Metode određivanja starosti sedimenata u kvartaru pomoću izotopa

Plander, Brigita

Undergraduate thesis / Završni rad

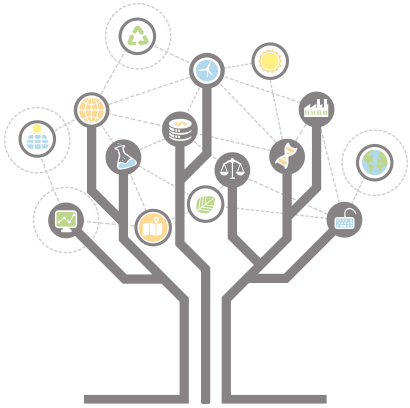
2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:005049

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

BRIGITA PLANDER

METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENATA U KVARTARU POMOĆU IZOTOPA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva

za _____ u _____ sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred

ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, _____

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petronić

Članovi povjerenstva

1) Prof.dr.sc. Sanja Kapelj
2) Doc.dr.sc. Jelena Loborec
3) Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENATA U KVARTARU POMOĆU IZOTOPA

KANDIDAT:

Brigita Plander

MENTOR:

Prof. dr. sc. Sanja Kapelj

VARAŽDIN, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: BRIGITA PLANDER

Matični broj: 2672 - 2016./2017.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENATA U KVARTARU POMOĆU IZOTOPA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Događaji i obilježja kvartara
3. Tehnike i metode određivanja starosti sedimenata
4. Primjeri datiranja
5. Zaključak
6. Popis literature

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 18.05.2020. Rok predaje: 03.09.2020.

Mentor:
Prof.dr.sc. Sanja Kapelj

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

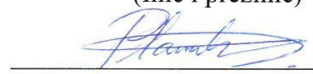
METODE ODREĐIVANJA SEDIMENATA U KVARTARU POMOĆU IZOTOPA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **prof. dr. sc. Sanja Kapelj**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 31.08.2020.

BRIGITA PLANDER
(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENTA U KVARTARU POMOĆU IZOTOPA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 31.08.2020.

(Mentor)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Brigita Plander

Naslov rada: Metode određivanja sedimenata u kvartaru pomoću izotopa

U zadnja dva desetljeća metode za određivanje starosti sedimenta su drastično uznapredovale. Dobivaju se podaci koji su vrlo visokih preciznosti i s lakoćom se uzorci mogu svrstati u geološki slijed događanja. Postoje brojne metode mjerenja i određivanja koje imaju različite vremenske dosege, ovisno o radioaktivnom elementu. Najčešće korištene metode se temelje na radioaktivnom raspadu izotopa, a neke od njih su metoda Uran – Olovo, metoda Kalij – Argon, Rubidij – Stroncij, a za organske uzorke koristi se metoda Ugljika – 14 i mnoge druge. Do danas su sakupljeni podaci o geološkim procesima, klimatskim uvjetima, promjenama u okolišu i evoluciji čovjeka u kvartaru, ali i u drugim geološkim razdobljima.

Ključne riječi: radioaktivni raspad elemenata, izotopi, kvartar, metode određivanja starosti sedimenta, metoda Ugljika – 14, metoda Uran – Olovo, metoda Kalij - Argon

SUMMARY

Name and surname: Brigita Plander

Title: Methods for determining sediment age in Quaternary using isotopes

In the last two decades, methods for determining sediment age have improved dramatically. Today, data are very precise and samples can be easily classified into a geological sequence of events. There are a number of measurement and determination methods that have different time ranges, depending on the radioactive element that is used in analysis. The most commonly used methods are based on radioactive isotope decay and some of them are Uranium - Lead method, Potassium - Argon method, Rubidium - Strontium, and for the organic samples Carbon – 14 is used as well as a lot ofothermethods. Today, there are a lot of collected data about geological processes, climatic conditions, changes in the environment and human evolution in the Quaternary, but also in other geological periods.

