

Hidrotermalni otvori: veza sa životom na dnu oceana

Gverić, Zvonka

Undergraduate thesis / Završni rad

2009

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:217:341660>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
STUDIJSKI PROGRAM: Znanosti o okolišu (Environmental sciences)

Seminarski rad:

HIDROTERMALNI OTVORI: VEZA SA ŽIVOTOM NA DNU
OCEANA

(Hydrothermal vents: A link to life on deep ocean seafloor)

MENTOR: prof. dr.sc. Dražen Balen

STUDENTICA: Zvonka Gverić

Zagreb, 2009.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. NASTANAK I STRUKTURA HIDROTERMALNIH OTVORA....	3
2.1. „Black smokers“	5
2.2. „Cold seeps“	6
3. BOGATSTVO VRSTA NA OCEANSKOM DNU.....	7
4. NOVE TEORIJE.....	10
4.1. Hipoteza o postanku života na Zemlji.....	10
4.2. Život na drugim planetima?.....	11
5. ISKORIŠTAVANJE HIDROTERMALNIH OTVORA.....	12
6. ZAKLJUČAK.....	14
7. LITERATURA.....	15
8. SAŽETAK.....	16
9. SUMMARY.....	16

1.UVOD

Hidrotermalni otvori otkriveni su na dnu oceana 1977. godine (izvor: <http://www.divediscover.who.edu/vents/index.html>). Njihovo postojanje i nije iznenadilo znanstvenike koji su, proučavajući temperature oceana, već predvidjeli geotermalne izvore na oceanskom dnu u blizini vulkanski aktivnih područja. Ono što je najviše fasciniralo je bilo otkriće vrlo bogate životne zajednice u području koje je, po svim kriterijima, nepristupačno i pogubno za većinu organizama.

Prva istraživanja počela su 1979. u istočnom Pacifiku nedaleko Galapagosa. Istraživači su se u vozilu nazvanom „Alvin“ (Sl. 1.), posebno oblikovanom za podmorska istraživanja, spustili na samo dno oceana i imali priliku izbliza promatrati hidrotermalne otvore, kao i sakupiti uzorke.

Danas se zna da hidrotermalni otvori postoje i u Atlantskom i Indijskom oceanu, a svako novo otkriće pokazuje da je svaki hidrotermalni otvor (ili polje hidrotermalnih otvora) zasebni ekosustav. Karakteristike kao što su temperatura, pH, kemijski sastav hidrotermalne tekućine i slično, razlikuju se od otvora do otvora što za posljedicu ima različitu bioraznolikost. Hidrotermalni otvori predstavljaju centre života na pretežno pustom oceanskom dnu i opovrgavaju uvriježeno mišljenje da je za postojanje kompletnog ekosustava potrebna Sunčeva energija. Također, otkriće hidrotermalnih otvora daje novi pogled i nove ideje o nastanku života na Zemlji, kao i o mogućem postojanju života na drugim planetima.



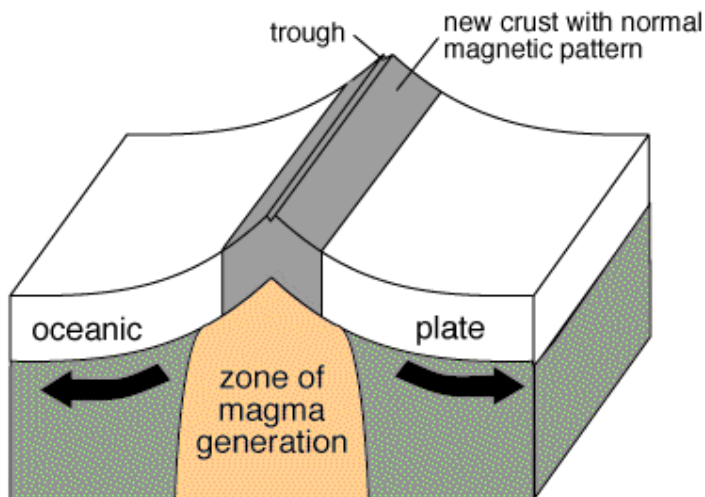
Slika 1. DSV „Alvin“ (izvor:

<http://www.fjstewart.org/FieldWork.html>)

2. NASTANAK I STRUKTURA HIDROTERMALNIH OTVORA

Hidrotermalni otvor je pukotina na površini Zemlje kroz koju izlazi voda zagrijana geotermalnom energijom. Na kopnu tako nastaju vrući izvori ili gejziri, a u podmorju se pojavljuju različiti oblici od kojih su najpoznatiji „black smokers“.

