

STAKLENIČKA ZEMLJA I LEDENA ZEMLJA

STRUČNI ČLANAK

DAMIR BUCKOVIĆ I MARKO JURIĆ

Od početka Zemljinog eona Proterozoika, od prije 2,5 milijardi godina pa sve do danas, klimatski uvjeti na Zemlji variraju između dva osnovna klimatska razdoblja - razdoblja Stakleničke Zemlje (eng. *Greenhouse*) i razdoblja Ledene Zemlje (eng. *Icehouse*). Oko 70 % tog vremena Zemlja je provela kao Staklenička Zemlja, a preostalo vrijeme je bila Ledena Zemlja.

Ključne riječi: Zemlja, paleoklima, geološka razdoblja

Uvod

Od početka Zemljinog eona proterozoika, od prije 2,5 milijardi godina pa sve do danas, klimatski uvjeti na Zemlji variraju između dva osnovna klimatska razdoblja - razdoblja Stakleničke Zemlje (eng. *Greenhouse*) i razdoblja Ledene Zemlje (eng. *Icehouse*) (URL 1). Oko 70 % tog vremena Zemlja je provela kao Staklenička Zemlja, a preostalo vrijeme je bila Ledena Zemlja.

Staklenička Zemlja

Staklenička Zemlja karakterizirana je visokim koncentracijama atmosferskih stakleničkih plinova; ugljičnog dioksida, vodene pare i metana, a time posljedično i visokim temperaturama kako na njenoj površini tako i u njenoj atmosferi. Atmosferski staklenički plinovi uzrokuju efekt staklenika (eng. *greenhouse effect*), tj. Zemljina površina i donji dio njene atmosfere zagrijavaju se na način da se dio Sunčeve energije dospjele do površine Zemlje re-emitira nazad prema atmosferi u obliku dugovalnog toplinskog zračenja. Manji dio tog

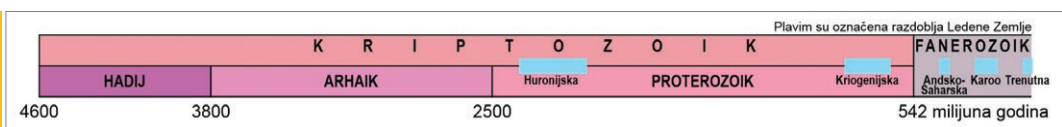
toplinskog zračenja se emitira dalje u svemir, dok se njegov veći dio apsorbira u molekula prisutnih stakleničkih plinova. Ta apsorbirana energija se zatim reflektira nazad prema Zemlji uzrokujući njezino zagrijavanje. Bez postojanja efekta staklenika prosječna temperatura na Zemlji bila bi oko $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (URL 2). U Zemljinoj prošlosti koncentracija stakleničkog plina ugljičnog dioksida imala je maksimalnu vrijednost za vrijeme perioda Kambrija i Silura te je iznosila oko 4000 ppm, dok je za vrijeme perioda Devona i Trijasa, dostizala vrijednosti do oko 2000 ppm (URL 3). S druge strane pak, tijekom razdoblja Ledene Zemlje te su koncentracije bile i do desetak puta manje. Velika koncentracija stakleničkih plinova uzrokuje visoke temperature na Zemlji zbog čega kontinentalni ledeni pokrovi, a i polarne ledene kape na njoj u potpunosti izostaju. Temperature mora i oceana variraju od prosječnih $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ u tropskom pojasu, pa do oko $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Zemljinim polovima. Na Stakleničkoj Zemlji redovito dolazi do izrazite evolucije i povećanja broja biljnih i životinjskih jedinki.

