

## Klimatske promjene

### Priopćenje za javnost povodom Festivala znanosti u Splitu

Klimatske se promjene očituju ponajprije u atmosferi, ali su tijesno povezane sa zbivanjima u cijelom Zemljinom sustavu koji uz atmosferu uključuje oceane i druge vode, ledeni pokrov, tlo i živi svijet. Na klimatske promjene s jedne strane utječu vanjski čimbenici, prije svega oni o kojima ovisi intenzitet Sunčeva zračenja koje dopire do Zemlje, a s druge strane unutarnji procesi u Zemljinom sustavu. Brojne povratne sprege, kako pozitivne (koje dovode do ubrzavanja određenog procesa) tako i negativne (zbog kojih se početni poremećaj prigušuje), čine istraživanje i predviđanje klimatskih promjena izuzetno složenim.

Klimatske se promjene razlikuju po svome trajanju. Promjene najvećih perioda izazivaju astronomski procesi koji dovode do razlika u osunčavanju Zemlje i do smjene ledenih i međuledenih doba. To su precesija Zemljine osi (period oko 20.000 godina), promjena nagiba Zemljine osi (period oko 40.000 godina) te promjena oblika Zemljine putanje oko Sunca (period oko 100.000 godina). Uzroci klimatskih promjena manjih perioda (reda veličine 1.000 godina) su, kako se čini, razlike u intenzitetu Sunčeva zračenja: tzv. malo ledeno doba, koje je približno trajalo od 14. do 19. stoljeća, koincidiralo je sa smanjenom aktivnošću Sunca. Uzroci klimatskih promjena najmanjih perioda, dekadskih i međugodišnjih, još nisu do kraja istraženi, ali prevladava mišljenje da su međugodišnje promjene, a posebno pojava poznata pod akronimom ENSO (El Niño Southern Oscillation), prvenstveno posljedica međudjelovanja atmosfere i oceana.

Uz spomenute prirodne uzroke klimatskih promjena u novije se vrijeme javljaju i antropogeni uzroci. Naime, zbog ljudske aktivnosti, a napose zbog izgaranja fosilnih goriva, dolazi do povećavanja koncentracije tzv. stakleničkih plinova u atmosferi. Tako je, primjerice, koncentracija ugljikovog dioksida u atmosferi danas viša nego što je bila ikada u posljednjih 650.000 godina. Budući da ti plinovi dobro propuštaju Sunčevo zračenje do površine Zemlje, ali apsorbiraju dugovalno zračenje što ga emitira Zemlja, dolazi do porasta temperature uz Zemljinu površinu. Ključno je pitanje koliki je taj porast u odnosu na promjene temperature povezane s prirodnim procesima. Da bi odgovorili na to pitanje klimatolozi imaju na raspolaganju dvije metode.

Prva je obrada i analiza podataka. U zadnjih nekoliko stotina godina do podataka se dolazi uglavnom neposrednim instrumentalnim mjerenjima: mjeri se, na primjer, temperatura zraka i mora ili pak visina morske razine. Da bi se osigurali podaci za ranija razdoblja pribjegava se istraživanju tragova koje su klimatske promjene ostavile u sedimentima, ledu, koraljima i stablima. **Većina sakupljenih podataka nedvojbeno ukazuje na recentni trend globalnog zatopljenja nižih slojeva atmosfere i oceana, smanjivanja ledenog pokrova i uzdizanja morske razine.** Budući da nema idealnog, savršenog podatka, posebice u klimatologiji u kojoj se ne provode eksperimenti u kontroliranim uvjetima, od neprocjenjive je važnosti imati kritički pristup podacima, vladati naprednim statističkim metodama za obradu takvih nestacionarnih nizova te, konačno, imati dostupne ili razvijati nove interpretacije bazirane na odgovarajućim teorijama.

Druga metoda dostupna klimatolozima jest numeričko modeliranje, u okviru kojega se rješavaju diferencijalne jednadžbe bazirane na osnovnim zakonima očuvanja impulsa, mase i energije. Primjer takvih modela su modeli za prognozu vremena. Svakodnevno ih koristimo a da najčešće nismo niti svjesni kako aktivnosti, koje smo isplanirali na temelju prognoze vremena, zapravo predstavljaju rezultat rješavanja spomenutih diferencijalnih jednadžbi.

