

KA HLAĐENJU ILI GREJANJU: DA LI JE MILANKOVIĆ POGREŠIO?

TOWARDS COOLING OR HEATING:
WAS MILANKOVIĆ WRONG?

MIODRAG MESAROVIĆ,
“Energoprojekt”, Beograd

U vreme kada se u Beogradu, na jugu Evrope, završava 40. jubilarni međunarodni kongres o KGH, u Kopenhagenu, na njenom severu, počinje 15. međunarodna konferencija UN o klimatskim promenama, od koje se očekuje da usmeri svet kako da, nakon isteka Protokola iz Kjota, nastavi da spasava planetu od globalnog zagrevanja koje potencijalno dovodi do nepovratne promene klime i time ugrožava opstanak na njoj. Činjenica da očekivane dugoročne promene temperature na Zemlji imaju samo pozitivni gradijent, dovodi do dileme nije li pogrešio genijalni tvorac Teorije ledenih doba, Srbin Milutin Milanković, rođen tačno pre 130 godina, a umro pre 51 godinu. Rad se bavi razjašnjavanjem ove dileme i pitanjima iz oblasti KGH u vezi sa tim.

At the time when the 40th jubilee international HVAC&R congress in Belgrade, in the South of Europe, will be finished, the 15th UN Climate Change Conference will begin in Copenhagen, in the North. The Copenhagen conference is to provide global directions, after the expiry of the Kyoto Protocol, on how to save the planet from global warming, which potentially leads to an irreversible change of climate and therefore threatens our survival on the Earth. The fact that the expected long-term temperature changes on the Earth have only the positive gradient, brings us to a dilemma whether the ingenious creator of the Ice Age Theory, the Serbian scientist Milutin Milanković who was born 130 years ago and died 51 years ago, was right or wrong. The paper deals with clarifications of this dilemma and the issues from the HVAC&R field related thereto.

***Ključne reči:** promena klime;
Milankovićevi ciklusi; adaptacija;
struka KGH*

***Key words:** climate change;
Milanković cycles; adaptation;
HVAC&R*

*“Ne preživljavaju najjače vrste, niti najinteligentnije,
već one koje se promenama najviše prilagode”
Čarls Darwin*

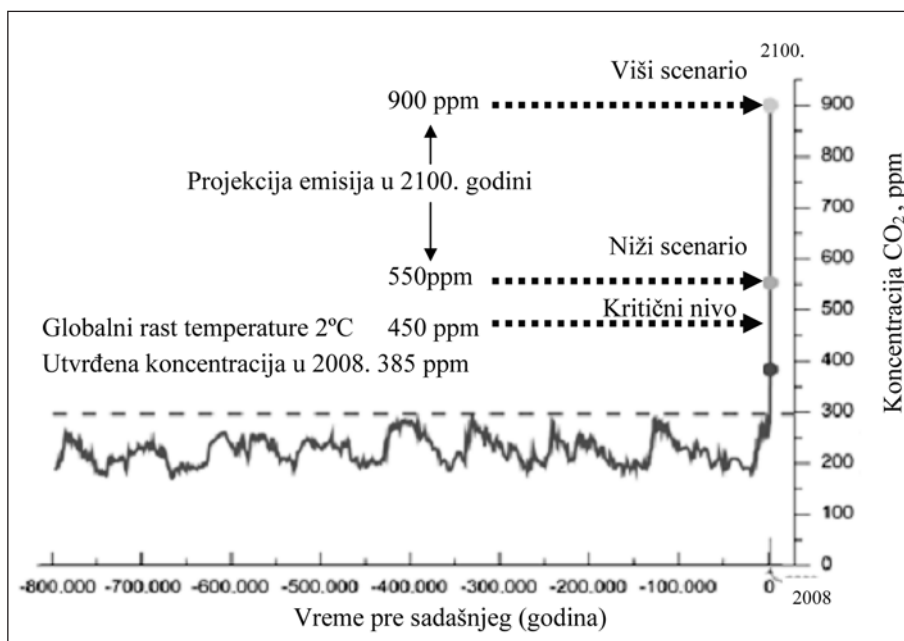
1. Uvod

Promena klime je jedan od najozbiljnijih problema životne sredine. Ona je prozrokovana promenama prirodnog efekta staklene bašte koji zadržava toplotu emitovanu sa površine Zemlje i ostvaruje toplu atmosferu, pogodnu za život. Taj prirodni fenomen izazivaju vodena para i jedan broj gasova sa efektom staklene bašte (GSB), u koje spadaju ugljen-dioksid (CO_2), metan (CH_4), azotsuboksid (N_2O), sumporheksafluorid (SF_6) i hlorofluorokarbonati (CFC). GSB zadržavaju reflektovanu toplotu u atmosferi blizu površine Zemlje, čineći je tako oko 33°C toplijom nego što bi bila bez tog zaštitnog omotača (prosečna temperatura na Zemlji je danas oko $14,5^\circ\text{C}$, a da nema prirodnog efekta staklene bašte, prosečna temperatura bi bila 19°C). Međutim, rast koncentracije GSB u atmosferi pojačava prirodni efekat staklene bašte i destabilizuje klimu.

