

# Šest masovnih izumiranja: uzroci i posljedice

---

**Svorenji, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:459340>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**ŠEST MASOVNIH IZUMIRANJA: UZROCI I  
POSLJEDICE**

**SIX MASS EXTINCTIONS: CAUSES AND  
CONSEQUENCES**

**SEMINARSKI RAD**

Antonio Svorenji

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Goran Kovačević

Zagreb, 2015.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POJAM MASOVNIH IZUMIRANJA .....	2
2.1. Definicija u znanosti .....	2
2.2. Stopa, magnituda i određivanje izumiranja.....	2
2.3. Selektivnost tijekom izumiranja.....	3
2.4. Lilliput efekt.....	3
3. BIOTIČKI OPORAVAK OD MASOVNIH IZUMIRANJA .....	4
3.1. Procesi i intervali oporavka.....	4
3.2. Lazarus taksa.....	4
4. IZUMIRANJE U KASNOM ORDOVICIJU .....	6
4.1. Obilježja ordovicija.....	6
4.2. Uzroci izumiranja u ordoviciju .....	6
4.3. Posljedice izumiranja u ordoviciju.....	6
5. IZUMIRANJE U KASNOM DEVONU .....	8
5.1. Obilježja devona .....	8
5.2. Uzorci izumiranja u devonu .....	8
5.3. Posljedice izumiranja u devonu .....	9
6. IZUMIRANJE U KASNOM PERMU.....	10
6.1. Obilježja perma .....	10
6.2. Uzroci izumiranja u permu .....	10
6.3. Posljedice izumiranja u permu.....	11
7. IZUMIRANJE U KASNOM TRIJASU .....	13
7.1. Obilježja trijasa .....	13
7.2. Uzroci izumiranja u trijasu.....	13

7.3. Posljedice izumiranja u trijasu .....	14
8. IZUMIRANJE U TRANZICIJI KREDA – PALEOGEN .....	15
8.1. Obilježja krede .....	15
8.2. Uzroci izumiranja u tranziciji krede – paleogen .....	15
8.3. Posljedice izumiranja u tranziciji krede - paleogen .....	15
9. DANAŠNJE MASOVNO IZUMIRANJE.....	17
10. ZAKLJUČAK .....	19
11. LITERATURA .....	20
12. SAŽETAK .....	22
13. SUMMARY .....	22

## 1. UVOD

Izumiranje vrsta prirodna je pojava koja rezultira eliminacijom slijepih evolucijskih puteva, regulacijom bioraznolikosti i postizanjem prirodne ravnoteže. Omogućuje razvitak novih skupina organizama, zauzimanje novih ekoloških niša te potiče biološku evoluciju. Različite vrste organizama redovito izumiru, od samog početka života na Zemlji, a uzroci su mnogi, poput nemogućnost prilagodbe novim uvjetima okoliša, predacije i kompeticije. Stratigrafski je dokumentirano nekoliko epizoda u geološkoj prošlosti kada je izumrlo mnogo predstavnika tadašnje biota i često upravo te tzv. ekološke krize predstavljaju prijelaze između pojedinih geoloških perioda. Takvi se periodi kriza nazivaju masovna ili velika izumiranja. Osim masovnih su u geološkoj prošlosti definirana i mnoga manja izumiranja. Njih od masovnih izumiranja razlikuje izumiranje tek određenih vrsta i blaže posljedice u živom svijetu. Život na Zemlji tako je usporilo pet masovnih izumiranja, za vrijeme ordovicija, devona, perma, trijasa i krede. Svako izumiranje je imalo drugačije uzroke i posljedice, a najpoznatija od njih su izumiranje u permu (najveća biološka kriza od početka života na Zemlji) te izumiranje u kredi, kada je meteorit s lica Zemlje zauvijek izbrisao dinosaure i tako tada potisnutim sisavcima otvorio nove evolucijske puteve. Istraživanja masovnih izumiranja pružaju uvid u otpornost i fragilnost života na Zemlji te načine njegova oporavka.

Vrijeme u masovnim izumiranjima je relativno. Primjerice, promjene temperature ili količine kisika u oceanima, koje su se odvijale stotinama tisuća godina, na geološkoj skali vremena doimaju se kao jedan vrlo kratak događaj. Stratigrafija pruža uvid u obilježja masovnih izumiranja, a zbog boljeg taloženja u vodi, posljedice izumiranja mnogo su jasnije kad su u pitanju morski organizmi.

Mnogi znanstvenici tvrde da je moderno, šesto masovno izumiranje već započelo. Kao uzrok se, osim klimatskih promjena, navodi isključivo čovjek te negativan antropogeni učinak i sve njegove posljedice, uključujući i same klimatske promjene. Od početka industrijskog doba biosfera je podvrgnuta mnogim negativnim čimbenicima s kojima se do sada nije susretala, poput velikog unosa različitih ksenobiotika te direktnog istrebljivanja vrsta, što često nije opravdano. Postavljaju se pitanja kakva je budućnost života na Zemlji, a time i budućnost samog čovječanstva, koje je neizostavan dio biosfere, te što se može poduzeti da se negativan antropogeni učinak na biosferu smanji.

## **2. POJAM MASOVNIH IZUMIRANJA**

### **2.1. Definicija u znanosti**

U geologiji i paleontologiji masovna izumiranja definiraju se kao epizode izumiranja grubo povezane u geološkom vremenu, kada je veliki i raznoliki segment svjetske biotae izumro. Eon fanerozoika karakterizira pet masovnih izumiranja koja su nastupila na krajevima geoloških perioda, u ordoviciju, devonu, permu, trijasu i kredi. Osim masovnih izumiranja, tijekom geološkog vremena nastupilo je i nekoliko manjih izumiranja, poput onih u pleistocenu (Slika 1).

Pojam masovnih izumiranja poznat je još od 19. stoljeća, kada je Georges Cuvier proučavao fosilne slojeve u pariškom bazenu s tragovima mnogih organizama. Alcide d'Orbigny takve je promjene smatrao indikatorima masovnog izumiranja. Charles Lyell je takva izumiranja interpretirao kao nemogućnost pojedinih vrsta da se prilagode promjenama uvjeta u okolišu, ali u takvoj teoriji nema mjesta fenomenu masovnih izumiranja. Mnogi fosilni zapisi koji su uslijedili daljnjim istraživanjima mogli su se objasniti samo pojmom masovnog izumiranja, stoga je Lyellova teorija u 20. stoljeću odbačena. Razvijene su dvije nove teorije i obje su imale podršku nekolicine poznatih znanstvenika. Prema njima su masovna izumiranja bila katastrofe uzrokovane jednim izvanrednim okolišnim čimbenikom ili periodi znatno ubrzane stope izumiranja. Međutim, mnoga masovna izumiranja mogu se shvatiti kao manje epizode izumiranja, svaka pokrenuta drugačijim čimbenikom i slučajno poredane u vremenskom periodu od nekoliko milijuna godina, što u stratigrafiji može izgledati kao jedan događaj [1].

### **2.2. Stopa, magnituda i određivanje izumiranja**

Stopa i magnituda izumiranja su tijesno povezane veličine. Stopa izumiranja je omjer broja izumrlih vrsta i vremena tijekom kojega je došlo do izumiranja, uzrokovanog različitim faktorima. Pozadinska stopa izumiranja odnosi se na broj izumrlih vrsta u vremenu, bez intenzivnog pokretača izumiranja poput čovjeka ili okolišnih promjena. Magnituda izumiranja je postotak vrsta koje su izumrle. Masovno izumiranje karakterizira povećana stopa izumiranja naspram pozadinskoj stopi izumiranja, nestanak više od 75% vrsta i kraći interval u geološkom vremenu, tipično manji od 2 Ma.