Postoje različite teorije o tome kako nastaju razdoblja Stakleničke Zemlje, no najizglednije su one koje upućuju na istovremenost kontinentalnih riftovanja i postajanja razdoblja Stakleničke Zemlje. Naime, pucanjem kontinentalnih ploča procesima tzv. riftovanja tijekom Zemljine prošlosti, dolazi do oslobađanja velike količine stakleničkih plinova. Kontinentalne ploče "skladišta" su ogromne količine ugljičnog dioksida koji se nalazi vezan u istaloženim (i

metamorfiziranim) karbonatima poput vapnenca i mramora. Oko 44 % težine istaloženih karbonata u stvari čini ugljični dioksid dugotrajno "zarobljen" unutar Zemljine kontinentalne kore. Sve do trenutka dok, tijekom riftovanja, formiranjem mnogobrojnih vulkana u riftnim prostorima, izdižuća magma ne oslobodi te ogromne količine ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova koji se zatim akumuliraju u Zemljinoj atmosferi stvarajući time Stakleničku Zemlju.

Ledena Zemlja

Ledena Zemlja karakterizirana je znatno nižim temperaturama u odnosu na njena staklenička razdoblja kao i znatno nižim koncentracijama atmosferskih stakleničkih plinova, što dovodi do stvaranja polarnih ledenih kapa, a često i do stvaranja prostranih kontinentalnih ledenih pokrova. Razdoblja Ledene Zemlje, ili stručno glacijacija, karakterizirane su izmjenom hladnijih intervala koje nazivamo glacijalima, i onih toplijih, koje nazivamo interglacijalima (URL 4). Glacijali su vremenski intervali unutar razdoblja Ledene Zemlje koji su karakterizirani hladnijom i sušom klimom tijekom kojih se led na kopnu i moru širi prema nižim geografskim širinama, a kontinentalni ledeni pokrovi i planinski ledenjaci prema nižim nadmorskim visinama. Zbog skladištenja velikih količina vode unutar svih tih ledenih masa, opada i globalna morska razina. Interglacijali



Sl. 1. Ledena Zemlja kroz Zemljinu prošlost

Modificirano prema: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_glaciation#/media/File:GlaciationsinEarthExistancelicenced_annotated.jpg (08.11.2022.)

su kraćeg trajanja od glacijala i odvajaju intervale glacijala unutar razdoblja Ledene Zemlje. Za vrijeme interglacijala klima je toplija i blaža, a kontinentalni ledeni pokrovi i polarne kape se djelomice otapaju. Do izmjene intervala glacijala i interglacijala dolazi zbog periodičkih promjena Zemljinih orbitalnih parametara u takozvanim Milankovićevim ciklusima. Naime, nagib osi Zemljine rotacije mijenja se svakih 41 tisuću godina, ekscentricitet njene putanje oko Sunca svakih 100 tisuća godina, a nagnutost njene osi prema Suncu svakih 19-23 tisuća godina. Ove promjene gibanja i orijentacije Zemlje prema Suncu postupno i različito mijenjaju intenzitet Sunčeva zračenja na različitim dijelovima Zemlje. Tijekom razdoblja manjeg ili većeg smanjenja intenziteta Sunčeva zračenja u području polova, na njima dolazi do više ili manje izražene oledbe i nastanka intervala glacijala, a promjenom ovih parametara u "suprotnom smjeru" dolazi do postupnog otapanja nastalog leda i nastanka intervala interglacijala (Bucković, 2006b).

Pojava razdoblja Ledene Zemlje od početka eona Proterozoika pa do danas vezana je uvijek za smanjenje proizvodnje, odnosno za smanjenje koncentracije stakleničkih plinova u Zemljinoj atmosferi. Važan faktor zahlađenja klime uvijek su bila i kretanja Zemljinih tektonskih ploča, te posljedična otvaranja i zatvaranja različitih oceanskih prolaza duž kojih su se omogućavala ili onemogućavala kretanja površinskih morskih toplijih struja prema visokim geografskim širinama kao i dubinskih hladnih struja prema nižim geografskim širinama, te pozicioniranja velikih kontinentalnih prostranstava oko Zemljinih polova. Od početka eona Proterozoika do danas razlikujemo 5 velikih razdoblja glacijacija: Huronsko, Krinogenijsko, Andsko-Saharsko, Karoo i trenutno, koje je započelo koncem epohe Eocena (URL 5).