Danas koncentracije CO_2 i drugih GSB daleko prekoračuju prirodnu koncentraciju koja je ikada bila ranije. Emisije CO_2 u atmosferu danas iznose oko 8 milijardi tona godišnje i stalno rastu. 40% svih emisija CO_2 u svetu prouzrokuju termoelektrane, 33% emituju automobili i kamioni, a oko 3,5% avioni, direktno u troposferu. Naravno, deo toga nastaje i zbog prirodnih pojava, kao što su vulkanske erupcije, ali je Zemlja sposobna da ih apsorbuje u normalnom regenerativnom procesu. Nažalost, nije tako sa emisijama CO_2 prouzrokovanim rastućim sagorevanjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije i transport. Mada u manjim količinama, ostali GSB ispušteni u atmosferu imaju mnogo veći efekat staklene bašte nego CO_2 (CH_4 ima 23 puta veći efekat, a N_2O čak 310 puta). Sadržaj CO_2 je za 35% veći nego pre početka industrijalizacije, a sadržaj CH_4 je više nego dupliran. Zbog toga je temperatura na Zemlji u poslednjih 100 godina porasla za $0,74^\circ\text{C}$ (1906–2005). Radi poređenja, porast srednje globalne temperature nakon poslednjeg ledenog doba je bio $4\text{--}7^\circ\text{C}$ u toku 5000 godina, oko deset puta sporiji nego što je današnji. Samo tokom poslednjih 25 godina, temperatura na Zemlji je rasla za $0,18^\circ\text{C}$ po deceniji, što je dvostruko brže od prosečnog rasta tokom poslednjih 100 godina [1]. U umerenim klimatskim zonama centralne i severne Evrope, prosečna temperatura je u periodu od 1970. do 2004. godine porasla između 1°C i 2°C , a predviđeni rast do 2100. godine bi mogao biti $3,5^\circ\text{C}$ do $5,8^\circ\text{C}$ ili još veći [2].

Posledice rasta sadržaja GSB (posebno CO_2) u atmosferi po klimu predmet su interesovanja tokom poslednjih 50 godina. Međutim, švedski hemičar Arenius je još 1896. godine upozorio na mogućnost da čovek utiče na klimatske promene. On je uočio porast emisija CO_2 zbog industrijske revolucije i predvideo da, ukoliko se atmosferska koncentracija CO_2 udvostruči, na Zemlji bi bilo toplije za nekoliko stepeni Celzijusovih. Sada je evidentno da Zemlja počinje da trpi zbog globalnog otopljanja i posledične pretnje da nastane nepovratna promena klime. Slika 1 pokazuje da je atmosferska koncentracija CO_2 dostigla nivo koliki na Zemlji nije bio u toku prethodnih osam stotina hiljada godina. Samo tokom poslednjeg veka atmosferska koncentracija CO_2 je narasla sa ispod 300 delova u milion delova vazduha (ppm), na 385 ppm utvrđenih u 2008. godini, izazvavši porast temperature. Smatra se da bi globalna promena klime bila još uvek podnošljiva ukoliko koncentracija CO_2 do 2100. godine ne bude veća od 450 ppm, što odgovara porastu globalne temperature za 2°C . Međutim, čak i optimistički (niži) scenario na slici 1 je iznad tog nivoa (550 ppm), dok bi opasne koncentracije mogle distići čak 900 ppm [3]. Scenario sa nižim emisijama je

zasnovan na pretpostavci da će širom sveta biti preduzete sve preventivne mere, dok scenario sa višim emisijama podrazumeva praćenje tekućeg trenda njihovog rasta.



Globalno otopljavanje je danas shvaćeno kao opasnost koja pretili i čovjeku i prirodi, i kao jedan od najozbiljnijih izazova sa kojima je čovečanstvo ikada bilo suočeno. Današnje generacije su obavezane osnovnom odgovornošću prema budućim generacijama da se blagovremeno i efikasno suprotstave klimatskim promenama. Naučnici su u potpunosti svesni da je smanjenje emisija koje izazivaju globalno otopljavanje na razumno siguran nivo jedini način da se sačuva klima. Prema zaključcima nedavnih analiza Međunarodnog panela za klimatske promene (IPCC), da bi bile izbegnute opasne promene klime, razvijene zemlje bi morale da do polovine ovog veka smanje emisije za bar 80% u poređenju sa emisijama u 2000. godini, a da u narednih nekoliko godina budu preduzete nacionalne i međunarodne mere koje bi obezbedile dostizanje tog ambicioznog cilja. Najvažniji korak u tom pravcu treba da bude učinjen neposredno posle 40. kongresa o KGH u Beogradu, od 7. do 18. decembra u Kopenhagenu, gde će biti održana 15. konferencija UN o klimatskim promenama (COP-15) u nastojanju da se postigne dogovor o novom globalnom protokolu, koji treba da zameni Protokol iz Kjota posle njegovog isteka 2012. godine.