Zbog česte nemogućnosti i složenosti, većina procjena fosilne raznolikosti je na razini roda. Procjene fosilnih vrsta računaju se iz omjera vrsta i rodova u poznatim skupinama organizama. Omjer se tada ekstrapolira na skupine kod kojih su definirani samo rodovi. Tako je dobivena mjera od 75% vrsta za masovna izumiranja. Metrički sustav koji se najčešće koristi, posebno za recentno izumiranje vrsta, je E/MSY (extinctions per million species-years), broj izumrlih vrsta po milijun vrsta godišnje [2].

Masovna izumiranja mogu se, osim po fosilnom zapisu, definirati i datirati pomoću izotopnog ugljika ( $\delta C^{13}$ ) u sastavu oceana i posljedično, sastavu sedimenata. To je omjer lakih i teških izotopa ugljika koji se prikazuje kao derivacija određenih standarda. Promjena izotopnog ugljika u oceanskom sastavu upućuje na globalne poremećaje u cirkulaciji ugljika. Takve promjene moraju biti zabilježene na cijeloj Zemlji, u svim stratigrafskim zapisima, baš kao u slučajevima masovnih izumiranja [1].

### **2.3. Selektivnost tijekom izumiranja**

Pozadinsku stopu izumiranja karakteriziraju taksoni male geografske rasprostranjenosti i raznolikosti populacije. Međutim, u masovnom izumiranju selektivnost izumiranja se uvelike mijenja, tako da i široko rasprostranjeni i raznoliki taksoni mogu izumrijeti [2]. Razlikujemo tri tipa ekstincijske selektivnosti: (1) svojstvena selektivnost (trait selectivity) odnosi se na biološka svojstva poput trofičke razine, veličine tijela ili rasprostranjenosti koji direktno utječu na sklonost izumiranju; (2) taksonomska selektivnost odnosi se na drugačije stope izumiranja među višim taksonima, što je obično karakteristika masovnih izumiranja; (3) geografska selektivnost odnosi se na stope izumiranja koje se razlikuju među određenim geografskim prostorima [3].

### **2.4. Lilliput efekt**

Lilliput efekt predstavlja naglašenu redukciju veličine tijela organizama koja se povezuje s masovnim izumiranjima. Mogući uzroci efekta su preživljavanje taksona maloga tijela, smanjenje tijela preživjelih taksona te evolucijsko smanjenje veličine tijela. O veličini tijela ovise mnoga druga svojstva stoga Lilliput efekt ima potencijal mijenjati morfologiju, fiziologiju i ponašanje unutar samih taksona [4].

### **3. BIOTIČKI OPORAVAK OD MASOVNIH IZUMIRANJA**

#### **3.1. Procesi i intervali oporavka**

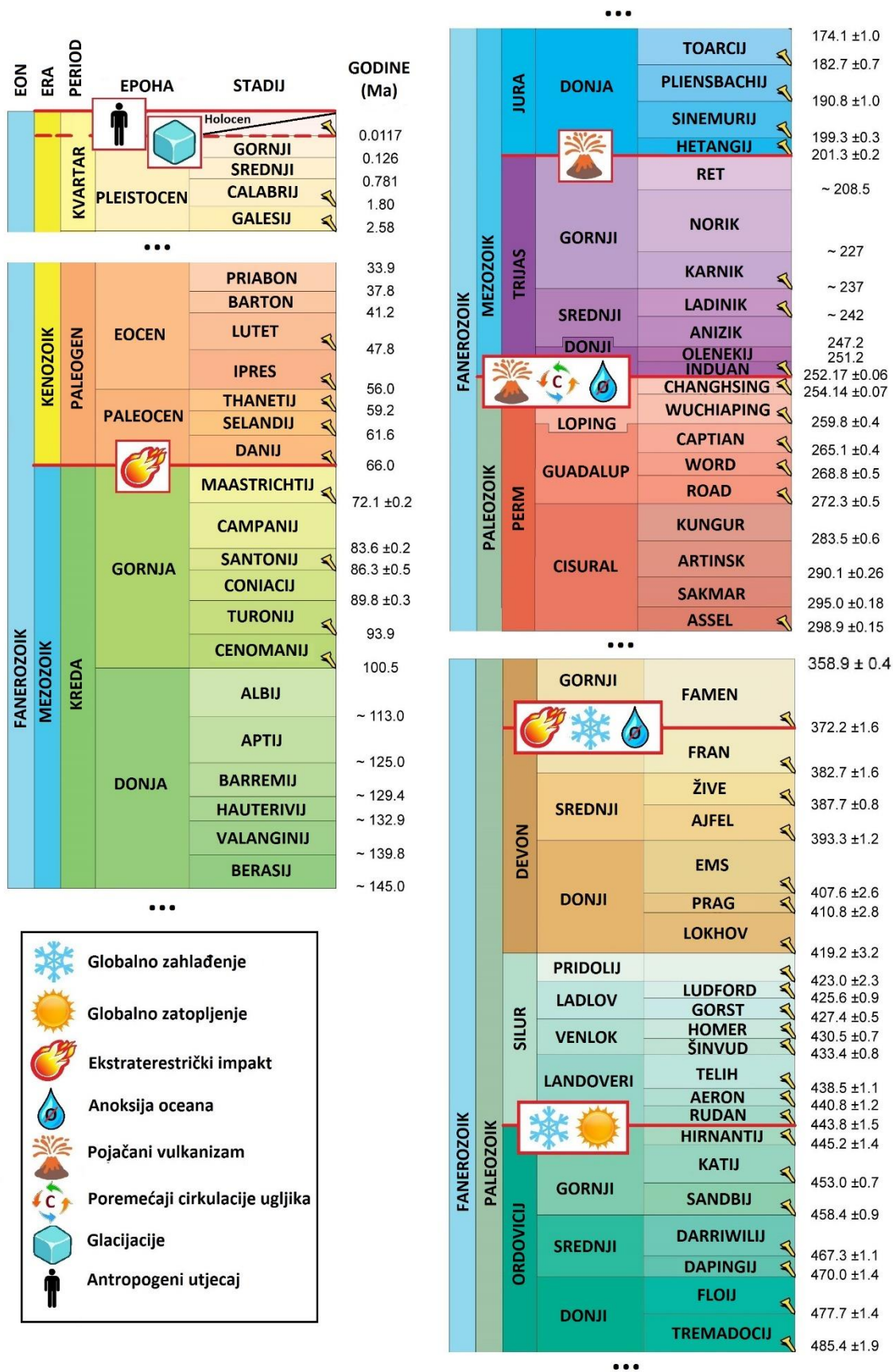
Istraživanje procesa oporavka važno je za razumijevanje razvoja života u fanerozoiku te fragilnosti, ali i otpornosti ekosustava, koji je danas pod stalnim napadom modernog svijeta. Definirani su intervali EEU (Ecological Evolutionary Units), dugi intervali u geološkom vremenu fanerozoika tijekom kojih su bentičke paleozadruge bile sastavljene od statičkog niza redova. Kratki intervali između njih predstavljaju vrijeme biotičkog oporavka, karakteriziranog nestabilnošću, premještanjem i reorganizacijom zadruga. EEU razdoblja traju 30-140 Ma te ih u fanerozoiku ima 9, dok intervali oporavka traju 3-8 Ma, a ima ih 5 jer se svaki pojavio nakon masovnog izumiranja [5].

