

Utjecaj relativnog Wolfvogog broja na temperaturne promjene na Zemlji

Marković, Daniel

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:194:434785>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Physics - PHYRI Repository](#)





SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZA FIZIKU
PREDDIPLOMSKI STUDIJ FIZIKA

Daniel Marković

**UTJECAJ RELATIVNOG WOLFOVOG BROJA NA
TEMPERATURNE PROMJENE NA ZEMLJI**

Završna radnja

Mentor: doc. dr. sc. Ivana Poljančić Beljan

Komentor: dr. sc. Marija Čargonja

Rijeka, 2022.

Sadržaj

1. Uvod.....	4
2. Naša zvijezda Sunce	5
2.1. Problem mladog Sunca	11
2.2. Budućnost solarne aktivnosti.....	11
3. Utvrđivanje korelacije relativnog Wolfvog broja i temperaturnih promjena na Zemlji	13
4. Diskusija rezultata	16
5. Zaključak.....	20
6. Literatura.....	21

Sažetak

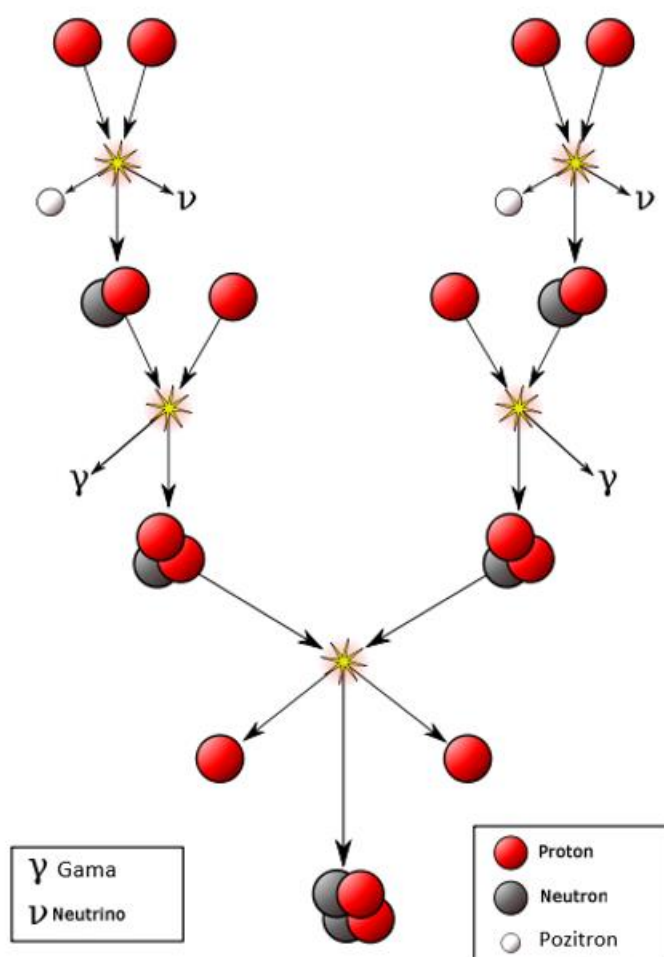
Sunčeva aktivnost, koja se manifestira u pojavama kao što su Sunčeve pjege, koronarni izbačaji mase ili Sunčevi bljeskovi, može imati veliki utjecaj na Zemlju te čak uzrokovati klimatske promjene. Najranije poznati oblik Sunčeve aktivnosti su pjege koje je Gallileo Galilej opažao prije 500 godina. Pjege su mjesta u fotosferi Sunca gdje na površinu izbija tok magnetskog polja. U pjegama je temperatura niža od okolne fotosfere, te su zato one tamnije i zato se veće pjege mogu vidjeti golim okom za vrijeme zalaska Sunca. Švicarski astronom Wolf je sredinom 19. stoljeća uveo formulu za relativan broj pjega koja glasi: $R = k(10g + f)$, gdje je k konstanta koja ovisi o instrumentu i načinu opažanja, g je broj grupa pjega, a f je broj pojedinačnih pjega. Promjena relativnog Wolfvog broja je periodična s periodom između 9 i 11 godina. U ovom radu cilj je pobliže proučiti povezanost između vrijednosti relativnog Wolfvog broja i prosječnih godišnjih temperatura na Zemlji uspoređivanjem podataka za relativan Wolfvog broj i prosječne godišnje vrijednosti temperature zraka unazad par stotina godina, koji su preuzeti s internetskih baza podataka te vidjeti postoji li povezanost između te dvije vrijednosti. Za obradu velike količine podataka korišten je programski jezik *Python*, te su na grafu prikazani ti podatci. Uz to, cilj je bio dobivene rezultate usporediti s prijašnjim radovima koji su proučavali povezanost Sunčeve aktivnosti i klime na Zemlji. Iako je utjecaj Sunčevog zračenja mali, moguće ga je povezati s malim ledenim dobom u Europi u drugoj polovici 17. stoljeća.

1. Uvod

U ovome radu se provjeravalo postoji li ovisnost između relativnog Wolfvog broja i prosječne godišnje temperature na Zemlji. Korišteni su podatci od sredine 19. stoljeća kako bi se grafički prikazala ovisnost dva navedena parametra. U prvom poglavlju objašnjen je proces nastanka energije u Suncu te način na koji ta energija dolazi do Zemlje. Također je objašnjena aktivnost Sunca te pokazatelji te aktivnosti na Suncu te je opisana kvantitativna vrijednost Sunčeve aktivnosti u obliku relativnog Wolfvog broja. Uz to je objašnjen problem mladog Sunca te njegovo najvjerojatnije rješenje, te je dan osvrt na budućnost aktivnosti Sunca. U sljedećem su poglavlju navedeni izvori korištenih podataka te je navedena metoda prikazivanja podataka na grafu. U poglavlju diskusija rezultata uspoređeni su dobiveni rezultati sa postojećima iz Velike Britanije te je pobliže opisano nekoliko minimuma Sunčeve aktivnosti.

