

FEDOR MESINGER

## MILUTIN MILANKOVIĆ I PROGNOZA VREMENA I KLIME

*Govoreći danas o velikaru naše i svetske nauke Milutinu Milankoviću, želim da se osvrnem na Milankovićevo razmišljanja o problemima matematičke prognoze vremena i klime, iz doba kada je Milanković bio na početku svoje naučne karijere. Njegova razmišljanja će uporediti sa onima drugih vodećih naučnika toga vremena; i najzad, rezimiraču kasniji razvoj i današnje stanje pomenutih oblasti. Nadam da će vas ovo zanimati zato što je interes za vreme i klimu veoma rasprostranjen pa ga, uveren sam, i vi imate; a i zbog mogućnosti da pogledamo koliko su se očekivanja ovih mislilaca negde sa početka ovoga veka obistinila u svetu onoga što danas znamo.*

Još prošlog veka se u znatnoj meri razvila mreža meteoroloških stanica kao i sistem javljanja meteoroloških podataka. Podaci bi se zatim ucrtavali na karte kojima se pratilo vreme. Kako se vremenski sistemi najčešće prostiru uz samo relationo postepeno menjanje, ovo je omogućilo izdavanje prognoza vremena. Tako su u Beogradu »Srpske novine« u periodu 1902-1907. objavljivale »izvještaje Opservatorije«, što je ustvari bila prognoza vremena. Evo nekoliko primera po izboru Dobrilovića (1964): »Hladno vreme; mestimično snegom. (sic) (11-12. jan. 1903); »Toplo vreme, mestimično slaba kiša i grmljavina« (4. septembra 1903); »Oblačno, hladno vreme, sa mestimičnim padežima.« (2. novembar 1903). Mada zasnovane na merenjima i osmatranjima, ove su prognoze bile očigledno subjektivne, izdavane pema iskustvu o promenama u prošlosti.

Tri naučnika izuzetnog formata su nekako u to doba razmatala mogućnost prognoze vremena matematičko-fizičkim putem. Doprinosi koje su oni ostvarili teško da su mogli da budu različi-



tiji. Norvežanin Vilhelm Bjerknes (1862-1951) je u kratkom ali čuvenom radu (1904) prvi istakao da je prognoza vremena tzv. problem početnih vrednosti, »mehanike« i fizike. Drugim rečima, kako je on i rekao na samom početku rada, potreban i dovoljan uslov »za racionalno rešenje problema« je:

1) dovoljno tačno poznavanje stanja atmosfere u početnom trenutku; i

2) dovoljno tačno poznavanje zakona po kojima se sledeće stanje atmosfere razvija iz prethodnog.

Definišući na ovaj način problem u principu, Bjerknes je postavio osnove »numeričke prognoze vremena«, prognoze putem rešavanja jednačina dinamike atmosfere. Analizirajući u nastavku rada razne komponente potrebnog posla, Bjerknes je sa impresivnom jasnoćom predviđao mnoge osnovne karakteristike numeričke prognoze vremena onako kao što je danas znamo. Tako, on govori o podeli posla na dinamiku (»hidrodinamički parcijalni problem«) i »fiziku« (termodinamički parcijalni problem), upravo kao što se to i danas radi. Nadalje, on ističe poželjnost pristupa »ukupnom problemu nesavladive teškoće«, tako da se započne »najjednostavnijim problemom koji može da bude formulisan«, što je za Bjerknesa bio problem »sedam promenljivih i sedam jednačina«. On čak govori i o sasvim tehničkim pitanjima kao što je po današnjoj terminologiji »metod rascepljivanja« koji je Bjerknes na neki način predviđao, pišući da »simultana promena nekoliko promenljivih može da se zameni uzastopnim promenama pojedinih promenljivih ili grupa promenljivih«. Bjerknes je sa pravom napomenuo da je pri svojim optimističkim razmišljanjima »mogao da previdi važne faktore« koji bi mogli da »deluju na atmosferske procese velikih razmera u ... značajnoj meri«. Ali njegovi primeri faktora ove vrste (»kozmički efekti nepoznatog tipa«, »efekti ... električne ili optičke prirode«) deluju sa današnje tačke gledišta uneštoliko bizarno u poređenju sa fundamentalnim problemom prognozljivosti vremena koji Bjerknes izgleda da nije naslućivao.

