku energiju uglavnom se vrši na dva načina, odnosno primjenom dva fizikalna efekta. Jedan je efekt uzgona na krila (uzgonske) vjetroturbine i on je dominantan u vjetroturbinskim jedinicama veće snage, a drugi je efekt aerodinamičko trenje između struje vjetra i lopatica vjetroturbine. Uzgonske vjetroturbine dominantno su one s horizontalnom osovinom i stoga ćemo se s principima praktičnog iskorištavanja energije vjetra upoznati na njenom primjeru.

Zakretni moment na horizontalnu osovinu uzgonske vjetroturbine stvaraju krila turbine zahvaljujući svojem posebnom obliku koji je poznat kao "profil avionskog krila".

Zračna struja oko krila proizvodi sile na njegovu površinu koje se dadu grupirati u 3 rezultante (slika 7.).

- sila uzgona kao posljedica različitih brzina strujanja oko "donje" i "gornje" površine koje su uzrok različitih tlakova na njih (Bernoullijeva jednačba).
- sila trenja kao posljedica viskoznog trenja
- zakretni moment oko osi okomite na profil krila



Slika 7. Rezultantne sile trenja i uzgona te zakretnog momenta na krilo

Zakretni moment na samu osovinu vjetroturbine dobijemo zbrajanjem – integracijom elementarnih momenata na os turbine od okomitih komponenti rezultantne sile. S obzirom da je relativna napadna brzina vjetra u odnosu na profil krila, a zbog samog okretanja krila vjetroturbine, funkcija udaljenosti elementa profila od osi, orijentacija ili nagib tetive profila u odnosu na os turbine također se mora mijenjati. U praksi linearna brzina vrha krila nekoliko puta je veća od same brzine vjetra te je njegov nagib vrlo malen, da bi se on povećavao kako se profil krila približava samoj osi vjetroturbine.

Mehanička snaga na osovini vjetroturbine jednaka je umnošku ukupnog zakretnog momenta M_{uk} (od svih krila) i kružne brzine same vjetroturbine.

Kolika je energija vjetra?

Polazimo od osnovnog izraza za kinetičku energiju mase u gibanju. Ako u predstavlja brzinu vjetra, ρ gustoću zraka, kroz površinu A prolazit će zrak snagom od

$$P = \frac{1}{2}(\rho Au)u^2 = \frac{1}{2}\rho Au^3$$

Zbog zavisnosti o 3. potenciji brzine, specifična snaga naglo raste, da bi za veće brzine (20-25 m/s) dosegla respektabilne vrijednosti od 5-10 kW/m². Od pune snage vjetra moguće je iskoristiti samo jedan dio. Razlog tome je očit. Naime, punu snagu koristili bi kad bi došlo do potpunog zaustavljanja odnosno smanjenja brzine vjetra na nulu. No zrak, čija je energija iskorištena, mora strujati dalje, kako bi načinio mjesto onome koji dolazi s punom energijom.

Optimiranje dizajna vjetrogeneratora uključuje iznalaženje najvećeg udjela energije vjetra koji se dađe pretvoriti u energiju vjetroturbine. Jednostavna analiza koju je načinio A. Betz 1926. godine daje nam teoretski gornji limit snage vjetra koja se dađe iskoristiti. To je načinio uvođenjem tzv. interferentnog faktora a , koji govori koliko je relativno smanjenje brzine vjetra kroz turbinski presjek. Nakon nešto računa dobiva se da snaga vjetroturbine iznosi

$$P_t = [4a(1-a)^2] \left(\frac{1}{2} A \rho u_0^3 \right) = C_p P_0$$

Usporedbom s iznosom pune snage vjetra P_0 vidimo da tzv. faktor snage C_p koji pokazuje kolika se snaga vjetra dađe iskoristiti glasi

$$C_p = [4a(1-a)^2]$$

Traženje maksimalnog faktora snage daje vrijednost $a = 1/3$, što izvednjuje maksimalni faktor snage

$$C_{p \max} = 16/27 = 0,5926.$$

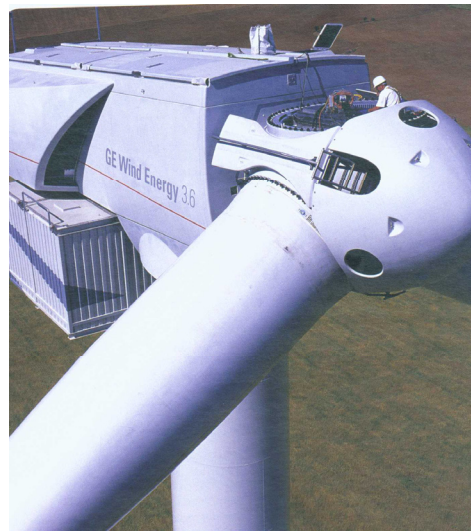
Taj rezultat kaže da bi idealna vjetroturbina bila ona kroz koju bi zračna struja imala vrijednost od 2/3 neometane brzine vjetra u_0 . Ona bi tad mogla iskoristiti skoro 60% snage vjetra. Zadatak dizajnera turbine je u što većoj mjeri tome se približiti. U praksi se tome može jedino približiti. Štoviše, učinkovitost vjetroturbine dodatno je ograničena promjenljivošću brzine vjetra, jer njihova konstrukcija može biti optimirana samo za jednu brzinu. O čemu se radi? Pojednostavljeno rečeno, krila vjetroturbine zauzimaju određeni udio u površini koju opisuje njeno okretanje. Taj udio naziva se "krutošću" vjetroturbine. Kad se krila okreću malom brzinom veći dio struje vjetra prolazi neometen i sukladno tome ne doprinosi snazi vjetroturbine. Suprotno tome, kad bi se turbina okretala prevelikom brzinom svako bi se krilo kretalo u turbulenciji izazvanoj prethodnim krilom, a ne u neometanoj zračnoj struji vjetra. Očito je da za svaku vjetroturbinu postoji neka optimalna brzina vjetra. Parametar koji je relevantan za prikaz zavisnosti učinkovitosti vjetroturbine o brzini vjetra jest omjer brzine vrha vjetroturbine i brzine vjetra, zvan parametrom λ .

Komercijalne velike vjetroturbine s tri krila koje prevladavaju među komercijalnim jedinicama, ostvaruju 40%-tni koeficijent snage u području $3 < \lambda < 4$.

Trenutno je gradnja vjetroturbina u velikom zamahu. Prednjače Njemačka i Danska, a i u nas su izgrađene dvije manje vjetrogeneratorske farme, jedna na Pagu i druga pokraj Šibenika. Smatra se da su za njihovu gradnju pogodne lokacije na kojima je prosječna brzina vjetra veća od 5 m/s. Trenutno najveća vjetrogeneratorska jedinica prototip je njemačke tvrtke ENERCON (slika 8.). Vrijedi na njenom primjeru uvjeriti se u mogućnosti praktične primjene vjetroenergije. Naziv jedinice je E-112. Moguće je pogađati da E dolazi od početnog slova naziva tvrtke, a brojka 112 koja slijedi najbliža je promjeru trokrilne vjetroturbine (112.8 m). Visina tornja te jedinice (124 m) za 20 m nadmašuje zagrebačku prvostolnicu-katedralu. Svako krilo, duljine 52 m, izgrađeno od staklenim vlaknima ojačane epoxsy smole, ima masu od 20 tona. Ukupna površina koju opisuje vjetroturbina impozantnih je 10,000 m². Ona se vrti brzinom od 8-12 okretaja u minuti, a nazivna snaga generatora iznosi 4,5 MW. Slika 9. prikazuje montažu jedne vjetroturbine, slika 10. vjetro-farmu u Austriji, a slika 11. projekt off-shore vjetrofarme s turbinama u difuzoru koji povećava efektivno brzinu vjetra kroz turbinu.



Slika 8. Pogled na 4,5 MW-ni prototip vjetrogeneratora tvrtke ENERCON



Slika 9. Montaža 3,6 MW-nog vjetrogeneratora General Electrica



Slika 10. Vjetrogeneratorska farma u Austriji



Slika 11. Projekt off-shore (na moru) vjetrogeneratorske farme s vjetroturbinama unutar difuzora.

Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima

Ines Krajcar Bronić

Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

krajcar@irb.hr

Uvod

Život na Zemlji zasnovan je na ugljiku i vodi. Količina nekog elementa na Zemlji je ograničena i konačna. Kako se ugljik i voda stalno uzimaju iz atmosfere radi održanja života, jasno je da je za dugotrajno održanje života potrebno stalno obnavljanje izvora tih bitnih elemenata. Stoga je za očuvanje našeg planeta potrebno poznavati kruženje vode i ugljika u prirodi i sve procese u tim ciklusima, kao i utjecaj čovjekovih aktivnosti na njih. U proučavanju ciklusa ugljika i vode u prirodi važnu ulogu imaju i različiti izotopi elemenata C, H i O, a ovdje ćemo prikazati neke najvažnije primjene.

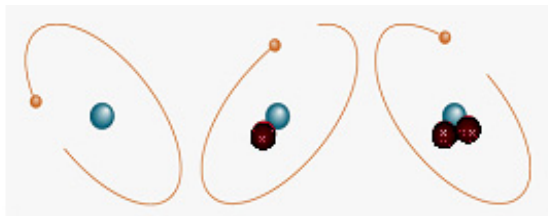
Izotopi

Izotopi su atomi istog kemijskog elementa koji se razlikuju po broju neutrona u jezgri. Broj protona u jezgri određuje sam kemijski element, a njegova masa određena je zbrojem protona i neutrona u jezgri. Izotope označavamo simbolom kemijskog elementa i masenim brojem, npr. ^{14}C , ^2H .

Prema stabilnosti jezgre razlikujemo stabilne i radioaktivne izotope. Jezgra stabilnih izotopa se vremenom ne mijenja, a jezgra radioaktivnog izotopa nakon nekog vremena doživi spontanu promjenu - radioaktivni raspad. Ovdje nas zanima samo beta (β^-) raspad, pri kojem se jedan neutron u jezgri raspada na proton, elektron i neutrino: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Pri tome se atomski broj poveća za 1, a maseni broj ostaje isti. Energiju raspada međusobno dijele elektron i neutrino. Karakteristična veličina radioaktivnog raspada je vrijeme poluraspada, $T_{1/2}$, - vrijeme potrebno da se početni broj radioaktivnih atoma nekog elementa prepolovi.

Vodik ima 3 izotopa (Slika 1), od kojih su ^1H (99,985%) i ^2H (deuterij, 0,015%) stabilni, a ^3H (tricij) je radioaktivan. Raspada se - raspadom, vrijeme poluživota mu je 12,43 godina, a energija raspada iznosi 18 keV. ^3H nastaje u gornjim slojevima atmosfere u reakciji neutrona i dušika: $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^3\text{H} + ^{12}\text{C}$. Prirodnim putem nastaje oko 200 g tricija godišnje, a u atmosferi ga ima oko 3,6 kg. ^3H nastaje također i u nuklearnim reaktorima (oko 25 g godišnje) i u termonuklearnim eksplozijama. Procjenjuje se da je od 1952. do 1962. oko 600 kg tricija ubačeno u atmosferu, a kasnije (1967.-1980.) još oko 20 kg [1]. Zbog toga je koncentracija tricija u atmosferi porasla nekoliko tisuća puta. Nakon prekida testova u atmosferi, količina tricija u atmosferi postupno pada (zbog miješanja atmosferskih slojeva, zbog ispiranja iz atmosfere

oborinama, zbog kratkog vremena poluživota tricija) i danas se približava prirodnim vrijednostima. Jedinica za koncentraciju aktivnosti tricija u vodi je Bq/L vode, ali se u primjenama najčešće koristi jedinica TU (Tritium Unit, tricijeva jedinica) koja je definirana kao omjer 1 atoma ^3H prema 10^{18} atoma ^1H . Za vodu vrijedi $1 \text{ TU} = 0,12 \text{ Bq/L}$.



Slika 1. Izotopi vodika: ^1H (1 proton u jezgri), ^2H (1 proton i 1 neutron) i ^3H (1 proton i 2 neutrona).

Najznačajniji izotopi kisika su ^{16}O (99,76%) i ^{18}O (0,2%), dok je ^{17}O (0,04%) bez značajne primjene. Najzastupljeniji izotop ugljika je ^{12}C (98,89%), a koriste se još stabilni izotop ^{13}C (1,11%) i radioaktivni ^{14}C (samo $10^{-10}\%$). ^{14}C nastaje u višim slojevima atmosfere djelovanjem kozmičkog zračenja na atome dušika $^{14}\text{N} + n \rightarrow p + ^{14}\text{C}$, a raspada se β^- raspadom, ima $T_{1/2}$ od 5730 godina, a energiju raspada 250 keV. Nastali ^{14}C oksidira u $^{14}\text{CO}_2$ i raspodjeljuje se po atmosferi, a putem fotosinteze ugrađuje se u biljke i životinje, te tako sudjeluje u kruženju ugljika. Najznačajnija primjena ovog izotopa je u datiranju (određivanju starosti) biogenog materijala do starosti od oko 60000 godina [2]. Ljudsko djelovanje poremetilo je i prirodnu raspodjelu ^{14}C : povećana potrošnja fosilnih goriva krajem 19. stoljeća smanjila je specifičnu ^{14}C aktivnost atmosfere, a nakon Drugog svjetskog rata intenzivna testiranja nuklearnog oružja u atmosferi udvostručila su je [3]. Koncentracija izotopa ^{14}C izražava se kao specifična aktivnost, tj. broj raspada u sekundi (Bq) po 1 g ugljika, bez obzira o kojem je materijalu riječ. U primjeni uvedena relativna veličina $a^{14}\text{C}$ definirana kao omjer stvarne specifične aktivnosti nekog uzorka i specifične aktivnosti standarda, tj. uzorka drva iz neporemećene atmosfere. Po definiciji, $a^{14}\text{C}$ (100 pMC) = 226 Bq/kg C, gdje je pMC jedinica "postotak modernog ugljika".

Koncentracija stabilnih izotopa izražava se kao omjer rjeđeg i zastupljenijeg izotopa, $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, a najviše se koristi veličina δ ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) koja predstavlja relativno odstupanje omjera danih izotopa u nekom materijalu od omjera u standardnom materijalu izraženo u promilima (‰). Prema definiciji, standard za neki izotop ima δ vrijednost 0‰, svi materijali koji sadrže više težeg izotopa imaju pozitivne δ vrijednosti, a oni koji imaju manjak težeg izotopa imaju negativne δ vrijednosti. Za svaki izotop određeni su međunarodni standardi, VSMOW za $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$, te PDB za $\delta^{13}\text{C}$ [4].

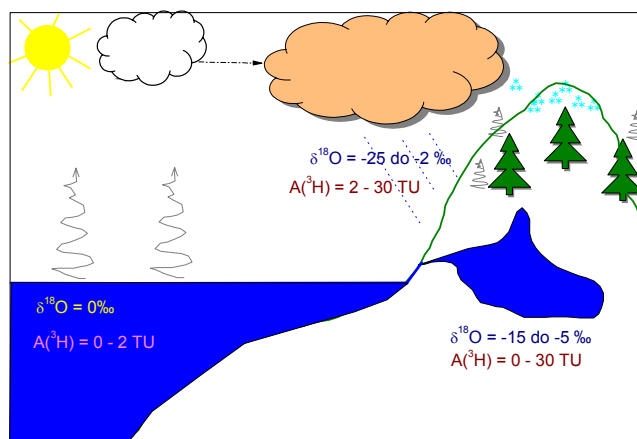
$$\delta^2\text{H} = \left(\frac{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{uzorak}} - \left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{standard}}}{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{standard}}} \right) \cdot 1000 \quad (\text{‰}) \quad (1)$$

Iako izotopi imaju sva svojstva kemijskog elementa, zbog razlike u masama dolazi i do male, ali značajne razlike u energiji veze. Stoga svaka kemijska reakcija ili

fizikalna promjena unosi promjene u izotopni sastav produkata, te se poznavanjem izotopnog sastava nekog materijala može zaključiti o njegovom porijeklu, odnosno uvjetima postanka. Razlika između izotopnog sastava početnog i krajnjeg produkta neke reakcije naziva se izotopna frakcionacija. Na primjer, u procesu fotosinteze biljka uzima iz atmosferskog CO_2 pretežito lakšu molekulu $^{12}\text{CO}_2$, pa za posljedicu biljke sadrže "lakši" ugljik nego atmosfera: ^{13}C atmosferskom CO_2 danas iznosi -8‰, a u biljkama oko -25‰. Posebno je izražena frakcionacija (odvajanje) izotopa kod promjene agregatnog stanja, npr. brže isparavaju lakši izotopi, a teži izotopi lakše kondenziraju. Od promatranih elemenata, odvajanje (frakcionacija) je značajnije kod izotopa vodika zbog velike razlike u masi vodikovih izotopa.

Kruženje vode

Ciklus vode ili hidrološki ciklus opisuje kruženje vode na, iznad i ispod površine Zemlje (Slika 2), pri čemu na raznim mjestima u ciklusu voda mijenja agregatna stanja – tekuće, plinovito i kruto. Voda je u pravom smislu izvor života i bez nje živi svijet kakav poznajemo ne bi postojao. U organizmima je voda najzastupljenija molekula (do 90% težine), ali ta voda nije „zarobljena“ u organizmu već se izmjenjuje relativno brzo. Voda i CO_2 nastaju u biljkama i životinjama kao nusprodukti razgradnje ugljikohidrata, reakcije koja daje energiju. Voda je tzv. univerzalno otapalo te tako omogućava tvarima topivim u vodi dopiranje do svake stanice u našem tijelu. Sve tjelesne funkcije ovise o prisutnosti vode.



Slika 2. Shematski prikaz vodenog ciklusa, te izotopni sastav vode u nekim njegovim dijelovima.

Na Zemlji se nalazi oko 1,4 milijarde km^3 vode koja prekriva 71% površine planeta. Nešto više od 97% ove količine je morska voda, a "slatka" voda čini samo oko 3% sve vode na Zemlji, od čega je veći dio smrznut na polovima (oko 35 milijuna km^3). Samo oko 0,3% vode raspoloživo je kao pitka voda (oko 4 milijuna km^3). Atmosfera sadrži oko 13000 km^3 vode, prosječna molekula vode se u njoj zadržava 9 dana prije nego padne na Zemlju kao oborina. Prosječna molekula vode živi u

oceanu oko 3000 godina prije ponovnog uključenja u ciklus putem isparavanja, te opis kruženja vode u prirodi obično počinje tim procesom.

Sunce daje energiju potrebnu za isparavanje vode s površine Zemlje, te vodena para ulazu u atmosferu. Svaki dan oko 1200 km³ vode ispari iz oceana, kopna, biljaka (proces transpiracije) i polarnih kapa (sublimacija). Povratak vode na površinu Zemlje počinje njezinom kondenzacijom u oblacima nakon čega pada u obliku kiše, snijega ili tuče. Vode koje teku po površini niz tokove rijeka zovu se površinske vode. Amazona, svjetska najveća rijeka, čini oko 15% takvih voda. Dio oborina prolazi kroz tlo prosječnom brzinom manjom od 1m na dan i voda ostaje "zarobljena" između nepropusnih stijena (podzemna voda u akviferima - vodonosnicima), a na pogodnim mjestima vraća se na površinu na izvorima. Na kraju, voda opet završava u oceanima.

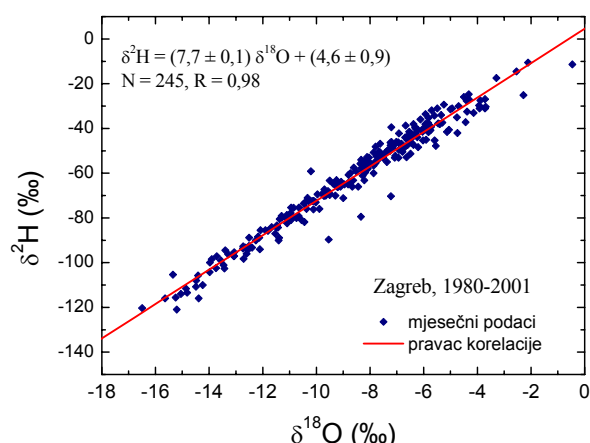
Najčešća molekula vode sastoji se od "običnog" vodika ¹H i "običnog" kisika ¹⁶O. Molekule s jednim težim izotopom, H₂¹⁸O ili H²H¹⁶O, mogu se relativno lako i precizno mjeriti. Oblici u kojima su istovremena dva teža izotopa su vrlo rijetki. Za praćenje tricija u atmosferi potrebna nam je molekula vode oblika H³HO. Raspodjela ovih rijetkih molekula u prirodi omogućava proučavanje različitih procesa unutar vodenog ciklusa. Praćenje kretanja vode kroz cjelokupan sustav, a i modeliranje klimatskih prilika, danas je teško zamisliti bez praćenja različitih izotopa (²H, ³H, ¹⁸O), sastavnih dijelova vode. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) i Svjetska meteorološka organizacija (WMO) pokrenule su 1961. program praćenja izotopnog sastava mjesečnih oborina (uz klimatološke podatke: količinu oborina, temperaturu zraka i vlažnost) [5], koji danas obuhvaća 740 meteoroloških postaja iz 101 zemlje, a u bazi podataka sadržano je više od 90000 izotopnih podataka. Od 1976. godine u tom programu sudjeluje i Institut "Ruđer Bošković".

Tricij se u oborinama prati od 1952. godine, a Ottawa u Kanadi i Beč su najstarije postaje [3,5]. Opaženi podaci omogućili su stvaranje vremenske skale za transport vode kroz različite spremnike hidrološkog ciklusa. Npr., ako podzemna voda ne sadrži tricij, onda je ona ušla u podzemne spremnike prije 1950. godine (sav tada prisutan prirodni tricij se u međuvremenu raspao do ispod granice detekcije mjernih uređaja). Ako u sloju glečerskog leda izmjerimo 1000 TU, zaključit ćemo da je taj snijeg porijeklom iz 1963. godine, kad je bila najviša koncentracija ³H u atmosferi, pri čemu smo uzeli u obzir radioaktivni raspad.