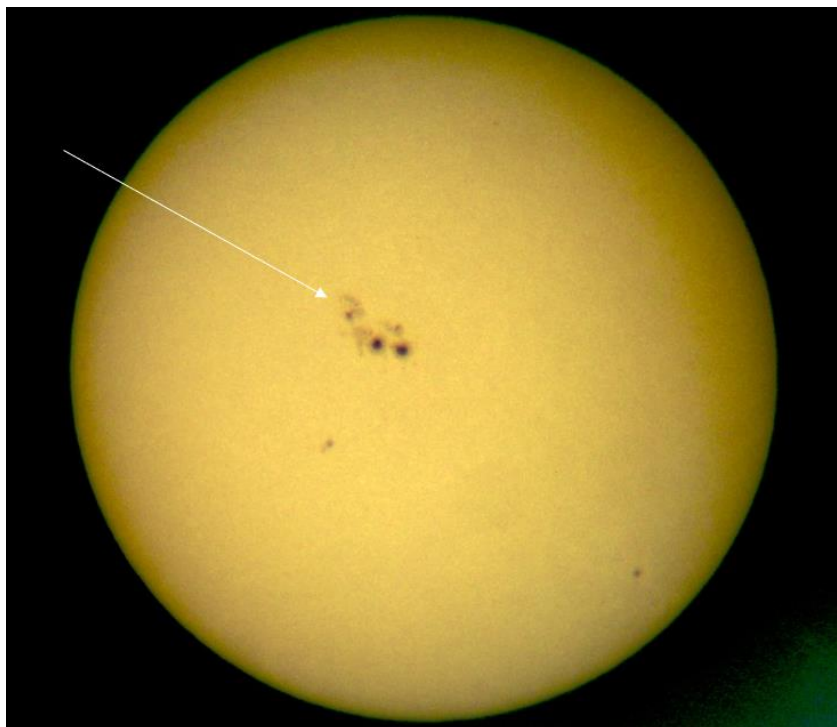
2. Naša zvijezda Sunce

Sunce je glavni izvor energije na Zemlji te se kao i ostale zvijezde u svemiru kroz vrijeme mijenja. Sunce energiju stvara procesom fuzije kojom se protoni (jezgre atoma vodika) spajaju u atom helija koji sadrži 2 protona. Kako bi nastao atom helija potrebna su 4 protona. Prvo se 2 protona spoje, te u nekim situacijama jedan od protona postane neutron radi djelovanja slabe nuklearne sile. Rezultat tog procesa su pozitron, neutrino i deuterij, što je naziv za par protona i neutrona. Kada se treći proton sudari sa nastalim deuterijem, kao rezultat nastaje jezgra helija-3 i gama zračenje. Naposljetku, kada se dvije jezgre helija-3 sudare kao rezultat nastaje atom helija te dva protona. Shema procesa prikazana je na slici 1. Taj proces se odvija u jezgri Sunca, te se ta energija zrači kroz slojeve Sunca te naposljetku kroz naš Sunčev sustav.



Slika 1 Proton-proton fuzija

U raznim stadijima Sunčeve evolucije je ono emitiralo različite količine energije. Energija koju na Zemlji primamo sa Sunca dolazi iz njene fotosfere, tj. vanjskog sloja Sunca čija je temperatura oko 6000K. Najvidljivije značajke fotosfere koje se primjećuju sa Zemlje su Sunčeve pjege. Sunce rotira različitom brzinom na polovima i na ekvatoru. Ekvator ima period rotacije od 25 dana dok mjesta blizu polova imaju period rotacije od 38 dana. Takva se rotacija naziva diferencijalnom rotacijom. Početno bipolarno polje, koje imamo tijekom minimuma aktivnosti Sunca, se transformira u poloidalno polje. Silnice tog polja u nekom trenutku probiju fotosferu Sunca te tako nastaju Sunčeve pjege. Zbog poremećaja magnetskog polja Sunčeve pjege su manje temperature nego ostatak fotosfere, temperatura im je oko 4300K, te emitiraju tek četvrtinu energije od ostatka fotosfere. One mogu biti veličine od nekoliko stotina kilometara u promjeru do nekoliko desetaka tisuća kilometara. Kako se Sunce mijenja u vremenu, tako i Sunčeve pjege nisu konstantne, te mogu trajati između nekoliko dana i nekoliko mjeseci. Sunčeve pjege ne nastaju na Sunčevom ekvatoru, već se prema njemu s vremenom pomiču.

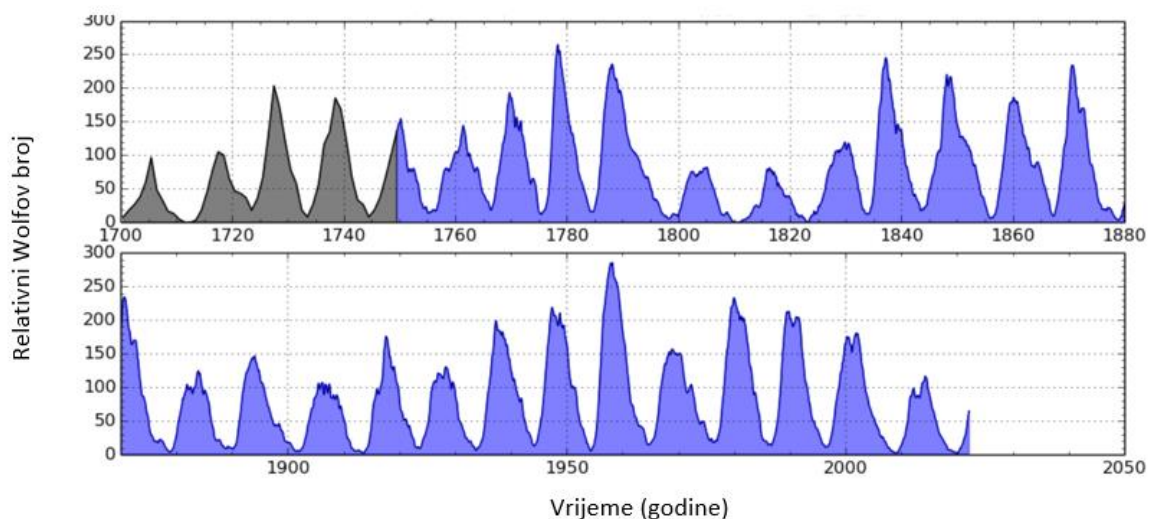


Slika 2-Sunčeve pjege

Budući da su Sunčeve pjega jasno vidljive sa Zemlje, ljudi su kroz povijest bilježili njihov broj, te postoje zapisi o broju pjega još od početka 18. stoljeća. Jedan od znanstvenika koji je opažao Sunčeve pjega i njihovo gibanje te računao brzinu rotacije Sunca bio je Josip Ruđer Bošković. Sredinom 19. stoljeća je švicarski astronom Rudolf Wolf definirao kvantitativni opis broja i položaja Sunčevih pjega, koji je kasnije nazvan Wolfov broj. Relacija za relativni Wolfov broj glasi :