Key words: radioactive decay, isotopes, Quaternary, sediment age methods, Carbon - 14 method, Uranium - Lead method, Potassium - Argon method

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. DOGAĐAJI I OBILJEŽJA KVARTARA 3

KVARTAR U HRVATSKOJ 5

3. TEHNIKE I METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENTA 7

RELATIVNA I APSOLUTNA STAROST STIJENA 7
RADIOAKTIVNOST IZOTOPA 8
RADIOMETRIJSKE METODE ODREĐIVANJA STAROSTI 10
Metoda Uran – Olovo ($^{235}U/^{207}Pb$ i $^{238}U/^{206}Pb$) 11
Metoda Kalij – Argon ($^{40}K/^{40}Ar$) 12
Metoda Rubidij – Stroncij ($^{87}Rb/^{86}Sr$) 13
Metoda Ugljika (^{14}C) 14
Masena spektrometrija (MS) 15
Termoluminiscencija 16
Datiranje pomoću kozmičkog zračenja 17
OSTALE METODE DATIRANJA 18
Dendrokronologija 18
Ledena jezgra 19
Varve 19
Lišajevi 20

4. PRIMJERI DATIRANJA 21

DATIRANJE SEDRE 21
DATIRANJE SPELEOTEMA 23

5. ZAKLJUČAK 25

6. POPIS LITERATURE 27

1. UVOD

Znanstvenike je oduvijek zanimalo proučavanje kronologije prošlosti kako bi se opisalo vrijeme i odnosi između događaja koji su se dogodili od stvaranja stijena, ledenjaka, udolina, do proučavanja fosilnih ostataka, geoloških promjena pa sve do sastava atmosfere i evolucije čovjeka.

Rani pokušaji datiranja sedimenta temelje se još u 17. stoljeću kada su znanstvenici objašnjavali slojevitost stijena. Tada je utemeljen zakon superpozicije koji tvrdi da je svaki sloj stariji od onoga iznad njega, a mlađi od onog ispod njega, no tadašnji znanstvenici nikako nisu mogli sa sigurnošću reći kada je određeni sloj nastao. Fizičari Ernest Rutherford i Fredrick Soddy otkrili su 1902. godine da se radioaktivni elementi raspadaju na druge elemente u određenom nizu, što je uvelike doprinijelo razvoju radiometrijskog datiranja (Wikipedia, n.d.).

Najznačajniji napredak u geološkoj kronologiji se dogodio 1949. godine izdanjem rada Willarda Franka Libbyja i njegovih kolega. U radu je opisano otkriće radiokarbonskog datiranja, odnosno određivanja starosti organske tvari na temelju omjera broja atoma stabilnog ugljikovog izotopa ^{12}C i radioaktivnog izotopa ^{14}C (Bakalar, 2015.).

Godinama kasnije znanstvenici su razvijali metode i tehnike određivanja starosti sedimenta pa tako i organskih tvari sve do visoke preciznosti. Do danas je usavršeno više od četrdeset različitih postupaka korištenja radioaktivnih elemenata i metoda za mjerenje starosti stijena. Svakom radioaktivnom elementu pripada određeno vrijeme poluraspada, to je vrijeme potrebno da se taj izotop raspadne na pola. Vrijeme poluraspada varira i velike su razlike između dužine perioda poluraspada pa se stoga koriste određeni elementi za određivanje različitih vremena nastajanja stijena. U pravilu, koristi se kombinacija više metoda iz razloga kalibriranja, odnosno povećanja točnosti dobivenih rezultata. Metode određivanja starosti sedimenta i organskih materijala se dijele na radiometrijske metode i ostale metode koje nisu vezane za radioaktivni raspad.

U radiometrijske metode se svrstava i najkorištenija metoda ^{14}C, zatim metoda Uran – Olovo, metoda Kalij –Argon, metoda Rubidij – Stroncij, datiranje kozmičkim zrakama, datiranje pomoću termoluminiscencije, i mnoge druge. S druge strane imamo metode koje se ne temelje na radiometriji, a to su metode datiranja pomoću varvi, izvlačenjem cilindričnih ledenih jezgri, proučavanje godova drveća – dendrokronologija, paleomagnetno datiranje i mnoge druge metode.