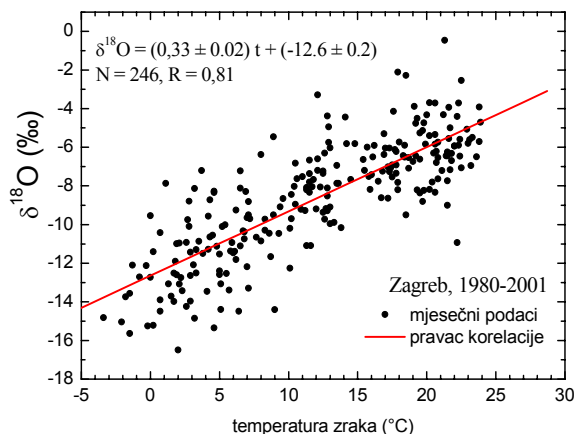
Stabilni izotopi označavaju ciklus na drugi način. Naime, najznačajnija frakcionacija događa se prilikom promjene faza, tj. isparavanja iz oceana i prilikom kondenzacije u oblacima. Značajno je napomenuti da izotopna frakcionacija u procesima promjene faza jako ovisi o temperaturi. Teže molekule vode koje sadrže ²H ili ¹⁸O teže će isparavati iz oceana, pa će tako oceani ostati bogatiji težim izotopima, a vodena para osiromašena, dakle imat će negativnije δ vrijednosti. Kondenzacija je pak proces u kojem se najprije kondenziraju teže molekule, a vodena para u oblacima ostaje sve siromašnija težim izotopima. Ovi procesi rezultiraju vrlo uočljivim promjenama u vremenskoj i prostornoj raspodjeli izotopnog sastava oborina [3,5]. Tako oborine koje padaju sve kasnije na putu zračnih masa od obale oceana preko kontinenta imaju sve negativnije δ vrijednosti. Oborine u polarnim područjima su jače osiromašene težim izotopom (negativnije δ) nego one u

ekvatorijalnom području. Od posebnog su značenja sezonske varijacije: zbog više temperature atmosfere, ljetne oborine su manje osiromašene težim izotopom nego zimske (tj. ljeti pozitivnije δ vrijednosti). Oborine na većim nadmorskim visinama su negativnije nego na nižim. Površinske vode, pogotovo stajaće vode – jezera, gube lakše izotope zbog isparavanja, pa voda u njima poprima sve pozitivnije δ vrijednosti.

Na osnovi brojnih izmjerenih podataka o izotopnom sastavu oborina, došlo se do nekoliko značajnih korelacija koje se primjenjuju u klimatološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Ustanovljeno je da postoji vrlo dobra korelacija između $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ u oborinama (Slika 3), koja se može opisati kao $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$, i naziva se globalna linija oborinske vode (GMWL – Global Meteoric Water Line). Odstupanja izotopnog sastava podzemnih i površinskih voda od tog pravca ukazuju na povećano isparavanje iz stajaćih voda, ili neke druge izotopne izmjene u akviferima. Također se pokazalo da postoji veza između srednje temperature zraka i $\delta^{18}\text{O}$ oborina (Slika 4), kao i veza između $\delta^{18}\text{O}$ i nadmorske visine [4,5,6]. Izotopni sastav voda na izvorima ukazuje na područje prihranjivanja i eventualno sezonsku ovisnost prihranjivanja akvifera, a mogu se dobiti i podaci o veličini akvifera, brzini miješanja i cirkulacije vode, kao i o starosti vode (^3H).



Slika 3. Linija oborinske vode za Zagreb i mjesečni podaci o izotopnom sastavu oborina



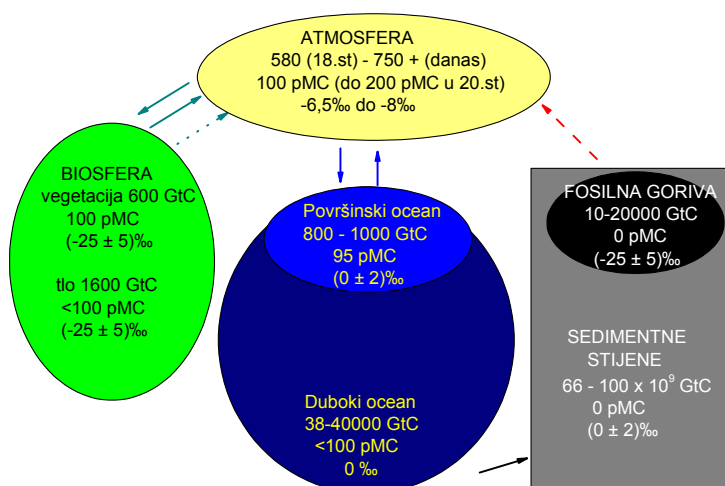
Slika 4. Ovisnost $\delta^{18}\text{O}$ u oborinama i temperature zraka, Zagreb, 1980-2001.

Ciklus ugljika

Ugljik (C) je po zastupljenosti u svemiru četvrti element, a na Zemlji ga ima samo 0,32% (težinski). Ali ugljik ima puno veću važnost na Zemlji, jer je sav život kakvog poznajemo zasnovan na ugljiku. U neživoj okolini ugljik se nalazi u obliku CO_2 u atmosferi i otopljen u vodi (uglavnom kao HCO_3^-), u karbonatnim stijenama (vapnenac, koralji), u fosilnim gorivima (ugljen, nafta, prirodni plin, nastali iz nekoć živih bića), te u organskoj tvari u tlu. Udio ugljika u živoj tvari (18%-20%) je gotovo

100 puta viši nego u neživoj (oko 0,2%), što znači da živa bića mogu izdvajati ugljik iz nežive okoline, a kako bi se život mogao održati, potrebno je reciklirati ugljik. Stoga je poznavanje kruženja ugljika u prirodi od važnosti za život na Zemlji.

Ciklus ugljika (Slika 5) je biogeokemijski ciklus u kojem se ugljik izmjenjuje između biosfere, litosfere (uključuje fosilna goriva), hidrosfere i atmosfere. Kruženje ugljika događa se zbog različitih kemijskih, fizičkih, geoloških i bioloških procesa. Ukupni globalni ciklus ugljika može se podijeliti na dva manja ciklusa - geološki i biološki. Geološki ciklus ugljika promatra kretanje ugljika između stijena i minerala (litosfera), morske vode (hidrosfera) i atmosfere, a procesi u njemu odvijaju se tijekom milijuna godina. Biološki ciklus odvija se uglavnom između atmosfere i biosfere, i u njemu se procesi odvijaju u puno kraćem vremenu (od jednog dana do više stotina godina). Ali ta dva ciklusa nisu sasvim odvojena, jer fotosinteza i respiracija imaju važnu ulogu i u geološkom ciklusu. Dio ugljika kojeg je fitoplankton u moru koristio za izgradnju ljušturica taloži se na dno oceana stvarajući sedimente. Tijekom milijuna godina geološke prošlosti organska tvar se polako pretvarala u naslage ugljena i nafte, tzv. fosilnih goriva. Dakle, u biološkim procesima korišten je CO_2 iz atmosfere, koji je nakon niza godina pohranjen u geološke spremnike.



Slika 5. Shematski prikaz spremnika ugljika koji sudjeluju u kruženju ugljika u prirodi. Dana je količina ugljika (u GtC – Gigatone ugljika) u pojedinim spremnicima ugljika, te izotopni sastav ugljika u njima: specifična ^{14}C aktivnost (u pMC) i $\delta^{13}\text{C}$ (u ‰).

U atmosferi se ugljik nalazi uglavnom u obliku CO_2 . Iako u vrlo malom postotku (oko 0,03 % vol.), ima vrlo važnu ulogu za održavanje života na Zemlji jer ga koriste biljke za proces fotosinteze. CO_2 se otapa u morskoj vodi (veća topivost u hladnijoj vodi), a i u vodi koja prolazi kroz tlo, stvarajući ugljičnu kiselinu, koja može otapati vapnenačke stijene. Ugljik se može vratiti u atmosferu disanjem biljaka i životinja, raspadanjem biljnog i životinjskog tkiva, spaljivanjem organskog materijala, oslobađanjem iz tople morske vode i vulkanskim erupcijama. Izgaranjem fosilnih goriva oslobađa se ugljik koji je milijunima godina bio spremljen u litosferi.

Atmosfera je prije industrijske revolucije sadržavala oko 580 Gt ugljika, u današnjoj atmosferi ta je količina oko 750 Gt i u porastu je.

Biosfera (biljke, životinje, organska tvar u tlu) sadrži oko 2200 Gt ugljika. Posebnu ulogu imaju autotrofni organizmi (biljke, fitoplankton), koji iz anorganskih tvari sami sintetiziraju organske komponente (glukozu i ostale ugljikohidrate) procesom fotosinteze: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Heterotrofni organizmi hrane se autotrofnima (ili njihovim dijelovima – plodovima) te se tako ugljik prenosi biosferom. Biljke i životinje koriste ugljikohidrate nastale fotosintezom (i ostale kompleksnije produkte) kao "gorivo" putem procesa respiracije (stanično disanje), $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$, te se CO_2 vraća u atmosferu ili vodu. Razgradnjom (dekompozicijom) mrtvog organskog materijala gljivicama i bakterijama u aerobnim ili anaerobnim uvjetima također nastaju CO_2 i CH_4 , kao i izgaranjem biomase (šumski požari, korištenje drva za ogrjev). Prijenos iz biosfere u litosferu događa se kad treset (mrtav organski materijal) postaje dio tla, odnosno kad karbonatne ljušturice postaju sastavni dio sedimentnih vapnenačkih stijena.

More (oceani) sadrže oko 1000 Gt u površinskom sloju, i oko 40000 Gt ugljika u dubokom oceanu, uglavnom u obliku bikarbonatnih iona. Ugljik lako prelazi između oceana i atmosfere. Količina CO_2 otopljenog u moru uglavnom je određena temperaturom površinske vode (hladnija voda može otopiti više CO_2 , hladne struje spuštaju se ispod površine oceana, putuju prema toplijim područjima, dolaze na površinu i otpuštaju CO_2). Neki od morskih organizama mogu vezati bikarbonat iz mora (HCO_3^-) i Ca^{2+} (kalcij) i tako stvoriti kalcijev karbonat za ljušturice ili druge dijelove organizma (neke alge, mekušci, koralji). Nakon smrti takvih organizama, njihove karbonatne ljušturice padaju na dno oceana i nakupljaju se kao karbonatom bogati sedimenti. Nakon geoloških vremenskih razdoblja i procesa ti se talozi fizički i kemijski pretvaraju u sedimentne stijene.

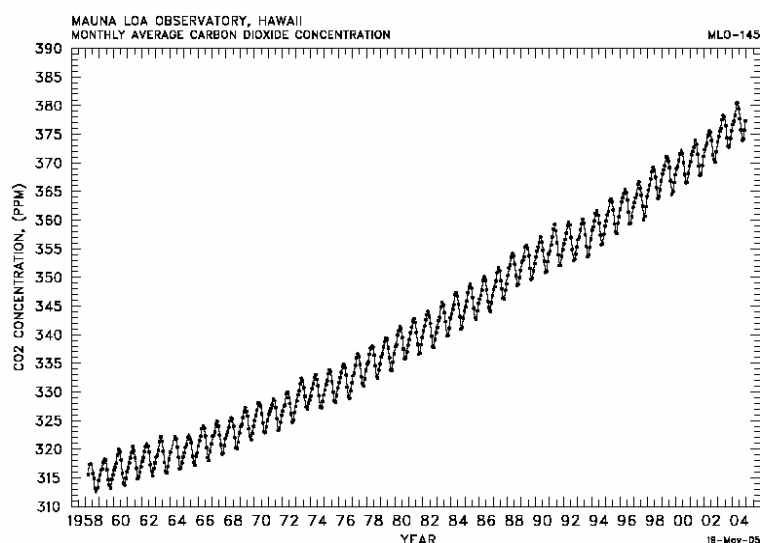
Litosfera je najveći spremnik ugljika na Zemlji, a posebno važnu ulogu u proučavanju ljudskog djelovanja na ciklus ugljika (i klimatske promjene koje se povezuju s tim) imaju fosilna goriva (ugljen, nafta, plin), koja se danas intenzivno koriste za dobivanje energije.

Staklenički plinovi u atmosferi sprječavaju odvođenje topline sa Zemlje natrag u svemir, te tako uzrokuju zagrijavanje Zemlje. Prirodni efekt staklenika nije loš sam po sebi, jer bi bez njega srednja temperatura na Zemlji bila oko 30°C niža, pa ne bi postojao život u ovom obliku. Glavni staklenički plinovi na Zemlji su vodena para koja uzrokuje oko 36–70% ukupnog efekta, CO_2 (9–26%), CH_4 (4–9%), i ozon (3–7%). Povišenje koncentracije stakleničkih plinova zbog ljudskog djelovanja može imati loše posljedice po život.

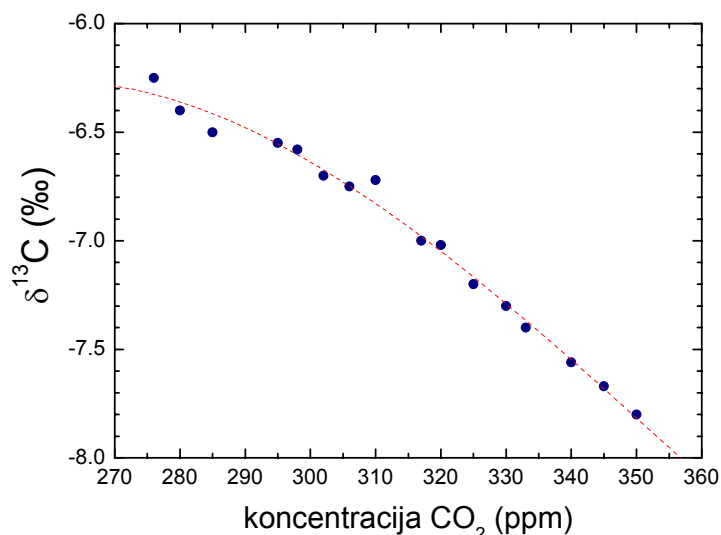
Počevši s industrijskom revolucijom sredinom 19.tog stoljeća, čovjek koristi sve više fosilna goriva, tako da je koncentracija CO_2 u atmosferi porasla od ~280 ppm u 19. stoljeću na iznad 380 ppm danas (Slika 6). Korištenje fosilnih goriva vraća u atmosferu ugljik zarobljen milijunima godina unutar Zemlje, godišnje oko 5,5 GtC. Uz to, krčenje i spaljivanje šuma (deforestacija), posebno u tropima, doprinose godišnje oko 1,6 GtC [7]. Samo dio tog antropogenog CO_2 ostaje u atmosferi (oko 3,2 GtC). Porast mase ugljika u atmosferi od 2,12 GtC odgovara porastu koncentracije od

1 ppm [8]. Predviđa se porast do 450 ppm ili čak preko 600 ppm prije kraja 21.og stoljeća, što može utjecati na povišenje globalne temperature za 2,5 do 3,5°C. Modeli kruženja ugljika u prirodi usko su povezani s globalnim klimatskim modelima, u kojima se proučava odgovor oceana i biosfere na promjenu koncentracije CO₂ u atmosferi. Iako ti modeli nisu sasvim precizni, gotovo svi pokazuju pozitivnu vezu između povećanja koncentracije CO₂ u atmosferi i povišenja temperature.

Kako možemo dokazati da je povišenje koncentracije CO₂ u atmosferi posljedica izgaranja fosilnih goriva? Tu nam mogu pomoći izotopi ugljika ¹³C i ¹⁴C. Tijekom fotosinteze dolazi do velike izotopne frakcionacije, tako da organska tvar (¹³C = -25‰) sadrži manje težih izotopa nego atmosfera (¹³C = -8‰). Fosilna goriva nastala su iz nekoć živih bića, pa je i u njima ¹³C oko -25‰, a budući da su stara više milijuna godina, u njima više nema ¹⁴C. Zbog razlike u izotopnom sastavu fosilnih goriva u odnosu na atmosferu, moguće je ustanoviti je li porast koncentracije CO₂ u atmosferi uzrokovan dodatkom CO₂ od izgaranja fosilnih goriva. Ali nije dovoljno samo izmjeriti današnji omjer ¹³C/¹²C, već moramo imati i neku informaciju iz prošlosti s kojom ćemo usporediti današnje stanje. Ta se informacija može dobiti iz mjehurića zraka koji je zarobljen u vječnom ledu polarnih područja, ili iz godova drveća. Analizom kemijskog sastava mjehurića zraka, a pogotovo analizom izotopnog sastava kako samog leda tako i mjehurića zraka, moguće je odrediti kemijski i izotopni sastav zraka, pa i zaključivati o klimi u prošlosti. Drvo kao biološki materijal sadrži puno ugljika, a tijekom svog rasta "sprema i pamti" informacije o atmosferi kakva je bila u trenutku (godini) rasta, pa su tako pohranjene i informacije o izotopnom sastavu atmosfere. Ni δ¹³C iz mjehurića zraka ni δ¹³C u drvu ne pokazuju bitne promjene izotopnog sastava do sredine 19. stoljeća, a promjene nakon tog vremena odgovaraju porastu koncentracije CO₂ u atmosferi, odnosno emisiji plinova zbog potrošnje fosilnih goriva [10,11]: δ¹³C u atmosferi počinje naglo padati od -6,5‰ prema -8‰ danas, a pokazana je direktna ovisnost δ¹³C o koncentraciji CO₂ u atmosferi (Slika 7).



Slika 6. Koncentracija CO₂ u atmosferi na postaji Mauna Loa na Havajima [9]. Uočavaju se sezonske varijacije zbog fotosintetske aktivnosti, te stalan porast srednjih godišnjih vrijednosti.



Slika 7. Odnos između koncentracije CO₂ u atmosferi i izotopnog sastava CO₂ u razdoblju nakon 1850. godine. Ledena jezgra Law Dome na Antarktici [11].

Mjerenje koncentracije ¹⁴C u atmosferskom CO₂ također može pomoći, jer se izgaranjem fosilnih goriva u atmosferu ubacuje CO₂ koji ne sadrži ¹⁴C, pa se koncentracija ¹⁴C u ukupnom ugljiku smanjuje (iako se koncentracija CO₂ povećava). Velika promjena u ravnotežnoj koncentraciji ¹⁴C u atmosferi (smanjenje a¹⁴C za oko 3 pMC) opažena je krajem 19. stoljeća (Suess-ov efekt) u doba industrijske revolucije [3]. Danas (nakon Drugog svjetskog rata) teže je pratiti promjene uzrokovane fosilnim gorivima pomoću ¹⁴C zbog povećanja ¹⁴C koncentracije u atmosferskom CO₂ nakon nuklearnih i termonuklearnih pokusa u atmosferi. Ipak, moguće je ustanoviti razliku između ¹⁴C u atmosferi u velikim gradskim i industrijskim središtima u odnosu na okolna područja bez industrije, s puno šuma. I usporedna mjerenja a¹⁴C u atmosferi u Zagrebu i na Medvednici pokazuju utjecaj potrošnje fosilnih goriva u gradu, pogotovo tijekom zimskih mjeseci: dok su godišnje varijacije na Medvednici u razdoblju 1995.-1996. bile oko 4 pMC, u gradu su bile znatno veće, oko 8 pMC, a prosječne a¹⁴C u gradu bile su oko 3 pMC niže zbog "razrjeđenja" izotopa ¹⁴C [12].

¹⁴C nastaje i kao posljedica rada reaktora nuklearnih centrala, a emitira se u okoliš u obliku CO₂, koji ulazi u prirodni ciklus ugljika u okolini elektrane, te putem hrane može doprinijeti i dodatnom ozračenju (povećanju doze) lokalnog stanovništva. Redovni monitoring radioaktivnih izotopa u okolini nuklearnih elektrana stoga uključuje i mjerenje ¹⁴C aktivnosti u biološkom materijalu tog područja.

Izotopi ugljika se primjenjuju i u hidrogeološkim istraživanjima zajedno s izotopima vodika i kisika, te u geologiji kvartara za postavljanje vremenske skale (datiranje organskih ili karbonatnih sedimenata), ali i kao indikatori promjena uvjeta u okolišu.

Zaključak

Praćenje izotopa vodika, ugljika i kisika ima veliku i sve veću važnost u proučavanjima prirodnih procesa, pogotovo ciklusa ugljika i vode. Njihova uloga je dvostruka: pomažu nam da shvatimo prirodne procese, a u slučaju istovremenog odvijanja nekoliko kompliciranih procesa (i kada je potrebno računalno modeliranje sustava) omogućuju nam da provjerimo valjanost modela. Suvremena ekološka, geološka, hidrogeološka, klimatološka, pa i arheološka i paleološka istraživanja, nezamisliva su i nepotpuna bez primjene različitih izotopnih tehnika. Izotopi također pokazuju da ljudsko djelovanje značajno utječe na promjene u prirodnim ciklusima ugljika i vode, što u skoroj budućnosti može dovesti do katastrofalnih posljedica za naš planet i život na njemu, ukoliko na vrijeme ne promijenimo naš odnos prema prirodi.

LITERATURA

1. K. Rozanski, R. Gonfiantini, L. Araguas-Araguas: Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trends. *J. Phys. G* **17** (Suppl.) (1991) S523.
2. I. Krajcar Bronić: Fizikalne metode datiranja u arheologiji i umjetnosti. U: *I to je fizika... – Zbornik popularnih predavanja na Sveučilištu povodom Svjetske godine fizike*. Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, 2006, str. 69-77.
http://www.wyp2005.hr/tjedan_fizike/zbornik.pdf
3. IAEA, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. *Technical Reports Series* 91, IAEA, 1983.
4. IAEA, Stable Isotope Hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. *Technical Reports Series* 210, IAEA, 1981.
5. IAEA (2004). Isotope Hydrology Information System. The ISOHIS Database.
<http://isohis.iaea.org>
6. P. Vreća, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, J. Barešić: Isotope characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations. *J. Hydrol.* **330** (2006) 457.
7. The IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 1996,
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
8. <http://www.radix.net/~bobg/faqs/scq.CO2rise.html>
9. <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas
11. R.J. Francey, C. E. Allison, D. M. Etheridge, C. M. Trudinger, G. Enting, M. Leuenberger, R. L. Langenfelds, E. Michel, L. P. Steele. A 1000-year high precision record of ^{13}C in atmospheric CO_2 . *Tellus* **51B** (1999) 170.
12. I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić: Two decades of environmental isotope records in Croatia: Reconstruction of the past and prediction of future levels. *Radiocarbon* **40** (1998) 399.