Zaista, u jednoj od prvih rasprava, u kojoj je bilo reči o problemu prognozljivosti vremena, Schumann (1950) navodi da je Bjerknes u svom kasnijem radu, posvećenom prognozi vremena (1919), izričito napisao da »ako bi početni uslovi atmosfere bili poznati sa dovoljnom tačnošću, i ako bi i jednačine prema kojima se kretanje atmosfere i fizičke promene u njoj dešavaju isto bile poznate sa dovoljnom tačnošću, onda bi neki super-matematičar mogao da u potpunosti odredi stanje atmosfere u bilo kom kasnijem vremenu«. Bjerknes izgleda da nije pokušao da zaista i uradi neki, makar i »najjednostaniji«, korak stvarne numeričke (ili u nedostatku kompjutera grafičke) prognoze vremena.

Nasuprot njemu, Lewis Fky Richardson (1881-1953) se odlučno latio računa i uradio prvu numeričku prognozu vremena. Do ideje da se bavi prognozom vremena, on je izgleda došao na osnovu svog iskustva u radu na jednom fizičkom problemu za koji su postojale diferencijalne jednačine koje nije bilo moguće rešiti analitičkim putem. Richardson je stoga 1911. postavio osnove računa »u konačnim razlikama«, što je metod koji se i danas koristi za prognozu vremena. Ulogu je svakako imalo i Richardsonovo preuzimanje posla upravnika meteorološke i magnetske opservatorije, u Eskdalemuiru u Škotskoj 1913. godine. 1916. Richardson stupa na dužnost bolničara pri francuskoj armiji gde je računanje svog primera prognoze obavio u slobodnom vremenu, između transportovanja ranjenika na frontu 1916-1918. Uz oskudne meteorološke podatke njegovog doba, Richardson je razumljivo i prekršio neka pravila, za koja danas znamo, pa se ne treba čuditi što je njegov rezultat bio pogrešan. Šta više, vrednost promene pritiska pri tlu, koju je Richardson dobio, daleko je prevezilazila promene koje se u prirodi događaju. Ipak, analizu problema, postupak pa i primer, on je objavio u danas čuvenoj knjizi (Richardson 1922) koja je, i pored pogrešnog rezultata i u svoje vreme, primljena sa poštovanjem pa, možda, i divljenjem. Richardsonova je knjiga decenijama posle štampanja podstrekavala nadu da će prognoza vremena numeričkim putem jednou postati moguća.

Pogrešan rezultat Richardson je pripisao greškama u početnim podacima o vetru. On je tu i imao pravo i nije. Netačni podaci o vetru su zaista i prvenstveno doprineli lošem rezultatu, ali bi rezultat bio loš i zbog drugih razloga da su podaci o vetru bili koliko god je to moguće tačni. Šta više, zahtevi za koje Richardson nije znao uključuju i zahtjev da se račun obavlja sa »koracima u vremenu«, tj. za vremenske intervale reda veličine nekoliko minuta, a ne 6 sati kako je Richardson učinio. Da je Richardson znao za ovaj zahtev, njemu bi bilo jasno da on potreban posao, sam i bez mehaničkih sredstava za savladavanje ogromne količine potrebnog računskog posla, ne može ni da uradi.

Mada je Richardson, samim tim što se prihvatio posla ogromnog i onako kako ga je on obavio, pokazao izvesnu meru praktičnosti, njemu kao da nije palo na pamet pitanje o prognoljivosti vremena. Ali on u svojoj knjizi ističe da računske greške rastu sa brojem izračunatih koraka, što jeste jedan vid gubitka tačnosti prognoza.