$$R = k(10g + f)$$

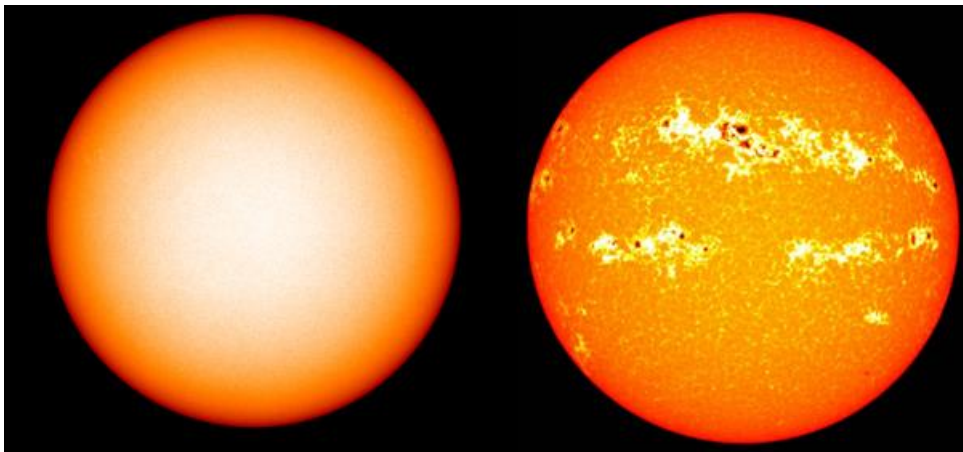
gdje je k konstanta koja ovisi o instrumentu i načinu opažanja, g je broj grupa pjega, a f je broj pojedinačnih pjega. Kasnije se pokazalo da je relativni Wolfov broj proporcionalan ukupnoj površini Sunčevih pjega. Od uvođenja relativnog Wolfovog broja sredinom 19. stoljeća kažemo da su brojevi pjega pouzdani.



Slika 3 Vrijednost relativnog Wolfovog broja od 1700.. godine do danas

Sa slike 3. možemo vidjeti da se relativni Wolfov broj mijenja kroz vrijeme s periodom od 11 godina. Vrijeme minimalnog broja Sunčevih pjega nazivamo solarni minimum, a vrijeme maksimalnog broja Sunčevih pjega nazivamo solarni maksimum, te se razlika u izgledu Sunca za vrijeme niske i visoke aktivnosti može vidjeti na slici 4. Taj ciklus od 11 godina se naziva Schwabeov ciklus. Uz navedeni ciklus od 11 godina možemo i promatrati amplitudu relativnog Wolfovog broja te tu možemo zamjetiti da se i amplituda solarnog maksimuma periodički mijenja sa periodom od oko 87 godina. Taj se ciklus naziva Gleissbergov ciklus. Budući da

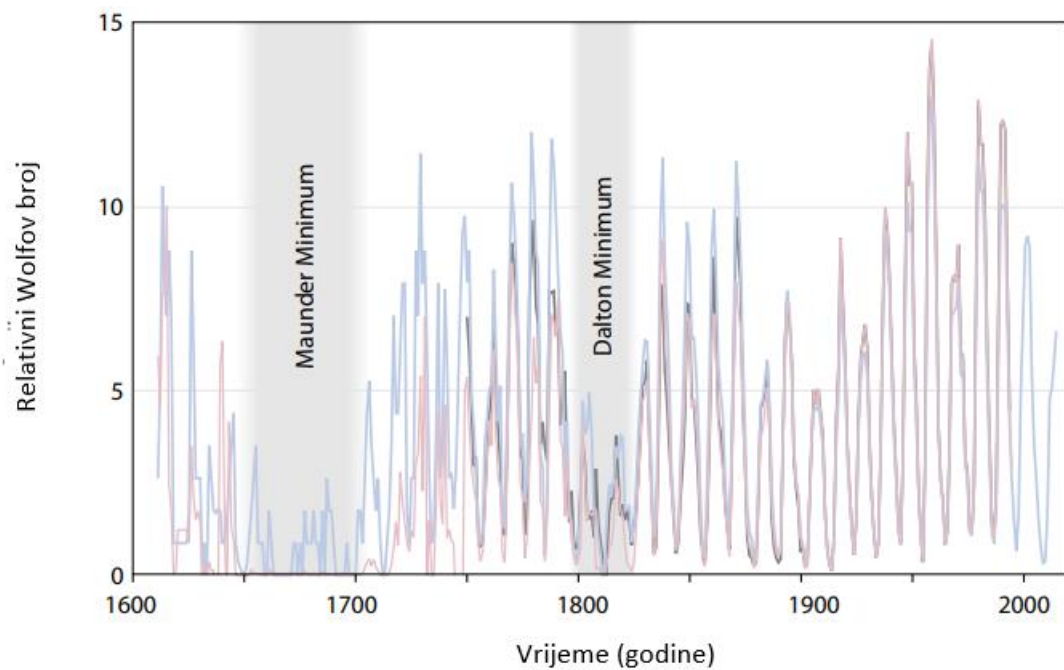
bilježenja broja Sunčevih pjega počinju tek od ranog 18. stoljeća, iz tih podataka možemo znati razinu Sunčeve aktivnosti unazad samo 250 godina, što su samo 3 Gleissbergova ciklusa, no pomoću radioaktivnih izotopa berilija i ugljika zna se da uz ta dva ciklusa postoje i duži kao što su Suessov ciklus od 208 godina, te Hallstattov ciklus koji traje 2300 godina. Pomoću tih podataka zna se da je broj Sunčevih pjega u drugoj polovici 17. stoljeća bio iznimno mali te taj period zovemo Maunderov minimum. Povijesno gledano vrijeme Maunderovog minimuma se poklapa s razdobljem malog ledenog doba u Europi [8]. Uz Maunderov minimum, na slici 5. također je vidljiv i Daltonov minimum početkom 19. stoljeća. Na slici 6. možemo vidjeti kako je broj Sunčevih pjega za vrijeme Maunderovog minimuma između 1645. i 1700. godine bio iznimno mali, za većinu godina je taj broj bio nula. Nakon 1715. godine je broj Sunčevih pjega naglo porastao s nule na između 50 i 100 te se tada zabilježio porast temperature u Europi.