Navedene metode imaju vrlo široku primjenu, ne samo u geologiji, nego i u drugim znanostima. Modernom tehnologijom i instrumentima danas se dobivaju vrlo precizni podaci, ali i dalje ima mjesta za napredak. Metode se i dalje testiraju i proučavaju kako bi poboljšali preciznost, točnost, dobni raspon i korištenje materijala koji su pogodni za datiranje.

2. DOGAĐAJI I OBILJEŽJA KVARTARA

Kvartar je mlađi dio kenozoika, odnosno posljednje veliko geološko razdoblje na Zemlji. Ovo geološko razdoblje traje od oko 2,5 milijuna godina pa sve do danas. Kvartar se dijeli na dvije epohe, a to su pleistocen i holocen. Pleistocen je trajao 1,8 milijuna godina i često se koristi i naziv „ledeno doba“. Epoha holocena traje znatno kraće i traje tek 10.000 godina, odnosno započinje naglim zatopljenjem.

Jedno od osnovnih obilježja kvartara je znatan pad prosječne temperature, što je uvjetovalo tomu da su se zaledile velike površine na gornjoj zemljinoj hemisferi. Ledene mase u pleistocenu su prekrivale cijelo arktičko područje te područje Euroazije i Sjeverne Amerike (Slika 1.). Razina mora opada te se stvaraju ledeni kopneni mostovi između kontinenata što omogućuje migraciju vrsta (Hrvatska enciklopedija, n.d.).



Slika 1. Karta svijeta za vrijeme ranog kvartara (Wikipedia)

Flora i fauna se tada drastično razlikovala od današnje. Divovski kopneni sisavci su bili uobičajeni na svim kontinentima, poput mamuta, tigrova, smilodona, medvjeda i drugih. Nagla promjena klime utjecala je dakako na životinjski svijet pa tako i na

floru. Gornja granica šume se spuštala prema južnijim dijelovima, i tako su stepa i šumovita stepa zauzele mjesto, a kasnije ih je zamijenila tundra. Mnoge su vrste flore preživjele i do danas.

Životinje su imale tri izbora: prilagoditi se novim vremenskim uvjetima, migrirati ili izumrijeti. Mnoge životinjske vrste su se prilagodile kako bi opstale. Primjerice, neke vrste su se smanjile kako bi se prilagodile manjoj raspoloživosti hrane (Kapural, n.d.). Također, životinje su se počele privikavati na život u jazbinama i špiljama. Jedan od najraširenijih mesojeda s početka kvartara je špiljski medvjed koji je morao migrirati i tako se spasiti od izumiranja. Mnoge vrste kukaca, mekušaca, ptica i sisavaca su također preživjele do danas. No, nažalost životinje koje se nisu prilagodile tadašnjim uvjetima su izumrle na prijelazu pleistocena u holocen, kao što su mamuti, sabljaste mačke, vunasti nosorozi, veliki oklopnjaci i ljenivci i drugi. Zahvaljujući ledu koji je sačuvao ostatke tadašnjih bilja i životinja, danas paleontolozi s lakoćom mogu odrediti morfologiju, sistematiku, način života i neke druge ključne informacije za razumijevanje ovoga geološkog razdoblja.