Ipak, ma šta da tamo bude dogovoreno, nesporno je da je nužna hitna i temeljna transformacija načina na koji se energija proizvodi i troši, a urgentnost situacije zahteva da budu uzete u obzir sve opcije za minimizaciju klimatske promene. Ovaj rad je poziv svima uključenim u naučne, tehnološke i regulatorne aktivnosti u oblasti KGH da daju svoj doprinos u borbi protiv klimatskih promena. Potrošači u oblasti KGH su već pozvani da daju svoj doprinos prilagođavanjem njihovog načina života izmenje-

nim klimatskim uslovima [4], imajući u vidu da je i Darwin utvrdio da su “vrste koje prežive promene one koje se promenama najviše prilagode”.

2. Milankovićeve teorije klimatskih promena

2.1. Klimatske promene kao naučni izazov

Evidentno je veliko prisustvo drevnih lednika na Zemlji, za koje je u ranim 1800-im godinama dominantno objašnjenje njihovog porekla bilo uverenje da su oni artefakti Velikog biblijskog potopa. Geološkim istragama vršenim pre oko 150 godina, utvrđeno je da su klimatske promene u poslednjih milion godina nekoliko puta bile praćene napredovanjem i povlačenjem lednika. Šarpentije je svojim detaljnim naučnim analizama u ranim 1830-im godinama prvi konstatovao da je drevna glacijacija posledica klimatskih promena, a njegova teorija je postala opšte prihvaćena. Tako je došlo do objašnjenja da nestanak dinosaurusa zbog promene klime koja im je uništila izvore hrane, nije posledica nagle geološke kataklizme, već sporih astronomskih promena u Zemljinoj putanji (orbiti) oko Sunca. Već u 1840-im godinama astronomi su pokazali da se Zemljina orbita polako menja i prouzrokuje promene klime. Do promena dolazi zbog prisustva Meseca i drugih planeta, a prirodna posledica toga je da orbita nije prosta elipsa. Takođe, glavna Zemljina osa vrši sporu rotaciju (precesiju) u odnosu na “fiksne” zvezde. Efekat te pojave je dovoljno veliki da ga je još Hiparh otkrio 120 godina pre Nove ere.

Ubrzo pošto je uveden postulat o postojanju ledenih doba, ona su pripisana tim orbitalnim promenama. Prvu detaljnu teoriju dao je Ademar, koji je verovao da je uzrok bila precesija sa ciklusom od 26000 godina, ali je objašnjavao da je to direktno gravitaciono privlačenje ledenih masa od Sunca i Meseca, što su mnogi tadašnji naučnici odbacili kao apsurd. Međutim, 1864. godine je Krol, koristeći rad Ademara i proračune promena Zemljine orbite Leveriea, pretpostavio da je najverovatnija sila koja izaziva klimatske promene varijacija osunčavanja Zemlje i da bi promene u Zemljinoj orbiti mogle pokrenuti cikluse ledenih doba promenom ukupne količine zimske osunčanosti na velikim geografskim širinama. Njegova teorija nije bila prihvaćena, iako je on shvatio da prisustvo velikih lednika reflektuje sunčevo zračenje i da to pojačava dalje hlađenje ka ledenim dobima. On je takođe prepoznao značaj okeanskih struja za klimu i uzeo u obzir precesiju zajedno sa ekscentričnošću Zemljine orbite. Ali, Krol je učinio neke pretpostavke koje su se pokazale pogrešnim (što je učinilo da njegova teorija bude napuštena). Polazeći od toga da osunčavanje Južne hemisfere nije u fazi sa osunčavanjem Severne hemisfere, on je mislio da ledena doba na dvema hemisferama nisu u sinhrizaciji, što nije tačno [5, 6]. On je, takođe, procenio da je od poslednjeg ledenog doba prošlo 80000 godina, što je mnogostruko više nego što je stvarno proteklo (12000 godina [5]).

2.2. Klimatska teorija Milutina Milankovića

Ova (2009) godina je 130. godišnjica rođenja svetski čuvenog srpskog naučnika Milutina Milankovića (1879–1958), osnivača moderne “astronomske” teorije dugoročnih promena klime, koji je rešio misteriju ledenih doba, dovodeći ih u vezu sa promenama Zemljine orbite i tako ustanovio poznate Milankovićeve cikluse. Mada su mnogi naučnici pokušavali da otkriju zašto su se ledena doba događala, Milutin Milanković je prvi pronašao pravo objašnjenje za to kroz promene Zemljine orbite koje izazivaju promene prosečne temperature na Zemlji u zavisnosti od rastojanja Ze-