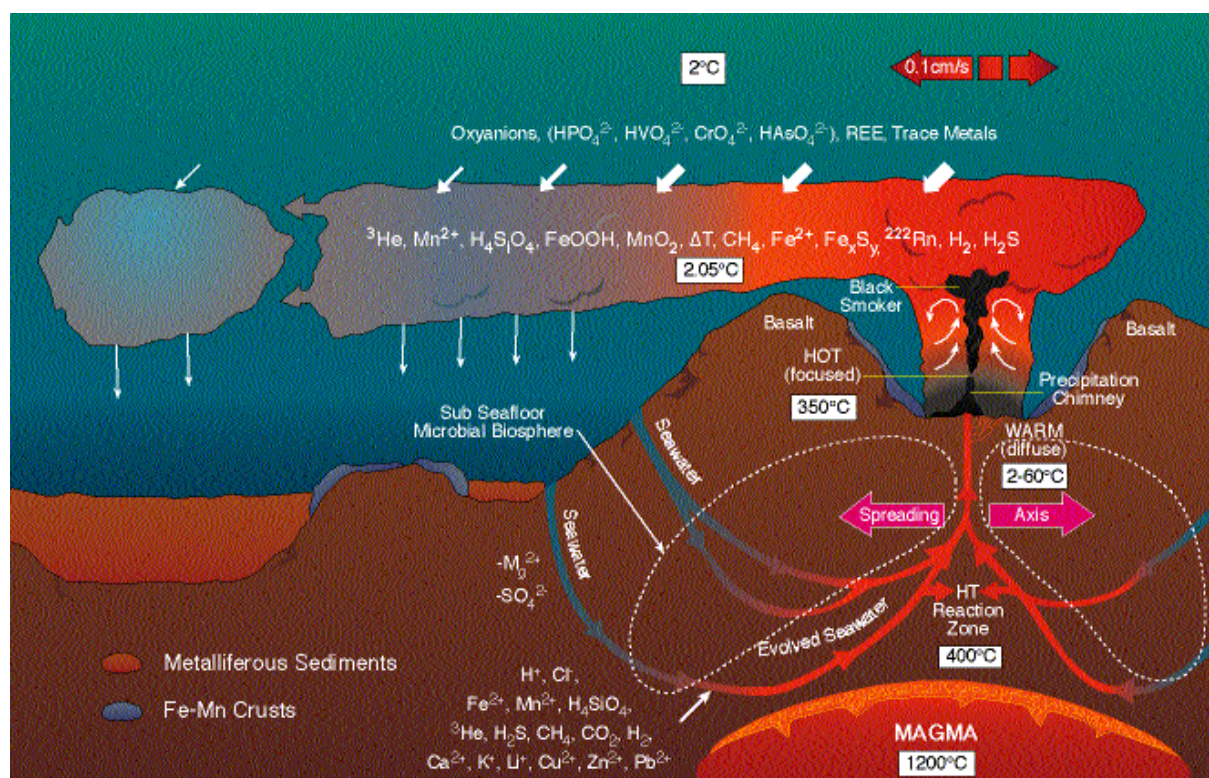
Dubokomorski hidrotermalni otvori nalaze se uz srednjeoceanske hrptove, tj. na mjestima gdje se širi oceansko dno i stvara nova oceanska kora (Sl. 2.), a pojavljuju se i blizu vrućih točaka i u zalučnim bazenima. Na mjestima divergencije oceanskih ploča formiraju se vulkani koji eruptiraju vruću lavu i koja u dodiru s hladnom morskom vodom prelazi u čvrsto agregatno stanje i stvara novu oceansku koru. Tektonske ploče se razmiču brzinom od oko 2 cm godišnje (ovisi o divergentnoj granici). Vulkani na srednjeoceanskim hrptovima nemaju tipičan stožasti oblik nego su to dugačke pukotine iz kojih izlazi bazaltna lava, nazvana „pillow“ ili „jastučasta“ lava zbog posebnih oblika koji nastaju naglim hlađenjem. Nova oceanska kora koja nastaje je toplija i manje gustoće i zbog toga je viša od stare oceanske kore s obje strane divergentne granice, stvarajući tako oblik niskog planinskog lanca s udolinom u sredini. Širina i dubina udoline ovise o brzini razdvajanja ploča, tj. o brzini nastajanja nove oceanske kore.



