

# DJELO MILUTINA MILANKOVIĆA (1879. – 1958.) MEĐU NAJZNAČAJNIJIM ZNANSTVENIM POSTIGNUĆIMA XX. STOLJEĆA

*Milan Ivanović*\*

## Sažetak

Milutin Milanković rođen je 1879. g. u Dalju (nedaleko Osijeka), osječki je gimnazijalac, diplomirao građevinske znanosti i doktorirao u Beču. Četiri su važna Milankovićeve doprinosa znanosti: a) astronomska teorija klimatskih promjena, b) Kanon osunčavanja Zemlje, c) teorija pomicanja polova Zemlje i d) reforma Julijanskog kalendara. Najznačajnije Milankovićevo djelo je knjiga „Kanon osunčavanja Zemlje” (1941.); njegova teorija klime i nastanka ledenih doba (u znanosti poznata kao Milankovićeve ciklusi) dobila je znanstvenu verifikaciju tek 1976. g. kada su empirijska istraživanja dna oceana dokazala ispravnost njegovog astronomskeg modela i matematičkih izračuna stanja klime na Zemlji. Od tada Milankovićev rad dobiva veliki ugled u svjetskoj znanosti i svrstava se u najznačajnije znanstvene doprinose XX. stoljeća. U ovom radu daje se kraći prikaz života i rada Milutina Milankovića, prikazuju Milankovićeve ciklusi te ukazuje na važnost vraćanja intelektualnog duga hrvatskog kulturnog kruga djelu velikog znanstvenika.

**Ključne riječi:** klima, kozmička klimatologija, Milankovićeve ciklusi, osunčavanje Zemlje

## **The work of Milutin Milanković (1879 - 1958) is Among the Most Significant Scientific Achievements of the Twentieth Century**

### Summary

Milutin Milanković was born in 1879 at Dalj (near Osijek), is a gymnasium student in Osijek, graduated civil engineering science and doctorate in Vienna. There are four important Milanković contributions to science: a) the astronomical theory of climate change, b) canon of the Earth's insolation c) the theory of the movement of Earth's poles, and d) reform of the Julian calendar. The most important work of Milanković is book "Canon of the Earth's Insolation" (1941). His theory of climate and the occurrence of ice ages (scientifically known as Milanković cycles) received only the scientific verification of the 1976<sup>th</sup>. At that time there is empirical claims-ocean floor proved the correctness of his astronomical and mathematical model calculations of climate conditions on Earth. Since then Milanković work gets a great reputation in the world of science and belongs to the most important scientific contributions of the twentieth century. This paper gives a short overview of the life and work of Milutin Milanković, showing Milanković cycles and indicates the importance of returning the intellectual debt from Croatian cultural circle to the great scientist.

**Keywords:** Earth's insolation climate, cosmic climatology, Milankovitch cycles

---

\* Dr. sc. Milan Ivanović, Elektrotehnički fakultet, Osijek

# 1. VRSTAN MATEMATIČAR, PROJEKTANT GRAĐEVINA, ASTRONOM I KLIMATOLOG

Milutin Milanković je rođen 1879. g. u Dalju, kod Osijeka; privatnom podukom (1885.-1889.) završava četiri razreda osnovne škole u Dalju (ispite polaže u Osijeku), realnu gimnaziju završava u Osijeku (1889.-1896.), diplomira građevinske znanosti (1902.) i doktorira (1904.) u Beču.<sup>1</sup> Više godina radi u, tada poznatoj, tvrtki Adolfa Barona Pitela „Betonbau-Unternehmung“ kao projektant armirano-betonskih konstrukcija (mostovi, aerodromi, akvadukti) u Beču (1905.-1909.).<sup>2</sup> Prelazi na Beogradski univerzitet (1909.) gdje dobiva mjesto izvanrednog profesora primijenjene matematike; radi u oblasti kozmičke fizike i geofizike te osniva katedru za nebesku mehaniku. U tome razdoblju objavljuje radove iz primijenjene matematike i nebeske mehanike (1904.-1911.) te prve radove o astronomskim faktorima klime (1912.-1914.).<sup>3</sup>



Milutin Milanković (1907.)

Početak I. svjetskog rata zatiče Milankovića na godišnjem odmoru (bračnom putovanju) u Dalju gdje ga, kao državljanina Kraljevine Srbije, austro-ugarske vojne vlasti hapse; poslije mjesec dana zatvora u mjestu Nežider (Neusiedl am See, na granici današnje Austrije i Mađarske), a nakon intervencije njegovog mentora prof. Emanuela Czubera iz Beča, interniran je u Budimpeštu (neka vrsta kućnog pritvora). U Budimpešti proučava znanstvenu literaturu iz klimatologije (u Mađarskoj akademiji znanosti i Centralnom meteorološkom institutu), objavljuje više radova te (na francuskom jeziku) knjigu o matematičkom modelu klime; „*Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*“ (1920.).<sup>4</sup>

Između dva rata Milanković ostvaruje dobru suradnju s njemačkim znanstvenicima - klimatologom Wladimirom Köppenom (1846.-1940.) i geologom Alfredom Wegenerom (1880.-1930.) s kojima objavljuje više radova iz klimatologije i nastajanja ledenih doba na Zemlji.<sup>5</sup> U to vrijeme postaje redovni član Srpske akademije nauka i umjetnosti (SANU) i dopisni član Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (JAZU) te više drugih akademija.

Uoči napada Hitlerove Njemačke na Jugoslaviju završava knjigu (na njemačkom) *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*.<sup>6</sup> To je njegovo kapitalno djelo koje uključuje rezultate ranije objavljenih 28 radova i nove analize; Milanković daje cjelovitu astronomsku teoriju klime Zemlje, objašnjava nastajanje ledenih doba i teoriju pomicanja polova Zemlje. [25]<sup>7</sup>

<sup>1</sup> „Beitrag zur Theorie der Druckkurven“ - Doprinos teoriji krivulje tlaka (za betonske konstrukcije kod izgradnje mostova, kupola i nosača zgrada – op.a.).

<sup>2</sup> Prijavljuje šest patenata čijom je primjenom izgrađen niz objekata u Austro-ugarskoj – što mu donosi veliki ugled u struci i značajne financijske dobitke.

<sup>3</sup> „Doprinos matematičke teorije klimi“ (1912.), „O rasporedu sunčeve radijacije na površini Zemlje“ (1913.) i „O pitanju astronomske teorije ledenih doba“ (1914.).

<sup>4</sup> „Matematička teorija termičkih fenomena uzrokovanih sunčevim zračenjima“; objava knjige donijela je Milankoviću ugled u znanstvenim krugovima, posebno zbog njegove krivulje insolacije na Zemlju. Hrvatski akademik Andrija Mohorovičić (1857.-1936.) je u recenziji napisao: „djelo g. Milankovića u svom teoretskom dijelu potpuno rješava problem sijanja Sunčeve energije na pojedine planete, a specijalno na našu Zemlju“, te „vrijedno da naša Akademija to djelo što obilnije podupire da ono može čim prije niti štampano.“ [35] Razred matematičko-prirodoslovni je 18.VI.1919. g. jednoglasno usvojio odluku o štampanju. Knjigu je štampala Nadbiskupska štamparija Zagreb.