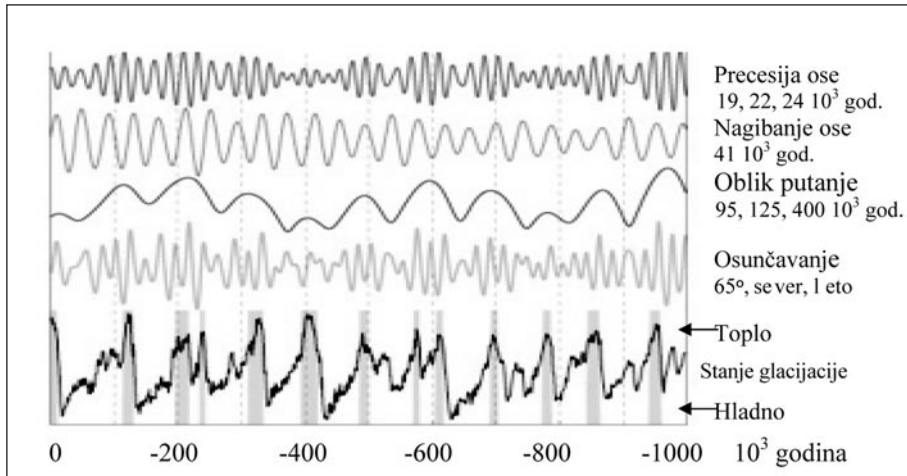
mlje od Sunca. Da bi to ostvario, Milutin Milanković je u ranim 1900-im izučio Krollovu teoriju osunčavanja uz kritički odnos prema stavu da ledena doba na Severnoj i na Južnoj hemisferi nisu u sinhronizaciji, jer su izazvana istim promenama osunčavanja kopna dominantnog na Severnoj hemisferi. Svestan činjenice da klimu formira delikatna ravnoteža između brojnih često suprotnih faktora, Milanković je utvrdio da je efekat osunčavanja dovoljan da sam poremeti tu ravnotežu i da izazove ledena doba.

Teorija Milutina Milankovića o promeni klime predstavlja tačno objašnjenje za ciklične promene godišnjih doba, koje su posledice promena u Zemljinoj putanji oko Sunca. Pošto se Zemlja obrće oko svoje ose i obilazi oko Sunca, dešava se nekoliko kvaziperiodičnih promena. Milanković je proučavao tri glavne promene u Zemljinom kretanju, koje predstavljaju promene oblika Zemljine putanje (ekscentričnosti), nagiba Zemljine ose i kolebanje Zemljine ose (precesija), i razvio matematičke formule, koje opisuju te orbitalne promene. Mada se sve tri orbitalne promene dešavaju istovremeno, ciklusi svake od tih promena su različiti, a Milankovićevi ciklusi opisuju ukupan efekat promena kretanja Zemlje (ekscentričnosti, nagiba ose i precesije) na njenu klimu.

Najvažnija orbitalna promena koju je Milanković proučavao je promena oblika Zemljine putanje od skoro kružne do blago izdužene i ponovo natrag. Ta ekscentričnost Zemljine putanje, koja određuje položaj Zemlje prema Suncu, menja se periodično, a vreme potrebno da prođe ceo ciklus, od kružnog do izduženog oblika i natrag, iznosi oko 100000 godina [7], [10]. Nagib (inklinacija) Zemljine ose prema ravni putanje oko Sunca je glavni uzrok godišnjih doba i nije konstantan, već blago varira između $21,5^\circ$ i $24,5^\circ$ tokom ciklusa oko 41000 godina [7], [10]. Trajanje ciklusa precesije, tj. kolebanja Zemljine ose, je oko 26000 godina [8], [10]. Tokom ciklusa bilo koje od ove tri promene, Zemlja se zagreva, a potom hladi. Milanković je pretpostavio da kada se ove cikličke promene kombinuju i dešavaju u isto vreme, one prouzrokuju najveće klimatske promene na Zemlji, uključujući i pojavu ledenih doba [8], [9].

Iako takve ciklične promene imaju veliki broj sinusoidalnih komponenta, samo nekoliko komponenta je dominantno. Posebno su važne takve promene na Severnoj hemisferi (naročito u blizini Severnog pola) zbog velike površine kopna, koje reaguje na takve promene mnogo brže nego okeani. Tokom najvećeg dela vremena, segmenti ciklusa koji uzavajaju zagrevanje i hlađenje se poništavaju, obezbeđujući tako blagu klimu na Zemlji. Međutim, ponekada se orbitalne promene kombinuju tako da klimu na Zemlji učine bilo vrlo toplom ili vrlo hladnom, kao što je pokazano na slici 2 [8], [10].

Milankovićeva astronomska teorija ukazuje da je primarni pokretač ledenih doba ukupno zračenje dozračeno leti na severnim geografskim širinama gde su u prošlosti formirani glavni ledeni pokrivači, blizu 65° severne širine (65°N), i da su ledena doba bila u korelaciji sa letnjim osunčavanjem na 65°N . Njegovi astronomske proračuni pokazuju da će letnje osunčavanje na 65°N postepeno rasti tokom sledećih 25000 godina, a da smanjenje letnjeg osunčavanja na 65°N neće biti dovoljno da izazove ledeno doba za sledećih 50000–100000 godina [10]. Nažalost, to se poklapa sa veštačkim globalnim otopljanjem izazvanim rastućom emisijom GSB iz proizvodnje električne energije i drugih upotreba fosilnih goriva, kao i sečom šuma i drugim ljudskim aktivnostima koje izazivaju brzi rast globalne temperature, praćen mnogim neuobičajenim klimatskim fenomenima u mnogim delovima sveta.