Drukčije i od jednog i od drugog je bilo razmišljanja Milutina Milankovića (1879-1958). Nekako u isto vreme kada je Richardson započeo svoj posao, izgleda 1911, Milanković je, kao nedavno postavljen na Katedru primenjene matematike Beogradskog Univerziteta, tražio »glavnu orijentaciju svog budućeg rada« (Milan-



ković 1952). Milanković je bio svestan svog matematičkog talenta. Još kao đak osječke »realke«, on je, reklo bi se bio miljenik svog profesora iz matematike, Varićaka, i da se uspešno, na primer, bavio klasičnim problemom trisekcije ugla o kome ga je obavestio Varićak (Milanković 1979). Svoj matematički talenat Milanković je isprobao i kao inženjer na više problema iz građevinske tehnike, i najzad kao profesor u nekoliko rasprava koje su, kako kaže, proistekle iz njegovih predavanja iz primenjene matematike. Ali kada je jednu od ovih rasprava, posvećenu teoriji relativiteta, poslao na štampanje u »Radu« Jugoslovenske akademije, urednik (Varićak!) joj je dodao napomenu da je dobijen rezultat već poznat i objavljen u časopisu za čiju egzistenciju Milanković, kako kaže, nije ni znao!

Poučen ovim iskustvom, Milanković je došao do uverenja da u prilikama u kojima je živeo, »a i po svome temperamentu«, mora za sebe »potražiti drugo polje rada«, gde bi mogao »živeti u tišini, bez žurbe«. Istovremeno, on se, tražeći svoje mesto »u carstvu nauka«, pitao gde bi bilo »nenaseljenih i neobrađenih krajeva« jer, kako kaže, »na starom, odavna obrađivanom, i zato iscrpenom zemljisu teško se dolazi do bogate žetve, jer se tu ne žanje, već samo pabirči«. Nacrtavši sebi shemu nauka sa matematikom u centru u vidu Sunca, on podvlači da su njegovi zraci »tek počeli da zadiru u područje deskriptivnih prirodnih nauka«, »Meteorologije, Geofizike, Geologije, Mineralogije i Geografije«. Milanković (1952, str. 47) kaže:

*Tu negde ... moraju se nalaziti polja koja bih mogla zaorati svojim matematičkim oruđem, zasejati ih i sačekati njihov plod. Odlučih da zavirim u te granične nauke i počeh sa Meteorologijom. Obratih se svome drugu iz studentskog doba, a onda kolegi na beogradskom Univerzitetu, Pavlu Vujeviću, nastavniku Meteorologije i Klimatologije. ... Zapitah Vujevića da li u njegovoј nauci nema rasprava u kojima se izdašnije primenjuje matematička nauka. ...*

Milanković je brzo uvideo da je broj ovakvih rasprava sa svim skroman, a i da matematika tog malog broja rasprava nije uvek kako treba. Jedna od njih bila je posvećena rasporedu Sunčeve energije po površini Zemlje. Njena polazna jednačina je bila netačno postavljena, pa su usled toga i svi dobijeni rezultati bili pogrešni. Istovremeno, iz drugog dela koje je dobio od Vujevića, udžbenika iz klimatologije bečkog meteorologa Hanna, on se upoznao sa problemom ledenih doba. Tako Milanković počinje da razmišlja o osunčavanju Zemlje, planeta uopšte, i krajnjem efektu ovog osunčavanja. Milanković »natenane« analizira taj, kako kaže, »veliki kosmički problem«. »Treba, dakle, naći vezu između osunčavanja planeta i temperature njihove površine i at-

*mosfere, rešiti taj fizikalni deo problema». Ali put ka rešenju nije izgledao lak. Možda zato što je po školovanju bio inženjer, on najpre razmatra izvodljivost posla. Milanković nam saopštava:*

*Ustuknuh pred težinom toga zadatka. Šarenilo Zemljinih klimata zbuni me, oblaci našeg neba naoblaci moje čelo, svaka kiša učini me pokislim, a kada bi duhnuo vетar, a naročito beogradska košava, zapitao bih se: »Ko bi mogao pohvatati u matematičke obrasce sve čudi Eolove?« ...*

Tako, za povremene i lokalne poremećaje atmosfere, za prognozu vremena, on kaže (Milanković 1957, str. 150):