Slika 2. Nastanak srednjeocenaskog hrpta (izvor: <http://library.thinkquest.org/18282/lesson4.html>)

Srednjojeoceanski hrptovi nalaze se vrlo duboko u moru, na nekim mjestima i dublje od 2500 m, gdje vrlo veliki sloj morske vode iznad njih stvara ogroman pritisak. Tlak raste otprilike 1 atmosferu za svakih 10 m dubine. Sunčeva svjetlost ne dopire tako duboko pa je, osim što je mračno, i temperatura vode (osim na mjestima gdje eruptira vruća lava i kod hidrotermalnih otvora) niska, otprilike 2°C.

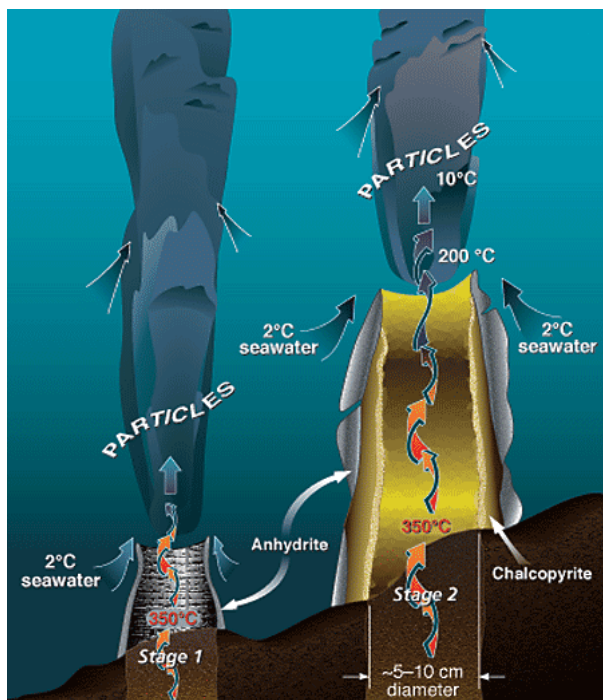
Nova oceanska kora često je puna pukotina koje nastaju zbog naglog hlađenja stijena. Morska voda prolazi kroz te pukotine i porozne sedimente i reagira s vrućim stijenama blizu magmatske komore (Sl. 3.). Zagrijavanjem morske vode događa se nekoliko kemijskih reakcija. Prvo, morska voda zagrijavanjem gubi kisik, a nakon toga, prodirući dublje ispod površine, iz okolnih stijena se u njoj otapaju sumpor i metali kao što su bakar, cink i željezo. Morska voda se miješa s vodom oslobođenom iz magme i na kraju ovakva vruća i mineralima bogata tekućina izlazi kroz otvore na morskom dnu brzinom i do 5 m/s. Temperatura vode koja izlazi iz hidrotermalnih otvora je najčešće vrlo visoka (i do 400°C), a u tekućem stanju ostaje zbog visokog pritiska. Također, pH je najčešće vrlo nizak (oko 3), iako postoje iznimke.



Slika 3. Prikaz hidrotermalnog otvora (izvor: www.indiana.edu/.../vent_communities.htm)