Slika 2. Milankovićeви orbitalni ciklusi i posledične klimatske promene

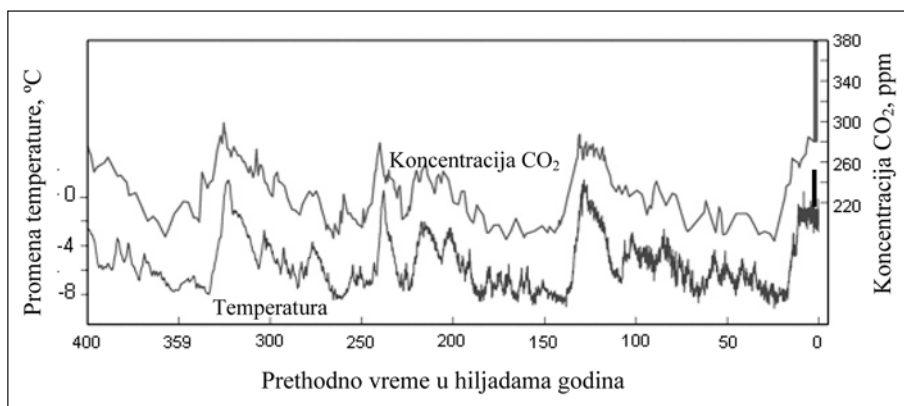
2.3. Skepticizam i dokazivanje

Pre nego što je postala opšte prihvaćena, Milankovićeва teorija je nekoliko puta dovođena u pitanje. Prvo je bila osporena kada je dobijeni rezultat procene starosti putem radioaktivnosti ugljenika za periode ledenih doba bio u neskladu sa Milankovićevim detaljnim proračunima (vršenim ručno, sa osam decimala, za šta mu je trebalo više godina teškog rada). Međutim, to osporavanje se ubrzo pokazalo pogrešnim, posebno kada je regularnost ciklusa ledenih doba potvrđena primenom izotopa za izučavanje promena na Zemlji, što je dovelo do oživljavanja Milankovićeve teorije osunčavanja. Takođe, početkom 1970-ih je primena tehnologije uzimanja uzoraka sa morskog dna pokazala da je dominantni ciklus promene ledenih doba bio onaj koji se ponavlja u periodu od 100000 godina, dakle istom učestanošću koja je dobijena i primenom Milankovićeve teorije osunčavanja. Štaviše, u 1976. godini je, primenom geomagnetskih merenja na sedimentima sa morskog dna, utvrđeno postojanje ciklusa i od 41000 godina i od 23000 godina, istih učestanosti koje su dominantne i u Milankovićevoj spektralnoj analizi osunčavanja.

U podacima iz jezgara uzetih iz lednika dominantni su ciklusi od 100000 godina, ciklusi od 41000 godina su slabiji, a ciklusi precesije od 23000 godina najslabiji, dok u Milankovićevoj teoriji osunčavanja dominiraju ciklusi od 23000 godina, a ciklusi od 41000 godina su slabiji i od 100000 godina ekstremno slabi. Objašnjenje za ovaj nesklad u poređenju jačine ciklusa dao je Imbrie u svojim preciznim matematičkim formulacijama [11], [12]. One su pokazale da nelinearni odziv klime na osunčavanje može veoma pojačati ciklus od 100000 godina, a takođe još više pojačati dodatni Milankovićeve ciklus sa periodom od 400000 godina. Ta saglasnost je, više nego bilo šta drugo, oživela Milankovićevu astronomsku teoriju klimatskih promena.

Postoje ubedljivi dokazi da se Milankovićeви ciklusi poklapaju i sa pojavom glacialnih i međuglacialnih perioda u okviru jednog ledenog doba. Poslednja ledena doba su najviše proučavana i najbolje izučena, budući da su za period od poslednjih 400000 godina na raspolaganju jezgra leda, koja pokazuju promene atmosferskog sa-

stava i temperature i zapremine leda. U tom periodu slaganje glacijalnih i međuglacijalnih učestanosti sa Milankovićevim periodima orbitalnih uticaja je tako blisko da je njegov orbitalni model apsolutno prihvaćen. Rudiman je razvio poseban model koji objašnjava ciklus od 100000 godina efektom modulacije ekscentričnosti (slabih ciklusa od 100000 godina) na precesiju (cikluse od 23000 godina) u kombinaciji sa uticajem GSB u ciklusima od 41000 i 23000 godina [13], [14]. Promene temperature i atmosfere koncentracije CO₂ tokom poslednjih 400000 godina, izvedene iz nalaza u jezgrima leda na Antarktiku, prikazane su na slici 3. Njihove sadašnje vrednosti su već prekoračile sve one koje su bile prisutne u doglednoj prošlosti, a nastavljaju da i dalje rastu sa rastom emisija CO₂ znatno iznad onih koje su se javile ikada u poslednjih 400000 godina, ali i dalje rastu.