*Nepravilnost rasporeda kopna i mora, naboranost kontinenata, morske struje i strujanja u atmosferi, praćena njenim talozima, seme na dana i noći i uzastopnost godišnjih doba, sve to ima odjeka na termičke i dinamičke pojave u Zemljinoj atmosferi, i sve se to dešava u toliko komplikovanoj meri da, bar zasada, izgleda nemogućno podvrći te pojave matematičkoj analizi u tolikoj meri da bi se mogla pretskazivati njihova uzastopnost.*

Stoga, za ove poremećaje, Milanković odlučno kaže: »Njima se neću baviti«. Ali, on podvlači da ipak »svaki predeo Zemlje ima, pored svih raznolikosti pojedinih godina... svoju srednju klimu koja se, kao što to pokazuju prikupljeni istorijski podaci, nije osetno promenila u toku vekova. Ta srednja godišnja klima može biti predmet matematičkog ispitivanja ...«

Tako, svoj veliki matematički talent i sistematicnost, Milanković posvećuje problemu prognoze srednje godišnje klime, gde očekuje da će moći, sopstvenim radom i bez znatnijeg učešća drugih istraživača, da postigne rezultate trajne vrednosti. To mu zaista u punoj meri i polazi za rukom.

*I bez uticaja atmosferskih i okeanskih strujanja, koje u Milankovićevo doba nije bilo moguće uključiti u egzaktan račun, posao preduzet od strane Milankovića je bio ogromnih razmera. Korak po korak, po pažljivo smišljenom planu, i nakon oko 30 godina rada, Milanković je ovaj zamršeni problem u potpunosti rešio. On je bio svestan da će rad na postavljenom problemu, kako sam kaže, »iziskivati dug niz godina«. Ali sa 32 godine Milanković je rad na njemu, kako smatra, započeo »u svojim najboljim godinama«. On piše: »Da sam tada bio mlađi, ne bih imao dovoljno znanja i naučnog iskustva. A da sam bio stariji, ne bih imao onog samopouzdanja što nam ga daje mladost, pa bilo to i u obliku lako-mislenosti.«*

*I vreme je, za postavljeni problem, bilo baš pravo. Intenzitet Sunčevog zračenja, tzv. solarna konstanta, upravo je nakon desetogodišnjih napora bio sa potrebnom tačnošću određen. Sto se tiče*

Zemljine putanje, Milanković je, kao i njegov prethodnik u ovom poslu Croll, znao da tri parametra određuju promenu rasporeda Sunčevog zračenja na površini Zemlje: ekscentricitet Zemljine putanje, odstojanje perihela od prolećne tačke, i nagib Zemljine ose rotacije prema ravni njene putanje. Ali dok je Croll raspolagao samo grubim proračunima Leverriera za promene dva od ova tri elementa, Milanković se mogao poslužiti upravo (1904) završenim računima nemačkog matematičara Pilgrima za sva ova tri osnovna elementa.

U praktičnoj primeni Milankovićevi računa za objašnjenje smene glacijalnih perioda glavni napor je u Milankovićevu doba bio usmeren objašnjenju četiri »ledena doba«, »Günz«, »Mindel«, »Riss« i »Würm«. Po imenima rečnih dolina, ova su imena nemački geograf Penck i klimatolog Brückner dali glacijalnim periodima čiji uticaji su se, po njima, mogli uočiti u sastavu alpskih rečnih terasa. Milanković sa divljenjem piše o Köppenovom prepoznavanju uzroka ova četiri ledena doba u njegovim krivama osunčavanja. Nezavisni rezultati nemačkog geologa Sörgela dali su, bio je utisak, »potpuno podudaranje«, i svi problemi kao da su izgledali rešeni! Milanković je umro 1958, reklo bi se neobavešten o teškoćama na koje je u sve većoj meri nailazila primena njegovih krivih tokom 1950-ih godina. Radioaktivna datiranja starosti sedimenata davala su rezultate suprotne »kalendaru lednih doba« po Milankoviću. Pomenuta četiri ledena doba, konačno je utvrđeno, nisu ni postojala!