2.1. „Black smokers“

Na mjestima hidrotermalnih otvora pojavljuju se različiti oblici nastali precipitacijom minerala, a najčešći su dimnjaci kroz koje prolazi zagrijana voda s otopljenim mineralima. Znanstvenici su otkrili da stvaranje takvih dimnjaka u najranijoj fazi uključuje formiranje prstena oko mlaza vode koja izlazi iz pukotine (Sl 4.). Taj početni prsten je građen od anhidrita, minerala koji je specifičan po tome da je lakše topiv u hladnoj nego u toploj morskoj vodi. Anhidrit grade kalcijevi (Ca^{2+}) i sulfatni ioni (SO_4^{2-}) koji se nalaze otopljeni u morskoj vodi, a kalcijevih iona ima i u hidrotermalnoj tekućini. Na temperaturi od 150°C ili većoj, ioni se spajaju i oslobađa se anhidrit. Zatim, iz vruće otopine u dodiru s hladnom morskom vodom precipitiraju metalni sulfidi i oksidi u obliku sitnih čestica koje čine tamni „dim“ koji izlazi iz hidrotermalnih otvora. Neke od tih čestica ostaju „zarobljene“ između pora anhidrita (koji je u čistom stanju bijele boje) dajući tako i samim dimnjacima tamnu boju. Zapunjavanje pora na stijenkama dimnjaka metalnim sulfidima i oksidima je postepeno i one postaju manje porozne i bogatije metalima. U završnoj fazi, na presjeku dimnjaka vide se minerali raspoređeni u koncentričnim krugovima oko šupljine u sredini. Dimnjaci mogu rasti vrlo brzo, čak 30 cm dnevno. Na spomenuti način nastaju „crni dimnjaci“ ili „black smokers“ kojima tamnu boju daju minerali bogati sulfidima. No, otkriveni su i „bijeli dimnjaci“ ili „white smokers“, kroz koje izlazi hidrotermalna tekućina siromašna sulfidima, ali bogata mineralima koji sadrže barij, silicij i kalcij. Također, hidrotermalna tekućina je kod „bijelih dimnjaka“ najčešće niže temperature od one koja izlazi iz „crnih dimnjaka“. Ovisno o sastavu minerala u hidrotermalnoj tekućini, „dim“ može biti i siv ili proziran.



Slika 4. Formiranje „dimnjaka“ (izvor: www.whoi.edu/.../viewImage.do?aid=2440&id=5606)

2.2. „Cold seeps“

Na nekim mjestima tekućina bogata sumporovodikom, metanom i ostalim ugljikovodicima izlazi iz pukotina u oceanskoj kori, miješa se s morskom vodom ispod površine zbog čega ima manju temperaturu ($\sim 8-30^{\circ}\text{C}$) i manju brzinu istjecanja pa se ne stvaraju dimnjaci. Takvo područje zove se „cold seep“ ili „diffuse flow“. Slični su „crnim dimnjacima“ po tome što su to jedini poznati ekosustavi koji ne ovise o Sunčevoj energiji, no za razliku od turbulentnog i kratkotrajnog staništa uz „dimnjake“, „cold seeps“ su stabilniji i, za većinu organizama, pogodniji okoliši, prvenstveno zbog niže temperature. „Cold seeps“ s vremenom stvaraju jedinstvenu topografiju; reakcijom metana s morskom vodom nastaju stijenske forme i grebeni građeni od karbonata. Ostaci ovakvih stijena, kao i fosilni ostaci različitih mekušaca i ramenonožaca su nađeni na mnogim mjestima na kopnu, a najčešći su oni mezozojske i kenozojske starosti.

3. BOGATSTVO VRSTA NA OCEANSKOM DNU

Dugo vremena se smatralo da osnovu svakog ekosustava i bazu hranidbenog lanca čine autotrofni fotosintetski organizmi koji pretvaraju Sunčevu energiju u iskoristivi oblik namijenjen potrošačima koji nastavljaju niz međusobno ovisnih organizama. Također se smatralo da je život na morskom dnu do kojeg ne dopire Sunčeva svjetlost izrazito siromašan i sastoji se od nekolicine organizama koji uspijevaju preživjeti mrak i hladnoću i ovise o donosu hranjivih tvari iz viših dijelova oceana. Iako se samo postojanje hidrotermalnih otvora pretpostavljalo i prije nego su se znanstvenici spustili na morsko dno, teorija o podvodnoj pustinji je ostala. Iz tog razloga se i prva posada „Alvina“ 1979. sastojala isključivo od geologa koji su se prilično iznenadili otkrivši bogati ekosustav čija je bioraznolikost i do nekoliko tisuća puta veća od one na okolnom morskom dnu.

Dominantni organizmi u životnoj zajednici uz hidrotermalne otvore su beskralježnjaci od kojih mnogi imaju vrlo neobične prilagodbe za život u takvim uvjetima. Mnoge vrste su endemske, što je i logično s obzirom na specifičnost staništa. Postoje razlike u sastavu vrsta između različitih hidrotermalnih otvora, pa se tako ekosustav hidrotermalnih otvora u Pacifiku razlikuje od onog u Atlantskom i Indijskom oceanu. Dok u Pacifiku većina biomase otpada na cjevaste mnogočetinaše, u Atlantiku dominira škamp *Rimicaris*. Zanimljivo, u fauni hidrotermalnih otvora u Indijskom oceanu također dominira *Rimicaris*, ali ostale životinje koje ih naseljavaju su srodne onima iz Pacifika.