Meteorologija i ekologija

Zvezdana Bencetć Klaić

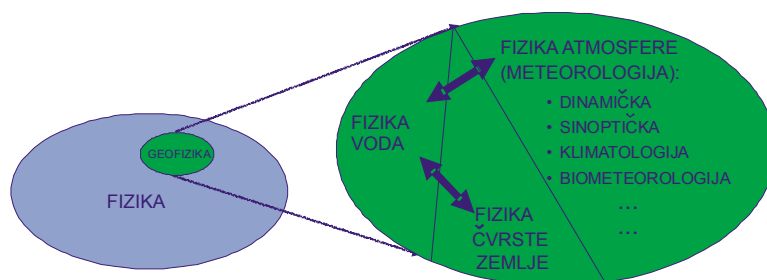
Geofizički odsjek, Geofizički zavod 'Andrija Mohorovičić'

PMF Zagreb

zklaic@rudjer.irb.hr

Što je meteorologija?

Naziv meteorologija potječe od grčkih riječi *μετέωρον* [izgovara se *meteoron*], što znači visoko na nebu i *λόγος* [*logos*], što znači znanje. Meteorologija je dio geofizike koji se odnosi na fiziku atmosfere. Meteorologiji, između ostalog, pripadaju klimatologija, dinamička, sinoptička i fizička meteorologija te biometeorologija (Slika 1.)



Slika 1. Meteorologija (fizika atmosfere) dio je geofizike. Fizički procesi u atmosferi utječu na fizičke procese u vodenim masama. Slično, procesi u vodenim masama utječu na procese u atmosferi. Stoga kažemo da postoji međudjelovanje atmosfere i voda. Slično, postoji i međudjelovanje čvrste Zemlje i voda.

Zašto nam je meteorologija važna?

Vrijeme i klima utječu na sva živa bića. O klimi ovisi biljni svijet te rasprostranjenost i način života životinjskih vrsta (mnoge životinje koje žive u područjima s izraženim godišnjim dobima, tijekom zime miruju). Različiti atmosferski i klimatski uvjeti utječu također i na ljude. Navedimo samo neke od poznatih činjenica:

- Kako gustoća zraka opada s nadmorskom visinom, stanovnici velikih nadmorskih visina imaju na raspolaganju manju količinu kisika u odnosu na stanovnike malih nadmorskih visina. Stanovnici Anda, na primjer, prilagodili su se takvim uvjetima života te imaju više crvenih krvnih zrnaca. Iz istog razloga mnogi sportaši često odlaze na pripreme u planine.

- U područjima u kojima je količina Sunčeva zračenja veća, efikasnije je stvaranje D vitamina u koži. Stoga, stanovnici Mediterana u prosjeku imaju veću gustoću kostiju od sjevernjaka.

- Pri prolasku atmosferskih fronta dolazi do promjene atmosferskog električnog polja. Više istraživanja je pokazalo da takve situacije smanjuju ljudsku koncentraciju te da tada ima više prometnih nezgoda i nezgoda na poslu.

Vrijeme i klima važni su i za čitav niz ljudskih aktivnosti i djelatnosti, poput turizma, prometa, poljoprivrede, energetike, građevinske industrije, zdravstva i drugog. Stoga je danas meteorologija prisutna u mnogim strukama pri planiranju, izgradnji i analizi utjecaja na okoliš različitih objekata (tvornica, hotela, elektrana, aerodroma i drugog). Nadalje, nepovoljni vremenski ili klimatski uvjeti mogu nanijeti velike štete gospodarstvu i okolišu (Slika 2).



Otapanje Antarktičkog leda. Smatra se da je posljedica globalnog zatopljenja.



Ledenjak Grinnell (SAD) 1938. (lijevo) i 1981. godine (desno). Gubitak volumena leda i nastanak ledenjačkog jezera pripisuje se globalnom zatopljenju.

NOVI LIST on line izdanje

ČETVORAK, 8.8.2002. NASLOVNICA ARHIVA

PRETPLATA **OSVOJI CILTROEN CO**

Dnevne Rubrike
 Novosti
 Kolumne, komentari
 Rijeka
 Opštija
 Crkvenica Novi
 Vinodol Senj
 Gorski kotar
 Dioni
 Lika
 Hrvatska
 Svijet
 Kultura
 Crna kronika
 Razigranja
 Sport
 Fokus
 Prilozi
 Beseda
 Otkriven
 Sve mogući čip
 Ljeto
 Impressum

CRNA KRONIKA: <<< NATRAG
PIJAVICA U NOĆ I S UTORKA NA SRIJEDU BJESNJELA RABOM
Češka obitelj u strahu poskakala u more
 Automobil i drveni štand u moru, auto na zidanoj vazi za cvijeće, polomljene grane i razbacani kontejneri za smeće – rezultat su pijavice što je dobro prestrašila turiste

Piše Romana JURČ
RAB – Automobil i drveni štand u moru, auto na zidanoj vazi za cvijeće, polomljene grane i razbacani kontejneri za smeće – rezultat su pijavice što je u noć s utorka na srijedu bjesnjela u Rabu. Od nekoliko očevidaca koje smo jučer ujutro zatekli na rapskoj rivi, pored parkirališta Slavija, gdje je nekoliko sati prije i prošla pijavica, ...



Pijavica (lijevo), koja se u nas nerijetko pojavljuje, naročito u toplom dijelu godine, može izazvati velike štete. Pijavica je u osnovi tornado (gornja slika) manjih razmjera.



Dugotrajna suša može biti katastrofalna za poljoprivredu.



U područjima s monsunskom klimom, zbog obilnih oborina tijekom ljetnog monsuna, poplave su uobičajene.



Tijekom jake bure na Jadranu (14.-15. studenog 2004) samo u Rijeci (na slici) i Splitu bilo je više od 50 ranjenih.

Slika 2. Nepovoljni vremenski i klimatski uvjeti utječu na ljudski život i okoliš u cjelini.

Koja je veza između meteorologije i ekologije?

Sudbina tvari koje u atmosferu dospijevaju ljudskim djelovanjem (npr. prometom, industrijom) ili prirodnim putem (vulkanske erupcije, šumski požari uzrokovani munjama) jako ovisi o atmosferskim uvjetima i procesima (Slika 3.).



Slika 3. Onečišćujuće tvari (polutanti) koje dospiju u atmosferu dalje će u njoj biti podvrgnute nizu složenih procesa koji ovise kako o fizičkim i kemijskim svojstvima samog polutanta tako i o meteorološkim uvjetima. Vjetar će polutante prenositi s jednog mjesta na drugo, katkad i tisućama kilometara daleko. Taj proces nazivamo advekcija. Što je brzina vjetra veća, advekcija je efikasnija. Također, zahvaljujući turbulentnim vrtlozima i molekularnoj difuziji polutanti će se više ili manje efikasno (što opet ovisi o meteorološkim uvjetima) miješati s okolnim čistim zrakom i pri tom razrijeđivati. Istovremeno, dio polutanata će se tijekom putovanja složenim (foto)kemijskim reakcijama transformirati u druge tvari. Efikasnost (foto)kemijske transformacije pri tom će opet ovisiti i o kemijskim svojstvima polutanta i o atmosferskim uvjetima (npr. temperaturi, vlažnosti zraka, količini Sunčeva zračenja i drugom). Ako na svom putu naiđu na oblake, dio polutanata ostati će 'zarobljen' u oblačnim kapljicama ili ledenim kristalićima. Pada li oborina, dio onečišćujućih tvari biti će ispran iz onečišćenog zraka koji se nađe na putu oborini. Dio onečišćujućih tvari također će se tijekom putovanja istaložiti na Zemljinu površinu zbog djelovanja sile teže te će tako onečistiti tlo i vodene površine.

Prisustvo različitih primjesa u atmosferi, ako pri tom postoje odgovarajući meteorološki uvjeti, može uzrokovati različite, za okoliš neželjene posljedice, poput:

- 1) kiselih oborina (katkad s pH vrijednostima poput octa!). Kiselosti oborine pogoduje prisustvo sumpornog dioksida i/ili sulfata te dušičnih oksida i/ili nitrata te amonijaka.
- 2) Visokih, po zdravlje opasnih, katkad i smrtnih koncentracija onečišćujućih tvari u zraku;
- 3) onečišćenja tla i izvora pitke vode te narušavanje biološke ravnoteže;
- 4) smanjene vidljivost, koja uz neželjen estetski efekt, otežava promet;
- 5) oštećenja materijala, građevina i spomenika.

Dugotrajnom onečišćenju atmosfere također se pripisuje i

- 6) nastanak ozonske rupe;
- 7) globalno zatopljenje.

I što onda meteorolozi rade u ekologiji?

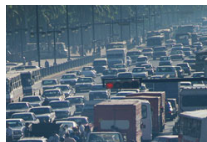
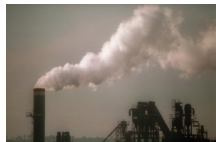
Meteorolozi, uz suradnju s drugim stručnjacima (naročito s kemičarima atmosfere) nastoje složene fizičke i kemijske atmosferske procese prikazati nizom, po mogućnosti što jednostavnijih, jednadžbi. Taj sustav jednadžbi, čijim rješavanjem dobivamo prognoze mnoštva atmosferskih polja (poput polja strujanja, temperature, tlaka, koncentracije polutanta i još mnogih drugih veličina), zove se model. Unatoč raznim pojednostavljenjima modeli su i dalje veoma složeni, pa nemaju analitičkih rješenja. Stoga ih rješavamo primjenom numeričkih metoda te ih nazivamo numeričkim modelima (Slika 4.).



O tipu i reljefu podloge ovisi i hrapavost (intenzitet turbulencije) te tokovi topline u atmosferi. Sve to utječe na sudbinu atmosferskih polutanata.

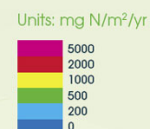
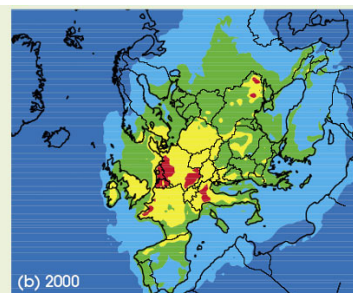
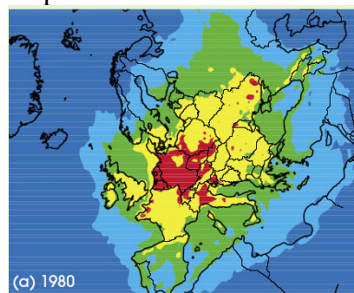


Meteorološkim mjerenjima i meteorološkim numeričkim modelima opisuju se svi fizički uvjeti koji upravljaju sudbinom polutanata.



Onečišćenje atmosfere ovisi i o količini u zrak emitiranih polutanata.

Slike prikazuju ukupno modelirano taloženje dušika u Europi u tijekom 1980. i 2000. godine. Ovi rezultati dobiveni su EMEP modelom.



MODEL
KAKVOĆE
ZRAKA

Slika 4. Da bi modelom kakvoće zraka prognozirali koncentracije onečišćujućih tvari u zraku te taloženje polutanata na Zemljinu površinu moramo raspolagati mnoštvom ulaznih podataka.

Rezultati numeričkih modela kakvoće zraka dalje se primjenjuju pri praćenju stanja okoliša kao i pri planiranju novih izvora onečišćenja.

Literatura

- Bencetić Klaić Z., 2001: Weather types and traffic accidents. *Collegium Antropologicum*, **25**, 245-254.
- Bencetić Klaić Z., Nitis, T., Kos, I. and Moussiopoulos, N., 2002: Modification of the local winds due to hypothetical urbanization of the Zagreb surroundings. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **79**, 1-12.
- Bencetić Klaić Z. and Beširević S., 1998: Modelled sulphur depositions over Croatia. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **65**, 133-138.
- COST, 2005, The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality. Final report of Working Group 2 of COST-715 Action, M. Piringer and S. Joffre (editors), Demetra Ltd Publishers, Bulgaria.
- <http://jadran.gfz.hr/>
- Klaić, Z. B., Belušić, D., Herceg Bulić, I., Hrust, L., 2003: Mesoscale modelling of meteorological conditions in the lower troposphere during a winter stratospheric ozone intrusion over Zagreb, Croatia. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **108**, 4720, 10.1029/2003JD003878.
- Klaić Z., 1996: A Lagrangian model of long-range transport of sulphur with the diurnal variations of some model parameters. *J. Appl. Meteorol.*, **35**, 574-585.
- Klaić Z., 1990: A Lagrangian one-layer model of long-range transport of SO₂. *Atmos. Environ.*, **24A**, 1861-1867.
- Klaić Z. and Lisac I., 1988: On the long-term acidification of precipitation collected in the NW of Croatia. *Időjárás*, **92**, 313-323.
- Peljto A. and Bencetić Klaić Z., 1999-2000: Accidental release of hydrogen sulfide in Nagylengyel, Hungary on November 14, 1988 – a trajectory study. *Geofizika*, **16-17**, 43-51, (dostupno na <http://geofizika-journal.gfz.hr/vol16-17.htm>).
- Penzar, I., Penzar, B., 1985: *Agroklimatologija*. Školska knjiga, Zagreb, 274 str.
- Penzar, B. i suradnici, 1996: *Meteorologija za korisnike*. Školska knjiga, Zagreb, 274 str.
- Rožman, B., Bencetić Klaić, Z., Škreb, F., 2003: Influence of the incoming Solar radiation on the bone mineral density in the female adult population in Croatia. *Collegium Antropol.*, **27**, 285-292.
- Tarrasón L. and Iversen T., 1992: The influence of north American anthropogenic sulphur emissions over western Europe. *Tellus* **44B**, 114-132.

DODATAK – NEKI METEOROLOŠKI POJMOVI

Atmosfera

- plinoviti omotač sačinjen od smjese plinova, koji obavija naš planet. Naziv atmosfera potječe od grčke riječi *atmosfaira* (ατμόςσφαιρα), gdje *atmos* (ατμός) znači para, a *sfaira* (σφαίρα) kugla. Dok neki planeti nemaju atmosfere, Venera na primjer ima gustu, a Mars vrlo rijetku atmosferu u usporedbi sa Zemljom.

Biometeorologija

- dio meteorologije koji proučava utjecaj vremena i klime na žive organizme. Velik dio biometeoroloških istraživanja usmjeren je na ljude i njihovo zdravlje. Osjetljivost na vrijeme naziva se **meteorotropizam** te je stvarni fiziološki fenomen, koji je utemeljen na zakonima fizikalne kemije i elektrofiziologije. Pri promjeni vremena organizam se istovremeno treba prilagoditi cijelom nizu novonastalih uvjeta – poput drugačijeg atmosferskog tlaka, temperature, vlažnosti zraka, elektromagnetskog polja i drugog. Kako je sposobnost organizma da se prilagodi vanjskim meteorološkim uvjetima individualna, a ovisi i o zdravstvenom stanju pojedinca, to neki ljudi bez ikakvih problema podnose nagle vremenske promjene i nepovoljne vremenske uvjete (poput velikih vrućina ili hladnoća), dok su drugi, koje nazivamo **meteoropati**, na njih posebno osjetljivi.

Dinamička meteorologija

- dio meteorologije koji se bavi strujanjima u atmosferi, a koja utječu na vrijeme i klimu. Dinamika proučava vezu između sila i gibanja. Kako su i atmosfera i ocean fluidi, to dinamiku atmosfere i oceana često nazivamo **dinamikom fluida** ili **hidrodinamikom**.

Fizička meteorologija

- dio meteorologije koji se bavi pojedinim pojavama i procesima poput fizike oblaka i oborine, atmosferske optike i drugog.

Geofizika

- dio fizike koji se bavi Zemljom u cjelini, uključujući njen čvrsti, tekući i plinoviti dio (atmosferu).

Globalno zatopljenje

- postupno povišenje prosječne temperature zraka na Zemlji. Uglavnom se pripisuje ljudskom djelovanju, odnosno povećanju koncentracije **stakleničkih plinova**, a naročito ugljičnog dioksida.

Klima (podneblje)

- prevladavajuće stanje vremena te pravilnost ili nepravilnost javljanja pojedinih tipova vremena. Klima ovisi o klimatskim čimbenicima (poput geografske širine, reljefa, nadmorske visine, udaljenosti od mora). Podatci izmjereni i opaženi na meteorološkoj postaji u nekom trenutku pokazuju kakvo je vrijeme, dok analizom podataka prikupljenih dugotrajnim, mnogogodišnjim (bar 30 godina) mjerenjima i opažanjima saznajemo kakva je klima. Klimom se bavi klimatologija.

Klimatologija

- dio meteorologije koji proučava klimu i njezine promjene.

Klimatske promjene

- bilo koja sistematska promjena u dugogodišnjoj statistici klimatskih elemenata (poput temperature, tlaka, vjetrova) koja postoji bar duž nekoliko dekada. Do

klimatskih promjena može doći zbog prirodnih uzroka (npr. polaganih promjena Zemljine orbite) ili zbog ljudskog djelovanja.

Numerički model

- niz jednažbi koje čine zatvoreni sustav (sustav u kojem je broj nepoznanica jednak broju jednažbi) koji teorijski prikazuje ponašanje atmosfere, a zbog svoje složenosti ne može se riješiti analitički, već se rješava primjenom numeričkih metoda. Pri tom je nužna upotreba računala. Kako su jednažbe koje opisuju teorijsko ponašanje atmosfere veoma složene i nelinearne (parcijalne diferencijalne nelinearne jednažbe) to je i njihovo numeričko rješavanje komplicirano. Stoga ih često nastojimo pojednostavniti uvodeći prikladne aproksimacije. Na primjer, u jednažbama zanemarujemo procese koji su manje efikasni od drugih, ili za veličine koje se malo mijenjaju s vremenom pretpostavljamo da su konstantne.

Ozonska rupa

- sredinom sedamdesetih godina 20. stoljeća nad Antarktikom je u ozonosferi uočeno veliko smanjenje koncentracije ozona s obzirom na ranija razdoblja. Kemičari atmosfere pripisuju to smanjenje ljudskom djelovanju, odnosno emisiji klorofluorouglijaka (CFC, koji su poznati i pod nazivom freoni). Najveće smanjenje (ponegdje čak do 99%) uočeno je na visinama od 14-19 km nad tlom. Kako bi spriječila pogubno djelovanje ozonske rupe na život na Zemlji, međunarodna zajednica ulaže velike napore da se emisija CFC svede na minimum.

Sinoptička meteorologija

- dio meteorologije koji se bavi analizom i prognozom vremena.

Vrijeme

- ukupnost atmosferskih pojava (npr. padanje snijega, grmljavina...) i stanja atmosfere (temperatura, tlak, vlažnost zraka...) u određenom trenutku na određenom mjestu. Kako se pojave i stanja atmosfere tijekom dana i iz dana u dan mijenjaju u promatranom mjestu, a razlikuju se u nekom trenutku od mjesta do mjesta, vrijeme u meteorološkom smislu povezano je s mjestom i trenutkom promatranja.

Šumski požar kao kompleksni sistem

Katica Biljaković

Institut za fiziku, Zagreb

katica@ifs.hr

*Mislim da će sljedeće stoljeće biti stoljeće
kompleksnosti!*

Stephen Hawking, 20. stoljeće

Kompleksnost i kompleksni sustavi

Kompleksnost i kompleksno se često koristi u svakodnevnom govoru, ali vrlo često krivo. *Kompleksno* ne znači isto sto i komplicirano, iako često (ali ne nužno) kompleksno može biti i komplicirano, kao što i komplicirano (ali ne nužno) može biti kompleksno.

Najprije da vidimo što kažu jezikoslovci. Tumačenje po Websteru: kompleksnost je složena veza ili skup povezanih stvari, dijelova, jedinica koje čine cijelo. Takvo cijelo je više od običnog zbroja sastavnih dijelova. Riječ *kompleksno* se ne bi smjela koristiti u slučajevima kada se želi reći da je nešto teško razumjeti ili analizirati samo zato što se sastoji od mnogo dijelova. Međutim, *kompleksnost* kao pojam se koristi kada se želi reći da je takvo cijelo više od jednostavnog zbroja sastavnih jedinica zbog njihovih međusobno isprepletenih, suptilnih veza iz kojih izrastaju nova svojstva.

Kompleksnost - etimologija

17. stoljeće: od latinskog *complexus*,
complexi – plesti, uplitati
com (zajedno) + *plectere* (plesti)

U fizici, točnije statističkoj fizici, *kompleksnost* kao pojam ima točno određeno značenje¹ i zadatak fizike je da karakterizira kompleksnosti na neki kvantitativni način. Znamo da fizika uspješno prepoznaje neke osnovne principe pojavnosti i djelovanja u materijalnom svijetu i to ima vrlo široku primjenu i izvan njenih vlastitih okvira. Načini manifestacije kompleksnosti i posebno zakonitosti koje fizičari sve više u suradnji s drugim disciplinama nalaze i proučavaju otvaraju vrlo široke horizonte mogućih primjena. *Obrasci kompleksnosti i njihova primjena* je bio naziv jednog našeg interdisciplinarnog kolaborativnog projekta. Osnovne ideje okupljanja nas fizičara s ekonomistima, agronomima i šumarima, kao i neki naši rezultati, mogu se naći na mrežnoj stranici - <http://cp2.ifs.hr>.

¹ <http://www.nist.gov/dads/HTML/complexity.html>

Kompleksni sustavi su oni čije ponašanje bitno ovisi o detaljima. Cilj njihovog proučavanja je razumjevanje na koji način dijelovi sustava doprinose kolektivnom ponašanju i na koji način okolina djeluje na sustav. Iako se ta pitanja mogu izučavati općenito, ona su itekako relevantna za sva tradicionalna područja vezana uz konkretne slučajeve. Društveni sustavi koje (dijelom) čine ljudi, mozak prožet mrežom neurona, slivovi rijeka, molekule koje sačinjavaju molekule, tornada, zemljotresi, burze, ... sve su to primjeri kompleksnih sustava.

Područje njihovog izučavanja povezuje i djelomice prekriva sve tradicionalne discipline od fizike, biologije, sociologije pa do inženjerstva, menadžmenta i medicine. Obrazovanje koje uključuje i dosege istraživanja kompleksnih sustava može imati dalekosežni utjecaj na brigu o zdravlju, društvenoj organizaciji, etničkim/manjinskim problemima, marketingu, vojnim sukobima, ekološkoj osviještenosti i zaštiti, razvoju i njegovoj održivosti, terorizmu.... Proučavati kompleksne sisteme je zahtjevno jer se nastoje razumjeti pojave koje nisu neposredne posljedice vanjskih djelovanja. „Pogurati“ na jednom mjestu najčešće znači imati efekt na drugom mjestu, jer su dijelovi međuzavisni. Područje kompleksnih sustava nudi sofisticirane alate, konceptualne koji pomažu kod osmišljavanja, analitičke za dublje izučavanje i sve više kompjutorskih koji služe za opisivanje, modeliranje i simulacije.