<sup>5</sup> Köppen i Wegener pozvali su Milankovića u Graz na suradnju (1928-1931.) u dvije važne publikacije: priručnik iz klimatologije (Handbuch der Klimatologie) i priručnik iz geofizike (Guttenberg's Handbuch der Geophysik) za koju je napisao uvod „Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen“ (Matematička nauka o klimi i astronomska teorija klimatskih promjena), objavljeno 1930. na njemačkom, a 1939. prevedeno na ruski.

<sup>6</sup> „Kanon osunčavanja Zemlje i njegova primjena na problem ledenih doba“.

<sup>7</sup> Knjiga je 1969. g. prevedena na engleski, 1992. g. na japanski, a 1997. g. na srpski jezik.

Nakon II. svjetskog rata objavio je više sveučilišnih udžbenika te je direktor Beogradske opservatorije. Umro je 1958. g. u Beogradu, a 1966. g. (prema njegovoj oporučnoj želji) tijelo je preneseno u obiteljsku grobnicu u Dalju.<sup>8</sup> [16] [17]

### 1.1. Civilizacijski doprinosi znanosti

Četiri su važna Milankovićeve doprinosa znanosti: (a) astronomska teorija klimatskih promjena, b) Kanon osunčavanja Zemlje, (c) teorija pomicanja polova Zemlje i (d) reforma Julijanskog kalendara. [9] [16] [30]

- Milankovićev koncept izmjena Julijanskog kalendara je astronomska najprecizniji kalendar do sada koji treba korigirati tek poslije 28800 godina. „Jednostavno usvajanje Gregorijanskog kalendara u pravoslavnim crkvama nije preporučljivo ne samo zbog crkvenih pitanja već i iz znanstvenih razloga - astronomskih podataka o dužini tzv. tropske godine na kojoj se temelje Gregorijanske reforme“ [22]. Milanković je predložio skraćivanje prethodnih 900 julijanskih godina za 7 dana<sup>9</sup> te novo pravilo za računanje prestupnih godina.<sup>10</sup> Na ovaj način Milanković je ukinuo razliku od 13 dana te u datumima izjednačio julijanski i gregorijanski kalendar, ali je postavio model izračuna kalendara koji ima manja astronomska odstupanja (od Gregorijanskog kalendara) u kretanjima Mjeseca i Sunca.<sup>11</sup> [23]

b) Milanković je sudjelovao u dokazivanju teorije tektonike kontinentalnih ploča; na poticaj Köppena i Wegenera razradio je numeričku sekularnu putanju polova rotacije te dokazao da su se polovi rotacije Zemlje u geološkom vremenu pomicali. Znatno kasnije moderna geofizička mjerenja potvrdila su ovu teoriju i točnost Milankovićevih izračuna. [9] [16] [30]

c) Istražujući utjecaj astronomskih faktora na klimu, u toku geološke prošlosti Zemlje, Milanković je na egzaktan način objasnio periodiku nastanka, razvoja i povlačenja glacijalnih ploča u toku 600.000 g. Primjenjujući vlastiti matematički model i koristeći prethodna istraživanja: francuskih matematičara Josepha Adhemara (1797.–1862.) i Urbaina Le Veriea (1811.–1877.), škotskog znanstvenika Jamesa Crolla (1821.–1890.) te njemačkog matematičara Ludwiga Pilgrima (1849.-1927.) Milanković je postavio model, i matematičkim proračunima ukazao da su: precesija, promjena nagiba osi rotacije i ekscentrična orbita Zemlje oko Sunca dominantni faktori promjene klime u geološkoj prošlosti. Posebnu pozornost pridao je osunčavanju tla na 55<sup>o</sup>, 60<sup>o</sup> i 65<sup>o</sup> sjeverne širine u ljetnom razdoblju te matematički dokazao da je slaba osunčanost za vrijeme ljeta uzrok nastanka ledenih ploča. [29]

## 2. MILANKOVIĆEVA TEORIJA KLIME

Znanost dugo nije imala objašnjenje o promjenama klime tj. o ostacima glacijacija na kontinentima; ta je pojava smatrana rezultatom velikih poplava (biblijski potop). Tek je sredinom XIX. st. začeta teorija klimatskih promjena.

### 2.1. Nastanak teorije

Spoznaje o postojanju vrlo hladnog vremenskog razdoblja u bliskoj geološkoj prošlosti Zemlje prvi put je 1840. g. formulirao švicarski geolog Louis Agassiz (1807.–1873.) u knjizi „Teorija o Ledenom dobu“. Agassizova teorija je izazvala velike rasprave, jer su ostaci glacijacija do tada dovođeni u vezu s biblijskim potopom; čak i eminentni geolozi toga vremena nisu se lako mogli osloboditi dominantnog religioznog pogleda na svijet. Budući da je postojanje ledenog doba geološkim i paleontološkim istraživanjima dokazano, trebalo je objasniti uzroke tih

<sup>8</sup> Novim vlastima u Beogradu (1941.) odbio je potpisati „Apel srpskom narodu“ (o podršci okupaciji zemlje), a nakon Rata - za komunističke vlasti nije bio osoba od povjerenja; Sud časti Beogradskog univerziteta (1950.) je - procjenjujući podobnost za novi poredak - Milankovića označio kao političkog neprijatelja.

<sup>9</sup> To daje prosječno trajanje godine od 365 dana, 5 sati, 48 minuta i 48 sekundi, što je oko 2,8 sekundi duže od današnje vrijednosti dužine srednje tropske godine. To bi, pri toj vrijednosti, dalo grešku od jednog dana u razdoblju od 31.000 godine.

<sup>10</sup> Sekularne godine su prestupne ako broj njihovih stoljeća podijeljen s 9 daje ostatak 2 ili 6. [23]

<sup>11</sup> Kalendar je razmatran i prihvaćen na Vaseljenskom saboru Pravoslavne crkve u Carigradu (1923.) i u praksi ga primjenjuju pravoslavne crkve i patrijaršije: carigradska, grčka, aleksandrijska, rumunjska; antiohijska, ciparska, poljska i bugarska crkva. Revidirani kalendar odbacile su: jeruzalemska, ruska, srpska i gruzijska crkva i tzv. grčki starokalendarci.

krupnih klimatskih promjena u geološkoj prošlosti. Već 1842. g. Joseph. Adhemar u knjizi „Revolutions de la mer“ dovodi klimatske promjene u vezu s varijacijama Zemljine putanje oko Sunca. James Croll, u knjizi „*On the Physical Cause of the Change of Climate During Geological Epochs*“ (1864) ističe hipotezu da su promjene razine mora i klime za vrijeme ledenog doba uzrokovane promjenama u zemljinoj orbiti oko Sunca te slaboj dozraci u vrijeme zimskog razdoblja. „*Ideja je očigledno bila rođena, ali dokazi koje je Croll dao bili su u suprotnosti s postojećim geološkim podacima*“ i znanstvena zajednica je odbacila ove teorije. [8] [29]