Ove ekosustave pokreće kemijska energija, a baza hranidbenog lanca su anaerobne kemosintetske bakterije i Archaea. Procesom kemosinteze, koristeći sumporovodik iz hidrotermalnih otvora i kisik i ugljikov dioksid iz morske vode, stvaraju se jednostavni šećeri. Izvor ugljika je anorganski (CO_2), a energija potrebna za stvaranje organske tvari dobiva se iz sumporovodika, tj. energije pohranjene u kemijskim vezama između atoma vodika i sumpora.

Kemosintetske bakterije i Archaea mogu živjeti u simbiozi s višim organizmima ili slobodno, a neke čak žive i ispodorskog dna ili u samim hidrotermalnim otvorima i na unutarnjim stijenkama dimnjaka (hipertermofili i ekstremofili). Iako kemijske energije ima u izobilju, ipak je vrlo nevjerovatno da se na ovakvom staništu razvio tako bujan živi svijet. Životinje su morale razviti razne prilagodbe na visoki pritisak, nedostatak svjetla, otrovni sumporovodik, no prije svega na visoku temperaturu koja je pogubna za proteine, genetički materijal i ostale biološke strukture. Mehanizmi sprečavanja denaturacije DNA su uglavnom poznati; hipertermofilni organizmi obično u svojim stanicama imaju veliku koncentraciju soli (sadrže magnezijeve, kalijeve i fosfatne ione), postoje proteini nalik histonima koji se vežu za

DNA i stabiliziraju je, a prisutan je i enzim reverzna giraza koju sudjeluje u zaštiti od visoke temperature. Što se tiče funkcije enzima, neobično je to da enzimi ovih organizama, biokemijski gotovo identični onima mezofilnih vrsta, ne samo da ostaju stabilni na visokim temperaturama nego i pokazuju najvišu razinu aktivnosti na temperaturama iznad 100°C, dok su praktički neaktivni na sobnoj temperaturi. Znanstvenici pretpostavljaju da je to zbog sitnih razlika u terciarnoj, tj. trodimenzionalnoj strukturi enzima (Zierenberg, 2000).

Dvije vrste kemotsintetskih bakterija su hipertermofilne, a svi ostali hipertermofili svrstavaju se u domenu Archaea. To su mikroorganizmi vrlo slični bakterijama koji također stvaraju organsku tvar procesom kemotsinteze i bili su značajno otkriće jer se smatraju najstarijim bićima na Zemlji i time najbližijima probiontu, zajedničkom pretku živog svijeta, što je potaklo teorije o postanku života na dnu oceana.

Slobodnoživuće bakterije na okolnim stijenama stvaraju debele prevlake na kojima se hrane potrošači prvog reda, kao što su mali rakovi iz skupina Amphipoda i Copepoda, a koji su plijen predatorskim organizmima; mekušcima i većim rakovima. Iako najveći dio bioraznolikosti čine beskralježnjaci, znaju biti prisutne i neke vrste kralježnjaka, npr. jegulje.

Treba napomenuti da je većina ovih organizama aerobna zbog čega nisu potpuno neovisni od Sunca jer koriste kisik nastao djelovanjem fotosintetskih organizama na površini oceana.