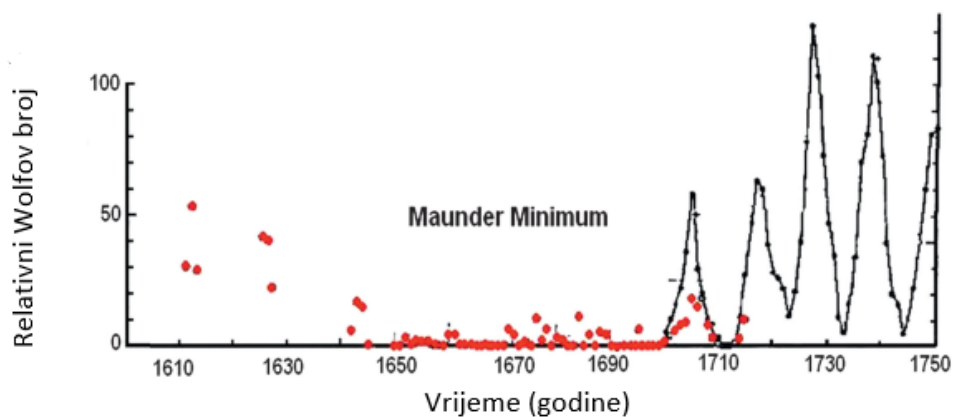
Slika 4 Sunce za vrijeme niske (lijevo) i visoke (desno) aktivnosti

Klimatski događaji kroz povijest kao što su ledena doba i topliji vremenski periodi koreliraju s periodima solarne aktivnosti ili s varijacijama u količini ukupnoga Sunčevog zračenja. Ukupna količina Sunčevog zračenja definira se kao količina Sunčeve energije po jedinici površine na udaljenosti od jedne astronomske jedinice. Astronomska jedinica je udaljenost između Zemlje i Sunca te iznosi $1\text{AU}=149,5\cdot 10^6$ km. Pokazano je na primjeru zagrijavanja oceana da ukupna količina Sunčevog zračenja koja bi mogla objasniti promjenu temperature u oceanima je za red veličine veća od stvarne varijacije ukupnog Sunčevog zračenja. Varijacija u količina Sunčevog zračenja koja bi mogla objasniti takve promjene temperature iznosi 1 W/m^2 , a

izmjerena varijacija Sunčevog zračenja na vrhu atmosfere iznosi $0,1 \text{ W/m}^2$ [2], te odatle možemo zaključiti da većinsku ulogu u promjeni klime na Zemlji ima Sunčeva aktivnost [7].

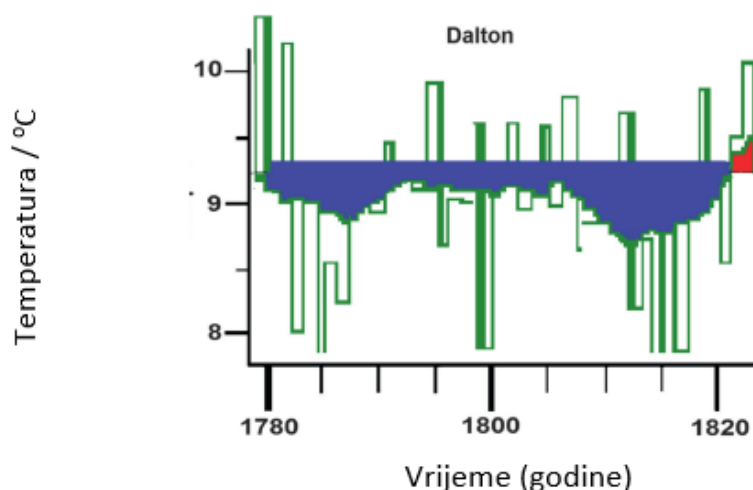


Slika 5 Relativni Wolfov broj i minimumi solarne aktivnosti



Slika 6 Relativni Wolfov broj za vrijeme Maunderovog minimuma

Jedan od najznačajnijih minimuma Sunčeve aktivnosti bio je Daltonov minimum, čiji utjecaj možemo vidjeti na slici 7. gdje plavo označeno na grafu predstavlja ispodprosječne temperature za područje Velike Britanije [3].



Slika 7 Daltonov minimum

Kroz povijest je zabilježeno nekoliko perioda Sunčevih ekstrema (tablica 1) koji se mogu povezati s malim ledenim dobima ili s vremenima visokih temperatura. Za vrijeme Wolfvog minimuma povijesni spisi Jeana Desnouellesa govore da su tada bile velike hladnoće te da se tada zaledila rijeka Temza koja protječe Londonom. Također govori o velikoj gladi koja je tada harala dijelom Europe radi ispodprosječnog uroda usjeva [3].

Događaj	Početak	Kraj
Srednjovjekovni maksimum	1100	1250
Wolfvog minimum	1280	1350
Spörerov minimum	1460	1550
Maunderov minimum	1645	1715
Daltonov minimum	1790	1820
1880-1915 minimum	1880	1915
1945-1977 minimum	1945	1977

Tablica 1 Ekstremi solarne aktivnosti

Ukoliko se gleda temperaturna promjena na Zemlji uzrokovana promjenom relativnog Wolfvog broja, ona će za vrijeme jednog Schwabeovog perioda od 11 godina biti reda veličine 0,1 K, no za Gleissbergov ciklus od 87 godina možemo očekivati zamjetne temperaturne promjene, do nekoliko kelvina.

2.1. Problem mladog Sunca

Teorija zvjezdane evolucije kaže da se luminozitet Sunca od svog nastanka do danas povećao oko 30%. To povećanje prati povećanje koncentracije atoma helija u Suncu nastalog fuzijom atoma vodika. Geološki dokazi od prije 3,8 milijarda godina nam ukazuju da je u to vrijeme na Zemlji bila prisutna voda, no prvi dokazi koji ukazuju na postojanje ledenjaka datiraju prije 2,7 milijardi godina. Manji luminozitet Sunca i uvjeti na Zemlji za postojanje vode u tekućem obliku su međusobno kontradiktorni, te se taj problem naziva „*Faint young sun problem*“ [6], odnosno problem slabog sjaja mladog Sunca. Najvjerojatnije objašnjenje tog paradoksa je da je u ranoj Zemljinoj povijesti razina ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova bila puno veća te je zato tada Zemlja bila toplija.