Modeli za prognozu vremena prilagođeni su i za dugoročne integracije. U tom se slučaju meteorološki modeli najčešće povezuju s oceanografskim modelima da bi se dobila najvjerojatnija prognoza. Mada se nakon deset do petnaest dana gubi jaka deterministička komponenta atmosferske prognoze, preostaju neke dugoročne komponente (npr. Rossbyjevi valovi i godišnji hod) koje se dalje mogu statistički proučavati, izvodeći veliki broj integracija modela uz malo izmijenjene početne i rubne uvjete ili uz malo modificirane pojedine detalje u modelu. Tako se dolazi do tzv. ansambla prognoza kao osnove za sezonske prognoze. Još dulje prognoze više i ne nose naziv 'prognoze' već ih se zove klimatskim projekcijama odnosno scenarijima. Takvi se klimatski modeli provjeravaju na povijesnim podacima i nedavnoj klimatologiji. Premda nisu savršeni, klimatski su modeli trenutačno najpouzdanije oruđe što ga imamo na raspolaganju za interpretaciju dosadašnjih i prognozu budućih klimatskih promjena. **Većina takvih modela ukazuje na dominantan antropogeni doprinos recentnim klimatskim promjenama kao i na njegov nastavak i pojačavanje tijekom ovog stoljeća.**

Rezultati klimatoloških istraživanja objavljuju se u brojnim znanstvenim časopisima širom svijeta. Kako bi se omogućilo praćenje svih relevantnih nalaza i njihova prezentacija širem krugu korisnika formiran je 1988. godine Međuvladin odbor za klimatske promjene (poznatiji pod engleskim akronimom IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change). Svrha tog odbora nije obavljanje vlastitih istraživanja već kritički pregled literature te procjena klimatskih promjena. Odbor je do sada objavio četiri izvješća (1990., 1995., 2001. i 2007. godine); u izradi posljednjeg od njih sudjelovalo je oko 600 znanstvenika iz 40 zemalja. Valja naglasiti da se odbor u prva tri izvješća vrlo oprezno izražavao o antropogenim uzrocima klimatskih promjena ukazujući na tadašnju manjkavost podataka i modela. Tek je u četvrtom izvješću istaknuo veliku vjerojatnost antropogenog učinka, što najbolje pokazuje s kakvom odgovornošću pristupa svom radu.

Izvješća Međuvladinog odbora za klimatske promjene od samog su početka izazvala burne rasprave. Za dio je kritičara, koji ne prihvaćaju rezultate spomenutih izvješća, karakteristično da ih motiviraju uvjerenja a ne činjenice te da se bave konspiracijama, citiraju lažne eksperte i postavljaju nerealne zahtjeve pred istraživače. Za razliku od njih, drugi svoju skepsu temelje na argumentima, ukazujući na manjkavosti klimatoloških istraživanja (neke su spomenute i u ovom tekstu), te stoga predstavljaju nužan i dobro došao subjekt istraživačkog procesa, pridonoseći stalnom poboljšavanju znanstvenih rezultata.

Znanstvena istraživanja globalne klime temelje se na mjerenju i modeliranju: tu nema mjesta tvrdnjama koje nisu potkrijepljene argumentima i višestruko dokazane nezavisnim metodama. U programu posvećenom klimi na Festivalu znanosti dat ćemo prikaz klimatskih promjena i odgovoriti na pitanja publike u skladu s dosadašnjim dostignućima znanosti u svijetu. Vidjet će se da se ne trebamo brinuti zbog skorog ledenog doba, nego da nam je u bliskoj budućnosti najveća prijetnja globalno zatopljenje i s time povezan neizbježan porast morske razine. Predviđene promjene do kraja stoljeća ovisit će o ponašanju svjetske zajednice, koja za sada ne radi ozbiljno na njihovoj kontroli.

Prof. dr Branko Grisogono  
Prof. dr Stjepan Marčelja  
Prof. dr Mirko Orlić

Zagreb/Split, travanj 2010.