Jedan od najzanimljivijih organizama je cjevasti mnogočetinaš koji živi u simbiozi s bakterijama. Na staništima uz hidrotermalne otvore u Tihom oceanu pojavljuju se dvije vrste, *Tevnia jerichonana* i *Riftia pachyptila* (Sl. 5). Nijedna vrsta nema usta ni probavni sustav, nego se hranjive tvari absorbiraju kroz tkivo, a bakterije koje žive unutar njihovih tijela pomažu u probavi. *Riftia pachyptila* ili veliki cjevasti mnogočetinaš može narasti preko 2 m i tolerira visoku temperaturu i niski pH. Slobodnoplivajuća ličinka se pričvrsti za podlogu i počne izlučivati tvar sličnu hitinu od koje je građena „cijev“ u kojem organizam živi. Na slobodnom kraju koji je najčešće izvan „cijevi“ su crveni perasti nastavci koji služe za izmjenu tvari s okolišem. Crvenu boju daje pigment hemoglobin koji je kod ovih organizama izrazito kompleksan i sastoji se od mnogo globinskih lanaca. Takav oblik hemoglobina može prenositi kisik i sumporovodik istovremeno bez da bude inhibiran molekulom H₂S kao što je slučaj kod ostalih tipova hemoglobina. Sumporovodik i kisik se prenose do bakterija koje žive unutar tijela mnogočetinaša u posebnim strukturama, „trofosomima“. Bakterije kemotsintezom stvaraju ugljikovodike kojima se mnogočetinaš hrani. *Riftia pachyptila* je i jedan od morskih beskralježnjaka s najvišom stopom rasta i može vrlo brzo kolonizirati novo stanište što je u skladu s činjenicom da hidrotermalni otvori na jednom mjestu mogu postojati vrlo kratko,

nekad samo nekoliko desetaka godina. Njima srodna vrsta *Lamellibrachia luymesii*, također ovisna o endosimbiotskim bakterijama je jedna od najduže živućih vrsta. Živi na području istjecanja metana kroz oceansku koru („cold seeps“) i može doseći starost od 250 godina. Najpoznatija je zajednica u Meksičkom zaljevu.



Slika 5. *Riftia pachyptila* (izvor: www.science.psu.edu/alert/fisher5-2006.htm)

Školjkaši, kao i cjevasti mnogočetinaši stvaraju guste kolonije na područjima hidrotermalnih otvora u istočnom Pacifiku i često se radi o prilično velikim organizmima, npr. *Calyptogenia magnifica*.

Zanimljive su i prilagodbe nekih vrsta, npr. nedavno otkriven puž oklopljen ljuskama građenim od minerala željeza i organske tvari što najvjerojatnije predstavlja zaštitu od predatora ili mnogočetinaš *Alvinella pompejana* koji može izdržati temperature do 80°C i živi na vanjskim stijenkama dimnjaka. Pretpostavlja se da ga bakterije koje žive na njegovom tijelu i hrane se sluzi koju izlučuje na neki način štite od visoke temperature.

Zasad je na staništima ovog tipa pronađeno oko 300 novih vrsta. Neke vrste koje žive na različitim hidrotermalnim otvorima pokazuju očite sličnosti i primjeri su konvergentne evolucije, dok se srodnost nekih vrsta u Tihom oceanu objašnjava teorijom da je u istočnom Pacifiku nekad postojalo veliko polje hidrotermalnih otvora koje se zbog pomicanja tektonskih ploča rascjepkalo na manja staništa.

4. NOVE TEORIJE

4.1. Hipoteza o postanku života na Zemlji

Otkriće bogate životne zajednice na dnu oceana potaklo je mnoga istraživanja o tome od čega ti organizmi žive i što pokreće takav ekosustav, a odgovori na ta pitanja rezultirali su u nekim novim teorijama o postanku života na Zemlji. Činjenica da bakterije i Archaea mogu živjeti potpuno neovisno od Sunčeve energije i kisika, u uvjetima visokog tlaka i temperature inspirirala je teoriju da su prvi živi organizmi nastali u sličnom staništu.

Hipotezu o postanku života na hidrotermalnim otvorima prvi je postavio Günter Wächtershäuser koji smatra da su se prvo razvili najraniji metabolički procesi, podrazumijevajući pod tim ciklus kemijskih reakcija kojima se proizvodi energija. Razvoj proteina i genetičkog materijala dogodio se kasnije, a pretpostavlja se da su se jednostavne aminokiseline mogle stvarati unutar hidrotermalnih otvora reakcijama metana i amonijaka. Te aminokiseline su onda zajedno s hidrotermalnom tekućinom izbačene u hladnu morsku vodu, a razlika u temperaturi je pogodovala stvaranju peptida i protostanica.

U prilog ovoj teoriji govori činjenica da materijala, kao i energije za sintezu prvih biotičkih spojeva ima u velikim količinama, a neki znanstvenici smatraju da je Sunčevo zračenje u vrijeme nastanka života na Zemlji bilo puno snažnije nego danas (a i atmosfera je pružala manju zaštitu) pa bi prejako UV zračenje razorilo aminokiseline nastale u plićaku oceana, tj. Suncem grijanoj „prajuh“.