2.2. Budućnost solarne aktivnosti

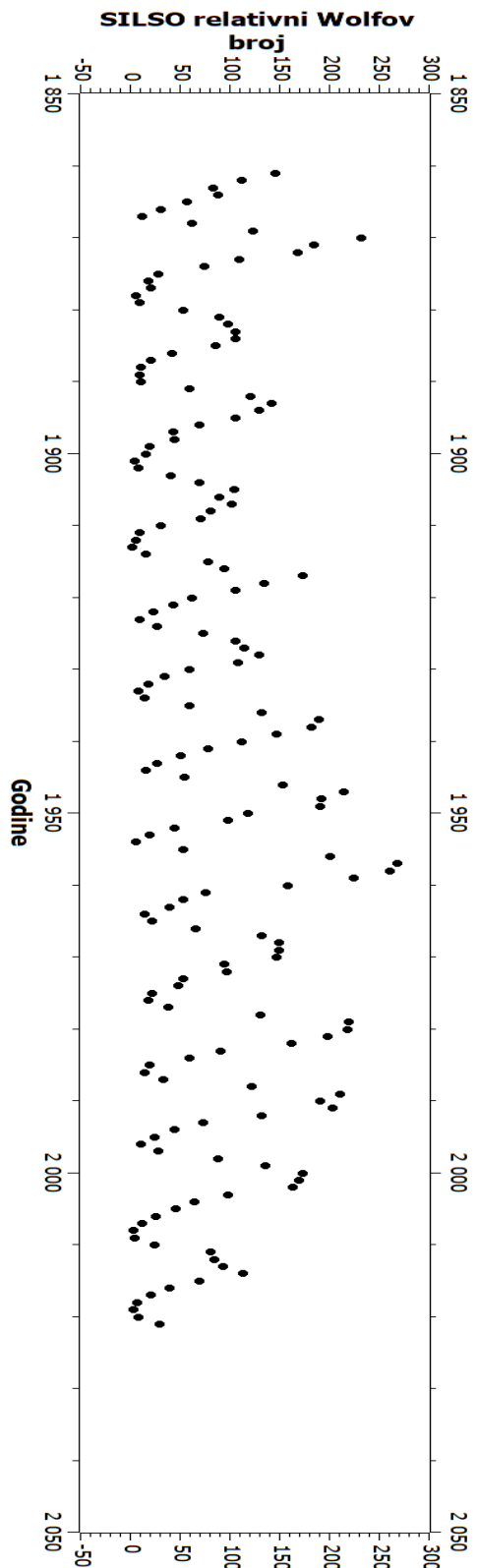
Trenutno se nalazimo u 25. ciklusu Sunčeve aktivnosti te se možemo zapitati kako će izgledati ovaj i sljedeći ciklusi. Prošli, 24. ciklus je imao svoj maksimum 2014. godine kada je relativni Wolfov broj iznosio 113,3, te se od tada smanjuje prateći Schwabeov ciklus od 11 godina. Ako se usporede 24. i 23. ciklus solarne aktivnosti vidi se da je maksimum ciklusa 24. manji od maksimuma 23. ciklusa. Razlika u relativnom Wolfovom broju ta dva maksimuma iznosi 57. Ukoliko se smanjenje broja Sunčevih pjega nastavi, može se za ovaj i za naredne cikluse očekivati slično ponašanje kao i za vrijeme Maunderovog minimuma [1]. Također rast amplituda Sunčeve aktivnosti koji je prethodio Daltonovom minimumu ima iste karakteristike kao i povećane amplitude Sunčeve aktivnosti od kraja 19. stoljeća do kraja 20. stoljeća.

Ukoliko se nastavi period niske aktivnosti Sunca, predviđa se pad prosječne temperature Zemlje za 1,4°C do kraja 25. ciklusa

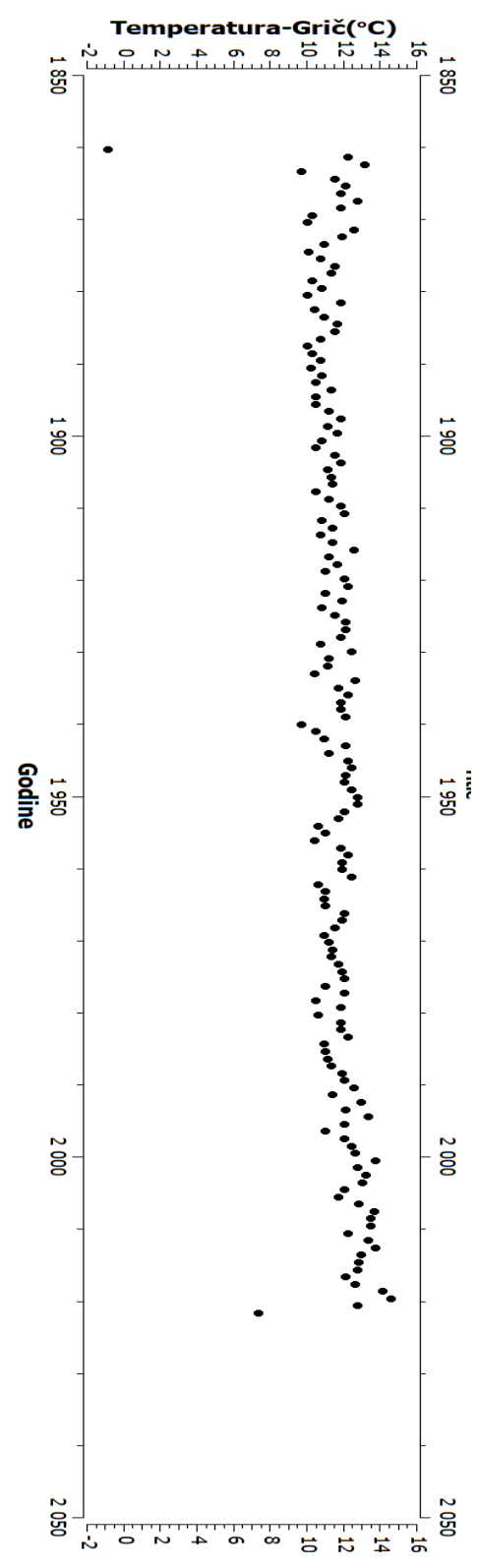
3. Utvrđivanje korelacije relativnog Wolfvog broja i temperaturnih promjena na Zemlji