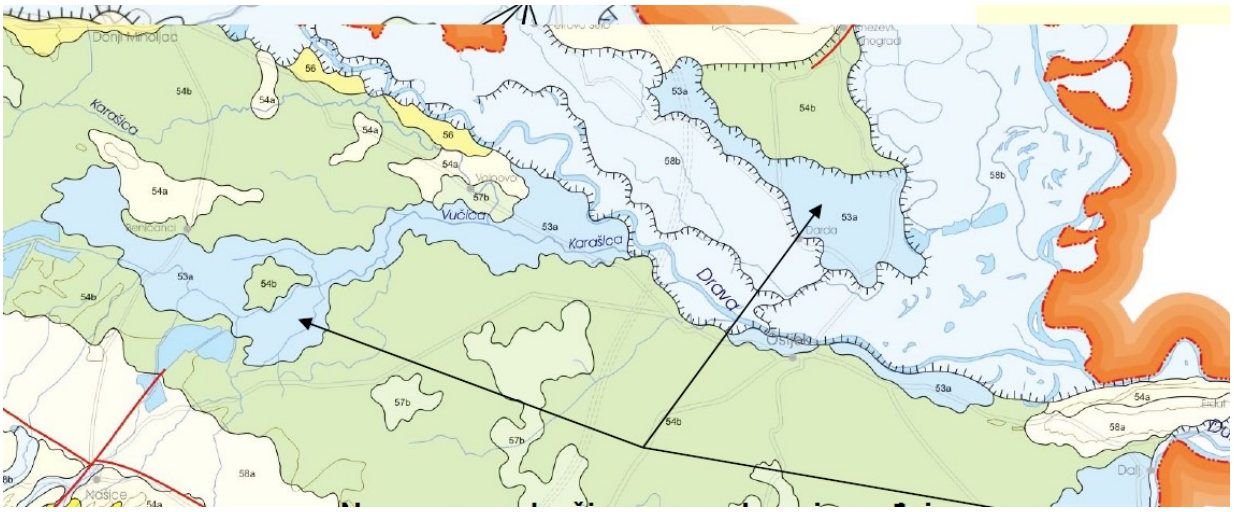
Treba naglasiti da je kvartar razdoblje u kojem su se počeli razvijati prvi praljudi koji su s afričkog kontinenta nastanili i ostale kontinente, počeli su s razvijanjem oružja i oruđa. Bavili su se lovom, ribolovom i sakupljanjem plodova, a obitavali su u špiljama i raznim nastambama. Isto tako danas je fokus na proučavanju razvitka ljudske genetike i razvijanju kulture kroz kvartar.

Osim toga geolozima je iznimno zanimljivo ovo geološko razdoblje jer su topljenjem ledenjaci za sobom ostavljali posve izmijenjen reljef. Preoblikovali su kanjone, riječne doline i prolaze, razorili su vrhove i ublažili padine planina. Tijekom cijelog ledenog doba neprekidno su se uspostavljali, odnosno prekidali i „mostovi“ između otoka i kopna, a i „mostovi“ između kontinenata (Rukavina, 1996).

Otkrićem radiokarbona 1950-ih godina i drugih metoda određivanja starosti stijena i fosila znatno se mijenja metodologija koja se izrazito unaprijedila zadnja dva stoljeća. Također, raznim se metodama starost stijena, fosila i biljaka danas može točno svrstati u određeno geološko razdoblje (Hajdas I., 2008)

Kvartar u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je kvartar ostavio znatan utjecaj na sediment. Skoro 80 % sjeverne Hrvatske je prekriven kvartarnim sedimentom. Za područje Hrvatske primjenjuje se alpska podjela, s pet glacijala i četiri odledbe odnosno interglacijala. Za pleistocenski sediment su karakteristične fluvijalne naslage, fluvioglacijalne naslage i prapor. Kada govorimo o fluvijalnim naslagama treba spomenuti Kalničko-bilogorsko područje i područje rijeka Vučica i Karašica (Slika 2.) (Halamić, 2019.).



Slika 2. Fluvijalne naslage na području rijeke Drave, Vučice i Karašice (Halamić, 2019.)

Prapor je sediment nastao eolskim transportom prašine iz područja Alpi tijekom zadnje odledbe, Würma. U Hrvatskoj ga nalazimo oko gradova Slatine, Virovitice i Bobote i važno je napomenuti da je ovaj sediment imao bogatu barsku faunu kojom se i odredila starost sedimenta.