Postoje četiri procesa tijekom i nakon izumiranja: (1) masovno izumiranje tijekom kojega je stopa izumiranja veća od pozadinske stope izumiranja te taksonomska raznolikost ubrzano pada; (2) proces preživljavanja ili zaostajanja tijekom kojega je taksonomska raznolikost stabilna i stacionarna, a stope su slične; (3) proces odskakivanja kada se taksonomska raznolikost počinje povećavati te se pojavljuju tzv. Lazarus taksa, a pozadinska stopa izumiranja veća je od stope izumiranja; (4) proces ekspanzije u kojemu taksonomska raznolikost i dalje raste zbog daljnjeg povećanja pozadinske stope izumiranja. Interval oporavka traje od kraja izumiranja do početka ekspanzije, ali ne pokazuju svi oporavci takvu strukturu, jer neki segmenti mogu izostati.

#### **3.2. Lazarus taksa**

Lazarus taksa tijekom izumiranja nestaju iz stratigrafskih zapisa te nisu prisutne velikim dijelom oporavka, a onda se odjednom pojavljuju u fosilnom zapisu. Česti su primjeri iz razreda Gastropoda. Lazarus taksa interpretiraju se kao bijeg organizama tijekom izumiranja u zaklon ili velikim smanjenjem brojnosti neke vrste do te mjere da je njihova produkcija fosila tijekom oporavka vrlo mala i vrlo rijetka [6].





**Slika 1:** Shematski prikaz izumiranja (crvena linija) i njihovih glavnih pokretača, „Prilagođeno prema <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>“

## **4. IZUMIRANJE U KASNOM ORDOVICIJU**

### **4.1. Obilježja ordovicija**

Period ordovicij trajao je od  $485.4 \pm 1.9$  Ma do  $443.8 \pm 1.5$  Ma. Epohe ordovicija su donji, srednji i gornji ordovicij (Slika 1). Većina svjetskog kopna sastojala se od superkontinenta Gondwane, koji se primicao Južnome polu. Oceane su nastanjivali raznoliki beskralježnjaci, a rane kralježnjake činile su primitivne ribe. Nalasci primitivnih spora upućuju na početak osvajanja kopna od strane prvih biljaka [18].

### **4.2. Uzroci izumiranja u ordoviciju**

Izumiranja su se odigrala u dvije faze, obije u zadnjem stadiju ordovicija, hirnantijski koji je trajao od  $445.2 \pm 1.4$  Ma do kraja ordovicija (Slika 1). Obije faze izumiranja povezane su s rastom i smanjenjem velikog ledenog pokrova Gondwane i posljedičnim okolišnim promjenama. U prvoj je fazi rast ledenog pokrova prouzročio pad razine mora od 50 do 100 m, globalno zahlađenje i promjenu ciklusa ugljika u oceanima.

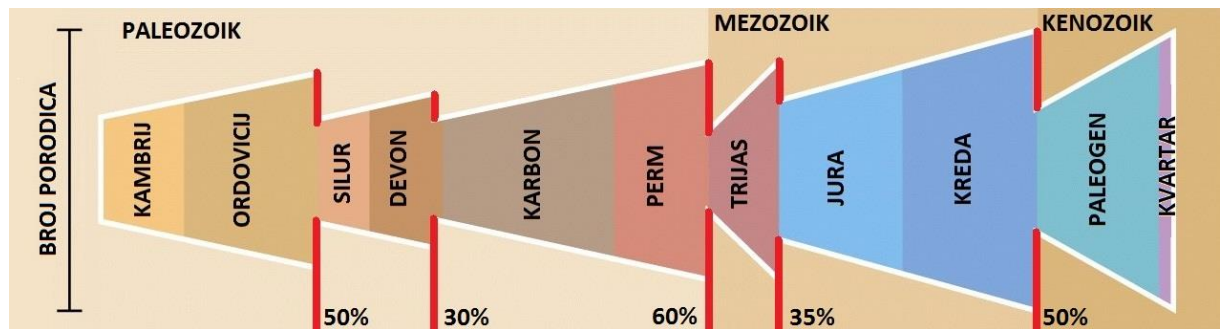
Drugu fazu izumiranja pratilo je smanjenje ledenog pokrova Gondwane, globalno zatopljenje, rast razine mora i oceanske promjene uzrokovane anoksijom u plitkim i dubokim vodama. Skupine organizama koje su preživjele hladnije uvjete prve faze izumiranja, nisu bile spremne na nove uvjete, pa su mnogi elementi faune nestali. Brzo potapanje šelfnih područja, zajedno s anoksijom, objašnjava relativno rijetku plitkomorsku faunu ranog silura [7].

### **4.3. Posljedice izumiranja u ordoviciju**

Oko 22% svih porodica je nestalo što ovo izumiranje čini jednim od najvećih. Nestalo je oko 50% životinjskih porodica (Slika 2). Gotovo sve važnije bentoske i planktonske zajednice postupno su se smanjile u jednoj ili obije faze izumiranja [6]. Generalno su kozmopolitske vrste bolje preživljavale od endemskih vrsta. Unatoč velikom izumiranju redova, porodica i vrsta, struktura morskih zajednica u siluru generalno nije bila drugačija od ordovicijske te je bilo relativno malo ekoloških inovacija i zauzimanja novih ekoloških niša.

Graptoliti su doživjeli nagli pad u prvoj fazi izumiranja i vjerojatno je manje od 10 vrsta preživjelo. Školjkaši su izgubili 13 od 27 porodica i 32 od 84 redova. Koralji su sa 130 redova pali na 40, nautiloidi sa 125 na 25, puževi s 88 na 55. Većina šelfnih i pelagičkih trilobita je nestala.

Skala i brzina klimatskih promjena su glavni čimbenici dvije epizode izumiranja koje zajedno čine ordovicijsko masovno izumiranje. Bentička plitkomorska fauna bila je pogođena padom razine mora i izloženosti velikih područja u periodu između dvije faze. Globalno su u oceanima djelovali anoksija i sniženje temperature. Učinak masovnog izumiranja na prve ribe i kopnene biljke sigurno je postojao, ali izumiranje nije bio velike magnitude [7].



**Slika 2:** Shematski prikaz magnituda izumiranja životinjskih porodica, „Prilagođeno prema <http://forhumanliberation.blogspot.com/2014/09/1547-mass-extinctions-what-causes.html>“

## 5. IZUMIRANJE U KASNOM DEVONU

### 5.1. Obilježja devona

Period devon trajao je od  $419.2 \pm 3.2$  Ma do  $358.9 \pm 0.4$  Ma. Epohe devona su donji, srednji i gornji devon (Slika 1). Postojale su tri glavne kontinentalne mase: (1) Sjeverna Amerika i Europa nalazile su se na području ekvatora; (2) sjevernu hemisferu činila je kopnena masa - današnji Sibir; (3) južnu hemisferu činile su Južna Amerika, Australija, Afrika, Antarktika i Indija. Velike površine plitkih mora bile su pokrivene grebenima, a biljke i životinje zauzeli su kopno [18].

### 5.2. Uzorci izumiranja u devonu

Kasno devonsko izumiranje neobično je jer se odigralo na granici stadija frana i famena, prije  $372.2 \pm 1.6$  Ma (Slika 1), a ne na kraju geološkog perioda, kao ostala masovna izumiranja. Izumiranje nije bilo jedan veliki događaj, već se odigralo u 5 epizoda kroz 1 do 1.5 Ma. Dva najvjerojatnija uzroka bila su globalno zahlađenje i/ili oceanska anoksija. Globalno distribuirani crni šejlovi te bituminozni (Kellwaser) vapnenci dokaz su da je ocean bio anoksičan. Selektivnost pokazuje letalno širenje anoksičnih voda u plitkomorske regije čime su dubokomorski organizmi, već navikli na uvjete bez kisika, te slatkovodni organizmi pošteđeni. Morske vrste većih geografskih širina bile su pod smanjenim negativnim utjecajem jer je širenje anoksičnih voda brže u toplijim nego u hladnijim vodama. Anoksija oceana, međutim, ne može objasniti terestričko izumiranje niti masovno izumiranje planktona u gornjim slojevima oceana koji, djelovanjem vjetrova i valova, općenito imaju dovoljno otopljenog kisika. Na površinske vode je najvjerojatnije djelovalo izdizanje anoksičnih dubinskih voda u više navrata, uzrokovano globalnim zahlađenjem [8].