1. Huronsko razdoblje Ledene Zemlje

Prvo i najduže razdoblje Ledene Zemlje započelo je prije 2.4, a završilo prije 2.1 milijarde godina (URL 7). Nastalo je zbog tzv. "Velikog događaja oksigenacije" (eng. "Great Oxygenation Event") (URL 8), razdoblja u kojem je novonastala povećana koncentracija kisika u atmosferi uzrokovala smanjivanje do tada prevladavajuće prisutnog metana. Do pojava veće količine kisika u atmosferi došlo je zbog sve izrazitijeg razvoja fotosintetskih organizama; cijanobakterija, što je izazvalo oksidaciju prevladavajućeg metana, te nastanak ugljičnog dioksida i vodene pare. Kako je metan znatno jači staklenički plin od ugljičnog dioksida, a budući da ga je bivalo sve manje, efekt staklenika je slabio, te je došlo do prvog globalnog zahlađenja u Zemljinoj prošlosti. Danas se tragovi ovog razdoblja Ledene Zemlje mogu naći u taložnim stijenama po čitavoj Zemlji, naravno, samo tamo gdje su stijene te starosti prisutne na površini; od prostora Južne Afrike, Kanade, pa sve do Indije ili Finske. Ovo razdoblje Ledene Zemlje dovelo je do velikog izumiranja anaerobnih jednostaničnih organizama, cijanobakterija, koji u uvjetima povećane koncentracije kisika kojeg su same proizvele, nisu mogli opstati.

Završetkom huronskog razdoblja Ledene Zemlje nastupa dugotrajno razdoblje Stakleničke Zemlje koje će trajati sve do prije 720 milijuna godina. U tom razdoblju Stakleničke Zemlje nastupa dominacija prokariotskih cijanobakterija, a zatim prije otprilike 1.4 milijarde godina javljaju se i prvi jednostavni eukariotski organizmi. Ove dvije skupine organizama neometano su egzistirale više stotina milijuna godina, proizvodeći sve veću i veću količinu atmosferskog kisika, čime dolazi do uspostave novog razdoblja Ledene Zemlje.

2. Kriogenijsko razdoblje Ledene Zemlje

Najhladnije i najopsežnije razdoblje Ledene Zemlje označeno je dvama izrazitim glacijalnim intervalima; Sturtijski glacijal, koji je započeo prije 715 milijuna godina, a završio prije 680 milijuna godina i Marinski glacijal koji je započeo prije 650 milijuna godina, a završio prije 635 milijuna godina (Bucković, 2006a). Ova dva glacijalna intervala smatraju se razdobljem takozvane "Zemlje snježne lopte" (eng. "Snowball Earth") (URL 9). "Zemlja snježne lopte" predstavlja vrijeme kada su Zemljina površina i svi njeni oceani, u potpunosti bili zaleđeni uz debljinu leda i do jednog kilometra.

Činjenice koje govore u prilog ovoj fantastičnoj pretpostavci sadržane su u nalazima glacijalnih sedimenata iz tog razdoblja Zemljine

prošlosti po čitavoj Zemlji, dakle, gdje se god na njenoj površini nalaze gornjoproterozojske naslage; prostori Škotske, Skandinavije, Stjenjaka, Grenlanda, Južne Amerike, Afrike i Australije. Smatra se da je i ovo razdoblje Ledene Zemlje posljedica smanjenog djelovanja efekta staklenika. Za razliku od Huronskog razdoblja Ledene Zemlje, koje je primarno povezano s povećanjem koncentracije atmosferskog kisika i oksidacijom do tada dominantnog stakleničkog plina metana, do Krinogenijskog razdoblja Ledene Zemlje dolazi zbog smanjenja koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida kao posljedice kemijskog trošenja silikatnih stijena. Naime, vodena para i ugljični dioksid stvaraju u atmosferi slabu karbonatnu kiselinu koja u obliku kiselih kiša pada na Zemlju, te kemijski troši površinski izložene silikatne stijene. Proizvodi tog trošenja, Ca^{2+} i HCO_3^- prenose se do mora, gdje ih različiti morski organizmi koriste za izgradnju svojih ljuštura. Također, veliki dio tih iona se ugrađuje u novonastale minerale koji na kopnu formiraju različita tla. Na taj se način dio ugljičnog dioksida privremeno uklanja iz atmosfere (Bucković, 2006a). Također, koncem eona Proterozoika dolazi i do raspada superkontinenta Rodinije, te nastanka više manjih kontinenata. Za vrijeme postojanja superkontinenta Rodinije, njegova prostrana unutrašnjost bila je suha i topla, jako udaljena od mora, te je kemijsko trošenje prisutnih silikatnih stijena bilo slabije. Nasuprot tome, raspadom superkontinenta, unutrašnjosti tih novonastalih manjih kontinenata bile su više izložene vlažnim atmosferskim utjecajima s mora, čime se povećao intenzitet kemijskog trošenja prisutnih silikatnih stijena, a time se povećalo i uklanjanje ugljičnog dioksida iz atmosfere. Još dodatno, smanjenju koncentracije ugljičnog dioksida prije otprilike 723 milijuna godina pridonijeli su i formirani ogromni bazaltni pokrovi na prostoru današnje Kanade, kada se ugljični