Cilj ovog rada je grafički prikazati utjecaj relativnog Wolfvog broja na temperaturu na površini Zemlje. Razmatra se temperatura u Zagrebu na mjernoj postaji Grič. Za meteorološku postaju Grič podatci za dnevnu temperaturu postoje od 1861. godine te se uzimaju podatci za relativni Wolfvog broj od iste te godine. U online bazi podataka *Solar Influences Data Analysis Center (SIDC)*¹ [9] postoje prosječne godišnje vrijednosti relativnog Wolfvog broja. Pošto su na stranicama *European Climate Assessment and Dataset* [4] temperaturne vrijednosti za meteorološku postaju Grič bile dnevne vrijednosti, pomoću softvera *Python* su izračunate godišnje vrijednosti temperatura kako bi se mogle usporediti sa godišnjim vrijednostima relativnog Wolfvog broja. Nakon što su uzete godišnje vrijednosti temperatura i relativnog Wolfvog broja, grafički su prikazani podatci. Na slici 8. je prikazan relativni Wolfvog broj od 1861. godine do 2022. godine.

¹ WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels.

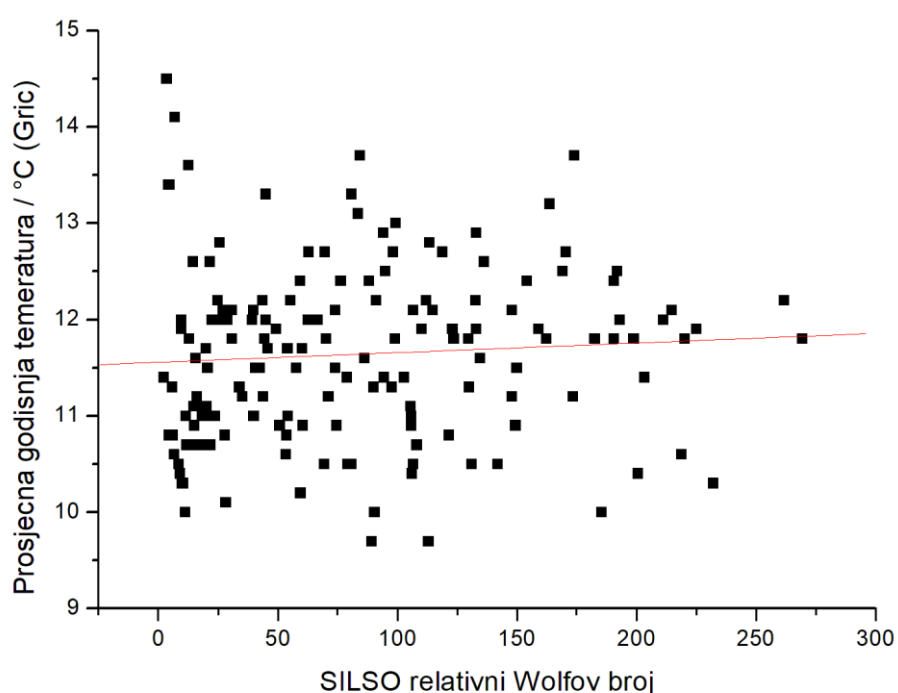


Slika 8 Relativni Wolfov broj kroz godine



Slika 9 Prosječna godišnja temperatura za Zagreb (Grič)

Na slici 9. su prikazane prosječne godišnje temperature za meteorološku postavu Grič. Prva točka odstupa od ostalih vrijednosti zato jer mjerenja za 1861. godinu ne obuhvaćaju cijelu kalendarsku godinu nego samo zadnjih nekoliko mjeseci te zadnja točka odstupa iz istog razloga. Te dvije točke su odbačene iz daljnje analize. S ovim podacima može se na jednome grafu prikazati ovisnost prosječne godišnje temperature i relativnog Wolfvog broja što je prikazano na slici 10.

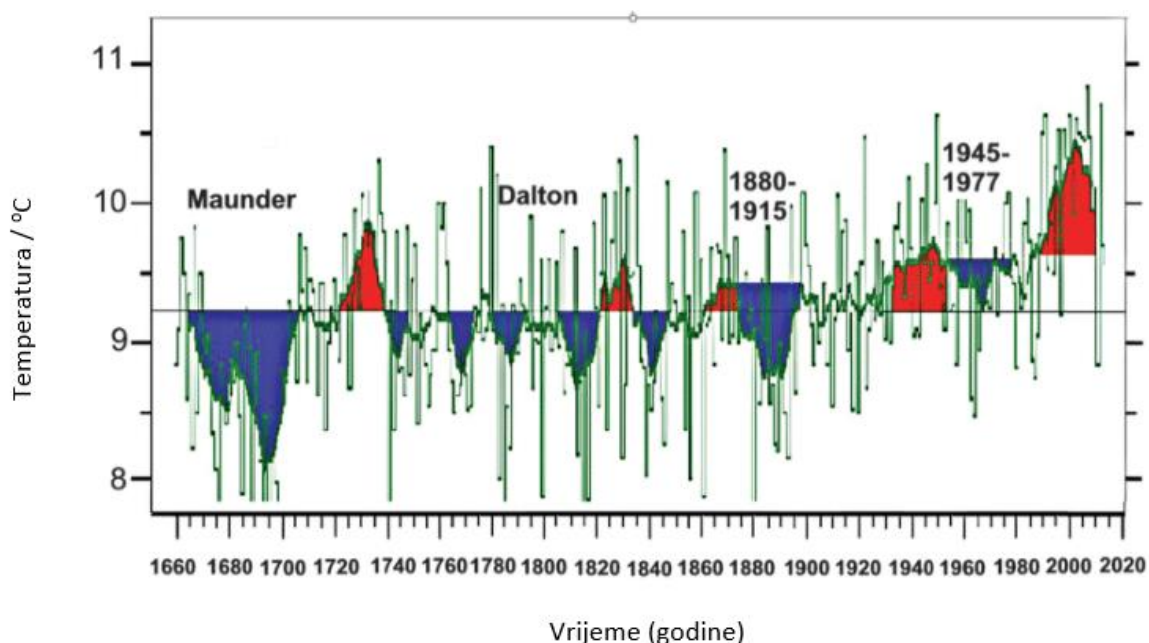


Slika 10 Ovisnost prosječne godišnje temperature o relativnom Wolfvom broju

Sa slike 10. možemo zaključiti nekoliko stvari. Crvena linija predstavlja linearnu prilagodbu ovisnosti relativnog Wolfvog broja i prosječne godišnje temperature. Koeficijent smjera tog pravca iznosi $0,001 \pm 0,001$. Iz tog koeficijenta smjera možemo zaključiti da je korelacija pozitivna, no nije statistički značajna. To se također može primjetiti iz koeficijenta korelacije koji iznosi $R = 0,075$.