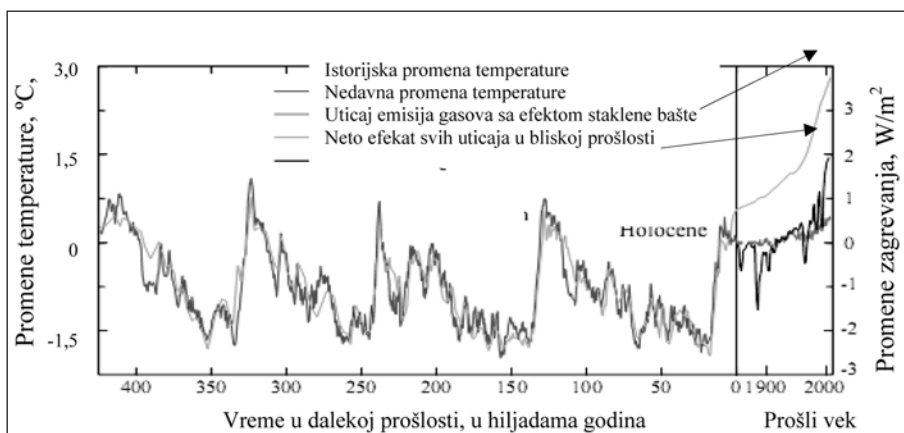


Slika 3. Promene koncentracije CO₂ i temperature u poslednjih 400000 godina

Mehanizmi svojstveni klimatskom sistemu odgovaraju kvaziperiodičnom osunčavanju u svakom od tri glavna Milankovićeva frekventna opsega (23000 godina, 41000 godina i 100000 godina). Dok je odziv klimatskog sistema na promene osunčavanja izazvane orbitalnim promenama u slučaju ciklusa od 23000 godina i 41000 godina uglavnom linearan, u slučaju ciklusa promene orbitalne ekscentričnosti od 100000 godina je nelinearan, pri čemu velike ledene naslage na Severnoj hemisferi obezbeđuju relativnu inerciju klime [12]. Pri izučavanju većeg dela istorije otkrića klimatskih promena putem čvrste kombinacije empirijskih paleo-ekoloških rekonstrukcija i simulacija na bazi klimatskih modela za niz vremenkih intervala od po 3000 godina (počev od pre 18000 godina do danas), istraživači su dokazali glavnu ulogu Milankovićevih ciklusa orbitalnih promena, kao i odziva klimatskog sistema na te promene [15].

Primerbe na Milankovićevu teoriju ledenih doba u 1950-im godinama bile su stavljanje uglavnom od meteorologa, koji su tvrdili da su promene u osunčavanju zbog promena elemenata Zemljine orbite suviše male da bi mogle da značajnije poremete klimatski sistem, te su rešenje tražili u mogućim drugim uzrocima na primeru Malog ledenog doba (smanjena solarnu aktivnost, povećana vulkanska aktivnost, unutrašnja promenljivost klimatskog sistema i uticaji čoveka), ali Milankovićevi dokazi nisu pobijeni. Nasuprot tome, u 1965. godini su pokrenute diskusije oko toga da li bi i male promene u osunčavanju mogle izazvati ledeno doba, pa je Emiliani čak pred-

video njegovu pojavu za nekoliko hiljada godina. Interes za to je porastao u ranim 1970-im godinama zbog tadašnjeg trenda zahlađenja (posle nekoliko decenija zagrevanja, 1945. godine je počelo blago zahlađenje i trajalo dve decenije), ali je pokazao da je tada bilo nedovoljno znanja o klimatskim promenama i ledenim dobima. Danas je evidentno da je ta pretpostavka da će sniženje temperature biti nastavljeno, i možda ubrzano, bila netačna [13]. Kao što pokazuju proračuni onakvi kakve je početkom prošlog veka vršio Milanković, sadašnji period između ledenih doba će prirodno trajati desetinama hiljada godina (slika 4 [14], [15]). Neki čak veruju da će do sadašnji poremećaj koncentracije CO₂ trajati dovoljno dugo da potpuno potisne sledeći ledeni ciklus [13].



Slika 4. Promene temperature i zagrevanja na površini Zemlje

3. Izazovi za struku KGH zbog globalnog otopljanja

Postoji široko uverenje da rast srednje globalne temperature iznad preindustrijskog nivoa ne sme preći 2°C. Pošto takav globalni izazov može biti postignut samo globalnim odgovorom, potrebno je da sve zemlje ostvare smanjenje globalnih emisija za bar 50% do 2050. godine. Ova (2009) je kritična godina za preduzimanje brze i efikasne globalne akcije u borbi protiv klimatske promene. Pod okriljem Globalne konvencije UN o klimatskim promenama, doneta je odluka da se do kraja 2009. godine postigne globalni i sveobuhvatni sporazum za period posle 2012. godine. To je odlučujuća prilika da se postigne vrlo ambiciozni globalni koncenzus, ali je nužna snažna opredeljenost za predstojeće dogovore u Kopenhagenu radi zaključivanja globalnog sporazuma o smanjenju emisija u periodu posle 2012. godine, koji bi uključio obaveze za sve zemlje u skladu sa principom zajedničke, ali diferencirane, odgovornosti i u skladu sa mogućnostima.