Globalno zahlađenje ili više njih kao uzrok izumiranja može obuhvatiti sve ekološke uvjete za izumiranje: diferencijalno preživljavanje dubokomorskih vrsta, morskih vrsta viših geografskih širina, slatkovodnih vrsta tolerantnih na niske temperature te smanjenje raznolikosti i rasprostranjenosti flore i faune niskih geografskih širina, osjetljivih na niske temperature [9]. Epizode izumiranja u vremenskim razmacima od nekoliko stotina tisuća godina unutar milijun godina slične glacijalnim ciklusima kasnog pliocena i pleistocena, ali za

sada nisu pronađeni dokazi glacijacije za vrijeme masovnog izumiranja u devonu [8]. Pokretački uzrok epizoda globalnog zahlađenja nije poznat, ali mogući uzroci su upravo mnogi svemirski *impakti* tijekom kasnog frana i ranog famenija koji mogu biti alternative glacijaciji [9].

### 5.3. Posljedice izumiranja u devonu

Analizama je utvrđeno 5 ekoloških signala izumiranja: (1) cijela biosfera Zemlje bila je pod utjecajem izumiranja; (2) organizmi ekvatorskog područja i područja niskih geografskih širina bili su pod najvećim utjecajem; (3) preživjela fauna niskih geografskih širina bila je potisnuta prema ekvatoru; (4) plitkomorski organizmi su, za razliku od dubokomorskih, doživjeli znatno veće gubitke; (5) skupine karakteristične za morska i slatkovodna staništa, poput riba, doživjele su ozbiljne gubitke samo u morima [8].

Devonski grebenski ekosustavi bili su najrašireniji u Zemljinoj povijesti, gotovo 10 puta veće površine nego grebeni današnjih oceana. Također su bili najveće žrtve izumiranja, a njihov prostorni raspon drastično se smanjio, postupno tijekom stadija frana i famenija. Važni elementi tadašnjih grebena, tabulatni koralji i spužve stromatoporoidi nisu se oporavili od gubitka raznolikosti za preostalo vrijeme paleozoika. Devon je bilo doba školjkaša, koji su bili dominantni element bentosa, a izgubili su više od 75% rodova. Homoctenidi iz skupine Cricoconarida, mali stožasti organizmi, vrlo važni elementi devonskog zooplanktona, u izumiranju su potpuno nestali. Prema procjenama, oko 90% fitoplanktona s prezervacijskim potencijalom također je izumrlo. Time je nestala ekološka niša nektonskih organizama. Samo su 8 redova amonita i 3 vrste konodonta preživjeli izumiranje. Više od polovice riba razreda Placodermi je izumrlo, a preživjeli predstavnici većinom su bile slatkovodne vrste. Ukupno je nestalo oko 30% životinjskih porodica (Slika 2).

Na kopnu su biljke imale velike gubitke, a rani vodozemci su u potpunosti nestali iz fosilnog zapisa, pojavljujući se ponovno tek na prijelazu u karbon [9].

## 6. IZUMIRANJE U KASNOM PERMU

### 6.1. Obilježja perma

Period perm trajao je od  $298.9 \pm 0.15$  Ma do  $252.17 \pm 0.06$  Ma. Epohe perma su cisural, guadalup i loping, jednostavnije, donji, srednji i gornji perma. Kraj perioda označio je i kraj duge ere, paleozoika, koji je započeo prije  $541 \pm 1.0$  Ma (Slika 1). Prijelaz iz paleozoika u mezozoik označen je najvećim masovnim izumiranjem u Zemljinoj povijesti, nakon kojega se život zauvijek promijenio. Kontinenti u permu bili su spojeni u veliki superkontinent Pangeu koji se prostirao sve do polova. Ocean Panthalassa i manji ocean istočno od Pangee, Tethys, bili su velika vodena prostranstva oko superkontinenta (Slika 3). Središte Pangee je zbog velike udaljenosti od oceana bilo vrlo suho [18].

### 6.2. Uzroci izumiranja u permu

Prisutne su dvije teorije izumiranja u permu: vulkanizam i anoksija te poremećaji cirkulacije ugljika i anoksija. Istraživanjem sibirskih pokrajina poplavnih bazalta i datiranjem cirkona identificirana je jaka vulkanska aktivnost na granici perma i trijasa. Velike količine tufova prisutne su ispod bazaltnih tokova što upućuje na vrlo snažnu erupciju. To je područje poznato kao sibirske zamke, zbog velikih količina zatrpanog organskog materijala (Slika 3). Međutim, nije jasno poklapa li se erupcija s izumiranjem, a uz to analiza paleotala viših geografskih širina i gubitak faune prilagođene hladnim uvjetima upućuju na fazu globalnog zatopljenja. Stoga bi primarni štetni učinak vulkanske erupcije mogao biti otpuštanje velikih količina ugljikova dioksida i posljedični efekt staklenika. Globalno zatopljenje moglo je uvelike smanjiti oceansku cirkulaciju. Zagrijavanje plićih mora viših geografskih širina spriječilo bi poniranje i hlađenje morske vode, a to bi rezultiralo stagnacijom i anoksijom.

Rezultati analiza izotopa ugljika u oklopu školjkaša i sastavu šelfnih naslaga kasnog perma u zapadnom Spitsbergenu, na otočju Svalbard, govore da je morska voda bila relativno obogaćena teškim izotopima ugljika. Primijećeni su nagli rast i nagli pad izotopa koji se odigrao u nekoliko milijuna godina. Takav se nagli pad izotopa može objasniti jedino oksidacijom ogromnih količina organskog ugljika na dnu oceana te poremećajem u cirkulaciji vode u oceanima. Oksidacijski uvjeti na dnu djelovali su i na fosforne i dušične spojeve što je

iscrpilo velike količine nutrijenata iz oceana. Nakon što se potrošila velika količina kisika iz oceana, došlo je do anoksije, a za daljnju oksidaciju bio je potreban atmosferski kisik, što je dovelo do izumiranja na kopnu.

Nakon utvrđene male regresije u posljednjem stadiju perma uslijedila je velika transgresija koja je trajala sve do trijasa. Izumiranja u moru bila su za vrijeme rasta razine mora stoga se odbacuju prijašnje pretpostavke izumiranja zbog gubitka staništa regresijom. Kolaps primarnih producenta dogodio se ubrzo nakon izumiranja, te je stoga simptom progresivnog pada morskog ekosustava [10].