Sl. 2. "Zemlja snježna lopta", površina Zemlje vjerojatno je u potpunosti zaleđena tijekom desetaka milijuna godina (Kriogenijsko razdoblje Ledene Zemlje)

Izvor: <https://news.cnrs.fr/articles/when-earth-was-a-snowball> (09.11.2022.)

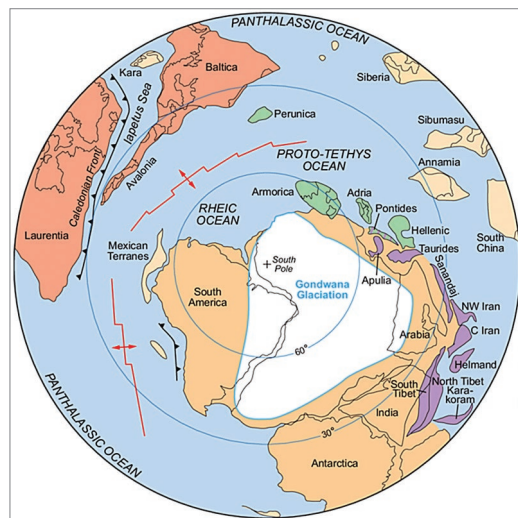
dioksid još dodatno brzo i u velikim količinama uklanjao iz atmosfere njihovim izrazitim kemijskim trošenjem. Iz ovog Kriogenijskog razdoblja Ledene Zemlje poznata su i još dva glacialna intervala, no kraćeg trajanja; Gaskierski glacial (prije 579,9- 579,6 milijuna godina) i Bajkonurski glacial (prije 547 milijuna godina) (Bucković, 2006a).

Danas o teoriji postojanja "Zemlje snježne lopte" postoji mnogo kontroverzi. Tako npr. neki smatraju da Zemlja nikada ne bi mogla izaći iz takvog stanja potpune zaleđenosti zbog stalne snažne refleksije Sunčevog zračenja s njenih zaleđenih površina. Drugi to pobijaju tvrdeći da vulkanska aktivnost ispod ledenih pokrova nikada ne bi prestala, te bi se s vremenom u takvim uvjetima led postupno topio, a koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi povećavala. Mnogi biolozi pak tvrde da potpuno zaleđena Zemlja nije bila moguća jer bi to uništilo sav ondašnji živi svijet. Naime, fotosintetski organizmi ne bi mogli preživjeti uvjete pod ledenim naslagama bez Sunčeve energije, te bi u potpunosti izumrli. Međutim, neka suvremena istraživanja na Antarktici pokazuju da Sunčevo zračenje prodire i kroz ledene naslage višemetarskih debljina, tako da bi se dio fotosintetskih zajednica pod tanjim ledom "Zemlje snježne lopte" ipak uspio sačuvati. Najnovija razmišljanja pak tvrde da potpuna "Zemlje snježna lopta" ipak nije bila moguća, već da je vjerojatnije bilo postojanje samo tzv. "Zemlje bljuzgave lopte" (eng. "Slushball Earth"), kod koje je bar na području oko ekvatora postojao otvoreni, nezaleđeni morski pojas. Završetku ovog Kriogenijskog razdoblja Ledene Zemlje pridonijelo je otpuštanje velikih količina metana otapanjima arktičkog permafrosta čime je na prijelazu u eon Fanerozoik ponovno došlo do uspostave novog razdoblja Stakleničke Zemlje.