U tom smislu potrebno je da i struka KGH preduzme brzu akciju u kontroli emisija svih značajnijih agenasa koji utiču na klimu, kao što je čađ, ali joj to ne sme odvratiti pažnju od ambicioznog i urgentnog obustavljanja emisija drugih, dugotrajnijih GSB, koji treba da ostanu prioritet. Okretanje ka danas najboljim raspoloživim tehnologijama bi moglo uštedeti bar 40% električne energije, koja se troši u većini uređaja korišćenih u sektoru široke potrošnje [16]. K tome, dodatne uštede su moguće ko-

mercijalizacijom tehnologija koje su u razvoju. Najšire primenjivane mere su standardi minimalnog energetskeg utroška i oznaka energetske performansi i često su podržavane vladinim politikama u nabavci, finansijskim podsticajima kao što su sniženje cena i popusti i opšti programi podizanja svesti.

Iako je većina zahteva energetske efikasnosti u propisima za zgrade pratila lokalnu, državnu ili nacionalnu tradiciju, protekla decenija je pokazala trend u nadnacionalnoj saradnji na razvoju internacionalnih zahteva ili standarda energetske efikasnosti. Primeri su standardi energetske efikasnosti IECC 200415 i ASHRAE 200416, koji se koriste u SAD i Kanadi, kao i Evropska direktiva o energetskej efikasnosti zgrada, koja traži od zemalja članica EU da donesu propise za energetske efikasnost novih zgrada. Pri tome treba da se računa na to da će klimatske promene dovesti do toga da će zone koje su imale blage klimatske uslove sve više trpeti zbog porasta prosečnih temperatura. Taj efekat ima prednosti za vreme zime jer smanjuje potrebu za grejanjem, ali će, sa rastom temperatura, trebati sve više klimatizera, a sa rastom njihove upotrebe leti, biće povećana potrošnja električne energije, a time i emisije CO₂. Stoga je važno smanjiti potrebe za energijom za hlađenje zgrada leti na pasivan, kao i na aktivan način, što je pravi izazov za stručnjake KGH. Jer, dok više temperature smanjuju zahteve za grejanjem tokom zime, njihov efekat će, sa očekivanim promenama klime, biti u senci problema letnjih vrućina, pošto, kada su ljudi izloženi temperaturama preko 27°C, njihov organizam neće biti sposoban da se oslobodi viška toplote pri visokim temperaturama [4], što znači potrebu obezbeđivanja energije za hlađenje.

Poseban problem struci KGH stvara dosadašnje planiranje zgrada koje je bilo usmereno na pasivno korišćenje solarne energije, tj. na optimalni učinak solarne toplote zimi, pošto na geografskim širinama velikih gradova u Evropi i Severnoj Americi, taj pozitivni učinak postaje daleko manji od troškova hlađenja leti ako temperature porastu. Takođe, krovovi mogu igrati važnu ulogu u snižavanju temperature u zgradama putem pokrivki koje povećavaju njihovu refleksivnost (albedo). Fotonaponske solarne ćelije, koje konvertuju solarno zračenje u električnu energiju, ne mogu da funkcionišu u uslovima suviše visoke temperature, te je potrebno da postoji dovoljan zazor za vazdušno hlađenje između fotonaponskog kolektora i krova (u tim uslovima solarni kolektor predstavlja i zaštitu za krov). Ove i druge mere koje su (ili će biti) na raspolaganju stručnjacima u oblasti KGH, treba takođe da budu ekonomski opravdane, tj. da obezbeđuju povraćaj investicija na račun manjih troškova energije potrebne za klimatizaciju.

Ako temperature nastave da rastu kao što se očekuje, nužno je primenjivati i pasivno i aktivno hlađenje. Pasivno hlađenje je energetske ekstenzivno i moglo bi, na primer, biti ostvareno ventilacijom zgrada noću kada su spoljne temperature niže, i držanjem svih prozora zatvorenim tokom dana. Za aktivno hlađenje, klimatizer je energetske najintenzivnije rešenje, a toplotna pumpa mnogo efektivnije. Toplotne pumpe za grejanje su obično bazirane na vazduhu ili površinskim i podzemnim vodama ili zemlji, pri čemu, posebno u poslednjim slučajevima, mogu biti korišćene i za hlađenje, često upotrebom samo razmenjivača toplote (jer su temperature zemlje dovoljno niske) i niskotemperaturnog sistema za distribuciju hlađenja po zgradi. To bi praktično bilo pasivno hlađenje (pošto toplotna pumpa ne radi), ali se toplotna pumpa može koristiti i za aktivno hlađenje ukoliko pasivno nije dovoljno. Druga interesantna tehnologija hlađenja je apsorpcioni hladnjak, koji koristi toplotu za hlađenje bez upotrebe kompresora kao toplotna pumpa, ali ima vrlo nizak koeficijent korisno-

sti (coefficient of performance – COP) u poređenju sa toplotnom pumpom (0,7 umesto 4,0). To znači da je apsorpciono hlađenje od interesa samo kada je na rasplaganju besplatna ili vrlo jeftina toplotna energija.