Milanković je u svojim proračunima, započetim za vrijeme Prvog svjetskog rata, pošao od dvije osnovne pretpostavke: <sup>12</sup>

- 1) Klima na Zemlji ovisi od intenziteta osunčavanja njene površine, odnosno od količine Sunčeve energije koju pojedini dijelovi površine Zemlje primaju od Sunca, i
- 2) Intenzitet osunčavanja Zemlje (ukupno i pojedinih dijelova) promjenljiva je kategorija u geološkom vremenu ovisno od udaljenosti i položaja Zemlje prema Suncu – koji se mijenjaju. [29]

Temeljem rečenih pretpostavki Milanković je dugogodišnjim složenim proračunima utvrdio utjecaje tri astronomska elementa koji reguliraju promjene intenziteta osunčavanja Zemlje, tj. promjenu klime kroz geološku historiju, i to za:

- a) periodičnu promjenu smjera osi Zemlje (precesija) s ciklusom od 23.000 godina,
- b) periodičnu promjenu ekscentriteta Zemljine putanje, do koje dolazi zbog međusobnih utjecaja planeta - u ciklusu od 105.000 godina,
- c) periodičnu promjenu nagiba ekliptike, također, zbog međusobnih smetnji planeta - u ciklusu od 41.000 godina.

Stalne i složene promjene putanje Zemlje izazvane promjenama nagiba osi Zemlje i ekscentričnost putanje Zemlje oko Sunca te promjene nagiba ekliptike (smetnje koje u putanji nastaju kao posljedica međusobnog privlačenja planeta) mogu se putem složenih matematičkih operacija izračunati i pratiti, korak po korak, u geološkoj prošlosti te proračunati i za budućnost. <sup>13</sup>

## 2.2. Milankovićevi ciklusi

Prema teoriji akademika Milankovića ledena doba i međuledena razdoblja na Zemlji uzrokovani su cikličkim promjenama u ophodnji Zemlje oko Sunca kroz tri varijacije:

- a) **ekscentričnost** eliptične putanje Zemlje,
- b) **nagibu osi Zemlje** i
- c) **precesije** (revolucije rotacijske osi Zemlje).

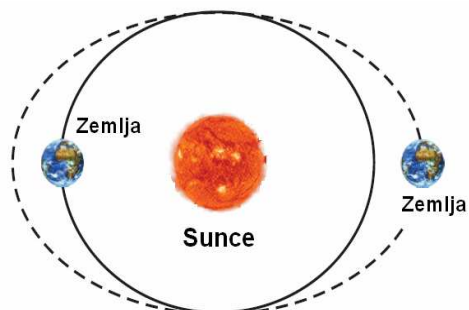
Ove su orbitalne varijacije krajem XX. stoljeća u znanosti nazvane Milankovićevim ciklusima.

<sup>12</sup> Milanković naglašava da je svoja istraživanja započeo na radovima prethodnika (J. Adhemara, J. Crolla, U. Leverriera i L. Pilgrima) [24], a John Gribin, u prikazu Milankovićeve teorije, naglašava: „*On je otišao daleko izvan svega što je Croll čak i razmišljao; iako je Milankovitch krenuo s ogromnim bonusom* (njemački matematičar L. Pilgrim izračunava 1904.g na koji su se način ekscentričnost, precesija i nagib osi pomicali tijekom posljednjih milijun godina op. a.) *još uvijek mu je trebalo tri desetljeća za dovršenje zadatka.*“ [8]

<sup>13</sup> „*Njegov izvorni doprinos nebeskoj mehanici naziva se Milankovićev sustav vektorskih elemenata planetarnih orbita. On je šest Lagrange-Laplaceovih eliptičnih elemenata sveo na dva vektora koji određuju mehaniku planetarnih kretanja. Prvi određuje orbitalnu ravninu planeta, utjecaj revolucije planeta i orbitalni parametar elipse, a drugi određuje os orbite u njevoj ravnini i orbitalnu ekscentričnost. Primjenom tih vektora je značajno pojednostavljen obračun i izravno se dobivaju sve formule klasične teorije sekularnih perturbacija.*“ [37]

## Ekscentričnost orbite

Ekscentričnost eliptičnog oblika putanje Zemlje oko Sunca je prvi od tri Milankovičeva ciklusa. Radi se o neprekidnom fluktuiranju oblika orbite Zemlje od 0 do 5% eliptičnosti; oblik elipse varira od 0,005 do 0,06 u ciklusima od oko 100.000 godina (sl. 1).<sup>14</sup> Tako eliptičnost orbite određuje koliko Sunce ozračuje naš planet; u manje eliptičnoj orbiti razlike osunčavanja u pojedinim razdobljima godine nisu velike dok su u visokoj eliptičnosti razlike između godišnjih



doba značajne. Najudaljenija točka putanje Zemlje oko Sunca naziva se *afel*, a najbliža perihel. Kada je Zemlja bliža perihelu zime su blaže na sjevernoj hemisferi, a kada je ekscentričnost najveća tada je sezonska razlika primljene topline u rasponu od 20 do 30%. Sadašnja ekscentričnost orbitalne elipse je gotovo na minimumu ciklusa (= 0,0167), a sezonska razlika primljene topline iznosi oko 7%. [13] [16]

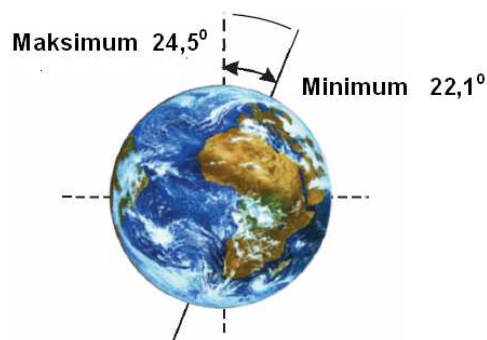
Slika 1

*Ekscentričnost orbite Zemlje oko Sunca*

## Promjena nagiba Zemljine osi

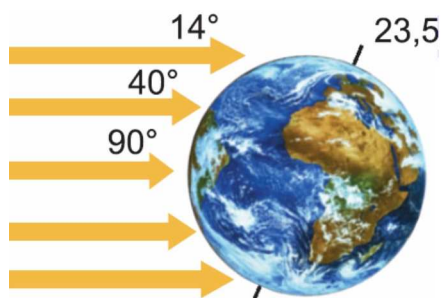
Drugi od tri Milankovičeva ciklusa je promjena nagiba osi Zemlje u odnosu na ravninu orbite oko Sunca.<sup>15</sup>