Ali interes za »rešenje tajne« (Imbrie and Imbrie 1979) nije jenjavao. Brojna i izuzetno zanimljiva istraživanja raznih vrsta donosila su nove i nove podatke. Najzad, spektralna analiza perioda prisutnih u uzrocima okeanskih sedimenata jasno je potvrdila dominantan uticaj tri astronomiska parametra čije dejstvo je proučavao Milanković. Time je bila potvrđena ispravnost Milankovićeve osnovne postavke, da promene astronomskih parametara kretanja Zemlje određuju smene glacijalnih perioda. »Milankovićev mehanizam« je danas u svetu standardni izraz za pozivanje na uticaj ovih parametara, a Milutin Milanković je stao u red sasvim malog broja jugoslovenskih naučnika čije ime stoji u samom vrhu svetske nauke. Ovo tim pre što je prognoza klime, zbog znatnih promena koje se očekuju u vezi sa oslobođanjem ugljen dioksida i drugih gasova staklene bašte, danas izuzetno aktuelno područje.

Ali, šta se dalje zbivalo sa prognozom vremena? Retrospektiva razvoja numeričke prognoze vremena pokazuje koliko je Milanković imao pravo kada je, birajući između vremena i klime za

sebe i za svoje doba, izabrao klimu kao »glavnu orijentaciju svog budućeg rada«. Jer u radu na prognozi vremena se pokazalo da su prvi uspešni rezultati došli tek nakon brojnih doprinosa niza istraživača, raznih naučnih specijalnosti, i uz računske napore razmera koji daleko prevazilaze mogućnosti jednog čoveka koji se služi logaritamskim tablicama. Ali ovi rezultati su došli, te su se i citirane Milankovićeve reči »bar zasada« pokazale opravdanim.

Najpre su ubrzo posle rada Richardsona, Courant, Friedricks i Lewy 1928. godine uočili i rešili važan problem »stabilnosti« numeričkog rešavanja tzv. hiperboličnih parcijalnih diferencijalnih jednačina kakve su jednačine koje opisuju kretanje vazduha. Iz toga je sledilo da bi se uspešno izračunala prognoza po metodu Richardsona, čak oko 100 puta veći posao od onog za koji je Richardsonu, doduše u za to ne baš povoljnim uslovima, bilo potrebno nekoliko godina. Nakon daljih desetak godina je, na osnovu radova švedskog meteorologa Rossbyja, postalo jasno da bi i formulacija znatno jednostavnija od Bjerknesovog »najjednostavnijeg problema koji može da bude formulisan« možda mogla da dà pozitivan rezultat. Konačno, nakon još desetak godina je prva elektronska računska mašina, ENIAC, omogućila timu istraživača (Charney, Fjortoft i von Neumann, uz specijaliste za računsku mašinu) da uradi prvu numeričku prognozu vremena sa skromnim ali ipak neospornim uspehom.

Uz stalni i spektakularni napredak u sposobnostima računskih mašina, razvoj matematičke tehnike i sve bolje razumevanje »fizike« mnogih prisutnih procesa, rastao je i uspjeh prognoze vremena. Odlična (mada nekada i neprijatna) osobina numeričke prognoze vremena je da se uspeh može ceniti egzaktno izračunatim brojevima. Radi ilustracije ostvarenog napretka, jedna vrsta ovakvih brojeva je prikazana na slici 1. Brojevi se odnose na prognoze Nacionalnog meteorološkog centra SAD i predstavljaju, verovatno, najduži niz egzaktno ocenjenih prognoza. Oni prikazuju srednje godišnje vrednosti tzv. S1 skora, koji je otprilike srazmeran grešci u prognoziranim vrednostima vetra, za niz od 34 godine, 1955-1988.