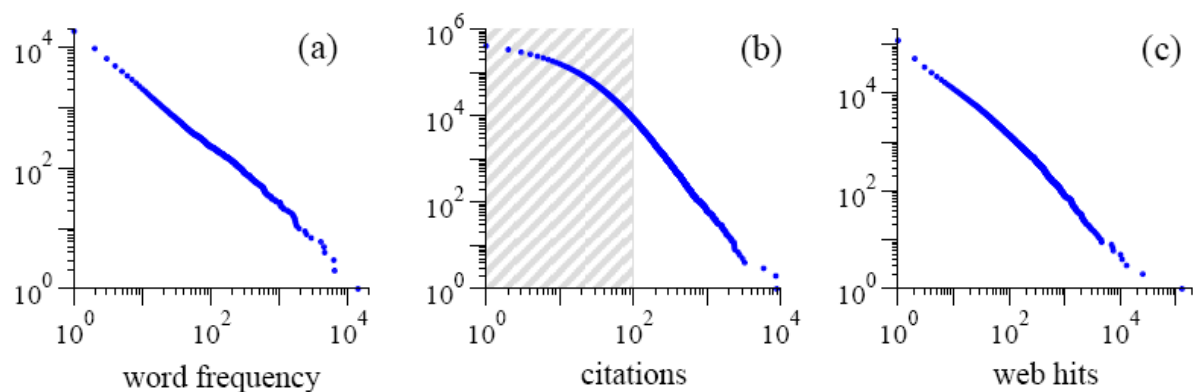
Može se govoriti o **fizici kompleksnih sustava** kao novom znanstvenom području koje se bavi problemom malih lokalnih smetnji sa širim, globalnim posljedicama, kao kod nastajanje lavina, nekih bioloških procesa, i svih već navedenih primjera. Ne može se predvidjeti razvoj svakog pojedinog događaja, ali sama metodologija omogućava uvid u neke opće zakonitosti. Možda se ponajviše koriste koncepti razvijeni u okviru statističke fizike i teorije kritičnih pojava, kao što su parametri koji definiraju uređenje sistema i fazni prijelazi iz jednog uređenja u drugo. Neke od ključnih riječi su zakon ljestvice (skaliranje), kritični eksponenti, ... samouređenost, suradnja, perkolacija, fraktali...

Statistička fizika je izvorno bila vezana uz predviđanje makroskopskih, termodinamičkih svojstava sistema sačinjenih od velikog broja mikroskopskih čestica koje utječu jedna na drugu. Osnova je ispitivanje svojstava fluktuacija na malim skalama (mikroskopskim) koja slijede zakon ljestvice (skaliranja) i daju važna saznanja i podatke o procesima odgovornim za ponašanje na velikim (makroskopskim) skalama. Na primjer, moguće je odrediti temperaturu nekog tijela, a da pri tome ne znamo položaj i stanje svakog pojedinog atoma. Mogu se procijeniti na sličan način mnogi parametri važni u ekonomiji, biomedicini pa i sociologiji, ako se na njih primijene modeli odgovarajućih fizikalnih sistema.

Zakon potencije: $P_c = p^n$

Zakon potencije je gotovo univerzalni oblik zakonitosti koji se intenzivno izučava u fizici kompleksnih sistema. On je posljedica kolektivnih pojava, odnosno međudjelovanja jedinica koje sačinjavaju kompleksni sistem. Neovisno o posebnim detaljima sistema, određeni univerzalni mehanizmi kooperativnosti uzrokuju

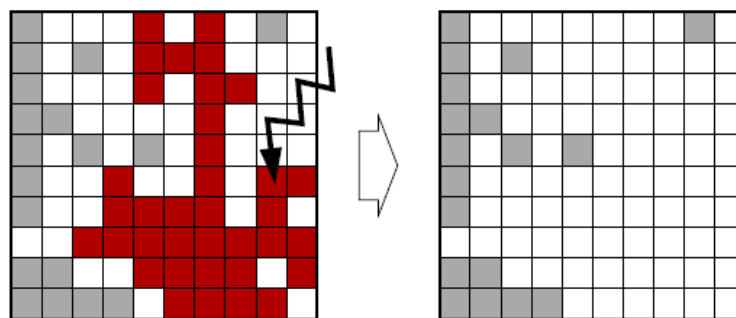
globalno slično ponašanje. To je vrlo često korišteno kao indikator za tzv. samoslične sisteme ili sisteme bez skale (scale free systems).



Slika 1. Logaritamski prikaz kumulativnih raspodjela koje slijede zakon potencije poprima oblik pravca za veoma različite veličine; a) učestalost pojavljivanja riječi u noveli *Moby Dick*, b) broj citata znanstvenih radova objavljenih 1981 u idućih 10 godina, c) broj ulazaka na mrežne stranice 60 000 korisnika America Online Internet servisa 1. prosinca 1997.

Perkolacija – jedan od mehanizama koji generira zakon potencije

Sam pojam perkolacije izvorno označava protjecanje ili prolaženje kroz poroznu supstancu, ali općenito se koristi u smislu širenja ili postepenog rasta. Model perkolacije se pokazao uspješnim u rješavanju mnogih pitanja u fizici [1], ali se može primijeniti i na mnoge probleme u sociologiji, biologiji, medicini, pa i ekonomiji. Mi ćemo ga koristiti za simuliranje šumskih požara, a najosnovnije o tom mini-projektu može se naći na stranicama eškole².



Slika 2. Munja zapali drvo na označenom mjestu i vatra se proširi po cijelom perkolirajućem grozdu označenom crveno. Za iduću stepenicu ostaje samo šuma desno gdje se požar može proširiti samo unutar manjih domena lijevo.

Zamislamo jednostavnu dvodimenzionalnu rešetku kao na slici gore. Svako polje popunjeno je s vjerojatnošću p , neovisno o popunjenosti susjednih polja. Popunjena polja u grupama gdje susjedi imaju jednu zajednički stranicu nazivaju se

² http://eskola.hfd.hr/mini_projekt/mp3/mp3.htm

grozdovima. Kako povećavamo vjerojatnosti p , može se u sistemu pojaviti grozd koji se prostire s jednog kraja na drugi - *perkolorajući grozd*. Granična vjerojatnost na kojoj dolazi do pojave ovakvog grozda naziva se vjerojatnost praga i označava s p_c . To je vjerojatnost na kojoj se prvi put formira perkolorajući grozd. Za 2D kvadratičnu rešetku se dobiva $p_c = 0.59$.

Gornja matrica i popunjena polja mogu predstavljati različite sisteme. Njima možemo simulirati pore u nekom poroznom mediju, nečistoće u nekom materijalu, vodljive otoke u izolatorskoj matrici ili pak nešto vrlo prozaično kao što je princip pripreme kave u automatu ili tonera u stroju za kopiranje. Pri tome nas može zanimati kako će neka tekućina prolaziti kroz porozni medij (npr. protok nafte kroz različite slojeve zemljine kore) ili koliko primjesa moramo dodati nekom materijalu da bi dobili vodič ili pak koliko kave moramo staviti u automat. Koliko god izgledalo prozaično, može imati vrlo velike financijske posljedice. Ako u aparat stavimo premalo kave, neće biti dobrog okusa, a ako stavimo previše, automat će se začepiti. Primijeni li se optimalizacija u nekom velikom uslužnom lancu, uštede mogu biti milijunske. Primjeri su brojni i pokušajte ih pronaći sami.

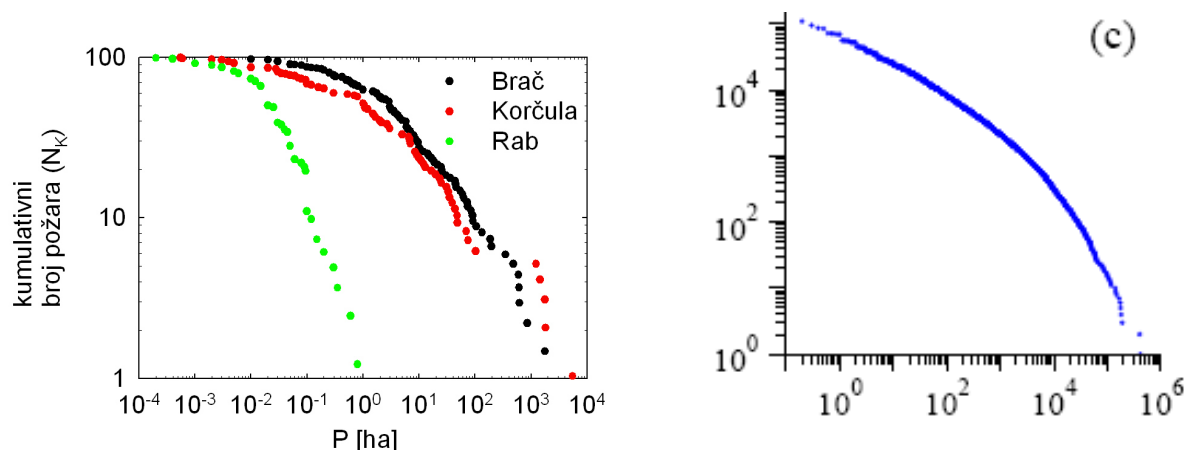
Jednu modifikaciju perkolorativnog modela za šumske požare u okvirima pristupa samoorganizirane kritičnosti napravili su Drossel i Schwabl [2] i kasnije Malamud [3] i o tome će biti malo riječi kasnije. Međutim, postoji još jedna primjena perkolorativnog modela za šumske požare koja se zove *mehanizam visoko optimalizirane tolerancije* [4] u kojoj se određuje najbolja raspodjela stabala koja će optimalizirati proizvodnju trupaca u šumi koja je podložna šumskom požaru. Prostor između pošumljenih područja, odnosno veličine šumskih blokova mijenjaju se s vjerojatnošću pojave požare na pojedinim mjestima.

Šumski požar kao kompleksni sustav

Hrvatska je zemlja relativno bogata šumama; 36% od ukupne površine države pokrivaju šumske površine. Međutim, poseban problem na jadranskom području Hrvatske predstavljaju šumski požari koji uništavaju prirodna bogatstva smanjujući biološku raznolikost, a negativan utjecaj imaju i na krajobraznu raznolikost [5]. Sam problem je višeslojan, kompleksan i zahtijeva uključivanje brojnih grana znanosti kao što su šumarstvo, geologija, biologija, meteorologija, i na kraju fizika.

Što se same fizike tiče, jedan od najzanimljivijih primjera samoorganizirane kritičnosti je upravo širenje šumskih požara. Izučavanjem modela koji ih vjerno opisuju možemo dobiti odgovore na pitanje kako se požari ponašaju, što sve utječe na njihovo širenje, i najvažnije kako ih predvidjeti. Zajednički rad sa šumarima je počeo statističkom obradom dostupnih podataka za tri jadranska otoka Brač, Korčulu i Rab i usporedbom s rezultatima postojećih modela. Ponašanje šumskih požara na jadranskim otocima u Hrvatskoj slaže se s rezultatima dobivenim simulacijama. Raspodjela požara na otocima zadovoljava zakon potencije dobiven za taj model. U log-log zapisu možemo izračunati frekvenciju širenja požara na nekom prostoru i iz toga vjerojatnost da dođe do požara većih razmjera. Nagib pravca za male i srednje požare, odnosno za veće frekvencije javljanja, podudara se uz manja odstupanja, dok

za veće požare postoje veća odstupanja od modela zbog konačnih dimenzija otoka, što samo po sebi predstavlja interesantnu pojavu, koju fizičari nazivaju efektom veličine (size-effect). Najvažnija je primjena dobivenih rezultata. Ako znamo kakva je raspodjela malih i srednjih, možemo predvidjeti i spriječiti širenje velikih požara.

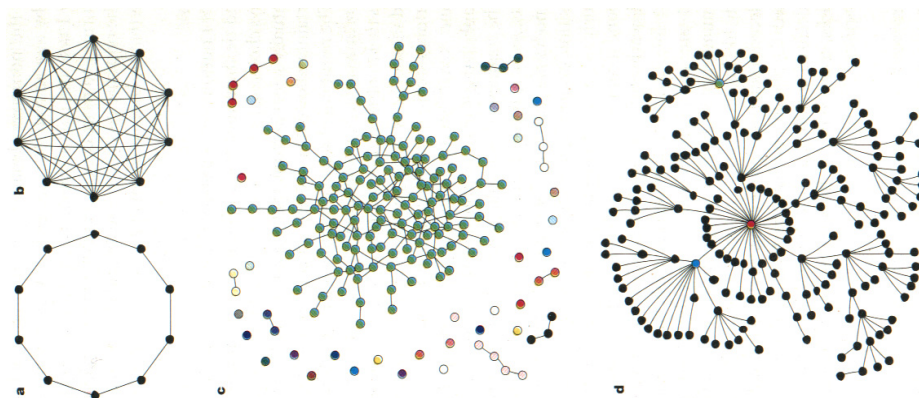


Slika 3. Normalizirani broj požara (0-100 %) opožarenih površina većih od vrijednosti na abscisi za tri Jadranska otoka slijedi za veće površine zakon potencije. Slično ponašanje ima kumulativna raspodjela opožarenih površina dobivena u modelu Drossela i Schwabla za rešetku 5000 x 5000 (c).

Dobiveni rezultati i njihova interpretacija ukazuju na mogućnost njihove kvalitetnije primjene s ciljem bolje zaštite šumskog ekosustava i bolje organizacije protupožarne zaštite. Evo samo nekoliko očiglednih zaključaka. Otok Rab iskače po ponašanju jer očitoma nema opožarenih površina većih od 1 hektara. Razlog je u tome što imaju vrlo jaku tradiciju protupožarne zaštite - od održavanja protupožarnih usjeka i edukacije stanovništva do vrlo brze intervencije i gašenja. Moje vlastito iskustvo govori da to nije slučaj s Korčulom, gdje su tek nakon zadnjih velikih požara koji su poharali gotovo polovicu otoka počeli s ozbiljnijom organizacijom. Ovo je dobro mjesto da se ukaže na još jedan aspekt kompleksnosti problema požara koji je svojstven kompleksnim sustavima, a to je kooperativnost ili suradnja. To ću pokazati na primjeru mreža.

Mreže

Mreže karakteriziraju strukturu kompleksnih sustava, njihovu osnovnu topologiju, koja vrlo često nadilazi specifičnu funkciju mreže. U slučaju društvenih gledišta na problem šumskih požara, možemo govoriti o organizaciji protupožarne zaštite. Međutim, ispituju se vrlo različite vrste mreža kao što su prehrambena, potrošačka, energetski sustavi (obskrbljivanje elektročnom energijom ili plinom), vodovod, neuronska mreža, transportna mreža, interesna (prijateljstvo, citiranost, koautorstvo), epidemiološka, ekonomska....



Slika 4. Različite topologije mreža.

Proučavanje problema suradnje, nalaženje najoptimalnijeg načina povezivanja u danim uvjetima, kao i najoptimalniji razvoj postojećeg sustava sigurno može bitno utjecati na same efekte požara. Ukazivanje na važnost tog pristupa, obrazovanje koje će na odgovarajući način „osvijestiti“ svaku „točku mreže“ o njezinoj važnosti u ukupnom djelovanju, nadržava sam problem požara, uopćava se i primjenjuje na sve druge moguće efekte naših međudjelovanja.

Priča o 6 stupnjeva odvojenosti

Pokazalo se da se bilo tko od nas može povezati s bilo kojom osobom na ovoj planeti preko najviše pet posrednika, kao što je davne 1929. godine predvidio Frigyes Karinthy u svojoj nadahnutoj priči „Lanci“.

Neka pitanja za kraj

Bez obzira na naučni pristup nekim pojavama u kojem pokušavamo samu pojavu što više racionalizirati, ostaje mjesta i za „razmišljanje srcem“, što se za sada teško može parametrizirati ili uklopiti u neki model. Evo moja dva primjera.

Primjer zapuštenih suhozida (slika 5.)

Da li je svako zlo za zlo – kako se obično pita u narodu – primjereno pitanje i u slučaju šumskih požara? Svakako postoje i dobre strane šumskih požara, a one su vezane uz razotkrivanje onih stvari koje su bile sakrivene i zaboravljene u šumskim gustišima, koji su poput korova carevali na ne tako davno uređivanim i obrađivanim područjima naših otoka.



Slika 5. Trim, Hvarski suhozid, preživio vrijeme i vatru, primjer harmonične suradnje čovjeka i krša³.



Slika 6. Postoji dublja veza između ovaca i požara.

³ Slikao B. Horvatić, kolega s Instituta za fiziku

Veza ovaca i požara⁴(slika 6.)

Nakon što je dr. Jozo Rogošić sa Sveučilišta u Splitu objavio knjigu *Gospodarenje mediteranskim prirodnim resursima*, u *Gospodarskom listu* objavljen je zanimljiv napis znakovita naslova - *Više ovaca i koza - manje požara*. Naime, autor M. Alilović tvrdi da koze i ovce daju mlijeko, meso i sir, ali i čuvaju šume i šikare od požara. Prema podacima Hrvatskih šuma, 1952. godine u Dalmaciji je bilo svega 14 požara, a 2000. čak 493.

Godine 1952. izgorjela su 523 hektara šuma i šikara, a 2000. - 60.164 hektara, što je 114 puta više! Ako se požari dovedu u vezu s brojem ovaca, stvari postaju nešto jasnije. U Dalmaciji je 1952. godine bilo oko 1,2 milijuna ovaca i još neutvrđeni broj koza, a 2000. svega oko 200 tisuća ovaca te oko 30 tisuća koza. Prema stručnjacima, ovce-pramenke i srnaste koze najbolji su prirodni vatrogasci. One najsustavnije brste travu i drugo nisko zapaljivo raslinje. U ovom trenutku, prema procjenama dr. Rogošića, na dalmatinskim pašnjacima pase deset puta manje ovaca i koza nego li u ostalim mediteranskim zemljama.

(Za vrijednost jednog kanadera može se kupiti 240 tisuća ovaca!)

Literatura

1. D. Stauffer, A. Aharony,
Introduction to percolation theory
Taylor and Francis, London, 1992.
2. B. Drossel, F. Schwabl
Self-organized critical forest-fire model
Phys. Rev. Lett. **69**, 1629 (1992)
3. B.D. Malamud, G. Morein, D.L. Turcotte
Forest fires: An example of self-organized critical behavior
Science **281**, 1841 (1998)
4. J. M. Carlson, J. Doyle
Highly optimized tolerance: A mechanism for power laws in designed systems
Phys. Rev. E **60**, 1412 (1999)
5. Ž. Španjol
poglavlje o šumskim požarima u »Knjizi o kršu«

⁴ Preuzeto s Hina/IskonInternet - 21.06.2004.

Kakav zrak dišemo?

Glenda Šorgo

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

gsorgo@irb.hr

Uvod

Je li Vam je ikad palo na pamet to pitanje? Kakav zrak dišemo, koliko naše aktivnosti utječu na njegov sastav i na klimu i što osobno možemo učiniti da bismo imali čišći zrak i očuvanu prirodu?

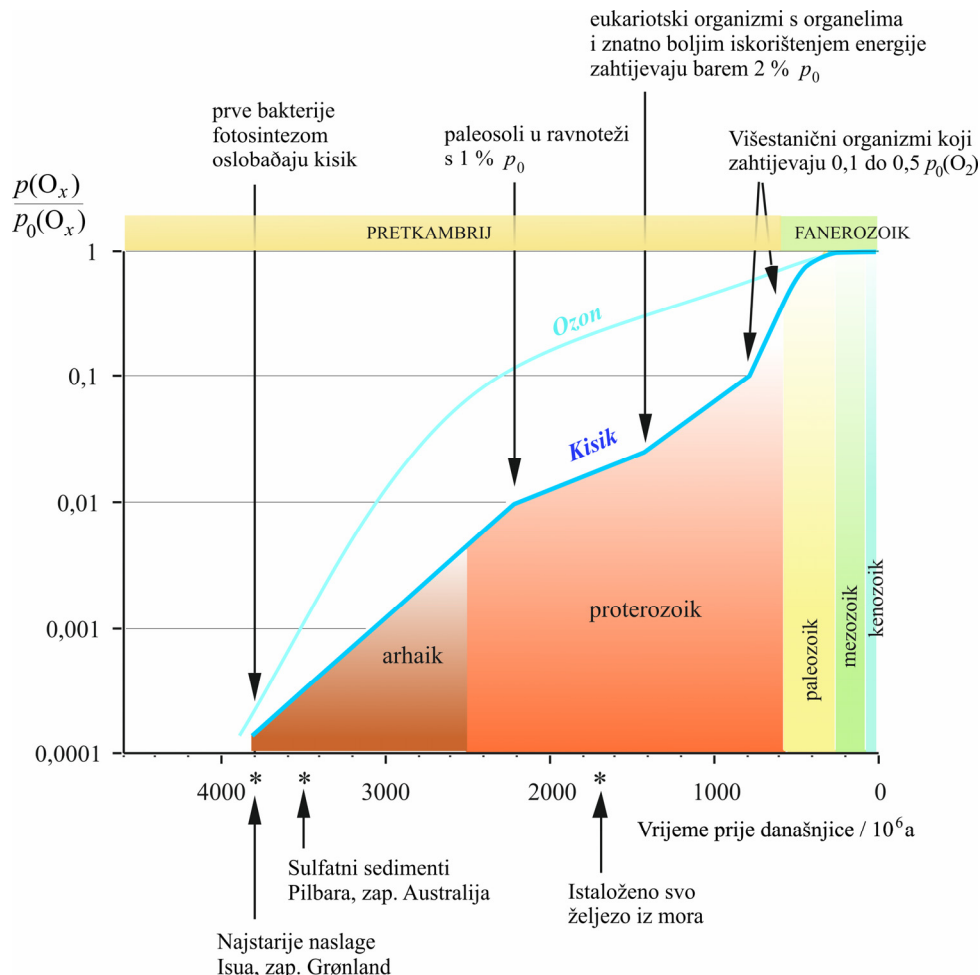
Atmosfera održava život na Zemlji, osigurava kisik i vodu i štiti nas od zračenja koje dolazi iz Svemira. U posljednjem stoljeću atmosfera je "pod napadom" - utjecaj čovjeka na prirodnu ravnotežu nakon industrijske revolucije naglo je porastao. Čovjek ima velik utjecaj na zrak kojeg dišemo, na ozonski omotač i cjelokupnu atmosferu, a time i na klimu.