3. Andsko-Saharsko razdoblje Ledene Zemlje

U drugoj polovini perioda Ordovicija, prije oko 460 milijuna godina, dolazi do novog razdoblja Ledene Zemlje koje će trajati otprilike 30 milijuna godina, sve do sredine perioda Silura. Prvi, a ujedno i najjači i najintenzivniji glacial ovog razdoblja Ledene Zemlje vezan je za epohu mlađi Ordovicij (URL 11). Primarno je zahvatio južnu polutku Zemlje na kojoj su se tada nalazila najveća kontinentalna prostranstva, tj. veliki kontinent Gondwana, dok je istovremeno glacijacija sjeverne polutke bila minimalna.

Stijenski taložni zapisi o ovom glacialu prisutni su danas na prostorima Sahare, u Južnoj Africi i Sjevernoj Americi. Potrebno smanjenje koncentracije ugljičnog dioksida u atmosferi i ovdje se objašnjava izrazitim kemijskim troše-



Sl 3. Glacijacija velikog dijela Gondwane na kraju perioda Ordovicija (Andsko-Saharsko razdoblje Ledene Zemlje)

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Plate-tectonic-reconstruction-of-the-latest-Ordovician-earliest-Silurian-times-modified_fig4_282300517 (09.11.2022.)

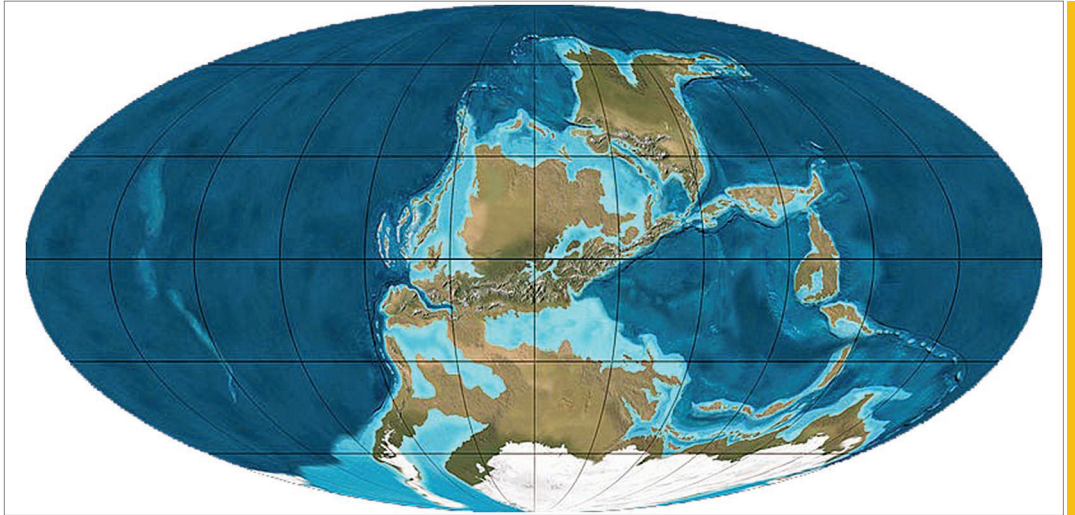
njem prostranih bazaltnih pokrova, no ovog puta izlivenih na području današnjih argentinских predkordijera. Ono što je specifično za ovo razdoblje Ledene Zemlje je to da je ono jedino koje je potaklo masovno izumiranje ondašnjeg živog svijeta. Naime, izrazita kontinentalna oledba Gondwane na južnoj Zemljinoj hemisferi uzrokovala je globalni pad morske razine i globalno zahlađenje oceana. Budući da su područja plitkomorskih šelfova na nižim geografskim širinama tada bile najveća staništa različitih marinskih organizama, nestankom šelfova, tj. njihovim okopnjavanjem zbog globalnog pada morske razine, te istovremenim globalnim sniženjem temperature mora i oceana, došlo je do izumiranja čak 85 % svih prisutnih marinskih vrsta (Bucković, 2006a). To je bilo drugo najveće izumiranje živog svijeta u Zemljinoj prošlosti. Širenje ledenih pokrova na Gondwani postupno je onemogućavalo daljnje trošenje prisutnih izloženih silikatnih stijena, što je dovodilo do ponovnog povećanja koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida, a time i završetka ovog razdoblja Ledene Zemlje. Od sredine perioda Silura, prije oko 430 milijuna godina, pa do konca perioda Devona prije oko 360 milijuna godina, Zemlja se ponovno nalazi u stakleničkom razdoblju. Prevladava topla klima uz koncentraciju atmosferskog ugljičnog dioksida i do 4500 ppm, a topla plitka mora izrazito bogata raznovrsnim organizmima prekrivaju velike predjele ondašnjih kontinenata.