Oscilacije u nagibu Zemljine osi su u rasponu od  $22,1^{\circ}$  do  $24,5^{\circ}$  (sl. 2), a ciklus traje 41.000 godina. Danas je nagib osi u razini  $23,44^{\circ}$  i u smjeru je opadanja. Zbog periodičnih varijacija nagiba osi Zemlje mijenja se i kut upada sunčevih zraka na površinu Zemlje što utječe na klimatske značajke godišnjih doba (sl. 3); s manjim nagibom osi Zemlje insolacija se ravnomjernije distribuirala između zime i ljeta, a isto tako manji nagib utječe i na razliku u insolaciji između ekvatorijalnog pojasa i polarnih regija. Kada je nagib veći razlika u temperaturi godišnjih doba na višim geografskim širinama je izraženija, odnosno ima mali utjecaj na ekvatoru, a veliki na polovima. Relativnim porastom nagiba od 10% ukupno primljena energija na sjevernoj hemisferi ljeti se poveća za 1%. [13]



Slika 2

*Promjena nagiba osi rotacije Zemlje u odnosu na ravninu orbite*



Slika 3

*Kut upada sunčevih zraka na Zemlju*

<sup>14</sup> Ekscentričnost orbite je otkrio i prvi izračun parametara dao (1609. g.) Johannes Kepler; ciklus je grubo prosjek od 95.000 i 123.000 godina, a ima i druge manje oscilacije od 50.000 do 1,9 mil. godina - zbog gravitacijskog utjecaja Venere.

<sup>15</sup> Ovu su pojavi zapazili kineski zvjezdznanci oko 1000 g. p.n.e. - mjereći godinama razliku između kuta Sunca na horizontu u podne - na najduži i najkraći dan u godini.

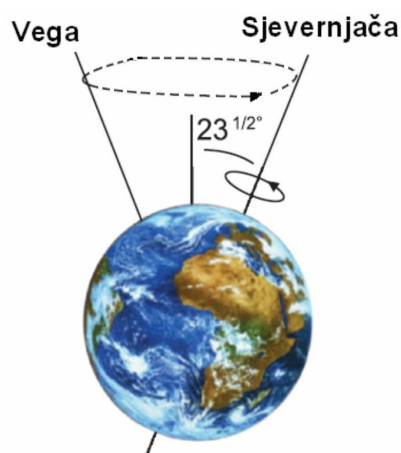
## Precesija

Precesija (revolucija rotacijske osi Zemlje) je posljedica ljuľanja (geganja) rotacijske osi u ciklusu od oko 23.000 godina. Precesija utječe na orijentaciju osi, a ne na njen nagib (sl. 4). Kroz 12.000 godina os Zemlje produžena na sjever neće smjerati ka zvijezdi Sjevernjači već u smjeru zvijezde Vega, u sazviježđu Lira. Kao posljedica ovog složenog kretanja Zemlje dani ravnodnevnice ne događaju se uvijek istoga datuma već se polako (kalendarski) pomjeraju.<sup>16</sup>

Što uzrokuje ovu pojavu?

Zemlja nema oblik pravilne kugle (na polovima je spljoštena, a pojas ekvatora je malo ispupčen), a budući da je os nagnuta u odnosu na ravan ekliptike i ravan Mjesečeve putanje, Sunce i Mjesec nejednako privlače dio ekvatorskog ispupčenja okrenut k njima (u odnosu na ispupčenje s druge strane). Zbog toga (virtualna) os Zemlje ne ostaje nepomična već se i sama kreće projicirajući kružnicu po nebeskoj sferi; sl. 4.

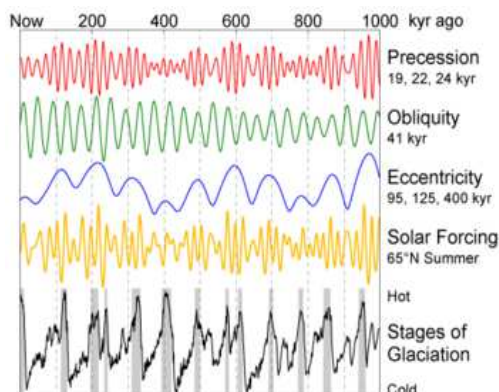
Danas je os Zemlje na sjevernoj hemisferi usmjerena ka zvijezdi alfa Malog Medvjeda koju, budući da se nalazi iznad Sjevernog pola, nazivamo Sjevernjača; zapravo os smjera vrlo blizu Sjevernjače ( $> 1^\circ$ ). Kako se os kružno pomiče za 12.000 godina ona će biti na smjeru oko  $5^\circ$  od zvijezde Vega; tada će ova zvijezda biti Sjevernjača. [13]



Slika 4  
Revolucija rotacijske osi Zemlje

## Simultano djelovanje

Rečena tri ciklusa simultano djeluju na dozraku energije Sunca na Zemlju i oni su primarni uzroci klimatskih promjena i nastajanja ledenih doba. Milanković je s izračunavanjem parametara odredio sezonske modifikacije varijacija za tri navedena ciklusa obuhvatom razdoblja od 600.000 godina. Najvažniji parametar Milankovićeve teorije je količina dospjelih sunčevih zraka na tlo u srpnju na  $65^\circ$  sjeverne geografske širine; jer - ukoliko tlo nije dovoljno ugrijano u srpnju ledeni pokrov će se širiti i rasti. Ukoliko je dozraka sunčeve energije dovoljna ledeni pokrov će se povući. Na taj način, kako je zaključio Milanković: nevelike orbitalne varijacije uzrokuju značajne fluktuacije klime na našem planetu. Na sl. 5 je prikaz simultane i integrirane dozrake Sunca na  $65^\circ$  sj. geografske širine u razdoblju od milijun godina. [6] [13]



Slika 5.  
Učinak Milankovićeovih ciklusa na osunčavanje Zemlje [6]

<sup>16</sup> Prvi je na tu pojavu ukazao 130. god. p.n.e. starogrčki astronom Hiparh: radeći na mapi nebeskog svoda uočio je da se zvijezde ne nalaze na onom mjestu na kojem su ih daleko ranije locirali kaldejski zvezdoznanci.



### 3. ZNANSTVENA VERIFIKACIJA MILANKOVIĆEVE TEORIJE KLIME

Znanstvenoj zajednici je trebalo mnogo godina da potvrdi i u potpunosti prihvati Milankovićevu teoriju zbog toga što njegov model klime predstavljao temeljnu prekretnicu; traženi su egzaktni dokazi.