Uslijed emisije ogromnih količina različitih tvari u atmosferu (u urbanim sredinama i područjima sa koncentriranom industrijom), u atmosferi dolazi do niza kemijskih i fotokemijskih reakcija pa zrak na taj način mijenja svoj sastav i uzrokuje štetne efekte, često i vrlo daleko od izvora primarnih zagađivala. Da bismo bolje razumjeli sve što se u zraku zbiva potrebna su saznanja o jakosti i rasprostranjenosti izvora zagađivala, kretanju zračnih masa i svim reakcijama koje se zbivaju u zraku. Ali samo znanje nije dovoljno, potrebno je i djelovati! Potrebna je međunarodna suradnja i zajednički napor svakog od nas kako bi naš planet Zemlju sačuvali za buduće generacije.

Kratka priča razvoja zemljine atmosfere

Pretpostavlja se da je atmosfera u početku sadržavala ugljikov dioksid (CO_2), dušik (N_2), metan (CH_4), vodenu paru (H_2O) i male količine vodika (H_2). Sastav zemljine atmosfere kakvog danas poznajemo gotovo ja stalan u zadnjih 400 milijuna godina. Međutim kroz dugačku povijest planeta Zemlje (gledano s aspekta trajanja ljudskog života) taj se sastav mijenjao. S pojavom života prije 3,8 milijardi godina dobili smo izvor kisika – cijanobakterije koje su se nalazile u vodi uz pomoć sunca vezale su ugljikov dioksid i otpuštale kisik u atmosferu. Bez života koncentracija kisika na površini teško da bi prešla 5×10^{-9} dio današnje vrijednosti. Velik se dio stvorenog kisika trošio na oksidaciju željeza i sulfida u sulfate što potvrđuju nalazi sedimentnih stijena. Apsorpcijom ultraljubičastog zračenja kisik se raspadao na atome koji su dalje u reakcijama s molekularnim kisikom tvorili ozon i polako se počeo stvarati ozonski sloj. Slika 1. prikazuje porast udjela kisika i ozona u zraku tijekom rane povijesti planeta. Taj je ozonski sloj bio vrlo djelotvoran filter za štetno ultraljubičasto zračenje pa su njegovim nastankom stvoreni uvjeti za prelazak života

iz mora na kopno. Razvoj života i porast udjela kisika tekao je relativno sporo na početku. Pojavom eukariota, a nakon njih i višestaničnih organizama dolazi do bržeg rasta udjela kisika u zraku. Za današnju vrijednost količine kisika prvenstveno je zaslužan proces fotosinteze koji su "otkrile" cijanobakterije i predale ga biljkama.



Slika 1. Porast koncentracije kisika i ozona tijekom geoloških razdoblja Zemlje. Udjeli plinova prikazani su omjerom prema današnjem parcijalnom tlaku (p_0) na logaritamskoj skali.

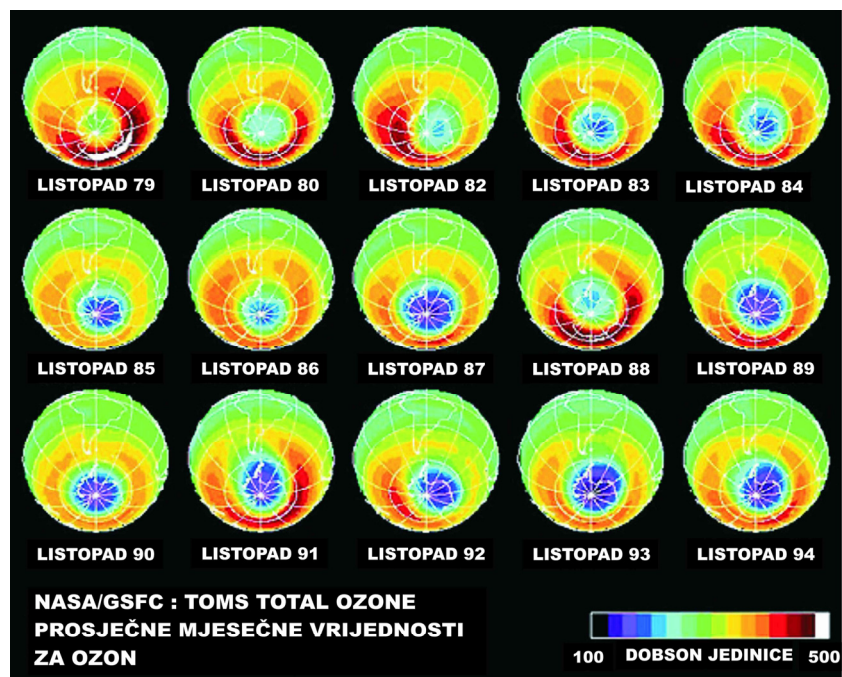
Atmosfera danas

Današnja zemljina atmosfera se sastoji od dušika (78,09%), kisika (20,94%), argona (0,93%), ugljikovog dioksida (0,035%), vodene pare (čiji se udio najviše mijenja), a ostatak, koji čini manje od 1%, pripada takozvanim mikrosastojcima.

Mikrosastojci su plinovi koji su u zraku prisutni u vrlo malim količinama - tek nekoliko dijelova na milijun pa čak i na milijardu dijelova zraka. Oni igraju važnu ulogu u radijacijskoj ravnoteži i kemijskim osobinama atmosfere, a njihova uloga u kemiji atmosfere nije u proporciji s njihovom količinom. Količina tih plinova u atmosferi naglo se i značajno promijenila u zadnjih dvjestotinjak godina. Oni su odgovorni za razne pojave, od fotokemijskog smoga (slika 2), preko kiselih kiša i razaranja stratosferskog ozona (slika 3) do promjene klime na našem planetu.



Slika 2. A) Pogled na Santiago (15.5.2007.) - jedan od 3 najzagađenija grada Južne Amerike.
B) Jutro u Peking (19.4.2007.) - zagađenje ometa i pogled na izlazeće suncе.

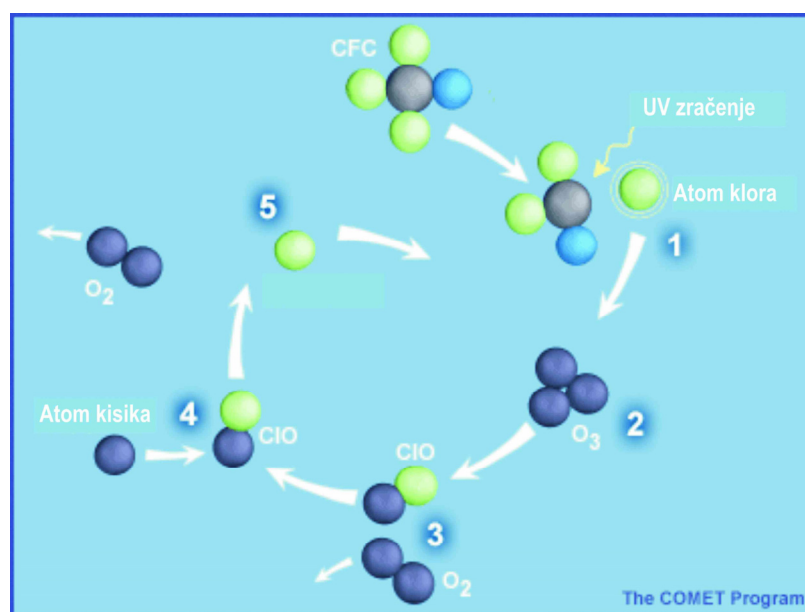


Slika 3. Prosječne mjesečne srednje vrijednosti koncentracije ozona za listopad od 1979. do 1994. godine.⁵

Analize mjehurića zraka sadržanih u naslagama leda otkrivaju značajan porast udjela stakleničkih plinova, u prvom redu ugljikovog dioksida (CO_2), metana (CH_4) i dušikovog-I-oksida (N_2O). Klimatski modeli predviđaju da će to povećanje

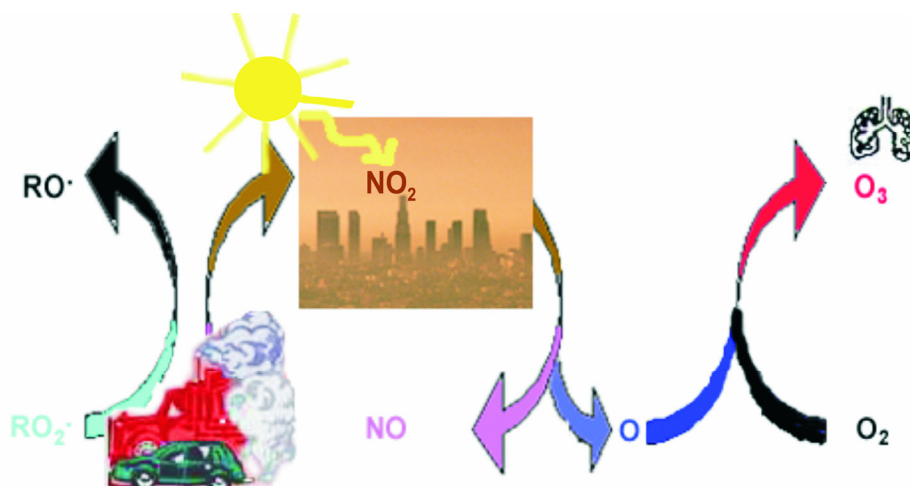
uzrokovati porast globalne temperature i topljenje polarnog leda. Prema izračunima iz 2001. godine, srednja temperatura površine Zemlje mogla bi porasti do 2100. godine od 1,4 do 5,8 °C u usporedbi s 1990. godinom⁴. Posljedice su podizanje razine mora i otpuštanje otopljenog ugljikovog dioksida što pridonosi daljnjem zagrijavanju planeta.

Ali nisu se povećale samo količine stakleničkih plinova nego i drugih plinova koji nastaju kao posljedica čovjekovih djelatnosti. Kemijske reakcije koje se odvijaju u atmosferi zbivaju se u vrlo složenim dinamičkim uvjetima, a rezultat tog spoja fizike i kemije često iznenađuje. Jedinstvena kombinacija dinamičkih uvjeta iznad Antarktike zimi, stvaranje polarnog vrtloga i stratosferskih polarnih oblaka, sve to dovodi do uvjeta pogodnih za reakcije halogeniranih ugljikovodika (najčešće kloriranih) i ozona, pa smo nažalost svakog antarktičkog proljeća svjedoci nastajanja ozonske rupe nad Antarktičkim kontinentom. Klorofluorouglijci ili freoni (CFC) su kemijski inertni spojevi i kad dopiju do stratosfere tamo se raspadaju pod djelovanjem ultraljubičastog zračenja oslobađajući atome klora koji onda reagiraju katalitički s molekulama ozona. Jedan atom klora može proći kroz 100 000 ciklusa prije nego se poništi (npr. vezanjem atoma vodika i nastajanjem klorovodika) i ne bude više sposoban za sudjelovanje u ciklusu raspada ozona (slika 4.).



Slika 4. Ciklus raspada ozona.⁶

Istodobno, ozon je najvažniji i najparadoksalniji mikrosastojak zemljine atmosfere. Stratosferski ozon nas štiti od štetnog UV zračenja, dok troposferski ozon uzrokuje štetan utjecaj na ljudsko zdravlje i biljke kad je prisutan u većim koncentracijama. Taj troposferski ozon nastaje u prizemnom sloju atmosfere kao produkt fotokemijske reakcije dušikovog dioksida i tako nastalog atoma kisika s molekulom kisika. Daljnje reakcije ozona, hlapljivih ugljikovodika i dušikovih oksida (slika 5.), glavni su izvor sastojaka fotokemijskog smoga.



Slika 5. Shematski prikaz nastajanja ozona iz ispušnih plinova.

Problem fotokemijskog smoga muči mnoge gradove na svijetu: Mexico City, Los Angeles, Santiago, Peking, Atena, Rim su samo neki od njih.

Probleme zagađenja ne može više riješiti pojedina zemlja jer je od izvora problema često dijeli nekoliko granica pa su potrebna saznanja o jakosti i rasprostranjenosti izvora, kretanju zračnih masa, kemijskim reakcijama u zraku i depoziciji. Ovdje su uključena i istraživanja na IRB-u s obzirom na fotokemijsko onečišćenje u prizemnom sloju atmosfere. Istraživanja uključuju terenska mjerenja na području Hrvatske, proučavanje svojstava mikrosastojaka zraka i njihove reaktivnosti.

Zaključak

Utjecaj čovjeka na prirodnu ravnotežu nakon industrijske revolucije naglo je porastao, a u drugoj polovici 20. stoljeća shvatilo se da čovjek ima i utjecaj na atmosferu u globalnim razmjerima. Nažalost taj je utjecaj negativan, kako za prirodu tako i za samog čovjeka. Istraživanja i modeliranja na području atmosferske kemije daju nam svakim danom neka nova otkrića. Na nama i budućim generacija leži odgovornost da ta saznanja ozbiljno shvatimo i da damo sve od sebe kako bi se priroda, prirodna raznolikost i prirodni resursi očuvali.

LITERATURA

1. J.H. Seinfeld, S.N. Pandis, "Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change", Wiley, New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto, 1997.
2. B. J. Finlayson-Pitts, J. N. Pitts, Jr., "Chemistry of the upper and lower atmosphere", Academic press, San Diego, London, 2000.
3. W. P. Cunningham, M.A. Cunningham, B. Woodworth Saigo, "Environmental science: A global concern", McGraw-Hill, 2005.
4. M. Sijerković, *Priroda* **6/7** (2003), str 28-29.
5. <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>
6. <http://www.comet.ucar.edu>

Utjecaj uzgajališta riba na okoliš

Marko Jusup

Laboratorij za ekološko modeliranje
Zavod za istraživanje mora i okoliša
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
marko.jusup@irb.hr

Uvod

Produktivnije uzgajalište riba u hrvatskom Jadranu ostvaruje proizvodnju od 1000 tona godišnje, na površini mora od približno 500 m x 500 m (

Slika 4). Pretpostavimo li da prosječan čovjek ima 70 kg, lako uviđamo kako jedno uzgajalište odgovara naselju od 14286 stanovnika. Tako veliki broj ljudi zahtijeva oko 20 tona hrane dnevno i stvara pozamašnu količinu biološkog otpada. Ako sav otpad odlažemo u more, unutar površine koju zauzima tipično uzgajalište, jasno je da ćemo nekako utjecati barem na neposredan okoliš. Dakle, izolirano uzgajalište riba sigurno djeluje na svoju okolinu (pozitivno ili negativno?), a s povećanjem proizvodnje lokalizirani utjecaj se može samo širiti na sve veće i veće područje.



Slika 4. Tipično uzgajalište brancina i orade u hrvatskom Jadranu.

Utjecaji na okoliš

S obzirom da određeni utjecaji na okoliš potječu od uzgoja ribe, prirodno se nameće pitanje: „A koji su to utjecaji?“ Istraživanja su pokazala da treba razlikovati posljedice uzgoja na vodeni stupac i morsko dno. U vodenom stupcu postoji opasnost od (i) obogaćivanja morske vode hranjivim tvarima i posljedičnog naglog rasta mikroskopskih algi (fitoplanktona) što nazivamo cvjetanjem mora, (ii) pojave epidemija koje se mogu proširiti i na divlju ribu, (iii) otpuštanja kemikalija poput antibiotika, pesticida i fungicida koje se koriste pri suzbijanju epidemija i (iv) širenja masnih mrlja neugodnog mirisa koje potječu od smrznute riblje hrane (

Slika 5). S druge strane, na morsko dno (

Slika 6) se taloži otpad u obliku čestica, koji je bogat organskim tvarima. Bakterije, prisutne svugdje u moru, nakupljaju se na organskim česticama, razgrađuju ih i pritom troše kisik. Posebno brzo se potroši kisik u sedimentu zbog čega brojni nepokretni ili slabo pokretni organizmi ugibaju. Ukoliko je dotok organskog otpada na dno izuzetno velik, iz sedimenta mogu izlaziti otrovni plinovi kao što je sumporovodik. Ako ti plinovi dođu u kontakt s uzgajanom ribom, postoji opasnost od gubitka cjelokupne proizvodnje.



Slika 5. Masna mrlja s uzgajališta tuna koja nastaje uporabom smrznute hrane. Snimio: D. Petricioli



Slika 6. Morsko dno ispod uzgajališta. Snimio: D. Petricioli

Međutim, nisu svi utjecaji uzgajališta negativni. Organski otpad s uzgajališta predstavlja hranjivu tvar najprije za mikroskopske alge. Pod uvjetom da emisija otpada nije prevelika, njihova koncentracija će se povećati, ali neće doći do cvjetanja mora. Oko uzgajališta će stoga biti više hrane za sitne životinje (zooplankton) koje se hrane mikroskopskim algama, a time i za ribe koje se hrane zooplanktonom. U konačnici, uzgajalište će poslužiti kao mjesto okupljanja i prihranjivanja divlje ribe, pa će se u okolici okupljati i ribari.

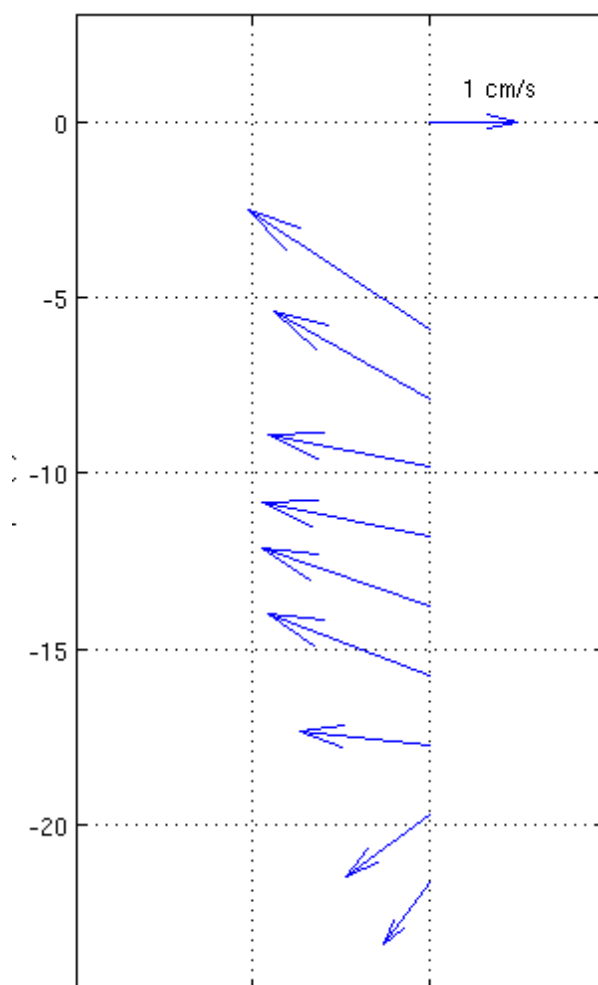
Predviđanje utjecaja

Kako bi se spriječili negativni učinci uzgoja riba prije nego što proizvodnja uopće započne, izrađuju se studije utjecaja na okoliš kojima se predviđa širenje otpada u moru. Konačni cilj takvih studija je određivanje maksimalne mase riba što se može uzgajati na nekom mjestu, a da utjecaji na okoliš ne postanu neprihvatljivi. Maksimalna masa koja se može uzgajati na jednoj lokaciji se naziva ekološki prihvatni kapacitet okoliša. Za njegovo određivanje intenzivno se koriste fizikalne metode i modeli.

Analiza strujanja mora

Predviđanje utjecaja uzgajališta započinje mjerenjem strujanja mora. Na osnovi strujnog zapisa valja odrediti učinak plime i oseke, vjetra i drugih čimbenika koji forsiraju gibanje mora. Kada se to učini (

Slika 7), sve je spremno za pokretanje fizikalnog modela transporta tvari koji će iz poznatog strujanja predvidjeti kamo se širi otpad s uzgajališta.



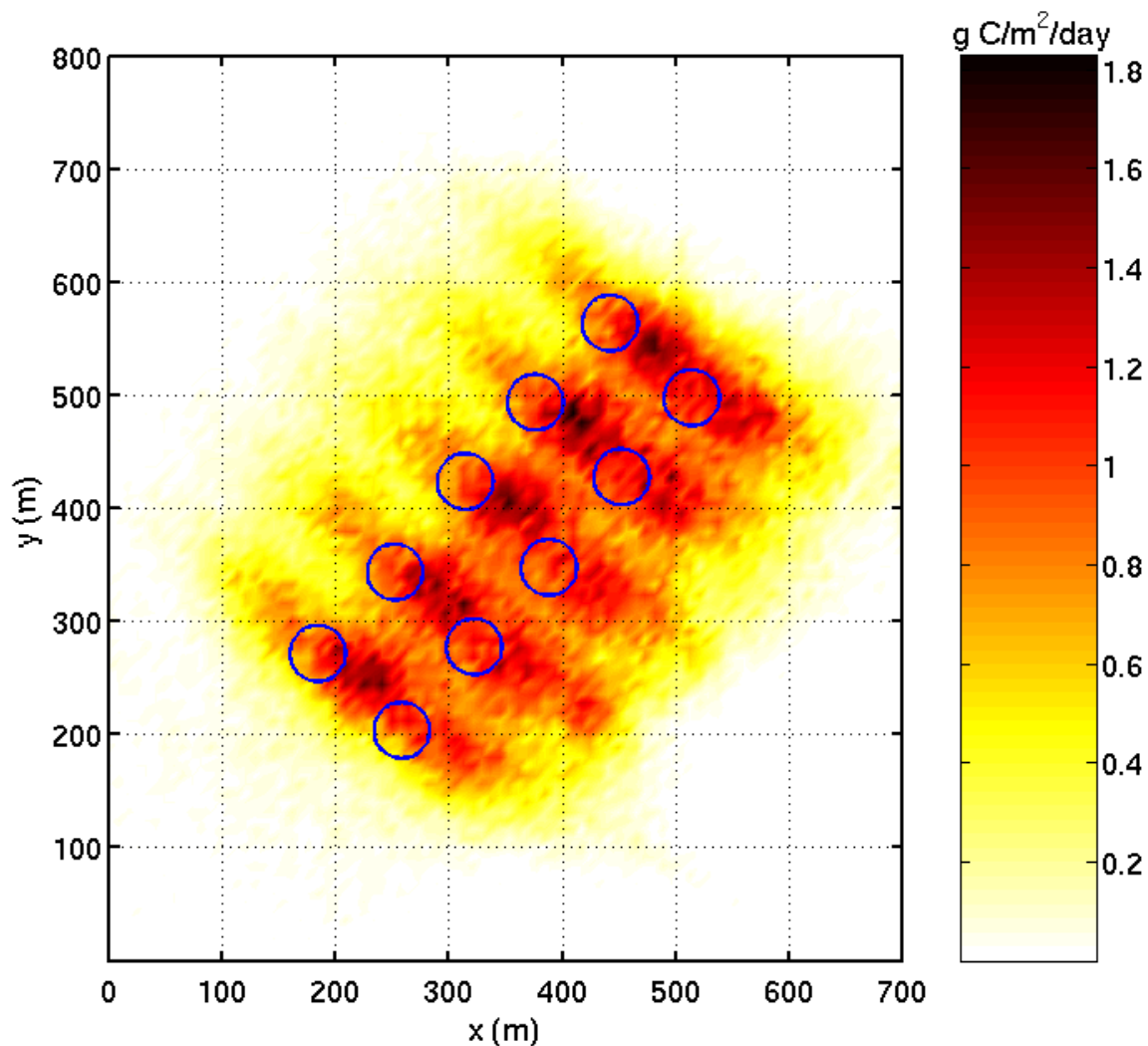
Slika 7. Iznos i smjer brzine strujanja po dubini u blizini uzgajališta brancina i orade.