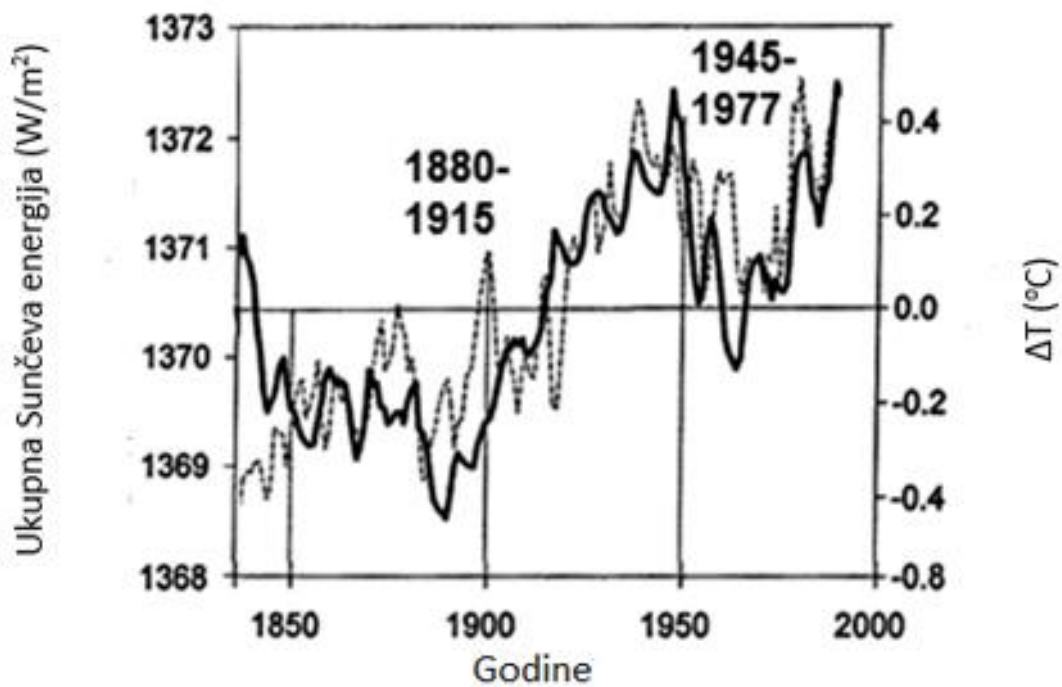
4. Diskusija rezultata

U glavnom djelu rada dobiven je rezultat koji ukazuje na postojanje korelacije, no ona nije statistički značajna. Postoji nekoliko razloga zbog čega je koeficijent korelacije zanemariv. Jedan od razloga je vrlo mala promjena prosječne godišnje temperature od oko 1-2K te se iz tako malih promjena ne može dobiti značajna korelacija. Jedan od mogućih razloga niske korelacije su specifična lokacija dok je drugi mogući razlog taj da na temperaturne promjene na Zemlji od polovice 18. stoljeća, od početka industrijske revolucije, više utječe efekt staklenika nego promjene u aktivnosti Sunca. Efekt staklenika je proces kojim se dio topline koji Zemlja primi od Sunca zarobi u Zemljinoj atmosferi te se ne vrati u svemir. Plinovi poput metana i ugljičnog dioksida naprave barijeru u Zemljinoj atmosferi kroz koju zračenje ne može proći natrag u svemir. Rezultati dobiveni u ovome radu mogu se usporediti s mjerenjima iz Velike Britanije [3] (slika 11.)



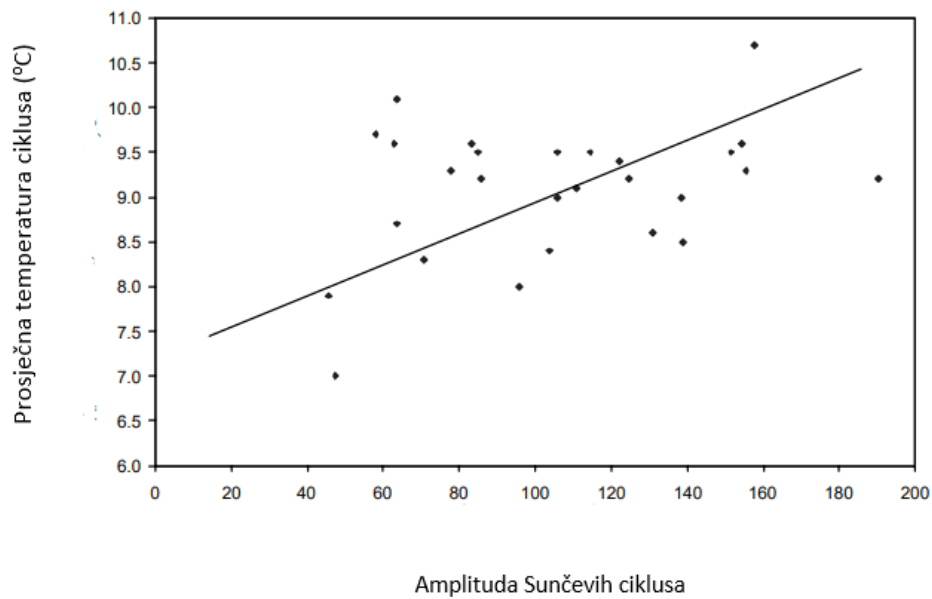
Slika 11 Godišnje temperature za Veliku Britaniju kroz godine [3] gdje plava boja predstavlja period ispodprosječne temperature, a crvena predstavlja period iznadprosječne temperature

Na slici 11. su plavom bojom označeni periodi ispodprosječne temperature, a crvenom su označeni periodi iznadprosječne temperature. Na slici 11 horizontalna linija predstavlja prosječnu godišnju planetarnu temperaturu izmjerenu u Velikoj Britaniji. Iz slike 11 je vidljivo kako se periodi niske temperature podudaraju s periodima niske solarne aktivnosti te se analogno periodi iznadprosječne temperature podudaraju sa periodima visoke Sunčeve aktivnosti. Zadnji period niske Sunčeve aktivnosti trajao je od 1945. godine do 1977. godine što se podudara s padom prosječne temperature na Zemlji te sa smanjenjem ukupnog Sunčevog zračenja (slika 12 za koju su mjerenja iz Velike Britanije). Na slici je punom crtom označena ukupna Sunčeva energija, a isprekidanom je crtom označena promjena prosječne godišnje temperature.