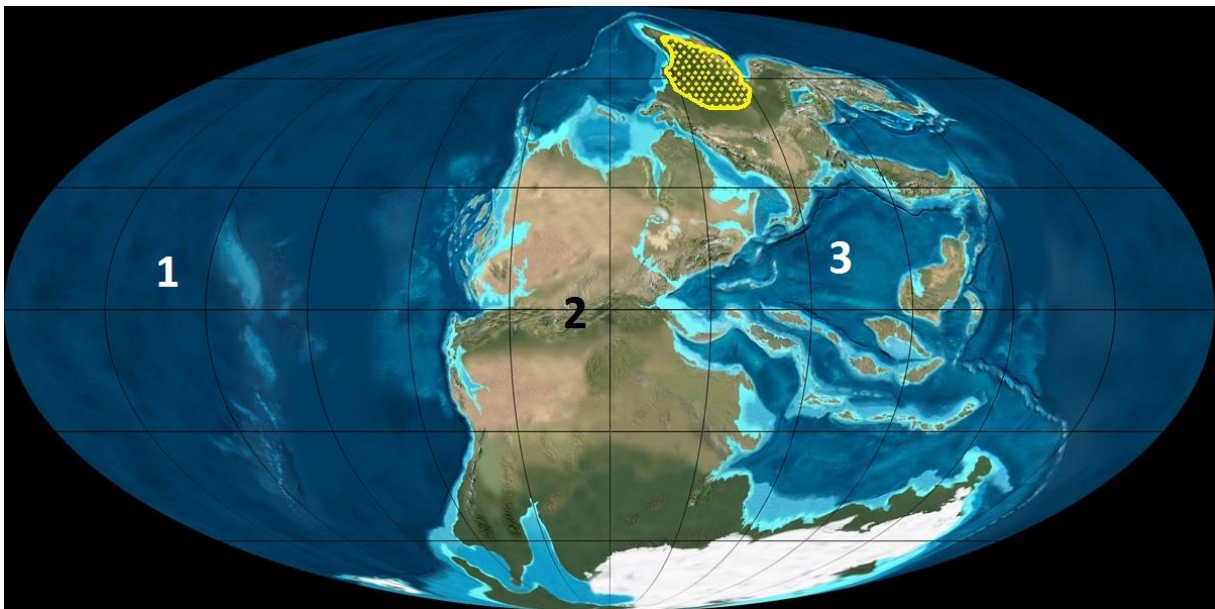
### **6.3. Posljedice izumiranja u permu**

Utvrđene su dvije epizode izumiranja i oporavka. Prvo izumiranje zbilo se u guadalup epohi i utjecalo je na morsku faunu niskih geografskih širina, posebno na fuzulinidne foraminifere i koljeno bodljikaša. Druga, veća epizoda izumiranja nastupila je pri kraju perma i utjecala je na širi spektar faune, na svim geografskim širinama. U izumiranjima je nestalo oko 60% životinjskih porodica (Slika 2). Bentoske zajednice karakteristične za kasni paleozoik nestale su te je ostala samo jedna, dominirana školjkašima. Razvijeni grebeni Tethys oceana se u fosilnim zapisima pojavljuju tek nakon 10 Ma, u srednjem trijasu. Kriza u permu označila je veliki efekt uskog grla u evoluciji mnogih beskralježnjaka. Ramenonošci i krinoidi, vrlo raznolike permske skupine, nikada nakon izumiranja nisu dostigli svoju prijašnju raznolikost i rasprostranjenost. Trilobiti te rugozni i tabulatni koralji u potpunost su nestali. Najznačajnija posljedica izumiranja je zamjena sesilnih taksona krinoida, mahovnjaka, rugoznih koralja i drugih s mekušcima, puževima i školjkašima. Kod ramenonošca, puževa i trpova izražen je Lazarus efekt, pa su se oni u fosilnom zapisu pojavili tek nakon srednjeg trijasa. Temelj hranidbenog lanca, radiolarije, gotovo su izumrle, a njihov nestanak se podudara s kolapsom primarne produkcije u oceanima.

Masovna izumiranja u dvije epizode prisutna su i na kopnu, s time da je drugo bilo veće magnitude. Mnoge vrste tetrapodnih kralježnjaka su nestale, poput pareiasaura, dominantnih herbivora, zatim velikih karnivora gorgonopsida te malenih omnivora, Millerettidea. Jedino su maleni karnivori, Therocephalia, održali raznolikost tijekom krize. Čak su i kukci, najotpornija skupina organizama, prošli kroz jedinu krizu u njihovoj povijesti, s velikim

gubitcima. Izumiranje biljaka bilo je izraženo na višim geografskim širinama. Tako su na jugu nestale *Glossopteris* šume, a na sjeveru visoko razvijena *Cordaites* flora Sibira.

Ostavština ovog izumiranja je svijet siromašne bioraznolikosti. Izumrlo je oko 90% svih vrsta. Dominantne preživjele skupine bile su školjkaši *Claraia* u moru i rod *Lystrosaurus* na kopnu. Ekspanzija stromatolita karakteristična je za rani trijas, a takve su pojave vrlo rijetke nakon prekambrija što govori o magnitudi uništenja oceanskih ekosustava. Prisutnost ježinaca i puževa te njihov hranidbeni pritisak inhibirali bi rast stromatolita. Magnituda izumiranja je bila tolika, da je slična razina bioraznolikosti postignuta tek u kredi, nakon više od 120 Ma [10].



**Slika 3:** Superkontinent Pangea (2) okružen je oceanima Panthalassa (1) i Tethys (3). Žutom bojom označeno je područje sibirskih zamki, „Prilagođeno prema <http://cpgeosystems.com/mollglobe.html>“



## 7. IZUMIRANJE U KASNOM TRIJASU

### 7.1. Obilježja trijasa

Period trijas trajao je od  $252.17 \pm 0.06$  Ma do  $201.3 \pm 0.3$  Ma. Epohe trijasa su donji, srednji i gornji trijas (Slika 1). Rani trijas se smatra „mrtvom zonom“ fanerozoika i predstavlja vrlo dug interval oporavka od masovnog izumiranja u permu [6]. Živi svijet sastojao se od široko rasprostranjenih organizama koji su preživjeli prijašnje izumiranje te nekih novih skupina poput ranih dinosaura. Tijekom trijasa kopnene mase svijeta još su gradile superkontinent Pangeu (Slika 4), koji se kasnije razdvaja na Gondwanu, koju su činili Južna Amerika, Australija, Antarktika i Indija, te Lauraziju koju su gradili Sjeverna Amerika i Euroazija. Na klimu trijasa utjecali su položaj Pangee sa središtem oko ekvatora te geološka aktivnost povezana s njenim razdvajanjem. Na polovima nisu postojale ledene kape [18].