Modeliranje

Transportni modeli se zasnivaju na tzv. jednadžbi advekcije i difuzije. Advekcija je transport tvari uslijed predvidivog strujanja mora; ako se u vremenu Δt more giba brzinom v , onda će u tom vremenu jedna čestica morske vode prijeći put $v\Delta t$. Nažalost, to nije sve jer strujanje mora je turbulentno, odnosno postoje slučajne i nagle promjene smjera strujanja koje doprinose ukupnom raspršenju otpada. Taj proces se naziva difuzija i opisuje koeficijentom turbulentne difuzije K ; u vremenu Δt čestica morske vode će se zbog turbulentne difuzije pomaknuti za $\sqrt{2K\Delta t\eta}$, gdje je η slučajan broj. Dakle, simuliranje širenja otpada se svodi na rješavanje jednostavnih jednadžbi poput

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v\Delta t + \sqrt{2K\Delta t\eta}$$

Rješavanje se provodi pomoću računalnih simulacija Slika 8.



Slika 8. Dotok organske tvari na morsko dno iskazan u gramima ugljika po metru kvadratnom na dan. Prikazani dotok je rezultat računalne simulacije utjecaja uzgajališta tuna na okoliš.

Zaključak

Fizika se danas primjenjuje na probleme koji u svojoj osnovi nisu fizikalne naravi. Posebno je tome doprinijela pojava brzih osobnih računala na kojima se mogu simulirati veoma složeni sustavi poput ekoloških. Stoga se brzo razvijaju i nove grane znanosti koje kombiniraju znanja iz biologije, kemije, geologije i fizike. Kao primjer navodimo prosperitetno područje oceanologije i ekološkog modeliranja.

Elektromagnetska kupelj I

Ivica Prlić

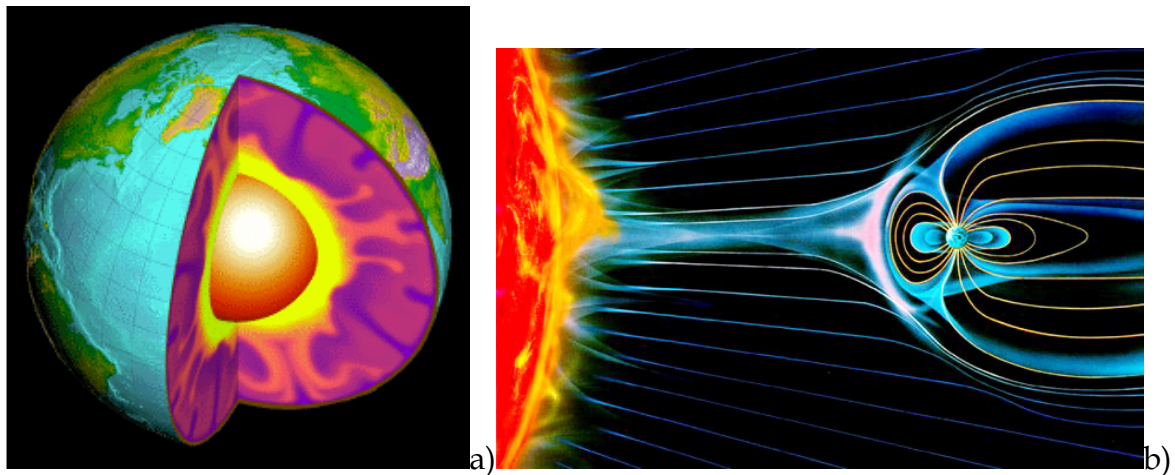
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

iprlic@imi.hr

Od kada postoji ljudska svijest o prirodi, ljudi se boje svega što ne razumiju i ne mogu jednostavno objasniti. Sila koje čine "strašne stvari", sila koje ugrožavaju njihove domove, sila koje su uz to i nevidljive, ljudi se boje najviše. Boje se za svoj život, za svoje zdravlje. Zbog toga

se oduvijek, a posebno u današnje doba, bave istraživanjima o utjecaju svega umjetno, ljudskom rukom, stvorenog iz svog životnog okoliša, a posebno nevidljivih "sila".

Zemlja, planet na kojem živimo i na kojem smo nastali, od samog svog postanka kreće se Svemirom kroz "more" energije koja potječe s dalekih zvijezda i posebno, sa Sunca. Ta energija omogućila je stvaranje života – biote na Zemlji. Sama Zemlja okreće se oko svoje osi i njena tekuća i kruta metalna utroba – jezgra proizvodi nevidljivi plašt – zemljino magnetsko polje, koji okružuje planet i štiti je od "strašnih" sila koje dolaze iz Svemira (slike 1.). Ukratko, Zemlja i sve što se na njoj nalazi, živo – biota i neživo – abiota, u svakom su trenutku uronjeni u kovitlajuću kupelj "energije".



Slike 1. a) Izvor zemljinog magnetskog polja. b) Prikaz energije koja dolazi sa Sunca, "kupelj" kroz koju se kreće Zemlja i prikaz zemljinog zaštitnog magnetskog polja.

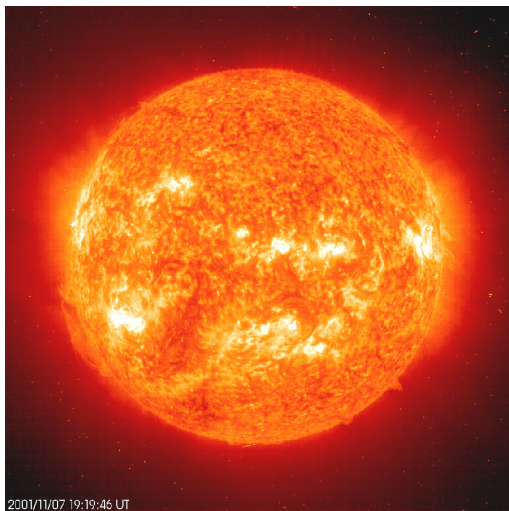
Fizika tu, ljudskim okom nevidljivu "silu", opisuje kao elektromagnetsko (EM) zračenje koje nastaje na nekom izvoru (Suncu) i koje putuje Svemirom sve dok se ne

sudari s dovoljno gustom živom ili neživom materijom, koja ga tada, djelomično ili u cijelosti "pojede" – apsorbira (slika 2.).



Slika 2. Prikaz EM zračenja koje dolazi na površinu Zemlje; količina energije (u %) koja dolazi do zemljine površine i količine energije koju zemljina atmosfera (magnetsko polje) reflektira natrag u svemir.

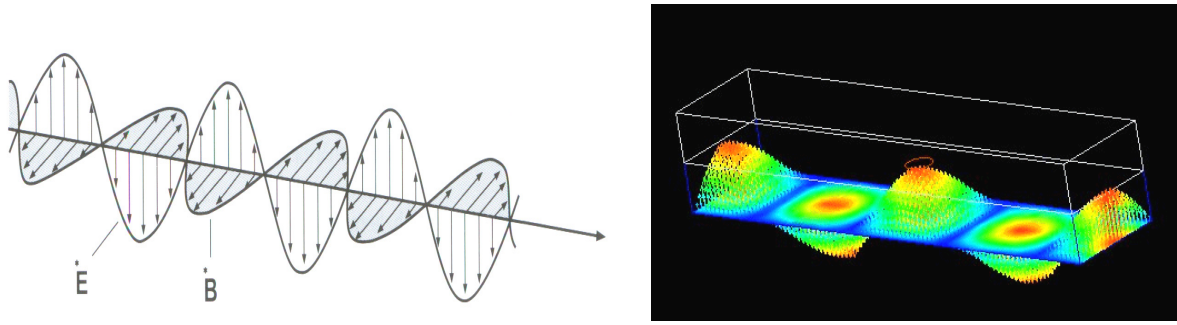
„Kupelj“ u kojoj se cijeli živi svijet kreće dio je energije koju nije apsorbirala atmosfera i koji stiže do površine Zemlje.



Slika 3. Sunce kao izvor "životne" energije

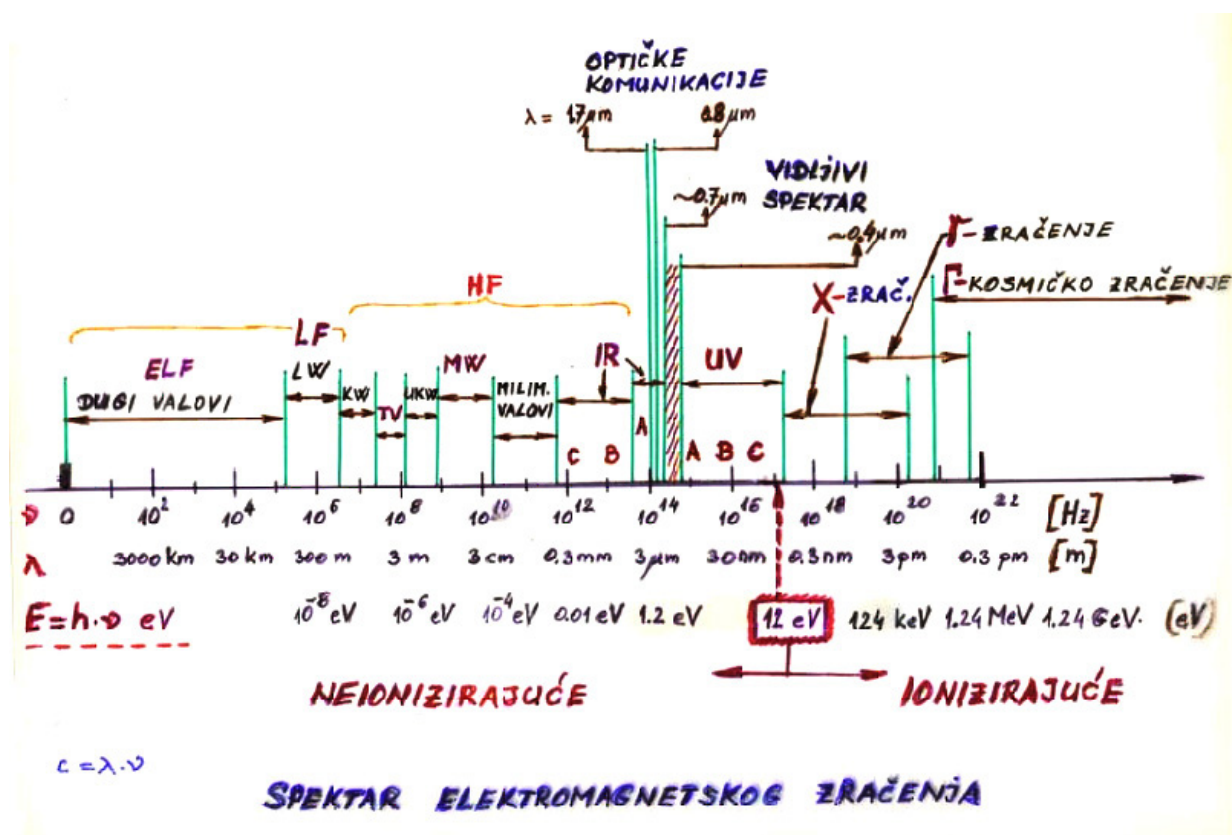
Sunce svoju energiju odašilja u Svemir u obliku EM valova i u obliku čestica, odnosno, struje materije. Energija koju je proizveo neki izvor širi se prostorom u obliku valova koje određuje njihova valna duljina λ , frekvencija ν , energija E i brzina širenja c ; $c = \lambda \cdot \nu$ (ms^{-1}). Što je kraća valna duljina, viša je frekvencija. (λ se mjeri u metrima (m), ν se mjeri u Hertzima (HZ), gdje je $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, a c je brzina svjetlosti).

Prilikom razmatranja međudjelovanja EM valova s materijom mora se uzeti u obzir kvantna priroda zračenja. Energija koju nosi EM val lokalizirana je u pulsevima EM zračenja koji se zovu fotoni i iznosi $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ (J), gdje je h Planckova konstanta. EM val je širenje vremenski promjenjivih, oscilirajućih električnih $\vec{E}$ i magnetskih $\vec{B}$ polja u prostoru (slika 4.). $\vec{E}$ i $\vec{B}$ su uvijek međusobno okomiti, a oba su okomita na smjer širenja vala.



Slika 4. Širenje ravnog vala prostorom: 2D skica i 3D računalna simulacija.

Na Zemlju neprekidno pristiže gotovo cijeli na slici 5 prikazani EM spektar zračenja. Najjači izvor je Sunce i njegovo zračenje je najvjerojatnije pomoglo stvoriti i održava život na planeti. To zračenje nazivamo prirodnim pozadinskim zračenjem jednostavno stoga jer je ono uvijek prisutno. U kupki tog zračenja stvoren je život na Zemlji, a u njoj i danas živimo. Važno je naglasiti da EM spektar nije frekventno kontinuiran te da zračenje nekih frekvencija ne dolazi do Zemlje, tj. ne postoji u prirodnom spektru zračenja. Također, zračenje nekih frekvencija koje dolazi do Zemlje jakog je intenziteta dok su neke druge frekvencije puno manjeg intenziteta. Zračenje velikog intenziteta pripada dijelu spektra koji nam je svima drag – svjetlosti (slika 5. - vidljivi spektar). Za taj dio spektra EM zračenja čovjek je razvio biološka osjetila – detektore, oko i kožu. Za dio zračenja velikog intenziteta koje ne vidimo (slika 5. - IR, UV) osjetilo – detektor je koža koja bilježi toplinu. Na žalost, za veći dio EM spektra nemamo biološki detektor, ne možemo ga jasno osjetiti, ne vidimo ga, ne čujemo ga i to je razlog zašto nas plaši. Znanost traži prikladne biološke detektore i za ostale frekvencije iz spektra. Posebno važno je napomenuti da EM zračenje iz Svemira na frekvencijama koje su veće od 10^{17} Hz, gotovo nikako ne dolazi do površine zemlje i to zato jer ga zemaljna atmosfera gotovo u cijelosti upije – apsorbira i na taj način zapravo štiti život na Zemlji od zračenja koje je toliko jako da je u stanju organizam oštetiti pa i usmrtiti. Taj dio EM spektra nazivamo ionizirajućim EM zračenjem i u njega pripadaju UV_c – ultra ljubičasto C, X-rendgensko zračenje, γ zračenje i kozmičko Γ zračenje.



Slika 5. Elektromagnetski spektar zračenja – prikaz po frekvencijama s tradicionalnim internacionalnim nazivima pojedinih dijelova spektra i pripadajućim intervalima valnih duljina:

ELF - extremely low frequency - vrlo niske frekvencije

(vrlo dugi valovi - $\lambda = \dots - 10^7 - 10^6 \text{ m}$)

LF - low frequency - niske frekvencije

(dugi valovi - $\lambda = 10^5 - 10^3 \text{ m}$)

HF - high frequency - visoke frekvencije

(KW-kratki valovi, TV valovi, UKW-ultra kratki valovi MW-mikro valovi, milimetarski valovi, IR-infra crveni valovi - $\lambda = 10^2 - 10^{-5} \text{ m}$)

Optičke komunikacije

($\lambda = 1.7 \cdot 10^{-6} - 0.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$)

Vidljivi spektar

($\lambda = 0.7 \cdot 10^{-6} - 0.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$)

UV - ultra violet - UV_A, UV_B, UV_C

($\lambda = 10^{-7} - 10^{-8} \text{ m}$)

X - rendgensko zračenje

($\lambda = 10^{-9} - 10^{-11} \text{ m}$)

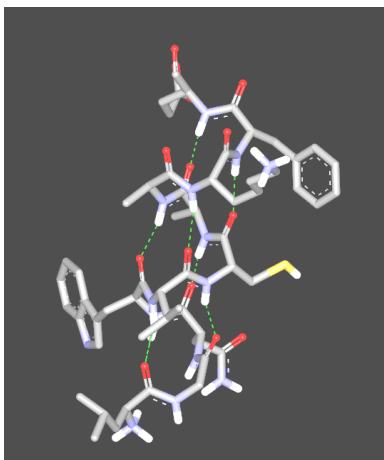
γ - gama zračenje

($\lambda = 10^{-11} - 10^{-12} \text{ m}$)

Γ - kozmičko zračenje

($\lambda = 10^{-12} - \dots \text{ m}$)

Ionizirajuće zračenje ima dovoljno veliku energiju da je u stanju raskinuti atomske (stvaranje iona) i molekularne veze u živoj materiji što dovodi u opasnost normalno funkcioniranje biološkog sustava – živog bića (slika 6.).



Slika 6. Ionizirajuće zračenje je toliko prodorno i razorno da pri prolasku kroz tkiva može razbiti molekularne veze molekula dezoksiribonukleinske kiseline – DNK u staničnim jezgrama.

Dio EM spektra koji ne može proizvesti ionizaciju u materiji jer nema dovoljnu energiju, nazivamo neionizirajućim zračenjem. Glavni efekt neionizirajućeg zračenja u djelovanju sa živom i neživom materijom je efekt zagrijavanja.

Kako je elektromagnetski val zapravo energija koja se širi prostorom to znači da se ona "zaustavila" unutar nas.

Kako je energija neuništiva, samo prelazi iz jednog oblika u drugi, zaustavljanje EM vala očituje se u toplini. Ta se toplota tada drugim mehanizmima, fizikalnim i kemijskim širi kroz naše tijelo. Ljudsko tijelo je zatvoren biološki sustav čiji "građevni" materijal ima svoje kontrolne mehanizme koji prate promjene topline u ljudskom tijelu (termoregulacijski mehanizmi). Ti kontrolori pokreću sustave za "obranu" istog trenutka kada ustanove da se tijelo, ili organi previše zagrijevaju (znojenje, naglo povećani krvni tlak koji brže tjera krv koja hladi tijelo i slično). Toplinski učinak je zagrijavanje, koje je posljedica apsorpcije EM zračenja, dovoljno za lokalni porast temperature u tkivu od 0,1 C°. Netoplinski učinak je onaj kod kojeg apsorbirana količina energije u uzorku tkiva znatno manja od energije koja se oslobodi normalnim tjelesnim funkcijama, pa porast temperature zbog apsorpcije zračenja nije moguće odrediti.

Toplinski učinci nemaju kumulativni učinak, tj. nema dokaza o njihovom akumuliranju u organizmu ili o dugoročnom odgovoru organizma. Potrebno je razjasniti jesu li netoplinski biološki učinci štetni za ljudski organizam. Fizikalni mehanizmi tih međudjelovanja s organskom materijom još uvijek nisu razjašnjeni. Moguće učinke danas intenzivno istražujemo i znanost ih naziva nelinearnim efektima jer nije ni očita ni jednoznačna veza između apsorpcije zračenja u tkivu i nekog efekta koji se pojavljuje, a koji nije moguće opisati kao toplinski učinak (gubitak ili dobitak elektrona u redoks procesima, oksidacija npr.). Energija fotona neionizirajućeg zračenja za nekoliko je redova veličina niža od energije međumolekulskih veza u biološkom materijalu. Ako se javlja neki efekt, on mora biti ostvaren pretvorbom energije, pojačanjem, nekom rezonantnom pojavom ili nekim kumulativnim procesom različitim od toplinskog (najčešće na molekularnoj razini).

Prijenos topline u biološkom materijalu – ljudskom tijelu opisujemo pomoću stacionarne Pennesove jednadžbe prijenosa (za prokrvljeno tkivo) koja glasi:

$$\nabla(\tau \nabla T) + W_b C_{pb}(T_a - T) + Q_m + Q_{EM} = 0$$

gdje T temperatura tkiva i τ toplinska vodljivost opisuju prijenos topline provođenjem. Prijenos topline krvotokom je opisan s T_a temperaturom arterijske krvi, W_b (kg m^{-3}) stupnjem prožimanja tkiva krvlju po jedinici volumena – volumnom prokrvljenosti i C_{pb} ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$), specifičnim toplinskim kapacitetom krvi. Q_m je količina generirane topline u jedinici vremena po jedinici volumena koja je posljedica metabolizma i konačno, Q_{EM} je količina generirane topline u jedinici vremena po jedinici volumena tkiva uslijed apsorbirane EM energije.

Tkivo	$\tau [\text{W} / \text{m} / \text{K}]$	$W_b [\text{kg} / \text{m}^3]$	$Q_m [\text{W} / \text{m}^3]$
Masno tkivo	0,2	0,3	269
Mišić	0,545	0,433	703,5
Kost	1,16	0,066	115,5
Mozak	0,503	0,9	172

Tablica 1. Termofizička svojstva različitih tkiva uz $C_{pb} = 3475 \text{ J/kg/K}$ i $T_a = 37^\circ \text{C}$.

Potpuno je jasno da detektori koje koristimo za lokalno mjerenje temperature u tkivu moraju moći izmjeriti jako male količine topline koje u tkivu generira EM zračenje s obzirom da su količine topline koje generiraju ostala tri mehanizma značajno veće.

Sve izvore zračenja koje je stvorio čovjek zovemo umjetnim izvorima EM zračenja i njih treba detaljno proučavati i uspoređivati ih s prirodnim izvorima. Kako umjetni izvori zračenja nisu donedavno postojali u prirodi, u kojoj je prirodno zračenje 'ugrađeno' u život, sasvim je opravdano pitanje koliku "korist" ili "štetu" to umjetno stvoreno elektromagnetsko zračenje donosi životu na zemlji, posebice nama ljudima. Očito živimo u EM kupelji koju sve više "obogaćujemo" umjetno stvorenim EM izvorima zračenja (žarulje, štednjaci, radio, televizija, računala, bežične telekomunikacije, dalekovodi, trafostanice, satelitske komunikacije, radari.....). Kažemo da je gotovo cjelokupna ljudska populacija izložena EM zračenju iz umjetnih izvora, doduše, čini se, još uvijek niskih razina.