Nakon prihvaćanja Milankovićeve teorije klime u 1930-im i 1940-im godinama teorija je gotovo napuštena u naredna dva desetljeća; prvi prigovori su došli od meteorologa koji su (opet) tvrdili da su promjene insolacije zbog varijacija orbitalnih elemenata preslabe da bi narušile klimatski sustav. Tada su i paleontološki uzorci, prikupljeni na kopnu, analizirani novom C-14 metodom (analiza ostatka ugljika) pokazali značajno neslaganje s Milankovićevom teorijom. No, 1955. g. talijanski klimatolog Cesare Emiliani (1922.-1995.) je u časopisu *Journal of Geology* istaknuo da Milankovićeve krivulje korespondiraju s povijesnim fluktuacijama  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  – što daje potvrdu kanonu insolacije, odnosno daje predviđanja koja mogu biti testirana. [37]

Početak 1970-tih počela su geološka istraživanja sondiranjem morskog dna na velikim dubinama, a s njima i prilozi za definitivnu znanstvenu verifikaciju Milankovićeve teorije. Krajem 1976. g. u časopisu *Science* [10] objavljen je rezultat projekta CLIMAP (Climate: Long-Range Investigation, Mapping, and Prediction) - petogodišnjeg sondiranja dna oceana; naslage sedimenata (do 2,5 km dubine), kao geološki zapis proteklih promjena klime na Zemlji, dokazale su ispravnost Milankovićevog modela i preciznost njegovih matematičkih izračuna stanja klime na Zemlji.<sup>17</sup>

Nakon toga slijedi niz znanstvenih skupova, radova u časopisima i knjigama koji su razmatrali i potvrđivali Milankovićeve model klimatskih promjena:

- Sveučilište Columbia (New York, SAD) organiziralo je 1982. g. simpozij *Milanković i klima* na kojem je sudjelovalo 130 vodećih paleoklimatologa svijeta. Tom prilikom potvrđeno je postojanje ciklusa osunčavanja Zemlje u razdobljima od: 100.000, 41.000, 23.000 i 19.000 godina (Milankovićeve ciklusi), ali je utvrđen i jedan veći ciklus u ekscentričnosti Zemljine orbite (André Berger) od 413.000 godina. [30]

- Savjet za istraživanje Nacionalne Akademije Znanosti SAD je 1982. g. prihvatio Milankovićeve model klimatskih promjena; „...*orbitalne varijacije ostaju najpotpunije ispitan mehanizam klimatskih promjena na vremenskoj skali od desetine tisuća godina i nadaleko je najjasniji slučaj neposrednog učinka promjenjive insolacije na nižu atmosferu Zemlje.*“ [27]

- Sveučilište u Perugi (Italija) organiziralo je 1988. g. međunarodni znanstveni skup pod nazivom *Ciklostratigrafija* na kojem je promovirana nova istraživačka metoda koja u osnovi ima Milankovićeve cikluse osunčavanja Zemlje; u slojevima stijena detektira cikluse klime kroz koje je prošao naš planet. [30]

- U okviru istraživanja COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project) koje je provedeno 1988. g. mapirani podaci o globalnim klimatskim promjenama tijekom posljednjih 18.000 godina, ukazali su na centralnu ulogu Milankovićevih pokretača klimatskog sustava. [37]

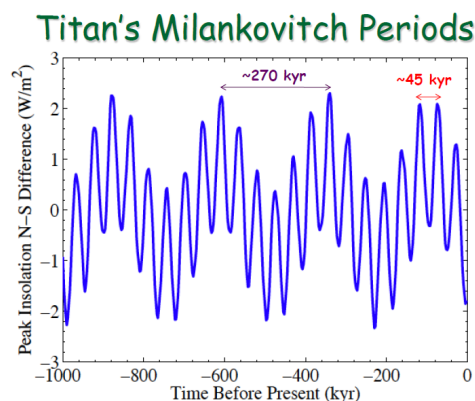
- U San Franciscu (SAD) je 1992. g. održan međunarodni simpozij posvećen Milankovićevoj teoriji „*Deset godina poslije*“ na kojem su razmatrani rezultati istraživanja učinaka astronomskih faktora na klimu Zemlje. [9]

- Daljnja potvrda teorije došla 1993. g. iz projekta SPECMAP (Spectral Mapping Project), pokazalo se da klimatski sustav - čini se - djeluje kao odgovor na pokretače insolacije u svakom od Milankovićevih ciklusa. Dok reakcija klimatskog sustava djeluje uglavnom linearno u precesiji i nagibu ose, klimatski rezultat varijacije ekscentriciteta je nelinearan, s velikim utjecajem sjeverne hemisfere na ledene ploče koje pružanje vitalni izvor klimatskoj inerciji. [37]

- Američki časopis *National Geographic* u broju 193/1998. objavljuje opsežan članak u kojem prikazuje Milankovićeve cikluse. [30]

<sup>17</sup> Za razliku od današnjih astronoma - koji raspolažu elektronskim računalima (složeni matematički proračuni) i digitalnom opremom (crtanje grafikona) - Milanković je imao samo olovku i papir te logaritamsko računalo (tzv. šiber). Osim matematičkog genija za uočavanje problema, postavljanje algoritama i formula izračunavanja Milanković je pokazao i izuzetnu predanost istraživačkom radu, jer - za obradu astronomskih elemenata kretanja jednog planeta potrebno je oko 80.000 računskih operacija.

- Godine 1999. dokazano je i da inačica izotopskog sastava kisika u sedimentima na dnu oceana slijedi Milankovićeve proračune. [30]
- International Centre for Theoretical Physics u Trstu (Italija) organizirao je 2007. g. konferenciju *Milankovićeve ciklusi: kroz prošlost 5 miliona godina* na kojoj su, u svjetlu Milankovićevog modela, razmatrani rezultati istraživanja o globalnom zatopljenju. [6]
- Milankovićeve ciklusi kao model utjecaja astronomskih faktora na klimu planeta koristi se i u kozmičkim istraživanjima. Na sl. 6 je grafikon Milankovićevih ciklusa za Saturnov mjesec Titan; istraživanje u okviru NASA istraživačke misije „Casini“ (2004. 2006.). [28]



Slika 6.  
Milankovićeve ciklusi osunčavanja Titana [28]

- Pod pokroviteljstvom UNESCO-a (u povodu 130. godišnjice Milankovićeve rođenja) održan je 2009. g. u Beogradu simpozij na temu *Klimatske promjene uoči drugog desetljeća XXI. stoljeća – zaključci o paleoklimi i regionalni aspekti* na kojem su u 60-tak referata svjetski priznati istraživači prezentirali najnovije spoznaje o aktualnim klimatskim promjenama i globalnom zatopljenju. [16]

Završimo ovaj vrlo skraćeni pregled potvrđivanja Milankovićevih ciklusa citatima iz objavljenih radova eminentnih istraživača:

- André Berger naziva Milankovića „ocem astronomske teorije i klimatskog modeliranja.“ [29]
- A. Berger i Fedor Mesinger ističu: “Ostaje činjenica da je osnova svake znanosti uključene u bilo koju klimatološku teoriju prisutna u Milankovićevoj knjizi“ (Kanon, op.a.).[2]
- grupa autora predvođena klimatologom Joy Laskarom napominje: „Razumijevanje klime uvažavanjem orbitalnih kretanja se razvilo, ali svi nužni elementi za proračun insolacije bili su prisutni u Milankovićevom radu“. [18]