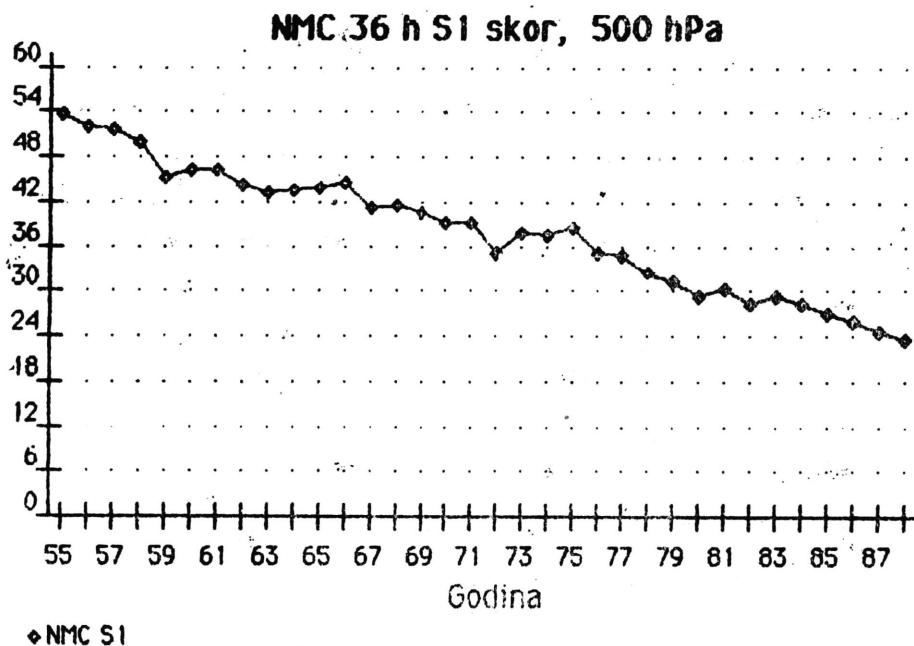
Na slici se vidi manje-više neprekidno smanjivanje greške tokom ovog perioda. Treba podvući da se još ne da uočiti ni tendencija ka smanjivanju brzine napretka, iako do ovoga u jednom momenta mora da dođe, pošto postoji minimum vrednosti greške koji se ne može prevazići. On se, šta više, ne može ni dostići zato što su ne izbežne i greške u osmatranju stanja atmosfere koje je bilo prognozirano. Tačnost prognoza vremena je danas za dva dana unapred otprilike onakva kakva je bila tačnost prognoza za samo jedan dan unapred pre svega deset godina; a

prognoze za 7-8 dana unapred još uvek zadržavaju tačnost koja je očigledno korisna u praktičnom pogledu.

*Da li treba ovakav — ili uopšte neki — napredak u tačnosti prognoza vremena i dalje očekivati? U kojoj meri je, naime, prognoza vremena, podrazumevajući pod vremenom »povremene i lokalne poremećaje« atmosfere kako je rekao Milanković, u principu moguća? Milanković kao da je bio jedan od prvih naučnika koji su postavili ovo pitanje. Čitavih 45 godina nakon ponovljenih Milankovićevih razmišljanja (Thompson 1957) pojavljuje se prvi rad u kome se problem prognozljivosti vremena kvantitativno analizira. Thompson je uočio da principijelna nemogućnost tačnosti određivanja početnog stanja atmosfere ima sve veći uticaj na prognozu što se prognoza računa za duži rok unapred. Ovo je bilo praćeno radovima Lorenzenza (npr., Lorenz 1963) kojima su postavljene osnovne teorije »haosa« i kojima je pokazano da neizbežna nepotpuna definisanost početnog stanja atmosfere, ma koliko ona bila mala, postepeno uništi sav uticaj informacije koja se nalazi u osmotrenom početnom stanju. Posle tog vremena deterministička prognoza vremena, tj. prognoza »povremenih i lokalnih poremećaja« koji slede iz osmotrenog početnog stanja atmosfere, više nije moguća. Moguća je, međutim, prognoza statističkih osobina vremena. Ovo uključuje »dugoročnu« prognozu odstupanja od dugogodišnjih srednjih vrednosti, koja bi nastupila kao posledica promenjenog stanja okeana ili osobina tla; kao i prognozu promena klime, npr. zbog promenjenog sastava atmosfere ili zbog promenjenih astronomskih parametara.*