4. Karoo razdoblje Ledene Zemlje

Ovo razdoblje Ledene Zemlje trajalo je od konca perioda Devona prije oko 360 milijuna godina pa sve do početka epohe mlađeg Perma prije oko 260 milijuna godina, dakle uključuje čitav period Karbona i veliki dio perioda

Perma (URL 13). Evolucija kopnenih biljaka, posebice od perioda Devona pa nadalje, uzrokovala je izrazito povećanje količine kisika u Zemljinoj atmosferi, što je dovelo do drastičnog smanjenja efekta staklenika. Tako, udio atmosferskog kisika dosegao je tada 35 %, a koncentracija CO₂ pala je ispod 300 ppm. Ovo razdoblje Ledene Zemlje koincidira sa djelomičnim zatvaranjem oceana Paleotethys i postupnim spajanjem tada postojećih Zemljinih kontinenata; Starog crvenog kontinenta, Sibirijske i Gondwane u jedinstveni superkontinent nazvan Pangea (Bucković, 2006a). Na prostoru Gondwane, na kojoj se do tada nalazio južni pol, od početka perioda Karbona formirali su se prostrani kontinentalni ledenjaci koji su tamo postojali sve do početka epohe mlađeg Perma.

Stvaranjem Pangee, jedinstvenog superkontinenta, dolazi do ogromnih klimatskih, odnosno temperaturnih razlika između njegovih ekvatorijalnih i polarnih dijelova, a kontinentalni ledeni pokrovi s Gondwane proširili su se čak do 30. stupnja južne geografske širine. O intervalima glacijala i interglacijala tijekom ovog razdoblja Ledene Zemlje indirektno svjedoče mnogobrojni taložni zapisi s prostora današnje Velike Britanije i Sjeverne Amerike. Naime, prisutna izmjena slojeva marinskih sedimenata i močvarnih sedimenata s ugljenom jasno ukazuju na periodičke globalne promjene morske razine. Tako, tijekom stvaranja većih ledenih pokrova na Gondwani (glacijali) more se povlačilo s rubnih kopnenih prostora u kojima su se tada formirale močvare uz veliku akumulaciju tada izrazito obilno prisutne biljne materije, da bi zatim, tijekom djelomičnog otapanja ledenih pokrova na Gondwani (interglacijali), došlo do preplavlivanja tih rubnih kopnenih prostora i taloženja marinskih sedimenata preko močvarnih, a što je onda i omogućilo formiranje današnjih