### 7.2. Uzroci izumiranja u trijasu

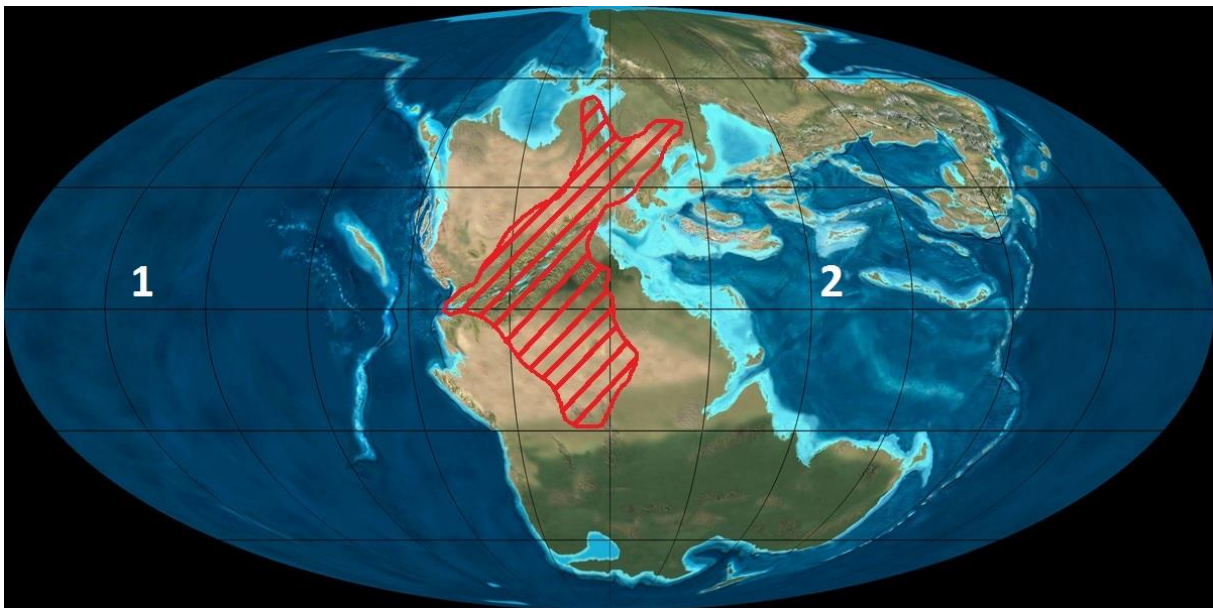
Danas je izumiranje u trijasu, zahvaljujući mnogim postignućima i istraživanjima, među najistraženijim i najrazumljivijim biološkim krizama zahvaljujući dokumentiranju neočekivano velikog volumena magmatskih stijena po postanku vezanih uz srednjeatlansko magmatsko područje, CAMP (Central Atlantic Magmatic Province) (Slika 4). Te stijene označavaju početak velike vulkanske aktivnosti, a njihova je starost radiometrijski datirana te se poklapa s nestankom mnogih vrsta i ekosustava trijasa. Glavni uzrok masovnog izumiranja stoga je najvjerojatnije tektonska i vulkanska aktivnost srednjeatlanskog hrpta te razdvajanje Pangee. Moguće posljedice su promjene razine mora, klimatske promjene, anoksija, unos toksičnih tvari i acidifikacija oceana. U talozima su utvrđeni poremećaji sedimentacije i negativne vrijednosti izotopa ugljika, a tomu se pripisuje isti uzrok, unos ogromnih količina ugljikova dioksida u atmosferu što je uzrokovalo globalno zatopljenje. Globalno zatopljenje je najvjerojatnije pratilo inicijalno zahlađenje zbog vulkanskog pepela u stratosferi.

Unatoč široko prihvaćenoj teoriji vulkanizma kao primarnog uzroka izumiranja, znanstvenici predlažu različite posljedične mehanizme kao dominantne, poput anoksije, kiselih kiša, acidifikacije oceana, klimatskih promjena, nakupljanja toksičnih plinova i slično [11].

### 7.3. Posljedice izumiranja u trijasu

Izumiranje je u potpunosti eliminiralo konodonte te gotovo uništilo koralje, spužve i amonite. Nestalo je oko 35% životinjskih porodica (Slika 2). Značajan utjecaj bio je na ramenonošce, koji su izgubili 71% rodova te puževe, kojima je teško odrediti broj izumrlih rodova zbog slabo očuvanih taksonomski važnih tvorbi. Grebenima je nakon izumiranja trebalo više milijuna godina da se oporave. Izumrlo je mnogo vrsta morskih reptila dok su ribe s manjim gubitcima.

Kopneni ekosustavi doživjeli su poremećaje slabijih intenziteta. Flora trijasa i jure taksonomski je vrlo sličnog sastava te se skupno naziva Rhaetoliasna flora, što dokazuje slabije izumiranje na kopnu [11].



**Slika 4:** Oceani Panthalassa (1) i Tethys (2) okružuju superkontinent Pangeu na kojem je crvenom bojom označena CAMP zona velike vulkanske aktivnosti odgovorna za masovno izumiranje, „ Prilagođeno prema <http://cpgeosystems.com/mollglobe.html>“

## **8. IZUMIRANJE U TRANZICIJI KREDA – PALEOGEN**

### **8.1. Obilježja krede**

Period kreda trajao je od oko 145.0 Ma do 66.0 Ma. Epohe krede su donja i gornja kreda (Slika 1). Period tranzicije, kao i izumiranje, široko su poznati kao kreda – tercijar, ali Međunarodna komisija za stratigrafiju (ICS) tercijar više ne klasificira kao geološki period, iako on ostaje u širokoj upotrebi. Također, geološka era mezozoik traje od  $252.17 \pm 0.06$  Ma te u tranziciji prelazi u kenozoik, eru koja traje i danas (Slika 1). Do srednje krede, Pangea se već razdijelila na nekoliko manjih kontinenata što je dovelo do geografske izolacije i zasebne evolucije na kontinentima [18].

### **8.2. Uzroci izumiranja u tranziciji kreda – paleogen**

Uzrok izumiranja je asteroid koji je pogodio Zemlju na području poluotoka Yucatan (Chicxulub krater), te zauvijek promijenio život na njoj. Posljedice velikog *impakta* su: (1) slabljenje solarne radijacije zbog krhotina i prašine od *impakta* i/ili velikog unosa vode u atmosferu; (2) posljedičnog perioda intenzivno niskih temperatura; (3) granice kontinenta i oceana bile su izložene velikim tsunamijima; (4) dugotrajne kisele kiše [12].

### **8.3. Posljedice izumiranja u tranziciji kreda - paleogen**

U izumiranju je nestao značajan dio hranidbenog lanca što je dovelo do drastične i dugotrajne regeneracije nutrijenata u oceanima. Tijekom izumiranja bila je izražena velika selektivnost. Nekoliko je velikih skupina, poput dinosaura, morskih reptila i amonita u potpunosti nestalo dok su druge skupine, poput dubokomorskih bentičkih foraminifera kroz tranziciju prošle gotovo bez promjene. Izumrlo je oko 50% životinjskih porodica (Slika 2). Planktonske su foraminifere, međutim, izgubile 95% vrsta. Uz njih, velike gubitke imali su i dinoflagelati, sa 62% izgubljenih vrsta, skleraktinski koralji, s 98% izgubljenih vrsta te različite druge skupine. Porodice školjkaša i puževa koje su imale veliku raznolikost u kredi, istu su postigli tek u srednjem eocenu, nakon 20 Ma, dok je planktonskim foraminiferama i dinoflagelatima trebalo 15 Ma.

Selektivnost izumiranja naginjala je prema taksonima s većim tijelom. Stoga je kod planktonskih foraminifera, ježinaca, školjkaša, puževa i ramenonožaca uočeno smanjenje veličine tijela. Pojava Lilliput efekta znači preživljavanje prvobitno manjih jedinki i/ili smanjenje veličine tijela preživjelih taksona. U prvih 40 tisuća godina pliocena uočene su značajne morfološke značajke planktonskih foraminifera što upućuje na visoku stopu mutacija i/ili oslabljenu selekciju na početku pliocena.

Mnoge druge fosilne skupine su rijetke ili slabo sačuvane, što čini magnitudu njihova izumiranja teškom za procjenu. Raže i morski psi izgubili su 43% rodova u zadnjem stadiju krede, ali nije poznato koliki je dio izumrlo u tranziciji. U drugim slučajevima procjene izumiranja znatno variraju, ovisno o metodama koje se koriste u računanju [13].

Ova je biološka kriza uvelike utjecala na terestrički okoliš što je najbolje dokumentirano u sedimentima sjeverne hemisfere, posebno u Sjevernoj Americi, gdje su efekti *impakta* bili najizraženiji [14]. Kao dokaz velikog ekološkog poremećaja navode se palinomorfološki podaci o isprekidanim ležištima spora paprati koji predstavljaju oporavak vegetacije. Nakupine fosila lišća ukazuju na povišenje temperature prema kraju krede, a to je vidljivo i u distribuciji kralježnjaka. Prema kraju krede precipitacija se postupno povećavala, što je u Sjevernoj Americi uzdržavalo vegetaciju kišnih šuma, koje zbog izumiranja više nisu imale velikih herbivora.