EM zračenje može izazvati biološke učinke koji ponekad, ali ne uvijek, mogu dovesti i do negativnih učinaka na zdravlje. Važno je razlikovati ta dva pojma. Biološki učinak nastaje kad izlaganje neionizirajućem zračenju uzrokuje fiziološke promjene (promjene u funkcioniranju) u biološkom sustavu koje možemo otkriti mjerenjima ili opažanjem. Negativan učinak na zdravlje se javlja kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati (npr. termoregulacijski mehanizmi) i koji je protivan općem blagostanju neionizirajućem zračenju izložene osobe.

Neki učinci mogu biti povoljni, kao što je osjećaj ugone od direktne sunčeve svjetlosti u hladnom danu, ili čak mogu dovesti do pozitivnih učinaka na zdravlje, kao što sunčeva svjetlost pomaže tijelu u proizvodnji vitamina D.



Slika 7. Opekline nakon izlaganja intenzivnom zračenju na plaži.

Neki biološki učinci vode do negativnih učinaka na zdravlje, kao što su jake opekline ili čak, rak kože.

Zdravstvena šteta je pojava bilo koje bolesti koju medicina može s prihvatljivom sigurnosti dijagnosticirati. Moguća genetska šteta je procjena utjecaja vanjskog zračenja prvenstveno na reproduktivni biološki sustav izloženog čovjeka (i ostalih živih bića) kako bi s nekom sigurnošću odredili da li će se u budućim generacijama pojaviti trajno oštećenje organizma (mutacija). In vitro studije na staničnim kulturama daju važan uvid u osnovne mehanizme bioloških učinaka malih jakosti zračenja. Često nije moguće zaključiti koji je funkcionalni odgovor ljudskog organizma na određeni biološki učinak. In vivo studije na životinjama i ljudima osiguravaju uvjerljivije dokaze o mogućim negativnim učincima na zdravlje. Prilikom ekstrapolacije rezultata dobivenih u eksperimentima sa životinjama na ljude valja biti jako oprezan i kritičan. Nekritične ekstrapolacije, naročito negativnih rezultata, mogu dovesti do zablude koje dugotrajno mogu i sociološki negativno utjecati na društvo, kočeci razvoj i probitak.

Epidemiološke istraživačke studije daju najizržavnije i najpouzdanije informacije o riziku od negativnih bioloških učinaka kod ljudi. One daju statističke rezultate koji dobivaju na težini povećanjem ispitnih uzoraka (grupa ljudi) i ponavljanjem ispitivanja. Teško je pronaći relevantne kontrolne ispitne skupine ljudi koje u svim aspektima (dob, spol, slične životne navike, lokacija stanovanja i dr.) odgovaraju zračenju izloženim ispitnim skupinama. Treba biti pažljiv i kritičan i kod interpretacije rezultata epidemioloških istraživanja, posebno ako je pronađen rizik neznatan ili čak zanemariv, jer to može biti i posljedica nekih drugih čimbenika. U principu nije moguće znanstveno dokazati nepostojanje (ili postojanje) negativnih učinaka nekog novog izvora neionizirajućeg zračenja (novog proizvoda na tržištu, npr. novog tipa mobitela) zbog toga što neki nelinearni učinci mogu biti kumulativni tj. njihovo se postojanje može detektirati tek nakon dužeg vremena. Sve u svemu, ipak su epidemiološke studije, koje obuhvaćaju nekoliko generacija, važne za praćenje djelovanja novih tehnologija na zdravlje ljudi.

Nikako ne smijemo zaboraviti pozitivne učinke neionizirajućeg zračenja. Ono se danas široko primjenjuje u medicini (uređaji za fizikalnu terapiju su izvori neionizirajućeg zračenja u širokom rasponu frekvencija), u liječenju nekih karcinomnih oboljenja, probavnih smetnji, neuroloških poremećaja, kardiovaskularnih tegoba, u stomatologiji, u industriji (za točkasto zavarivanje i, naročito, za nerazornu kontrolu kvalitete gotovih proizvoda – npr. varovi na brodovima i zrakoplovima) i dr.



a)



b)



c)



d)



e)

Slika 8. Sveprisutni umjetni izvori neionizirajućeg zračenja: a) kućanski aparati, b) dalekovodi, c) trafostanice, d) razne antene – odašiljači, e) mobiteli

Generiranje topline glavni je fizikalni proces međudjelovanja neionizirajućeg zračenja s materijom i fizikalni mehanizmi tog međudjelovanja znatno se razlikuju ovisno o frekvenciji zračenja izvora. EM spektar zračenja, po načinu djelovanja na tkivo dijelimo, na tri glavne frekvencijske skupine:

- 0 – 100 kHz ; područje niskih frekvencija, (LF)
- 100 kHz – 10 GHz ; područje visokih frekvencija, (HF)
- 10 GHz – 300 GHz ; područje visokih frekvencija, (HF)

Kao što smo već rekli, fizika bi trebala moći mjeriti “količinu” energije koju EM zračenje pronosi slobodnim prostorom i/ili kroz živu i neživu materiju i trebala bi moći razlikovati “izvore” mjenog EM zračenja. Biologija bi trebala moći mjeriti “količinu” učinka koju elektromagnetsko zračenje pronosi biološkim materijalom (tkivom) i trebala bi moći razlikovati te učinke s obzirom na način širenja EM zračenja biološkim materijalom. Medicina bi, ako se zadržimo “samo” na ljudima,

trebala moći mjeriti 'količinu' 'koristi' i/ili 'štete' koju elektromagnetsko zračenje trajno ostavlja u ljudskom tkivu nakon djelovanja na njega.

Kako je toplina fizikalna mjera kojom opisujemo najveći "dio" međudjelovanja EM zračenja i materije zadatak je odrediti i stvarnu količinu (dozu) te topline deponirane u materiji.

Dozimetrija zračenja je grana fizike koja se bavi mjerenjima onih fizikalnih veličina koje nam omogućuju određivanje ili procjenu količine energije EM zračenja koja se apsorbira u živom organizmu, a koju stvaraju umjetno stvoreni izvori EM zračenja. Relevantne fizikalne veličine prikladne za istraživanja bioloških učinaka EM zračenja u tkivu i opis međudjelovanja koje moramo mjeriti su: (ovisno o frekvencijskom području, o položaju mjerne točke u odnosu na izvor zračenja i o vrsti mjerne sonde i fizikalnoj provedbi mjerenja)

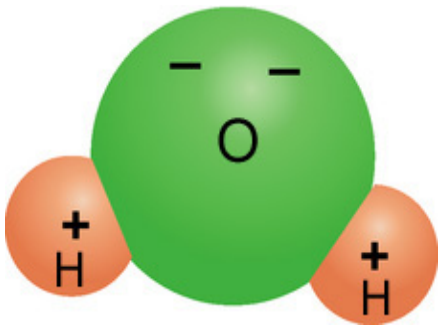
- jakost električnog polja	E	Vm^{-1}
- jakost magnetskog polja	H	Am^{-1}
- gustoća struje	J	Am^{-2}
- gustoća snage	S	Wm^{-2}

Postoje četiri temeljna mehanizama međudjelovanja stacionarnih i vremenski promjenjivih elektromagnetskih polja s organskom (živom) materijom:

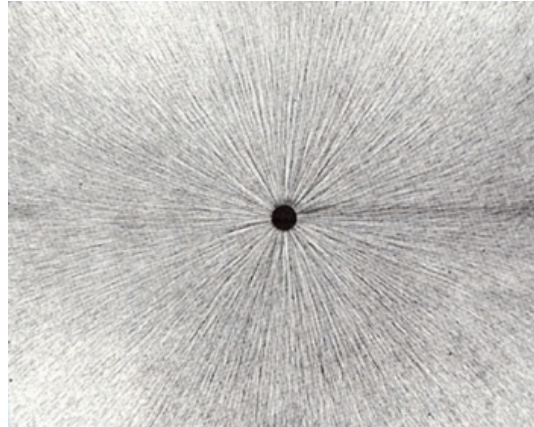
- međudjelovanje s statičkim električnim LF poljima
- međudjelovanje s statičkim magnetskim LF poljima
- međudjelovanje s vremenski promjenjivim električnim i magnetskim LF poljima
- međudjelovanje – apsorpcija energije elektromagnetskog zračenja HF polja.
 - površinsko zagrijavanje tkiva u području HF polja

LF (niskofrekventno) električno polje inducira površinski električni naboj na površini kože tijela. Ta površinska gustoća naboja inducira električne struje, stvaranje električnih dipola i „reorijentaciju” već postojećih električnih dipola unutar tijela. (prisjetimo se da je ljudsko tijelo najvećim dijelom sastavljeno od vode - >75 % ukupne mase)

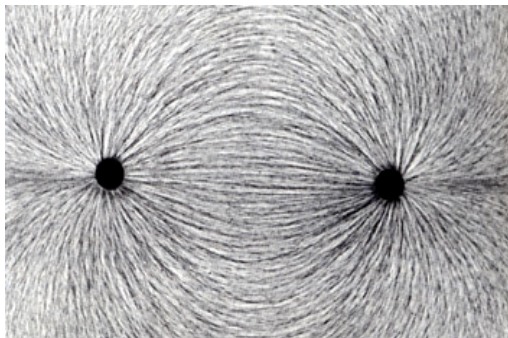
Niskofrekventno magnetsko polje inducira električna polja i struje u tijelu koje teku kao zatvorene petlje unutar tijela – vrtložne struje.



Slika 9. Molekula vode je električni dipol

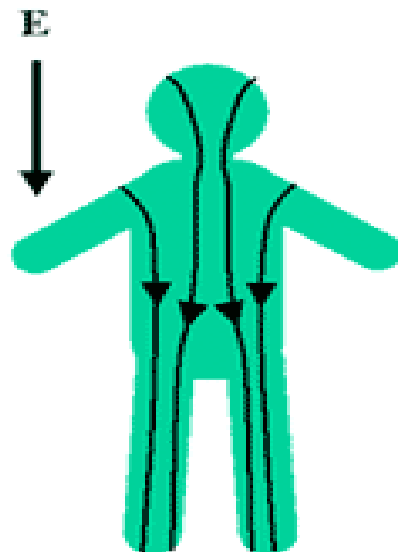
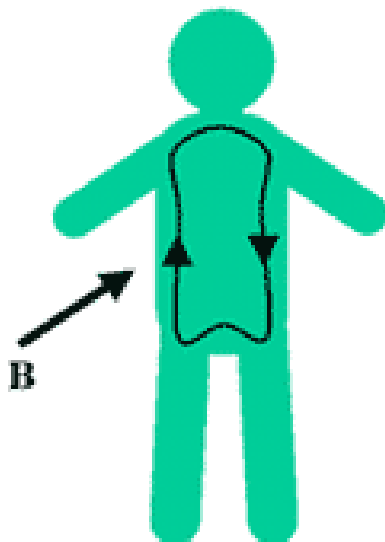


Slika 10. Električno polje oko naboja



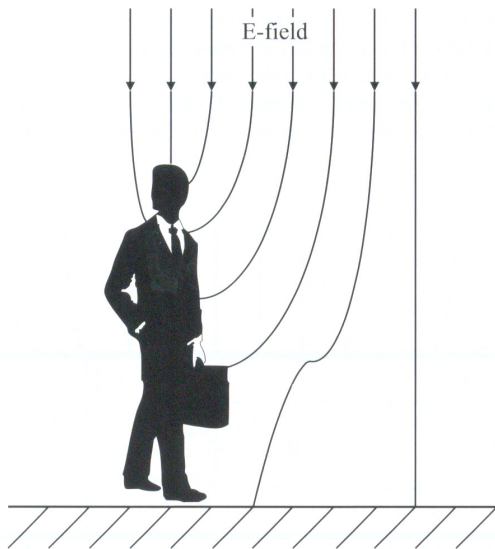
Slika 11. Električno polje između dva naboja. Preslagivanje električnih dipola u stanicama zbog utjecaja vanjskog električnog polja uzrokovat će drukčije električne sile među njima.

Slika 12. Pod utjecajem vanjskog niskofrekventnog električnog polja E inducirat će se električno polje unutar tijela i uzrokovati pojavu struje kroz tijelo.

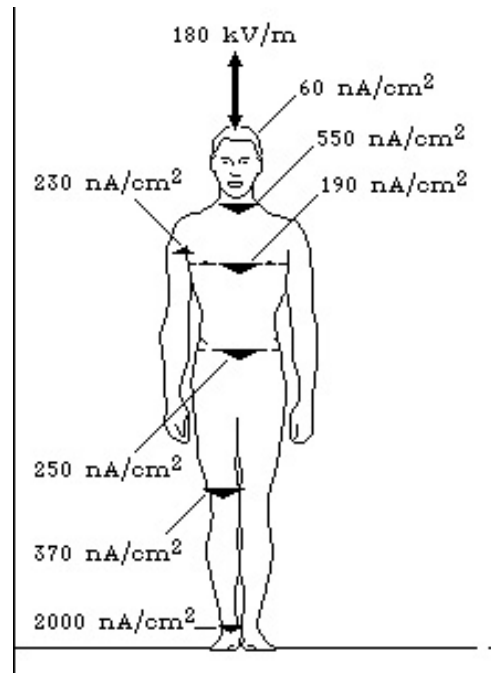


Slika 13. Inducirane vrtložne struje unutar tijela zbog utjecaja vanjskog magnetskog polja.

LF - biološki učinci izravno su povezani s gustoćom inducirane struje ili s deponiranom elektromagnetskom energijom u tkivu.



Slika 14. Distorzija vanjskog električnog polja uslijed prisutnosti ljudskog tijela.



Slika 15. Uzemljeni čovjek izložen okomitom električnom polju jakosti 10 kV/m i $\nu = 60$ Hz. Prikazano je mjereno ulazno električno polje, inducirane aksijalne gustoće struja u tijelu usrednjene po odabranim presjecima tijela i proračunata gustoća struje okomita na površinu tijela (60 nA/cm^2).

HF (visokofrekventna) EM polja inducirat će električna polja u tkivu i pokrenuti mehanizam apsorpcije EM energije. Dio iz izvora izračene EM energije apsorbirati će se u tkivu uzrokujući povećanje temperature tkiva i utjecati na biokemijske reakcije. Također je moguće da apsorbirana EM energija uzrokuje interferenciju s transportom elektrona pri kemijskim/biološkim procesima u tkivu (nelinearni efekti).

Apsorpcija u tkivu je gubitak “snage” vanjskog zračenja vezana uz dielektrične osobine biološkog tkiva. Gubitak “snage” EM zračenja koji se događa pri prolasku zračenja kroz biološko tkivo definiramo kao **specifičnu brzinu apsorpcije (SAR)** zračenja

$$\text{(mjeri se u } \text{W kg}^{-1}\text{)} \quad SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad \text{gdje je } E \text{ lokalno električno polje koje je}$$

vanjsko visokofrekventno EM zračenje iz nekog izvora induciralo unutra tijela, σ je dielektrična konstanta pojedinog tkiva i ρ je gustoća tog tkiva.

Raspon frekvencija			Veličina		
1 Hz	Do	10 MHz	J	Am^{-2}	gustoća struje
1 Hz	Do	110 MHz	I	A	struja
100 kHz	Do	10 GHz	SAR	Wkg^{-1}	<i>Brzina Doze</i> Specifična brzina apsorpcije
10 GHz	Do	300 GHz	S	Wm^{-2}	gustoća snage
Pulsno elektromagnetsko zračenje:					
300 MHz	Do	10 GHz	SA	Jkg^{-1}	<i>Doza</i> Specifična apsorpcija

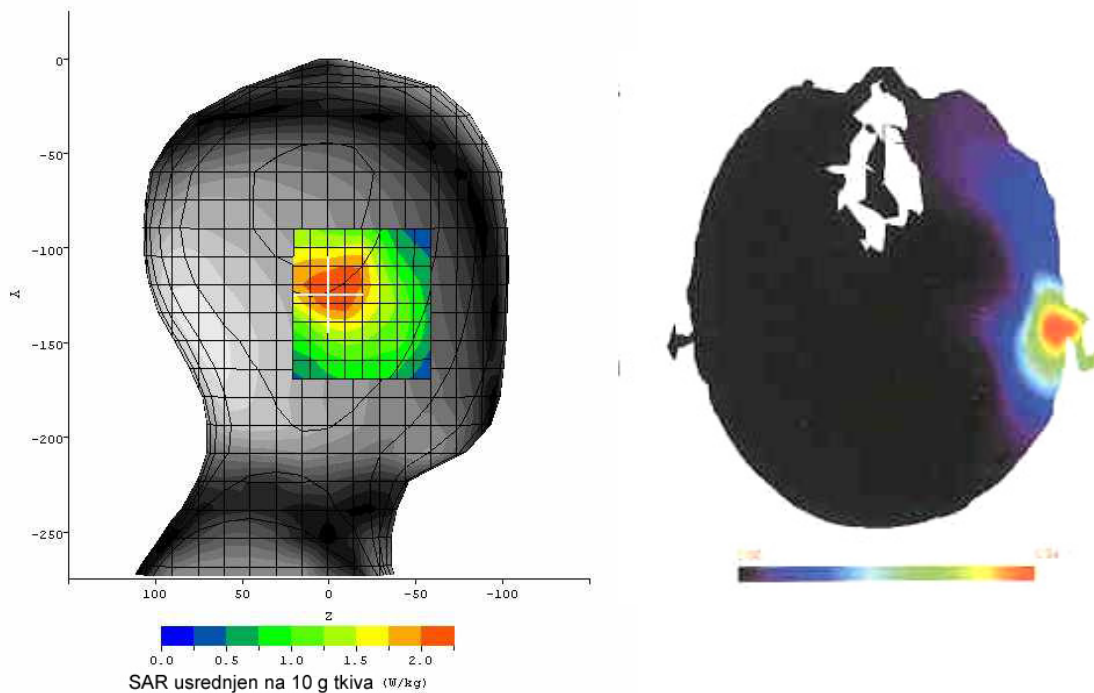
Tablica 2. Dozimetrijske veličine relevantne za opis EM zračenja

Vidimo da SAR ovisi o vrsti tkiva što znači da određeno vanjsko EM zračenje različito djeluje na svaki djelić ljudskog organizma. Zbog svojstva međudjelovanja zračenja i organske materije, istraživanja o utjecaju EM zračenja na živo tkivo zahtjevnija su i kompleksnija.

Tkivo	σ (Sm^{-1})	Dio tijela	Razina apsorpcije *
Mozak	0,12	Mozak	++
Oko	0,11	Očne leće	+++
Srce	0,11	Srce	+
Jetra	0,13	Pluća	+
Bubrezi	0,16	Koža	+
Slezena	0,16	Unutarnji organi	+
Mišići	0,5	Čašica koljena	+++
		Metalni implantati	+++

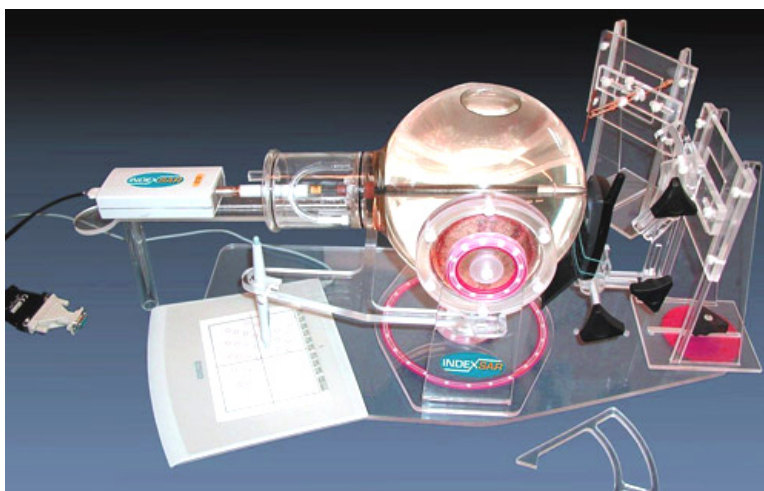
* razina apsorpcije +++ vrlo velika, ++ velika, + umjerena

Tablica 3. HF područje EM zračenja – vodljivost i apsorpcija u ljudskom tkivu



Slika 16. Procijenjeni - proračunati lokalni SAR u glavi uzrokovan zračenjem antene mobitela

SAR nije moguće direktno mjeriti. Da bi ga izmjerili na određenom mjestu unutar tkiva potrebno je mjernu sondu staviti točno na mjerno mjesto – u tkivo. Kada se radi o ljudima i životinjama to etički nije dozvoljeno. Razvoj fizike materijala i moderne elektronike omogućili su konstruiranje detektora kojima možemo dovoljno precizno mjeriti navedene fizikalne veličine, neposredno ili posredno, kako bi procijenili količinu topline (SAR) koju EM zračenje deponira pri prolasku i apsorpciji u živoj materiji. Za proračun SAR-a koristimo napredne računarske tehnike (slika 16), a za mjerenja koristimo fantome, ljudskom tijelu po geometriji, volumenu i gustoći ekvivalentne mjerne objekte (slika 17.).



Slika 17. Eksperimentalni sustav fantoma, izvora zračenja i detektora za mjerenja SAR-a

Danas znamo da su neki umjetni izvori EM zračenja toliko energetske slabi da ne čine „štetu“ živoj materiji (radio aparati, svi kućanski aparati, bazne postaje mobilne telefonije, neki medicinski električni uređaji za fizikalnu terapiju, TV antenski sustavi i sl...). I dalje svakodnevno smišljamo i proizvodimo nove izvore zračenja o čijem utjecaju na život gotovo ništa ne znamo (nove generacije mobilnih telekomunikacijskih antenskih sustava, radari, uređaji u industriji, bežične veze, uređaji za vojne namjene itd..).

Zbog neznanja o stvarnom međudjelovanju elektromagnetskog zračenja i materije, a u skladu s dogovornim principom predostrožnosti, koji zahtijeva da prema nepoznatim tehnologijama postupamo krajnje obazrivo i s primjerenom dozom znanstvene sumnje, utvrđene su opasnosti od izlaganja toplinskim razinama EM zračenja i to čini osnovu današnjih, zakonima i međunarodnim preporukama, propisanih graničnih vrijednosti izlaganja EM zračenju.