4. Zaključak

Nasuprot mnogim skepticima, Milankovićeve astronomska teorija klimatskih promena pokazuje sa sigurnošću da će prirodno letnje osunčavanje Zemlje postepeno rasti tokom narednih 25000 godina, i da verovatno neće opasti toliko da izazove ledeno doba u sledećih 50000 do 100000 godina. Ovo prirodno globalno zagrevanje se poklapa sa rastućim veštačkim globalnim zagrevanjem, prouzrokovanim emisijama GSB iz proizvodnje električne energije i drugih upotreba fosilnih goriva, kao i sećom šuma i drugim aktivnostima čoveka, koje izazivaju nagli rast globalne temperature. Stoga je od prvenstvene važnosti da se vrlo ozbiljno shvate zahtevi Okvirne konvencije UN o klimatskim promenama iz 1992. godine, koji podrazumevaju globalni konsenzus za smanjenje emisija GSB kako bi bila sprečena preteća nepovratna promena klime na Zemlji. Čak i da se takva očekivanja ostvare u Kopenhagenu na 15. konferenciji UN (COP-15), ostaje ključna uloga struke KGH kao najodgovornije za kreiranje održivog životnog ambijenta za ljudsku populaciju u novim uslovima, sa sve većom potrebom za hlađenjem umesto za grejanjem.

Ipak, adaptacija na nastajuće klimatske uslove, sve manje pogodne za život na Zemlji, izgleda neizbežna. U bilo kakvom budućem klimatskom režimu, uloga adaptacije će biti ključna u obezbeđivanju uslova za opstanak čovečanstva. Tom procesu KGH struka može dati snažnu podršku kroz blagovremeno prilagođavanje sopstvenog delovanja novim uslovima i kroz pomoć u usmeravanju istraživanja, izrade propisa, obuke i transfera tehnologije. Kako adaptacija mora biti integrisana u širi kontekst održivog razvoja, njen uspeh će direktno zavisiti od budućeg smanjenja emisija GSB i razvojne politike uopšte, ali i od budućih dostignuća struke KGH.

Literatura

- [1] **Archer, D.**, *The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate*, Princeton University Press, 2009, p. 196, ISBN 9780691136547.
- [2] **Cox, J. D.**, *Climate Crash: Abrupt Climate Change and What It Means for Our Future*, Joseph Henry Press, Washington DC, 2005, pp. 150–155. ISBN 0309093120.
- [3] **Hegerl, G. C., F. W. Zwiers et al**, *Understanding and Attributing Climate Change*, AR4 WG1, Chapter 9, pp. 663–745, International Panel on Climate Change, New York, 2007.
- [4] **Mesarović, M.**, *Skinite kravate, planeta se zagreva*, uvodna predavanja, zbornik radova za 39. međunarodni kongres o grejanju, hlađenju i klimatizaciji, SMEITS, Beograd, 2008., pp. 20–28.
- [5] **Bond, G. et al.**, *A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates*, Science 278 (5341) 1997, pp. 1257–1266.
- [6] **Viau, A. et al.**, *Widespread evidence of 1,500 year climate variability in North America during the past 14000 years*, Geology 30 (5), 2002, pp. 455–458.
- [7] **Milanković, M.**, *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques Produits par la Radiation Solair*, Gauthier-Villars, Paris, 1920.

- [8] **Milanković, M.**, *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen - Handbuch der Klimalogie, Band 1, Teil A*, Borntrager Berlin, 1930.
- [9] **Mesarović, M.**, *Electricity Generation and Global Warming: Famous Discoveries of Nikola Tesla and Milutin Milanković*, Proceedings of the Sixth International Symposium “Nikola Tesla”, Academic Mind, Belgrade, 2006, pp. 271–274, ISBN 86-7466-264-1.
- [10] **Milanković, M.**, *Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*, Belgrade, 1941.
- [11] **Imbrie, J., J. Z. Imbrie**, *Modeling the Climatic Response to Orbital Variations*, Science 207, 1980, pp. 943–953.
- [12] **Imbrie, J., K. P. Imbrie**, *Ice Ages*, Enslow Publishers, Hillside, New Jersey, 1979.
- [13] **Berger, A., M. F. Loutre**, *Climate: An Exceptionally Long Interglacial Ahead?*, Science 297 (5585), 2002, pp. 1287–1288.
- [14] **Rial, J. A.**, *Pacemaking the Ice Ages by Frequency Modulation of Earth's Orbital Eccentricity*, Science, vol. 285, p. 564, 23 July 1999.
- [15] **Peterson, T. C. et al**, *The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus*, Bulletin of American Meteorological Society, vol. 89, 2008, pp. 1325–1337.
- [16] **Mesarović, M.**, *HVAC&R Technologies and Energy Supplies at the Crossroads*, CD Proceedings of the 36th International HVAC&R Congress, SMEITS, Belgrade 2005, Introductory Papers, pp. 1–23.

kgh