Zaključno ističemo: radovi Milutina Milankovića prema bazama podataka *Science Citation Index* u razdoblju 1945.-2009. citirani su 1066 puta; posljednjeg desetljeća godišnji broj citata raste. [33] Prema *Google.scholar* bazi citata Milanković se (do sredine travnja 2012.) pojavljuje u preko 20.000 zapisa. [7]

### 3.1. Pohvale i priznanja svjetske znanstvene javnosti

Nakon znanstvene verifikacije Milankovićeve teorije slijede značajna priznanja svjetske znanstvene javnosti u čast velikog znanstvenika;<sup>18</sup>

- (1970.) Na XIV. kongresu Međunarodne astronomske unije (Brighton, V.Britanija) jedan krater na Mjesecu (promjera 34 km; koordinate +170,+77) dobiva ime po Milankoviću; [12]
- (1973.) Na XV. kongresu Međunarodne astronomske unije (Sydney, Australija) jedan krater na Marsu (promjera 118 km; koordinate +147, +55) dobiva ime po Milankoviću; [12]

<sup>18</sup> U više znanstvenih radova i publicističkih napisa ističe se da je NASA uvrstila Milankovića među 5 (ili 10) najznačajnijih znanstvenika 20. st. u oblasti znanosti o Zemlji, ali na Web stranicama NASA nije pronađena nikakva lista s rangiranjem zaslužnih znanstvenika. Čini se da su rečeni autori pošli od web serijala „On the Shoulders of Giants“ (Na plećima divova), prikazu najvažnijih postignuća u oblasti astronomije, u kojem je NASA Earth Observatory [28] prikazao bitna djela autora iz astronomije, među kojima je u tri nastavka (2006.) prikazan model Milankovićevih ciklusa. (op.a.)



- (1979.) John Imbrie i Katherine Palmer-Imbrie objavljuju knjigu „Ice Ages - Solving the Mystery“ (Ledena doba – rješenje misterije) u kojoj je Milankovićevo djelo predstavljeno kao centralni ključ rješenja misterije ledenih doba. [11]
- (1980.) Planetoid 1605 (oznake 1936GA - koji su otkrili srpski astronomi Milorad Protić i Petar Ćurković) po suglasnosti Međunarodne astronomske unije - nazvan je po Milankoviću. [30]
- (1993.) Europsko geofizičko društvo utemeljuje priznanje (Medalja) znanstvenicima za izvanredne rezultate istraživanja u području dugoročnih klimatskih promjena koja je nazvana po Milankoviću. [4]
- (2001.) U knjizi *Znanost* britanski doktori znanosti Simon Singh i Susan Greenfield opisuju 250 znanstvenika koji su oblikovali našu civilizaciju – među koje je uvršten i Milanković sa svojim ciklusima promjena klime. [32]
- (2004.) Poznati američki astrofizičar i povjesničar znanosti John Gribin u svojoj knjizi *Znanstvenici: Povijest znanosti ispričana kroz živote njenih najvećih istraživača* na šest stranica piše o Milankoviću i njegovom doprinosu u otkrivanju tajni klime na Zemlji. [8]
- (2009.) UNESCO je ovu godinu proglasio Milankovićevom godinom. [16]
- (2010.) Najveća svjetska Internet tvrtka Google je dana 28.5. (Milankovićev rođendan) početnu stranicu Web pretraživača posvetila Milutinu Milankoviću. [7]

#### 4. MILANKOVIĆ U HRVATSKOM KULTURNOM KRUGU

Milutin Milanković svakako se može ubrojiti u hrvatski kulturni krug - u širem, značenju pojma kultura - koje uključuje i znanost. [13] Detaljnije će se ukazati na javno poznate činjenice.

##### 4.1. Milanković dopisni član JAZU

Milanković je već 1908. g. (u svojoj 29 godini) objavio znanstveni članak „*O membranama jednakog otpora*“ u izdanju Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti – JAZU, danas Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti – HAZU (Rad JAZU, knjiga 175, Matematičko-prirodoslovni razred, knjiga 44, str. 140-152., Zagreb, 1908.)

Zatim, slijede radovi:

- „O teoriji Michelsonova eksperimenta“ (Rad JAZU, knj. 190. Matematičko-prirodoslovni razred, knjiga 51, str. 65-70, Zagreb, 1912.)
- „O primjeni matematičke teorije sprovođenja toplote na probleme kosmičke fizike“ (Rad JAZU, knj. 200, Matematičko-prirodoslovni razred, knjiga 55, str. 109-131, Zagreb, 1913.)
- „O pitanju astronomskih teorija ledenih doba“ (Rad JAZU, knj. 204, Matematičko-prirodoslovni razred, knjiga 57, str. 141-150., Zagreb, 1914.)
- „Ispitivanja o klimi planete Marsa“ (Rad JAZU, knj. 213. Razreda matematičko-prirodoslovnoga knjiga 60, str. 64 - 96, Zagreb, 1916.)

Nakon I. Svjetskog rata (1920.) JAZU objavljuje Milankovićevu knjigu „*Matematička teorija termičkih fenomena uzrokovanih sunčevim zračenjem*“ na francuskom. [20]<sup>19</sup>

Na Glavnoj skupštini JAZU, dana 25. svibnja 1920. g. Milutin Milanković je u svojoj 41. godini života izabran za člana dopisnika JAZU u razredu „matematičkoprirodoslovnom“. <sup>20</sup> [35]

##### 4.2. Djelo Milankovića kao svojevrsni lakmus naše otvorenosti i naših kriterija vrijednosti

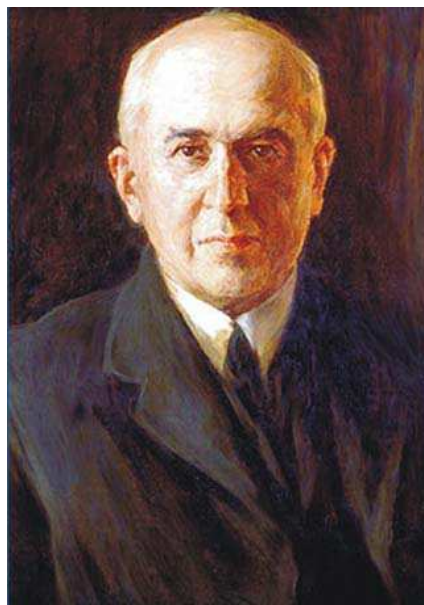
Iako je rođen<sup>(1)</sup> u Slavoniji, iako je osnovno<sup>(2)</sup> i srednjoškolsko<sup>(3)</sup> obrazovanje kompletno završio u Osijeku, iako je u izdanjima JAZU objavio pet radova<sup>(4)</sup> iako je bio dopisni član JAZU (danas HAZU) <sup>(5)</sup>, iako je nakladnik njegove prve znanstvene knjige bila JAZU<sup>(6)</sup>, iako je ta knjiga štampana u biskupskoj tiskari u Zagrebu<sup>(7)</sup> i iako je – po iskazanoj želji - sahranjen u Slavoniji<sup>(8)</sup> – Milanković je u hrvatskom kulturnom krugu u proteklih 20-tak godina na margini pažnje znanstvenih i kulturnih institucija.