Značajan problem u palinološkim istraživanjima je pelud postojećih angiospermi, koja se pomoću svjetlosne mikroskopije rijetko može determinirati do razine vrste. Stoga, preživljavanje jedne vrste s peludom može prikriti izumiranja mnogih drugih vrsta. Polimorfna flora sigurno je bila raznolika, a prema procjenama izumiranja, u zapadnoj unutrašnjosti Sjeverne Amerike nestalo je oko 45% vrsta dok se približavanjem mjestu *impakta* postotak izumrlih vrsta penje na 75%. Nema dokaza velikih šumskih požara, ali mnogo sapropela upućuje na pojačano truljenje vegetacije koje je bila dodatno pojačano obiljem kiša [15].

Izumiranje u kralježnjaka bilo je slično onome i biljaka. Dinosauri bi zahvaljujući metabolizmu postupno mogli smanjiti veličinu tijela ukoliko bi došlo do globalnog zahlađenja, ali takva redukcija kod dinosaura Sjeverne Amerike nije vidljiva. Detritivori su za razliku od herbivora i karnivora lakše prošli kroz tranziciju. Izumiranje herbivora vjerojatno je nastupilo zbog gladi, a za njima su izumrli i karnivori [14].

## 9. DANAŠNJE MASOVNO IZUMIRANJE

Izumiranje megafaune terestričkih sisavaca u pleistocenu, epohi perioda kvartara koja je trajala od 258 Ma do prije 11 700 godina (Slika 1) se zbog selektivnosti izumiranja ne ubraja u masovna izumiranja [16]. Teorija izumiranja zbog velikog izlova od strane čovjeka je, uz teoriju glacijacija, jedna je od glavnih teorija izumiranja, a time je čovjek po prvi puta u povijesti mogući čimbenik većeg izumiranja vrsta. Danas čovječanstvo, uvelike brojnije i raširenije, nastavlja trend i vrši veliki pritisak na ekosustav i vrste putem eksploatacije resursa, fragmentacije staništa, unošenja invazivnih vrsta, širenja patogena, direktnog ubijanja vrsta te mijenjanjem globalne klime [2].

U analizi modernih izumiranja kralježnjaka postavlja se nekoliko pitanja: (1) jesu li moderne stope izumiranja sisavaca i kralježnjaka više od najvećih mogućih empirijski izvedenih pozadinskih stopa izumiranja; (2) kako se moderno izumiranje sisavaca i kralježnjaka mijenjalo kroz vrijeme; (3) koliko godina bi bilo potrebno vrstama koje su nedavno izumrle, da izumru u slučaju pozadinske stope izumiranja.

Ranije metode procjena stope izumiranja kritizirane su zbog korištenja pretpostavki koje mogu precijeniti težinu krize izumiranja. Noviji radovi koriste procjene pozadinske stope izumiranja od dvije izumrle vrste sisavca na 10 000 vrsta, u 100 godina (2E/MSY). Ta se stopa uspoređuje s trenutnom stopom izumiranja sisavaca i kralježnjaka. Takva metoda teži minimaliziranju broja izumrlih vrsta, ali čak je i njenim korištenjem prosječna stopa gubitka pojedinih vrsta kralježnjaka 114 puta veća od pozadinske stope izumiranja. Prema pozadinskoj stopi bi broj vrsta izumrlih u 20. stoljeću trebao od 800 do 10 000 godina da izumre. Takve procjene potvrđuju iznimno brz gubitak bioraznolikosti u posljednjih nekoliko stoljeća što inducira da je šesto masovno izumiranje već u tijeku [17]. Čak i ako je rang za prepoznavanje masivnog izumiranja ekstremno visok, mogao bi biti postignut za samo nekoliko stoljeća, ukoliko se negativni antropogeni učinak ne smanji [2]. Zaustavljanje dramatičnog gubitka bioraznolikosti i ekosustava još je uvijek moguće, ali taj se prozor mogućnosti ubrzano zatvara.

U prošlosti je dokumentirano stotine izumiranja kralježnjaka zbog antropogenog utjecaja. Pisani podaci o izumiranju velikih sisavaca, ptica i gmazova, datiraju od početka 17. stoljeća i uključuju vrste poput ptice dodo (17. stoljeće), morske krave *Stellerare* (18. stoljeće), gigantske kornjače *Rodrigues* (19. stoljeće), a nakon 19. stoljeća podataka je još i više. Podaci

o izumiranju gmazova, vodozemaca, slatkovodnih riba i drugih organizama većinom su dokumentirani od početka 20. stoljeća.

Prema procjenama Međunarodne udruge za zaštitu prirode (IUCN) za kralježnjake je u posljednjih 614 godina dokumentirano 338 izumrlih vrsta, a dodatnih 279 vrsta je izumrlo u prirodi ili moguće izumrlo što je ukupno 617 vrsta kralježnjaka. Najviše izumiranja bilo je u posljednjih 114 godina. Pomoću računice 2E/MSY izumrlo je 468 vrsta kralježnjaka, od čega 69 vrsta sisavaca, 80 vrsta ptica, 24 vrsta gmazova, 146 vrsta vodozemaca i 158 vrsta riba. Postoji manjak podataka za skupine kralježnjaka koje još nisu procijenjene, poput gmazova i riba. Stoga je definirani trend niži nego što bi trebao biti kada bi se uključile i te skupine [17].

Prema drugim analizama, ako sve vrste koje su pod prijetnjom izumiranja izumru u sljedećem stoljeću, te ako se visoka stopa izumiranja nastavi, izumiranje vodozemaca, ptica i sisavaca dostiglo bi magnitudu kao i pet masovnih izumiranja za samo 240 do 540 godina. Ako se izumrle vrste ograniče samo na današnje kritično ugrožene vrste, isti efekt postigao bi se za 890 do 2265 godina. U oba slučaja prvi bi izumrli vodozemci, a zadnje ptice. Time bi današnje stope izumiranja bile znatno više od stopa u pet masovnih izumiranja.

Radi zaštite bioraznolikosti i boljeg razumijevanja izumiranja potrebno je poduzeti nekoliko koraka: (1) standardizacija usporedbi stopa izumiranja radi prilagodbe, mjerenjima stopa u različitim vremenskim periodima; (2) standardizacija usporedbi magnituda izumiranja, korištenjem istih taksonomskih kategorija za fosilne i recentne organizme; (3) standardizacija taksonomskih i geografskih usporedbi, korištenjem fosilnih i recentnih taksona s jednakim prezervacijskim potencijalom; (4) procjena rizika izumiranja modernih taksona poput puževa i školjkaša koji su vrlo česti u fosilnim zapisima, ali su recentne vrste slabo procijenjene; (5) proučavanje izumiranja iz konteksta bogatstva vrsta i dinamike populacije, korištenjem fosilnih zapisa i filogenetskih analiza; (6) definiranje poveznica između selektivnosti i intenziteta izumiranja; (7) razvijanje i testiranje metoda za određivanje generalnih uvjeta potrebnih za masovno izumiranje te usporedba s recentnim stanjem na Zemlji [2].

## 10. ZAKLJUČAK

Masovna izumiranja u fanerozoiku definirana su zahvaljujući velikom prezervacijskom potencijalu mnogih organizama, upravo zbog prisutnosti skeleta ili skeletnih tvorbi koje mogu biti sačuvane. Organizmi iz eona prekambrija nisu razvijali skelete stoga nema dokaza o masovnim izumiranjima, ali to ne znači da se ona nisu događala. Mnogi anaerobni organizmi sigurno su izumrli zbog postupnog povećanja koncentracije kisika u atmosferi i oceanima, pojavom fotosinteze prije više od dvije milijarde godina.