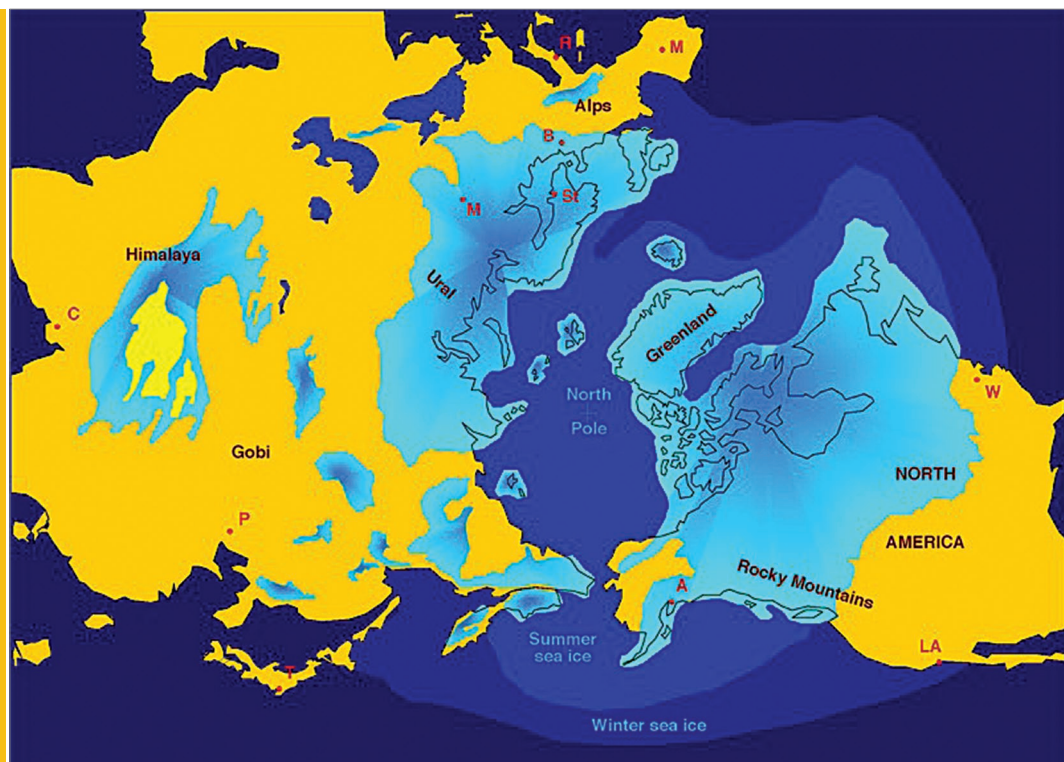
Sl. 4. Glacijacija velikog dijela Gondwane na kraju perioda Karbona (Karoo razdoblje Ledene Zemlje)
Izvor: <http://www.geologypage.com/wp-content/uploads/2014/03/Carboniferous.jpg> (09.11.2022.)

debelih ležišta karbonskih ugljena (Bucković, 2006a).

Od početka epohe mlađeg Perma dolazi do postupnog otapanja ledenih pokrova na Gondwani i Zemlja ulazi u svoje novo stakleničko razdoblje koje će trajati sve do sredine Kenozojske ere, točnije, sve do pred kraj epohe Eocena prije 34 milijuna godina. Završetku Karoo razdoblja Ledene Zemlje pogodovala je ponovna uspostava efekta staklenika na Zemlji, a koja je bila uzrokovana gigantskim vulkanskim erupcijama na području današnjeg Sibira u trajanju od nekoliko stotina tisuća godina. Njima su u atmosferu bile izbačene ogromne količine stakleničkih plinova, sumpornih aerosola i vulkanskog pepela. Ovaj događaj glavni je razlog zbog kojeg koncem perioda Perma dolazi do najvećeg masovnog izumiranja u Zemljinoj povijesti, tijekom kojeg je izumrlo oko 95% svih marinskih i oko 70% kopnenih organizama (Bucković, 2006a).