<sup>19</sup> Knjiga je 1930. g. prevedena na njemački, a 1939. g. na ruski jezik.

<sup>20</sup> Ljetopis JAZU za godinu 1920. sv. 35, str. 33.

Koje se aktivnost s ovih prostora mogu navesti kao vraćanje intelektualnog duga znanstveniku - čije se djelo ubraja u vrh znanstvenih postignuća XX. stoljeća i ljudske civilizacije uopće;

- (1979.) Akademija u povodu 100. obljetnice rođenja Milutina Milankovića; Pedagoški fakultet Osijek. [17]
  - (1989.) Akademija u povodu 110. obljetnice rođenja Milutina Milankovića, Osijek, JAZU - Zavod za znanstveni i umjetnički rad u Osijeku. [29]
  - (1989.) u časopisu „Anali“ (Vol.7) prvi dio časopisa posvećen je 110. g. Milankovićeve rođenja; tri rada (N. Pantić, F. Mesinger, T. Šegota); JAZU - Zavod za znanstveni i umjetnički rad u Osijeku. [29]
  - (2002.) *Međunarodni naučni skup - Srbi u istočnoj Hrvatskoj*, Osijek, na kojem su, među ostalim, tri referata (N. Pantić, M. Radovanac, S. Garonja-Radovanac) posvećena Milankovićevom djelu; SKD "Prosvjeta", Osijek. [1]
  - (2002.) Apel - sudionika znanstvene konferencije *Srbi u istočnoj Hrvatskoj - za obnovu rodne kuće Milankovića* (po obilaska devastirane rodne kuće u Dalju); objavljen u Zborniku radova te upućen vladama RH i RS; SKD "Prosvjeta", Osijek. [1]
  - (2008.) Reprint Milankovićeve knjige *Astronomska teorija klimatskih promjena i njena primjena u geofizici*; SKD «Prosvjeta», Zagreb. [26]
  - (2008.) Međunarodni simpozij u Dalju *Stvaralaštvo Milutina Milankovića*; SANU, SKD «Prosvjeta», Zagreb i Općina Erdut. [36]
  - (2009.) Obnova Milankovićeve rodne kuće; uređen muzej i Kulturno-znanstveni centar Milutin Milanković; Vlada RS, Općina Erdut i Vlada RH. [17]
  - (2009.) Akademija „130. obljetnica rođenja Milutina Milankovića“; izložba o životu i djelu Milutina Milankovića; četiri predavanja (N. Ružinski; K. Pandžić; J. Nećak; S. Vlašić); KZC Milutin Milanković, Dalj. [17]
  - (2009.) Pokrenut Web portal o Milutinu Milankoviću; KZC Milutin Milanković, Dalj. [17]
  - (2009.) U okviru UNESCO simpozija (Beograd, 2009.) petog su dana u Dalju održana dva predavanja (K. Pandžić i Z. Knežević) i rasprava pod predsjedanjem eminentnog belgijskog klimatologa André Bergera; KZC Milutin Milanković, Dalj. [17]
  - (2010.) Portal *Essekeri* (nekomercijalni projekt tvrtke YPSILON d.o.o. Osijek - koji od 2009. g. objavljuje serijal o zaslužnim građanima Osijeka) realizirao je video-film te objavio kraći prikaz života Milutina Milankovićeve i njegovih postignuća. [3]
  - (2010.) Akademija - obilježavanje 131.g. Milankovićeve rođenja; tri predavanja (V. Paar, M. Ivanović, Z. Knežević); KZC Milutin Milanković, Dalj. [17]
- Portet Milutina Milankovića*  
(Paja Jovanović, 1943.)
- (2010) Na zidu zgrade Odjela za fiziku sveučilišta J.J. Strossmayer Igor Dešić, student umjetničke akademije, nacrtao je (po ideji Hrvoja Milolože, studenta fizike) grafit „Velikani znanosti s hrvatskog tla“ na kojem su portreti: Ruđera Boškovića, Rudolfa Steinera, Andrije Mohorovičića, Milutina Milankovića i Nikole Tesle. [34]
  - (2011.) Skup „*Milanković, kalendar, vrijeme*“; šest predavanja (V. Paar, Z. Knežević, A. Petrović, R. Milošević, S. Marković, Đ. Đurić); KZC Milutin Milanković, Dalj. [17]



## 5. ZAKLJUČAK

Milutin Milanković - rođeni Slavonac, osječki gimnazijalac, dopisni član JAZU (danas HAZU) unatoč teškim životnim nedaćama - uspio je ostvariti impozantno znanstveno djelo.

Milankovićeve doprinose znanosti kreću se u okvirima astronomije i znanosti o Zemlji: utemeljitelj je astronomske teorije klime na Zemlji, postavio je kanon osunčavanja Zemlje kroz tri ciklusa Zemljine rotacije i njenog kruženja oko Sunca, radovima na izračunu temperature na susjednim planetima utemeljitelj je kozmičke klimatologije i autor je teorije pomicanja polova Zemlje. Milankovićeva teorija klime i ledenih doba na Zemlji dobila je znanstvenu verifikaciju empirijskim istraživanjima dna oceana kada je dokazana ispravnost njegovog astronomskog modela klime i preciznost matematičkih izračuna stanja klime na Zemlji. Model utjecaja astronomskih faktora na klimu planeta u znanosti se naziva *Milankovićeve ciklusi*, a koristi se i u kozmičkim istraživanjima Sunčevog sistema.

Rad Milutina Milankovića je dobio veliki ugled u svjetskoj znanosti tako da se njegovo djelo svrstava u najznačajnije znanstvene doprinose XX. st. Međunarodna znanstvena i kulturna javnost nizom je manifestacija - od davanja naziva objektima u kozmosu i znanstvene nagrade po njegovom imenu preko jubilarnih znanstvenih skupova i drugih prigodnih akcija svjetskog formata do svrstavanja u skupinu 250 najvećih znanstvenika svijeta – odala priznanja znanstveniku svjetskoga glasa.

Iako je s nizom najvažnijih životnih situacija i radnih/znanstvenih događaja Milutin Milanković vezan za Hrvatsku ova analiza ukazuje na nedovoljnu pozornost hrvatskog kulturnog kruga djelu velikog znanstvenika. Može se zaključiti: (a) Vraćanje intelektualnog duga Milankoviću i njegovom djelu u našoj zemlji je skromno, i (b) ono je prepušteno europski orijentiranim pojedincima u hrvatskoj znanosti, kulturi i medijima i entuzijazmu manjinske srpske zajednice u Hrvatskoj. Pedeset godina nakon smrti Milutina Milankovića i njegovo djelo i dalje su i nemilosti provincijskog duha naših institucija.