Nekolicina organizama se kroz nekoliko tisuća ili milijuna godina može prilagoditi promjenama u svom okolišu. Ako se te promjene događaju na globalnoj razini i velikog su razmjera, tada se gotovo čitavi ekosustavi moraju prilagoditi, što nije moguće. Selektivnost većine masovnih izumiranja najviše je bila usmjerena na morske organizme i organizme niskih geografskih širina. Organizmi u oceanima navikli su na stroge, većinom konstantne uvjete tlaka, temperature i koncentracije otopljenog kisika. Masovna izumiranja uvelike su utjecala na uvjete u oceanima i posebno u nižim geografskim širinama, zbog mnogih čimbenika, poput izraženije anoksije. No, bez obzira na magnitudu tih izumiranja, opstalo je dovoljno vrsta organizama kako bi se život na Zemlji mogao nastaviti. Nakon najvećeg masovnog izumiranja u permu na Zemlji je preživjelo svega 10% vrsta koje su se morale prilagoditi potpuno novim uvjetima i ekološkim nišama. Masovna izumiranja stoga su pokazatelji iznimne otpornosti života na Zemlji jer su organizmi sposobni preživjeti velike promjene i ekstremne uvjete.

Danas se gotovo na cijeloj Zemlji mogu pronaći tragovi negativnog antropogenog učinka. Promjena klime te sve veća populacija ljudi vrše izrazito veliki pritisak na cijelu Zemlju, sve ekosustave i biosferu. Prehrambena industrija, industrija plastike i promet samo su neki od čimbenika izrazito negativnog antropogenog djelovanja koji direktno ili indirektno utječu na biosferu, stoga ne čudi velika stopa izumiranja te gubitak vrsta i populacija. Pitanje je koliko dugo će biosfera izdržati takav pritisak čovječanstva.

Kako broj ljudi na Zemlji nezaustavljivo raste, rješenje vidim isključivo u korjenitim reformama društvenih normi što bi uključivalo većinsko korištenje alternativnih oblika energije, smanjenje ribolova, masovne intenzivne poljoprivrede i mesne industrije, izrazito smanjenje zagađenja, stroge zaštite velikog broja vrsta i velikih površina kopna i mora. Za sve su potrebna velika i brojna istraživanja stoga i velika ulaganja u znanost.

## 11. LITERATURA

- [1] Hoffman A., 1989. What, if anything, are mass extinctions? *Phil. Trans. R. Soc. Land. B*, 325, 253-251.
- [2] Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S., Wogan O.U.G., Swartz B., Quental T.B., Marshall C., McGuire L.J., Lindsey L.E., Maguire C.K., Mersey B. i Ferrer A.E., 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 51-57.
- [3] McKinney M.L., 2001. Selectivity during Extinctions U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 198-202.
- [4] Harries P.J., 2009. What does the 'Lilliput Effect' mean? *Palaeo.* 3, 284, 4-10.
- [5] Sheehan P.M., 1996. A new look at Ecologic Evolutionary Units (EEUs) *Palaeo.* 3, 127, 21-32.  
*IZVOR:* Bottjer D.J., 2001. Biotic Recovery from Mass Extinctions U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 202-206.
- [6] Hallam A., Wignall P.B., 1997. Mass Extinctions and Their Aftermath. Oxford University Press, Oxford. *IZVOR:* Bottjer D.J., 2001. Biotic Recovery from Mass Extinctions U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 202-206.
- [7] Brenchley P.J., 2001. Late Ordovician Extinction U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 220-223.
- [8] McGhee G.R. Jr, 1996. The Late Devonian Mass Extinction. Columbia University Press, New York. *IZVOR:* McGhee G.R. Jr, 2001. Late Devonian Extinction U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 223-226.
- [9] McGhee G.R. Jr, 2001. Late Devonian Extinction U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 223-226.
- [10] Wignall P.B., 2001. End-Permian Extinction U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 226-229.
- [11] Hautmann M., 2012. Extinction: End-Triassic Mass Extinction. eLS, DOI: 10.1002/9780470015902.a0001655.pub3



- [12] Alvarez W., 1997. *T. rex and the Crater of Doom*. Princeton University Press, New Jersey .  
*IZVOR*: Russel D.A. i Wolfe J.A., 2001. Impacts of K-T Boundary Events on Terrestrial Life  
U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA,  
USA, 232-234.
- [13] Norris R.D., 2001. Impact of K-T Boundary Events on Marine Life U: Paleobiology II (ur.  
D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 229-231.
- [14] Russel D.A. i Wolfe J.A., 2001. Impacts of K-T Boundary Events on Terrestrial Life U:  
Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA,  
USA, 232-234.
- [15] Alroy J., 1998. Cope's rule and the dynamics of body mass evolution in North America fossil  
mammals. *Science* 280, 731-734. *IZVOR*: Russel D.A. i Wolfe J.A., 2001. Impacts of K-T  
Boundary Events on Terrestrial Life U: Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther),  
Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA, 232-234.
- [16] Stuart A.J., 1991. Mammalian extinctions in the late Pleistocene of northern Eurasia and North  
America. *Biological Reviews* 66, 453-562. *IZVOR*: Roy K., 2001. Pleistocene Extinctions U:  
Paleobiology II (ur. D.E.G. Briggs, P.R. Crowther), Blackwell Science Ltd, Malden, MA,  
USA, 234-237.
- [17] Ceballos G., Ehrlich R.P., Barnosky D.A., Garcia A., Pringle M.R., Palmer M.T., 2015.  
Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinctions. *Sci.*  
*Adv*, 1, DOI: 10.1126/sciadv.1400253
- [18] <http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.php>  
<http://cpgeosystems.com/mollglobe.html>  
<http://forhumanliberation.blogspot.com/2014/09/1547-mass-extinctions-what-causes.html>  
<http://stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>

## 12. SAŽETAK

Masovna izumiranja relativno su kratki periodi geološkog vremena kada je izumro veliki dio vrsta na Zemlji. Karakteriziraju ih velika stopa i magnituda izumiranja te vrlo dug period oporavka. Istaknuto je pet masovnih izumiranja i nekoliko manjih izumiranja u geološkoj prošlosti Zemlje. Mnogim istraživanjima definirani su primarni uzroci pokretači tih izumiranja, poput vulkanizma, ali posljedični čimbenici poput anoksije i klimatskih promjena te njihov udio u izumiranju su diskutabilni. Zbog naglih promjena u oceanima, gdje većinom vladaju konstantni uvjeti, sva su masovna izumiranja imala najveći utjecaj na morske organizme. Dominantne i široko rasprostranjene skupine poput amonita, trilobita i dinosaura zauvijek su izbrisane s lica Zemlje, a drugim su organizmima otvorene nove ekološke niše i evolucijski putevi.

Mnogi znanstvenici upozoravaju da je zbog velike moderne stope izumiranja šesto masovno izumiranje već započelo. Potrebna su mnoga istraživanja i mjere zaštite kako bi se te stope smanjile i osigurao daljnji tijek života na Zemlji, kakvog ga poznajemo.

## 13. SUMMARY

Mass extinctions are relatively short periods in geological time during which majority of species on Earth went extinct. They are characterised by a large magnitude and extinction rate and a very long period of recovery. Five mass extinctions and a few minor extinctions that occurred during the Earth's geological history are being defined. Main causes of these extinctions, such as volcanism are well known, but consequential factors like anoxia and climatic changes and their share in extinctions are questionable. Due to sudden changes in oceans, where life conditions are mostly constant, marine life was most severely affected by mass extinctions. Dominant and widespread groups of organisms like ammonites, trilobites and dinosaurs went extinct, thereby opening new ecological niches and giving a chance for evolution of other organisms.

Many scientists warn us that because of great modern extinction rates, the sixth mass extinction has already begun. Many more researches and protection measures are required for reducing these rates and for securing the future of life on Earth as we know it.