*Milutin Milanković je u potpunosti ostvario svoju namjeru da bude pionir primene matematike u oblasti kojoj je matematika bila preko potrebna, kao Sunce u njegovoј slikovitoj shemi »carstva nauka«; i da pri tome reši »veliki kosmički problem«. On je postavio matematički opis osunčavanja Zemlje, osnovnog uzroka procesa u atmosferi, pri sadašnjim a i pri drukčijim vrednostima promenljivih parametara kretanja Zemlje. Milanković je, zatim, postavio diferencijalnu jednačinu pomeranja polova za slučaj klizanja kontinenata onakvih kakvi su oni danas po fluidalnoj podlozi, što je još jedan od uzroka promena klime. On je uvideo razliku između prognozljivosti vremena i prognozljivosti klime za koju danas znamo i prihvatio se onog posla koji je u njegovo doba i za njega bio izvodljiv. Za »pretskazivanje« vremena matematičkim putem ispravno je kazao, u njegovo doba, da ono izgleda »bar zasada ... nemogućno« Njemu je bilo jasno da je to put kojim treba ići čim to možda bude moguće, kao što je to danas i kao što mi koji se tim poslom sada bavimo i radimo. Pri tom nas greje ne samo Milankovićev Sunce snage matematike, već i ikonska lepota otkrivanja tajni sveta oko nas, o kojоj je Milanković pisao u svojim uspomenama i prelepmi pričama iz*

»carstva nauke«. Zahvaljujući Milutinu Milankoviću, Osijek i njegov rodni Dalj ostaće zabeleženi kao svetle stanice ovog našeg večitog putovanja »kroz vasionu i vekove«.



Sl. 1. — Srednje godišnje vrednosti tzv. S1 skora prognoza Nacionalnog meteorološkog centra SAD (prema Shumanu 1989) u periodu 1955-1988. S1 skor daje brojnu meru greške u horizontalnoj komponenti sile gradijenta pritiska, što je otprilike srazmerno grešci u vetrusu. Skor je računat za 36-časovnu prognozu visine izobarske površine od 500 hpa, po masi otprilike u sredini atmosfere. Smatra se po subjektivnom utisku da je na toj visini prognoza sa S1 skorom od 70 bezvredna, a ona sa skorom od 20 praktično potpuno tačna. Kod matematički potpuno tačne prognoze S1 skor je jednak nuli.



## NAVEDENA LITERATURA

1. *Bjerknes, V., 1904:* Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. Meteor. Zeitschrift, 21, 1-7.
2. Bjerknes, V., 1919: Wettervorhersage. Meteor. Zeitschrift, 36, 68.
3. *Dobrilović, B., 1964:* O razvoju meteorologije u Srbiji, Rasprave, 5, Prirodno-matematički fakultet u Beogradu — Meteorološki zavod, 74 str.
4. *Imbrie, J., and K. P. Imbrie, 1979:* Ice Ages Solving the Mystery. Enslow, Short Hills, NJ 07078. 223 pp. (U prevodu: Ledena doba, rešenje tajne, Nolit, Beograd, 1981, 220 str.).
5. *Lorenz, E. N., 1963:* Deterministic nonperiodic floz. J. Atmos. Sci., 20, 130-141.
6. *Milanković, M., 1952:* Uspomene, doživljaji i saznanja, iz godina 1909 do 1944. Srpska akademija nauka, Posebna izdanja, knj. CXCV. 322 str.
7. *Milanković, M., 1957:* Uspomene, doživljaji i saznanja posle 1944 godine. Srpska akademija nauka, Posebna izdanja, knj. CCLXXXV. 194 str.
8. *Milanković, M., 1979:* Uspomene, doživljaji i saznanja, detinjstvo i mladost (1879-1909). Srpska akademija nauka, Posebna izdanja, knj. DXVIII. 384. str.
9. *Richardson, L. F., 1922:* Weather prediction by numerical process. Cambridge University Press (reprint, with a new introduction by S. Chapman, Dover, 1965), 236 pp.
10. *Schumann, T. E. W., 1950:* The fundamentals of weather forecasting. Weather, 5, 220-224.
11. Shuman, F., 1989: History of numerical weather prediction. Wea. Forecasting, 4, 286-296.
12. *Thompson, P. D., 1957:* Uncertainty of initial state as a factor in the predictability of large scale atmospheric flow patterns. Tellus, 9, 275-295.