5. Trenutno razdoblje Ledene Zemlje

Pred kraj Eocenske epohe temperatura na Zemlji globalno opada za oko 12 °C. Razlog tomu leži u pokretima Zemljinih tektonskih ploča. Naime, postupnim raspadom Gondwane koje je započelo još tijekom Krednog perioda, tijekom Eocena konačno se razdvajaju i gondwanski kontinentalni elementi; Antarktika od Australije i Južne Amerike. Na taj način Antarktika prije otprilike 34 milijuna godina biva izolirana od utjecaja toplih morskih strujanja sa sjevera, pozicionira se samostalno oko južnog pola i oko nje se uspostavlja kružno kretanje hladnih polarnih struja - antarktička cirkumpolarna struja. Ta kružna hladna strujanja onemogućavaju pristup Antartici toplih morskih strujanja sa sjevera, što dovodi do njezne oledbe koja traje sve do danas. Ovo formiranje ledenih pokrova na Antarktici uzrokovalo je globalno zahlađenje i sniženje morske razi-



Sl. 5. Glacijacija za vrijeme zadnjeg glacijala perioda Kvartara (Trenutno razdoblje Ledene Zemlje)

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_glaciation#/media/File:Northern_icesheet_hg.png (09.11.2022.)

ne, odnosno uspostavu novog razdoblja Ledene Zemlje koje traje i danas (Bucković, 2006b). Iz ovog najmlađeg razdoblja Ledene Zemlje poznato je niz glacijalnih intervala koje najčešće laički nazivamo "ledenim dobima", a najpoznatija su ona iz Kvartara, zadnjeg perioda Zemljine prošlosti koji je započeo prije otprilike 2.58 milijuna godina, u vrijeme početka oledbe Arktika (URL 15). Posljednje Kvartarno "ledeno doba" započelo je prije 115 tisuća godina, a završilo je prije 11,7 tisuća godina.

Zemlja se dakle danas nalazi u interglacijalnom intervalu njenog posljednjeg razdoblja Ledene Zemlje. Ovaj interglacijalni interval potrajati će barem tijekom narednih 50 tisuća godina, kada bi trebalo doći do uspostave novog glacijalnog intervala. No, ljudski utjecaj kroz svakodnevno stvaranje ogromnih količina stakleničkih plinova zasigurno će ovaj rok početka novog glacijala malo prolongirati... no, hoće li za tih 50 tisuća godina na Zemlji više uopće i biti ljudi? To je već pitanje za drugu raspravu.

Literatura

BUCKOVIĆ, D., 2006A: Historijska geologija I, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 1-110.

BUCKOVIĆ, D., 2006B: Historijska geologija II, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 1-155.

Izvori

URL 1: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_and_icehouse_Earth (08.11.2022.)

URL 2: https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_glaciation#/media/File:Northern_icesheet_hg.png (14.1.2023.)

URL 3: https://earth.org/data_visualization/a-brief-history-of-co2/ (08.11.2022.)

URL 4: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Glacial_and_interglacial_periods (08.11.2022.)

URL 5: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_glaciation (08.11.2022.)

URL 6: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_glaciation#/media/File:GlaciationsinEarthE_xistancelicensed_annotated.jpg (08.11.2022.)

URL 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Huronian_glaciation (08.11.2022.)

URL 8: https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Oxidation_Event (08.11.2022.)

URL 9: <https://www.thescientificrevelation.com/the-cryogenian-glaciations-snowball-earth/> (09.11.2022.)

URL 10: <https://news.cnrs.fr/articles/when-earth-was-a-snowball> (09.11.2022.)

URL 11: https://en.wikipedia.org/wiki/Andean-Saharan_glaciation (09.11.2022.)

URL 12: https://www.researchgate.net/figure/Plate-tectonic-reconstruction-of-the-latest-Ordovician-earliest-Silurian-times-modified_fig4_282300517 (09.11.2022.)

URL 13: https://en.wikipedia.org/wiki/Late_Paleozoic_icehouse (09.11.2022.)

URL 14: <http://www.geologypage.com/wp-content/uploads/2014/03/Carboniferous.jpg> (09.11.2022.)

URL 15: https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_glaciation (09.11.2022.)

URL 16: https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_glaciation#/media/File:Northern_icesheet_hg.png (09.11.2022.)

PRIMLJENO: 16. 11. 2022.

PRIHVACENO: 20. 2. 2023.



prof. dr. sc. DAMIR BUCKOVIĆ

Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, e-mail: buckovic@geol.pmf.hr

MARKO JURIC, student diplomskog studija Geologije

e-mail: maaarko.jura@gmail.com