Slika o Republici Hrvatskoj u međunarodnoj javnosti - znanstvenim, političkim, kulturnim i gospodarskim krugovima - bit će daleko bolja kada - najprije hrvatske elite i institucije, a onda i u šira javnost - budu cijenile osobe i njihova djela poput Milutina Milankovića te koristile kao povijesna i kulturna baština. To je svojevrsni lakmus naše otvorenosti i naših kriterija vrijednosti; tj. pokazujemo svijetu koliko uvažavamo prave vrijednosti.

No, važnije od naše slike u međunarodnoj znanstvenoj, političkoj, kulturnoj i privrednoj javnosti je sam sustav vrijednosti našega društva i poruka koja se (ne)odašilje mladima. A, bez te promjene u našem sustavu vrijednosti neće biti ni društvenog ni privrednog razvoja Hrvatske.-

### Literatura

1. Albert<sup>E</sup>, Osijek, Zbornik (2002.): *I. Međunarodni naučni skup Srbi u istočnoj Hrvatskoj*, ur. Ivanović, M.; Osijek, 7- 8. lipnja; Albert<sup>E</sup>, Osijek i SKD «Prosvjeta» Osijek
2. Berger, A.; Mesinger, F. (2000.): *Canon of Insolation*; Bulletin of the American Meteorological Society; 81, pp. 1615-1621.
3. Essekeri, portal (2012.): <http://essekeri.hr/>
4. European Geosciences Union (2012.): <http://www.egu.eu/awards-medals/>
5. Filipi-Matutinović, S. (1997.): *Bibliografija radova Milutina Milankovića*, u Milanković M. *Astronomska teorija klimatskih promena*, Zavod za udžbenike, Beograd (Izabrana dela, knj. 8), str. 533-600
6. Gerrit L. (2007.): *Milankovitch Theory of Ice Ages*; [www.awi.de/Climate/](http://www.awi.de/Climate/)
7. Google.scholar (2010.): <http://scholar.google.hr/scholar?hl=hr&q=Milankovitch>
8. Gribbin, J. (2004.): *The Scientists: A History of Science Told Through the Lives of Its Greatest Inventors*, Random House, Inc; New York, str. ...
9. Grubić A. (2006.): *The Astronomic Theory of Climatic Changes of Milutin Milankovich*; Episodes, Vol. 29, no. 3, pp 197-203
10. Hays, J. D.; Imbrie, John; Shackleton, N. J. (1976.): *Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages*; *Science*, Vol. 194, N° 4270, pp 1121-1132

11. Imbrie John, Imbrie Katherine Palmer, eds.: „Ice Ages - Solving the Mystery“; Short Hills NJ: Enslow Publishers. ISBN 978-0-89490-015-0.
12. International Astronomical Union (2012.): <http://www.iau.org/>
13. Ivanović, M. (2008.): *Tri eseja o znanosti*; Elektrotehnički fakultet Osijek, ISBN 978-953-6032-55-6
14. Ivanović, M. (2009.): *Millennium Scientific Paradigm and Climate Millennium Intervention*, 9<sup>th</sup> International Conference VIPSI, Beograd, 2-4. April, Elektrotehnički fakultet Beograd; Proceedings, pp 16.1.-16.6
15. Ivanović, M. (2012.): Milutin Milanković (1879 – 1958) One of the most Significant Scientists of 20th Century; 1<sup>st</sup> International Scientific Symposium „Economy of Eastern Croatia“, Proceedings, EFOS, Osijek, 2012, pp 326-337
16. Knežević, Z. (2010.): *Milutin Milankovic and the Astronomical Theory of Climate Changes*, Europhysics News 41, No 3, pp 17-20
17. Kulturno znanstveni centar Milutin Milanković – Dalj (<http://www.milutin-milankovic.com/>)
18. Laskar, J. et al (1993.): *Orbital, Precessional, and Insolation Quantities for the Earth from -20 Myr to +10 Myr*, Astronomy and Astrophysics, 270, 522-533
19. Mesinger, Fedor (1989.): Milutin Milanković i prognoza vremena i klime, Anali 7; Zavod za znanstveni rad u Osijeku
20. Milankovitch, M. (1920.): *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire*; Gauthier-Villars Paris
21. Milanković, M. (1923.): Reforma Julijanskog kalendara, Srpska kraljevska akademija nauka i umetnosti, Beograd (<http://digital.nb.rs/document/II-016015-047>)
22. Milankovitch, M. (1924.): Das Ende des julianischen Kalenders und der neue Kalender der orientalischen Kirchen, Astronomische Nachrichten 220/5279, 379–384 (<http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1924AN....220..379M/0000205.000.html>)
23. Milankovitch, M. (1930.): *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, Handbuch der Klimalogie Band 1. Borntrager Berlin
24. Milankovitch, M. (1941.): *Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. SANU, Belgrade
25. Milanković, M. (1997.): *Kanon osunčavanja Zemlje i njegova primena na problem ledenih doba*, I i II; Zavod za udžbenike, Beograd,
26. Milanković, M. (2008.): *Astronomska teorija klimatskih promjena i njena primjena u geofizici*, Prosvjeta, Zagreb (prvo izdanje Beogradski univerzitet, 1948.)
27. National Research Council (1982.); p.7. (<http://earthobservatory.nasa.gov/features/> )
28. NASA (2012.): ([http://saturn.jpl.nasa.gov/files/20101130\\_CHARMAharonson.pdf](http://saturn.jpl.nasa.gov/files/20101130_CHARMAharonson.pdf))
29. Pantić, K. Nikola (1989.): Milankovićeve klimatski ciklusi u savremenoj svetskoj nauci, Anali 7, Zavod za znanstveni rad u Osijeku
30. Pantić, K. Nikola (2002.): *Akademik Milutin Milanković (1879.-1958.) - velikan svetske nauke*, u Zborniku 'Srbi u istočnoj Hrvatskoj'; SKD Prosvjeta Osijek, str. 11-22
31. Rial J.A. (1999.): *Pacemaking the ice ages by frequency modulation of Earth's orbital eccentricity*, Science, vol. 285, p. 564-570
32. Singh, S.; Greenfield, S. (2003.): *The Science Book*, Weidenfeld, London
33. Univerzitetska biblioteka Beograd (2010.): *Citiranost radova Milutina Milankovića prema Science Citation Index-u i Web of Science 1945.-2009.*
34. Portal Osijek (2010.): [www.osijek031.com](http://www.osijek031.com)
35. Šegota, Tomislav (1989.): Akademik Milutin Milanković i Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Anali, 7, Zavod za znanstveni rad u Osijeku
36. Zbornik radova (2003.): Međunarodni simpozij *Stvaralaštvo Milutina Milankovića*, Dalj, 23.-24.5.; SANU, SKD Prosvjeta, Zagreb i Općina Erdut
37. New Dictionary of Scientific Biography (2008.), Volume 5, pp 132 – 135; Noretta Koertge (ed) Thomson\_Gale; ISBN 978-0-684-31320-7