Protivnici teorije naglašavaju kratkotrajnost hidrotermalnih otvora i smatraju da je sinteza jednostavnih organskih molekula moguća, ali da hidrotermalni otvori u svom kratkom postojanju nisu mogli podržavati dugotrajne procese organizacije tih molekula u prve stanice. Također, organske molekule su nestabilne na visokim temperaturama, iako teorija govori o udruživanju aminokiselina u zoni gdje se vruća hidrotermalna tekućina miješa s hladnom morskom vodom, gdje je temperatura prihvatljivija. S druge strane, iako je većina današnjih organizama osjetljiva na visoku temperaturu, postoje naznake da su prvi organizmi na Zemlji bili hipertermofilni. Prilagodbe današnjih hipertermofila nisu u potpunosti istražene, a moguće je da će nove spoznaje o tome objasniti i postanak probionta u ekstremno vrućim okolišima, možda čak i promijeniti zasad prihvaćenu hipotezu o postanku prvih stanica.

Fosilni ostaci koji bi mogli dokazati da se život razvio na hidrotermalnim otvorima nađeni su u zapadnoj Australiji. Stijene nastale uz prapadne hidrotermalne otvore sadrže kemijske dokaze o bakterijskoj aktivnosti, a utvrđena starost im je 3.5 milijardi godina. Iz

toga se može zaključiti da hidrotermalni otvori u oceanu postoje od njegovog nastanka i da su se posljedično pojavili i kemosintetski anaerobni mikroorganizmi.

4.2. Život na drugim planetima?

Znanstvenici se slažu da je za postanak prvih stanica bila potrebna voda, izvor ugljika i dušika i neki oblik energije. Kad se počela razmatrati mogućnost nastanka života na dnu oceana, pokrenulo se i pitanje o životu na drugim planetima. Smatra se da Jupiterov prirodni satelit Europa ima aktivne hidrotermalne otvore. Europa je otprilike veličine Mjeseca i pokrivena je ledom. Istraživanja su dala dokaze da je jezgra Europe tekuća zbog gravitacijskih sila koje se javljaju kao rezultat blizine Jupitera. Utvrđeno je da se dijelovi Europine ledene površine miču što znači da ispod leda postoji tekuća voda, a objašnjenje za to mogli bi biti hidrotermalni otvori. Ako je ta pretpostavka točna, moguće je da na Jupiteru žive primitivni mikroorganizmi kao što su kemosintetske bakterije i Archaea.

5. ISKORIŠTAVANJE HIDROTERMALNIH OTVORA

Najbolji dokazi o postojanju hidrotermalnih otvora na dnu oceana nalaze se na kopnu, a ljudi ih iskorištavaju već otprilike pet tisuća godina. Radi se o ofiolitima, tj. dijelovima oceanske kore koji su tektonskim pomacima navučeni na kontinentalnu koru. Mnogi ofioliti sadrže naslage metalnih ruda koje su nastale uz nekadašnje hidrotermalne otvore na morskom dnu precipitacijom minerala. Najpoznatije takve naslage su na Cipru, gdje se bakar vadio već prije pet tisuća godina i na Uralu (Sl. 6). Ciparske naslage su kredne starosti i nastale su u Tethys moru, a one na Uralu sadrže sulfide paleozojske starosti. Nađeni su i dobro očuvani fosilni ostaci cjevastih mnogočetinaša i mekušaca. Znanstvenici su ove naslage počeli proučavati tek prije 40-ak godina, a fosilni ostaci nekadašnjih organizama uz hidrotermalne otvore pomogli su u rekonstruiranju životnih zajednica na dnu oceana kroz geološke periode. Najranije su se pojavili mikroorganizmi, a vrlo rano su se razvili i cjevasti mnogočetinaši. Omjeri pojedinih vrsta organizama ugrubo su odgovarali omjerima tih skupina na cijeloj Zemlji u određenom geološkom periodu, npr. na staništima uz hidrotermalne otvore u siluru su ramenonošci bili brojniji od školjkaša, što je u skladu s njihovom tadašnjom većom brojnosti na Zemlji općenito.