Zakon definira temeljne, fizikalne veličine i izvedene, dozimetrijske veličine koje nam služe za utvrđivanje graničnih vrijednosti iznad kojih nije preporučljivo izlaganje EM zračenju zbog toga što se ne znaju moguće posljedice po zdravlje, kratkoročno za ljudsku jedinku i dugoročno za populaciju. Propisujemo si do kojih vrijednosti izlaganje žive materije EM umjetnom zračenju „smije“ ići, a da smo još uvijek sigurni (za sada) da to izmjereno zračenje ne čini stvarnu zdravstvenu „štetu“.

Frekvencija f	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage (ekvivalentnog ravnog vala) S_{ekv} (W/m ²)	Vrijeme uprosječenja t (minute)
< 1 Hz	14 000	32 000	40 000		*
1–8 Hz	10 000	32 000/ f^2	40 000/ f^2		*
8–25 Hz	10 000	4000/ f	5000/ f		*
0,025–0,8 kHz	250/ f	4/ f	5/ f		*
0,8–3 kHz	250/ f	5	6,25		*
3–100 kHz	87	5	6,25		*
100–150 kHz	87	5	6,25		6
0,15–1 MHz	87	0,73/ f	0,92/ f		6
1–10 MHz	87/ $f^{1/2}$	0,73/ f	0,92/ f		6
10–400 MHz	28	0,073	0,092	2	6
400–2000 MHz	1,375 $f^{1/2}$	0,0037 $f^{1/2}$	0,0046 $f^{1/2}$	$f/200$	6
2–10 GHz	61	0,16	0,20	10	6
10–300 GHz	61	0,16	0,20	10	68/ $f^{1.05}$

Tablica 4. Izvadak iz zakonskih propisa Republike Hrvatske.

Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage ekvivalentnog ravnog vala za pojedinačnu frekvenciju za **područja profesionalne osjetljivosti**. Granične razine dane su za efektivne vrijednosti jakosti nesmetanog polja i gustoće magnetskog toka, a vrijede za jednoliku izloženost cijelog ljudskog tijela EM poljima. (Izvadak iz Pravilnika RH NN 204/03)

Prilikom izvođenja praktične vježbe pokazat ćemo način mjerenja niskofrekventnih i visokofrekventnih EM polja koja potječu od umjetnih izvora EM zračenja koje je stvorio i koje u svakodnevnom životu koristi čovjek, i to zračenje za koje vjerujemo da ne prelazi zadane sigurnosne zdravstvene granice i ne čini zdravstvenu „štetu“. Mjerit ćemo magnetsko i električno polje transformatorske stanice ili dalekovoda u području niskih frekvencija (LF) i gustoću snage EM polja u području visokih frekvencija (VF) koja proizvode moderne bazne postaje mobilne bežične telefonije i radio komunikacijske opreme. Praktična vježba će nam pokazati kako i koliko smo si 'obogatili' prirodnu EM kupelj umjetnim dodatkom, kojeg valja detaljno istražiti da bi se uvjerali da nam (ne) nanosi zdravstvenu i time i moguću genetsku „štetu“. Diskutirati ćemo koja bi to kontrolna skupina ljudi bila pogodna za epidemiološka istraživanja vezana uz izloženost neionizirajućem zračenju iz telekomunikacijskih antenskih sustava mobilne telefonije i da li je takvu skupinu uopće moguće pronaći u istim životnim uvjetima kao skupinu ljudi koja je izložena tom zračenju.

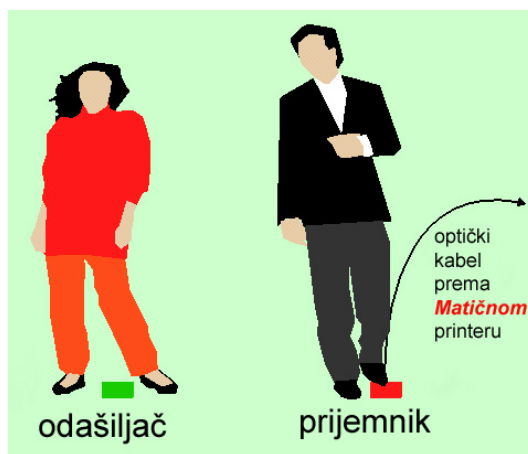
I za kraj, dva primjera zdravstveno „rizičnog“ izlaganja elektromagnetskom zračenju:

stvarno.....



Nikako sebe ne uporabiti za nekontrolirani prijenos električne struje

i moguće.....



Paziti na „opasnosti“ bežičnog prijenosa magnetske privlačnosti...

Elektromagnetska kupelj - II

Đuro Drobac,

Institut za fiziku, Zagreb

drobac@ifs.hr

Sva živa bića na Zemlji izložena su stalnom djelovanju električnih i magnetskih polja. Čovjek se, simbolički rečeno, stalno nalazi u jednoj kupelji elektromagnetskog polja. Što je izvor tih polja? Djeluju li ta polja na čovjeka? Ako djeluju je li to štetno ili korisno? Ako je štetno kako se zaštititi? Ako je korisno kako kako pojačati djelovanje? Ova i slična pitanja nas skoro svakodnevno obasipaju iz raznih medija. Često se ova polja proglašavaju vrlo štetnima, a ponekad se štetnim proglašava i njihov manjak, i odmah se nude razna spasonosna rješenja (uglavnom skupa), a da stvar bude uvjerljivija koristi se i kvaziznanstveni rječnik, poluinformacije, "otkrića na poznatim institutima", ili "dobro poznati stručnjak u navedenom području dr Smith" (ime se povremeno mijenja).

U ovom predavanju bit će riječi o prirodnom električnom i magnetskom polju Zemlje, dakle poljima u kojima se čovjek svakodnevno nalazi i živi i njihovom mogućem utjecaju na naš život, s ciljem bar malog razjašnjenja mitova koji se pletu oko tih polja.

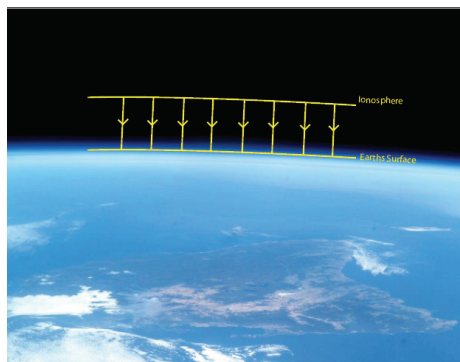
Električno polje

Prosječno električno polje u blizini Zemljine površine iznosi oko 130 V/m i usmjereno je prema površini Zemlje. To znači da je Zemljina površina negativno nabijena. Iz formule koja prikladno opisuje takvo polje

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

proizlazi da je ..površinska gustoća naboja, oko 10^{-9} C/m². To bi značilo da otprilike 5 od 10^{11} atoma ima jedan elektron viška.

Kako u atmosferi uvijek ima nešto prisutnih iona to postoji slaba ali stalna struja usmjerena prema dolje. Ta struja za lijepa i mirna vremena iznosi oko 2×10^{-12} A/m². Za cijelu Zemljinu površinu to iznosi oko 1000 A. Iako male gustoće ova struja bi za oko pola sata ispraznila "Zemaljski kondenzator", no činjenica je da se on trajno održava. Mehanizam koji stalno održava razdiobu naboja su oluje i gromovi. Svake sekunde Zemlju pogađa prosječno oko 100 gromova. Oko 90% njih je udar negativnog naboja u Zemlju što znači da u prosječnom gromu ima oko 10 - 15 C naboja. Električno polje u blizini grmljavinskih oblaka, pogotovo za udara groma se povećava nekoliko puta.



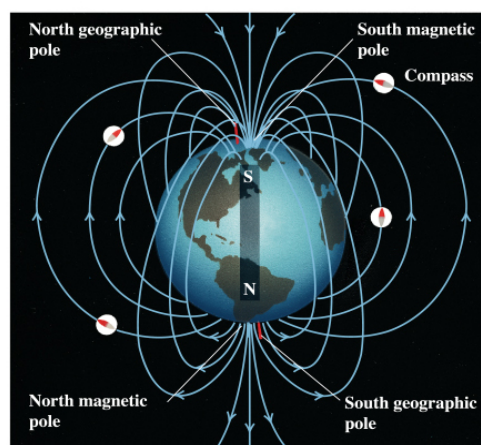
Smeta li ovo polje čovjeku? Vjerojatno ne. Ljudsko tijelo je relativno dobar vodič i sav naboj se raspodijeli po površini tijela tako da ovo polje ne prodire u organizam.

U zadnje vrijeme se često spominje meteoropatija. To je pojava da se ljudi loše osjećaju 48-24 sata prije promjene vremena, no mala je vjerojatnost da promjena samo električnog polja utječe na to. Vjerojatno promjena više faktora zajedno npr. tlaka, vlažnosti, vjetra i električnog polja doprinosi meteoropatiji.

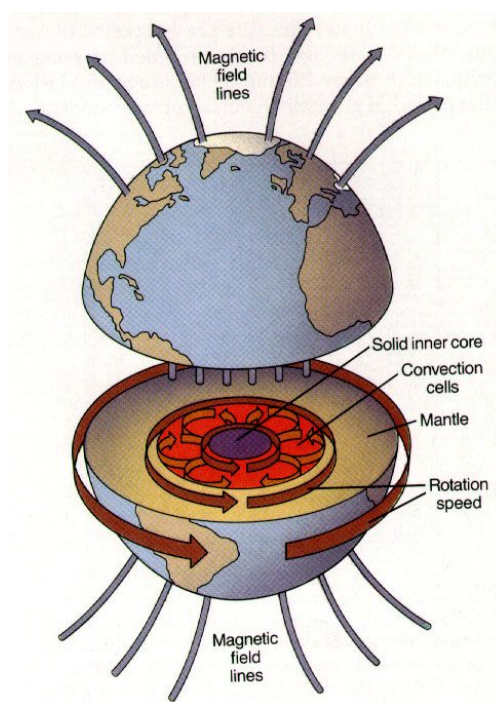
Magnetsko polje

Zemlja je okružena magnetskim poljem koje ima oblik kao da ga generira veliki dugoljasti magnet smješten u unutrašnjosti Zemlje i usmjeren približno Zemljinoj osi. Jakost tog polja na površini je reda veličine 100 A/m. (To je polje koje bi davala duga ravna žica kojom teče struja jakosti 10 A na udaljenosti od par cm) Danas se smatra da ovo polje generiraju golemi strujni vrtlozi u vanjskom plaštu za kojeg se pretpostavlja da se sastoji dominantno od tekućih metala. Ovo polje je vrlo važno za održanje života na Zemlji jer nabijene čestice koje dolaze sa Sunca (a koje su ionizacijski vrlo opasne) skreće prema polovima.

U Zemljinoj povijesti ovo polje je puno puta mijenjalo orijentaciju tj. zamijene se sjeverni i južni pol (kao da se golemi magnet u Zemlji zakrene za 180°). Zašto Zemljino magnetsko polje mijenja orijentaciju, a pogotovo kako se to događa, nije poznato. Postoje modeli koji promjenu orijentacije povezuju s precesijom Zemljine osi no modelski bi se takve pojave trebale događati periodično svakih 26000 godina. Ono što je znano jest da su te pojave nasumične. Polje jedne orijentacije traje prosječno oko 280000 godina, zatim počinje slabiti; moguće je da se polovi razilaze i zatim se ponovo skupljaju u suprotnom smjeru. Ta promjena traje do 10-ak tisuća



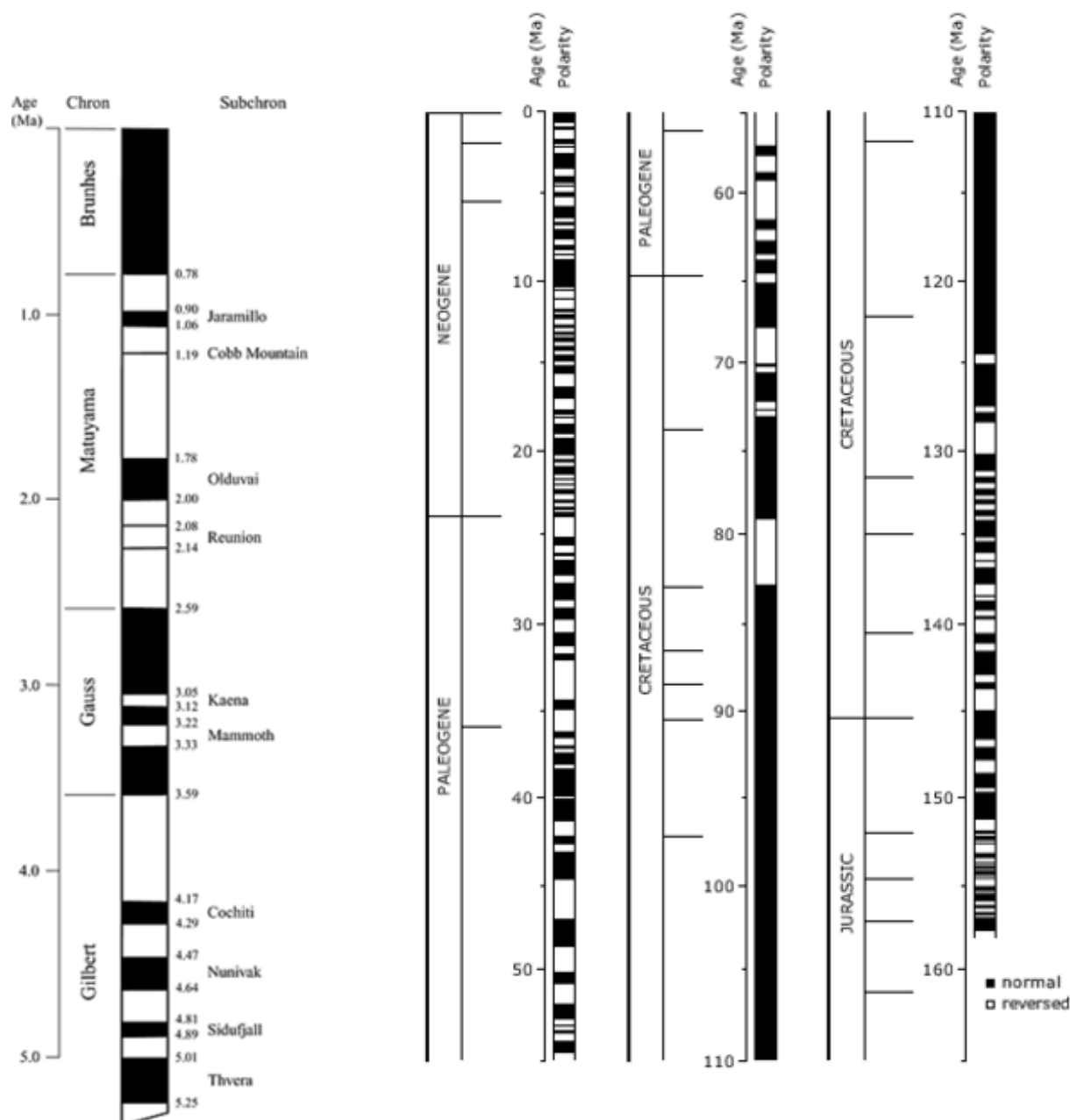
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



godina.

Činjenica je da je ljudska vrsta preživjela nekoliko promjena orijentacije Zemljinog magnetskog polja jer je u zadnjih pet milijuna godina takvih promjena bilo dvadesetak. Također je primijećeno izumiranje nekih vrsta i pojava novih uz neke od promjena orijentacije ali ne uz sve.

Današnja orijentacija polja traje već oko 780000 godina, no mjerenja pokazuju da polje trenutno slabi (oko 6% u zadnjih 170 godina). Je li to uvod u novu promjenu orijentacije ili period privremenog slabljenja polja ne zna se.



Magnetoterapija

Ovim terminom se danas naziva dio alternativne medicine u kojem se smatra da organizam ima stanovitu korist ako ga se izlaže statičkom magnetskom polju. Ovo ne uključuje dijagnostičke metode kao MRI (odnosno NMR) u kojima se magnetsko polje koristi za uvid u unutrašnjost organizma.

Prve ideje o uporabi magneta za liječenje potječu od švicarskog liječnika Paracelsusa (1493-1543). Naime tada se počelo smatrati da je bolest nešto što izvana ulazi u organizam i ako magnet ima snagu privlačiti željezo možda može izvući bolest iz organizma. Austrijski liječnik Franz Anton Mesmer (1734-1815) je naročito proširio uporabu magneta za liječenje mnogih bolesti, a uveo je i termin "životni magnetizam". Iako je posebna komisija, koju je osnovao francuski kralj Louis XVI 1784 god. provela niz pokusa i utvrdila da se svi opaženi efekti mogu pridijeliti snazi sugestije i da je "uporaba magnetiziranja samo umjetnost povećanja imaginacije" (a ovaj se zaključak mirno može potpisati i danas) uporaba magneta u liječenju se širila sve više, naročito otkrivanjem sve jačih permanentnih magneta. Amerikanac Daniel David Palmer je čak otvorio *Palmer's School of Magnetic Cure* 1890-ih u Iowi. Dr. C. J. Thacher je 1886 izdao katalog iz kojeg se poštom moglo naručiti pojedine dijelove odjeće podstavljene magnetima, a mogao se naručiti i cijeli kostim koji je sadržavao više od 700 magneta koji su pružali "potpunu zaštitu svih vitalnih organa tijela".

U dvadesetom stoljeću znanstvenici i tehnolozi su razvili metode dobivanja sve jačih permanentnih magneta. Magneti bazirani na elementima rijetkih zemalja, npr. neodimij-željezo-bor, su više od sto puta jači od onih s kraja XIX stoljeća. To je ponovo pojačalo interes za uporabu permanentnih magneta u magnetoterapiji.

Danas se uporaba magneta i magnetskog polja preporuča za uklanjanje bolova u leđima, vratu i zglobovima, protiv glavobolje, za poboljšanje cirkulacije krvi, za brže srastanje kostiju, protiv nesanice, protiv depresije...

Forme i načini pomagala koja se nude su vrlo različiti. Od jakih permanentnih magneta s magnetizacijom od par tisuća Gaussa koji se stavljaju na željena mjesta s dobro određenim polaritetom polja do savitljivih traka s područjima alternirajuće magnetizacije poredanim u razne geometrijske oblike te klasičnih velikih zavojnica koje na mjestu tretmana teško da mogu proizvesti polje jače od Zemljinog. Prodaju se razne magnetske narukvice, ogrlice, štapići za magnetiziranje vode, magnetski jastuci, zaštitne deke i sl.

Objašnjenja načina djelovanja magneta i magnetskih polja sežu od "popravka energetske neravnoteže izazvane elektromagnetskim zagađenjem" i "kompenzacije slabljenja Zemljinog magnetskog polja" pa do sasvim stručnih kao npr "Hallov efekt" za kojeg se navodi da, posebno u kombinaciji s alternirajućim poljima, dovodi do širenja krvnih žila i poboljšanja općeg stanja.

Posao prodaje pomagala u magnetoterapiji danas naprosto cvate. Japanska tvrtka NIKKEN (koja se između ostalog bavi i piramidalnom prodajom predmeta za magnetoterapiju) je u Americi imala promet od 3 milijuna dolara 1989 god., da bi do 1998 narasla na 150 milijuna.

Znanstvena kritika ovakve uporabe magneta i magnetskog polja u tretiranju zdravstvenih problema polazi od činjenice da nije poznat nikakav mehanizam

djelovanja koji bi dovodio do pretpostavljenih učinaka. Ljudsko tijelo se dominantno sastoji od vode koja je dijamagnetična. Izlaganje magnetskom polju dovodi do vrlo male promjene elektronskih putanja u molekuli vode i stvaranja magnetizacije (do 100000 puta slabije od primijenjenog polja) smjera suprotnog polju. Ova pojava je potpuno reverzibilna tj uklanjanjem polja ova magnetizacija nestaje. U ljudskom organizmu svi mogući magnetski ioni su vrlo sitni i raspršeni tako da njihova interakcija s poljem može samo smanjiti globalni dijamagnetski efekt. S druge strane učinci izazvani npr. Hallovim efektom na širenje krvnih žila su puno manji od normalnih promjena promjera žila zbog fluktuacija tlaka ili temperature.

Zaključno se može reći da se, u znanstvenim krugovima, tvrdnje onih koji zastupaju magnetoterapiju dočekuju s velikim skepticizmom. Može bitni učinci se pripisuju "placebo" efektu ili utjecaju popratnih djelovanja. Ukratko, još smo daleko od vremena kad ćemo moći jednoznačno i pouzdano povezati elektromagnetska polja i njihove pozitivne odnosno negativne učinke na žive organizme.

Program predavanja:

Ponedjeljak 25. lipnja 2007.	<i>Cjelodnevni izlet u sjevernu Istru</i>		
	Višnjan: Korado Korlević		Nove spoznaje o Sunčevu sustavu
Utorak 26. lipnja 2007.	09h	Mladen Juračić	Klimatske promjene: prošlost i budućnost
	10h	Mirko Orlić	Razvoj fizičke oceanografije: od analize do prognoze
	11h	Marijan Herak	Andrija Mohorovičić, univerzalni geofizičar i velikan hrvatske znanosti
	<i>Poslije podne</i>		Rješavanje problemskih zadataka
Srijeda 27. lipnja 2007.	09h	Stjepan Marčelja	Analiza mjerenja u znanostima o okolišu
	10h	Dubravko Pevec	Nuklearna energija i okoliš
	11h	Mile Baće	Obnovljivi izvori energije: sunce i vjetar
	<i>Poslije podne</i>		Rješavanje problemskih zadataka
Četvrtak 28. lipnja 2007. (Hoćim, Koromačno)	09h	I. Krajcar – Bronić	Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima
	10h	Z. Bencetić – Klaić	Meteorologija i ekologija
	11h	Katica Biljaković	Šumski požar kao kompleksni sistem
	<i>Poslije podne</i>		Rješavanje problemskih zadataka
Petak 29. lipnja 2007. (Plomin, Plomin)	09h	Glenda Šorgo	Kakav zrak dišemo
	10h	Marko Jusup	Utjecaj uzgajališta riba na okoliš
	11h	Đ. Drobac, I. Prlić	Elektromagnetska kupelj
	<i>Poslije podne</i>		TE Plomin demonstracija eko programa



Ovogodišnja Škola posvećena je velikanu hrvatske znanosti, Andriji Mohorovičiću, kojemu obilježavamo 150. obljetnicu rođenja. Prigodnim predavanjem želimo s ponosom istaknuti njegov bogat i nadasve originalan istraživački opus kojega je prepoznala svjetska znanstvena zajednica nazvavši njegovim imenom slojeve Zemljinoga i Marsovoga diskontinuiteta, krater na Mjesecu i asteroid.