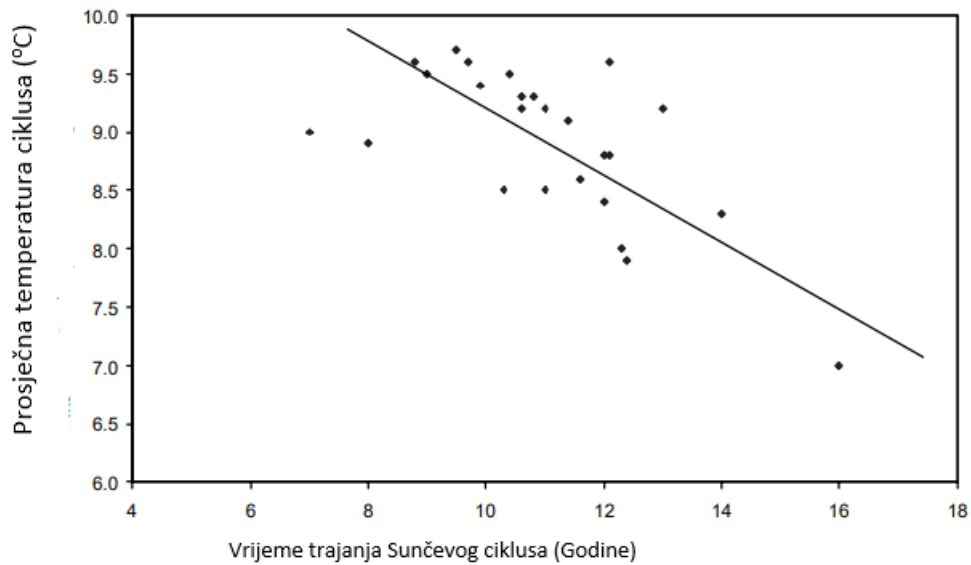
Slika 12 Ukupna Sunčeva energija i promjena temperature kroz godine [3]

D. C. Archibald je u svome radu [1] pokazao ovisnost amplitude Sunčevih ciklusa i prosječne temperature usrednjene po Sunčevom ciklusu, te se ti podatci mogu vidjeti na slici 13. Podatci za temperaturu su mjereni u Nizozemskoj.



Slika 13 Ovisnost amplituda solarnih ciklusa i temperature [1]

Sa slike 13. možemo vidjeti da je prosječna temperatura usrednjena po jednom ciklusu Sunčeve aktivnosti na Zemlji ovisna o amplitudi ciklusa Sunčeve aktivnosti. Amplituda ciklusa je najveća vrijednost relativnog Wolfvog broja tijekom 11-godišnjeg ciklusa. U istom radu [1] je pokazano da i vrijeme trajanja Sunčevog ciklusa također utječe na prosječnu temperaturu Zemlje usrednjene po jednom ciklusu. Pokazano je da solarni ciklusi koji duže traju rezultiraju nižom prosječnom temperaturom kao što je vidljivo na slici 14.



Slika 14 Ovisnost dužine trajanja Sunčevog ciklusa i temperature [1]

Možemo zaključiti da Sunčeva aktivnost utječe na promjenu temperature na Zemlji iako u našem slučaju korelacija nije statistički značajna. Drugi radovi koji su proučavali sličnu temu pokazali su da korelacija postoji. Podatci za temperaturu koji su ovdje korišteni su podatci sa meteorološke postaje Grič u Zagrebu, dok su drugi radovi imali podatke za prosječne temperature Zemlje. Uz razliku u geografskom položaju gradova odakle su uzeti podatci o temperaturi, razlog manje korelacije može biti i mogući veći utjecaj stakleničkih plinova.

5. Zaključak

U ovom je radu objašnjen proces nastajanja energije u Suncu te pojam aktivnosti Sunca. Budući da je Sunce glavni izvor energije na Zemlji, za očekivati je da će temperaturne promjene biti uzrokovane promjenama u aktivnosti Sunca. U glavnom djelu rada je stoga prikazana ovisnost relativnog Wolfvog broja i promjena prosječnih godišnjih temperatura na meteorološkoj postaji Grič te se dobila pozitivna, ali ne i statistički značajna korelacija. Moguće je da bi koeficijent korelacije bio veći da se promatrala druga geografska lokacija za mjerenje temperature, ili više lokacija iste ili slične geografske širine. Rezultati ovog rada su uspoređeni sa prijašnjim radovima na tu ili na sličnu temu te ti radovi ukazuju na povezanost aktivnosti Sunca i prosječne temperature na Zemlji.

6. Literatura

- [1] Archibald D.C., Solar Cycles 24 and 25 and Predicted Climate Response, Essex, 2006.
- [2] Čalogovič J., Utjecaj Sunčeve aktivnosti na Zemljin svemirski okoliš i klimu, doktorski rad, Zagreb, 2014
- [3] Easterbrook, D.J., Evidence-Based Climate Science, Bellingham, 2016.
- [4] Baza podataka temperature: European Climate Assessment and Dataset, <https://www.ecad.eu/dailydata/predefinedseries.php#>
- [5] Friis-Christensen, E. and K. Lassen 1991, Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate, Science, 254, 698–700
- [6] Hatmann L. Dennis, Global Physical Climatology, Academic Press, Washington, 1994
- [7] Rind D., The Sun`s Role in Climate Variations, Science`s Compass, 2002.
- [8] Solanki K. S., Krivova N. A., Haigh J. D., Solar Irradiance Variability and Climate, 2013.
- [9] Baza podataka za broj Sunčevih pjega: Sunspot Indeks and Long-term Solar Observations, WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels <http://www.sidc.be/silso/yearlyssnplot>
- [10] Svensmark H., Force Majeure The Sun`s Role in Climate Change, The Global Warming Policy Foundation, 2019.