Slika 6. Paleozojske naslage na Uralu vezane uz nekadašnje hidrotermalne otvore (izvor:

<http://www.fathom.com/feature/122185/index.html>)

Hidrotermalni otvori mogli su pružati utočište u vrijeme velikih izumiranja zbog svoje izoliranosti i relativne neovisnosti o događanjima na površini. No, također, većina pronađenih organizama su brzo evoluirajuće vrste koje su se vrlo brzo mogle adaptirati na promjenjive uvjete, što je posljedica kratkotrajnosti staništa. Time se objašnjavaju i specifične promjene u sastavu vrsta u fosilnim nalazima kroz geološko vrijeme.

Otkrićem naslaga metalnih ruda nastalih djelovanjem hidrotermalnih otvora u oceanima, pojavila se mogućnost iskorištavanja takvih naslaga koje su još u moru. Primjenom odgovarajuće tehnologije, ovakvo dobivanje korisnih metala moglo bi biti isplativo. Iako iskorištavanje minerala s morskog dna nije novost (u 60-ima i 70-ima se pokušavalo vaditi mangan s abisalnih ravnica), potrebno je mnogo rada na tehnologiji, kao i opširne studije o utjecaju na okoliš s obzirom na to da su hidrotermalni otvori centri bioraznolikosti u dubokim dijelovima oceana.

6. ZAKLJUČAK

Otkriće hidrotermalnih otvora na dnu oceana dalo je odgovore na neka pitanja, ali i postavilo mnogo novih. Svakako je značajna spoznaja da život može postojati isključivo ovisno o geotermalnoj energiji, a bez prisutnosti Sunčevog svjetla i kisika. Hidrotermalni otvori pokazuju, također, da fotosintetski organizmi ne moraju nužno biti baza ekosustava i da energija koja ga pokreće može biti kemijska. Odbačena je pretpostavka da je oceansko dno siromašno životom, a otkriveni su organizmi koji preživljavaju u uvjetima koji su se smatrali nemogućim za život. Kako organizmi koloniziraju novi hidrotermalni otvor, kako preživljavaju negostoljubive uvjete ili što se događa nakon gašenja hidrotermalnih otvora, samo su neka od pitanja koja su još uvijek većim dijelom neriješena i zbog toga je ovo vrlo plodno područje za daljnja istraživanja.

7. LITERATURA

MARSHAK, S. (2001): Earth: Portrait of a Planet.- *W. W. Norton & Co., New York*, str. 84-87

SUMMIT, M. & BAROSS, J. (2001): A novel microbial habitat in the mid-ocean ridge subseafloor.- *PNAS*, vol. 98, no. 5

ZIERENBERG, R., ADAMS, M. & ARP, A. (2000): Life in extreme environments: Hydrothermal vents.- *PNAS*, vol. 97, no. 24

http://www.deepseascape.com/chess/education/edu_dive.php

<http://www.divediscover.whoi.edu/vents/index.html>

<http://www.fathom.com/feature/122185/index.html>

<http://www.getm.org/2006/01/17/discovery-of-hydrothermal-vents-its-relevance-to-origin-of-life/>

Izvori slika:

<http://www.fathom.com/feature/122185/index.html>

<http://www.fjstewart.org/FieldWork.html>

www.indiana.edu/.../vent_communities.htm

<http://library.thinkquest.org/18282/lesson4.html>

www.science.psu.edu/alert/fisher5-2006.htm

www.whoi.edu/.../viewImage.do?aid=2440&id=5606

8. SAŽETAK

Hidrotermalni otvori karakteriziraju dno oceana od njegovog nastanka, a danas su to mjesta bujnih životinjskih zajednica koje su se razvile uz izvor kemijske energije, bez prisutnosti svjetla. Istraživanja hidrotermalnih otvora, fosilnih i današnjih, i pripadajućih ekosustava, omogućilo je znanstvenicima novi pogled na život i samu Zemlju i pokrenulo spekulacije o postanku života na Zemlji i mogućnosti života na drugim planetima.

9. SUMMARY

Hydrothermal vents have characterised parts of the seafloor since oceans first formed, and modern vents are sites of thriving faunal communities developed around chemical energy sources in the total absence of light. Research of vents sites and their associated animal life, both in present and through geological time, have enabled scientists to better understand life on Earth and Earth itself and speculate about the contribution of vents to the very origins of life, both on Earth and possibly on other planets.