Također, treba spomenuti i tlo crvenicu koja je nastala u drugoj epohi kvartara, holocenu. Široko je rasprostranjena u dinarsko-priobalnom području države. Sediment koji se taložio na području Mure i Drave su eolski pijesci (Halamić, 2019.).

Uz sve to Hrvatska se može pohvaliti i s najbogatijim svjetskim nalazištem neandertalaca u Zagorju na Hušnjakovu te je u Hrvatskoj nađeno jako puno fosilnih ostataka životinja i bilja koji svojom starosti odgovaraju upravo epohama pleistocena i holocena.

3. TEHNIKE I METODE ODREĐIVANJA STAROSTI SEDIMENTA

Iako se planet Zemlja čini kao stabilno mjesto, površina Zemlje se dramatično promijenila u 4,5 milijardi godina. Događali su se procesi koji su uvjetovali današnjem izgledu Zemljine kore, od pomicanja kontinenata pa sve do zaleđivanja i odleđivanja. Sve su to procesi koji su ostavili znatan trag u reljefu. Kako bi točno odredili kronološki redoslijed tih događaja i promjena, zajedno s razvojem organizama, potrebna nam je grana geologije koja to proučava. Stratigrafska geologija bavi se proučavanjem slojeva stijena te određivanjem starosti stijena pomoću relativne i apsolutne starosti stijena (Geotech, n.d.).

Relativna i apsolutna starost stijena

Relativna starost stijena temelji se na principu originalne horizontalnosti naslaga, kojim se određuje točan redoslijed taloženja, odnosno događaja u Zemljinoj kori (Geotech, n.d.). Njome možemo utvrditi koji slojevi su mlađi, a koji stariji, no nikako ne možemo odrediti točno vrijeme nastajanja određenog sloja i točno vrijeme događanja. Također, relativna starost temelji se i na starosti fosilnih ostataka i na odnosu međusobnog presijecanja i probijanja slojeva.

Poteškoća je bila, naravno, u tome što znanstvenici prije dvadesetog stoljeća nisu imali nikakvu osnovu za određivanje geološkog vremena.

Početkom dvadesetog stoljeća geologija doživljava procvat zbog razvoja znanja o radioaktivnosti. Tijekom 1950-ih i 1960-ih, razvijene su i druge radiometrijske metode koje su se temeljile na tehnološkom napretku te su uvelike pridonijele razumijevanju nuklearne energije i procese propadanja.

Radioaktivni elementi emitiraju alfa i beta čestice te gama zračenje, zbog čega se njihova masa smanjuje te u konačnosti prelaze u stabilne izotope (Alač). Do danas je usavršeno preko četrdeset radiometrijskih datiranja gdje se u svakom koristi različit radioaktivni element ili se koristi različita metoda mjerenja njegovog sadržaja

(Geotech, n.d.). Time se može točno odrediti starost sedimenta te se s lakoćom taj sediment može smjestiti u geološki redoslijed događanja. Određivanje koje se temelji na potonjem naziva se apsolutno određivanje starosti stijena.

Radioaktivnost izotopa

Pojam izotop označava posebnu vrstu atoma određenog kemijskog elementa, od kojih svi imaju isti broj protona u jezgri, a razlikuju se u broju neutrona pa se tako ujedno razlikuju i po masi te po fizikalno-kemijskim svojstvima. Radioaktivnost se opisuje kao pojavu kada se nestabilni, odnosno radioaktivni, izotopi raspadaju na atome manjeg atomskog broja, a ujedno i na atome manje atomske mase. Radioaktivnost je prirodan i bezopasan proces koji se događa u svakom živom biću, drveću ili u stijenama. Ona je zapravo sastavni dio našega života i u svakome od nas postoji vrlo mala količina radioaktivnih elemenata koji se radioaktivno raspadaju i pretvaraju u izotope, kako u nama tako i u prirodi oko nas (Vins, n.d.).

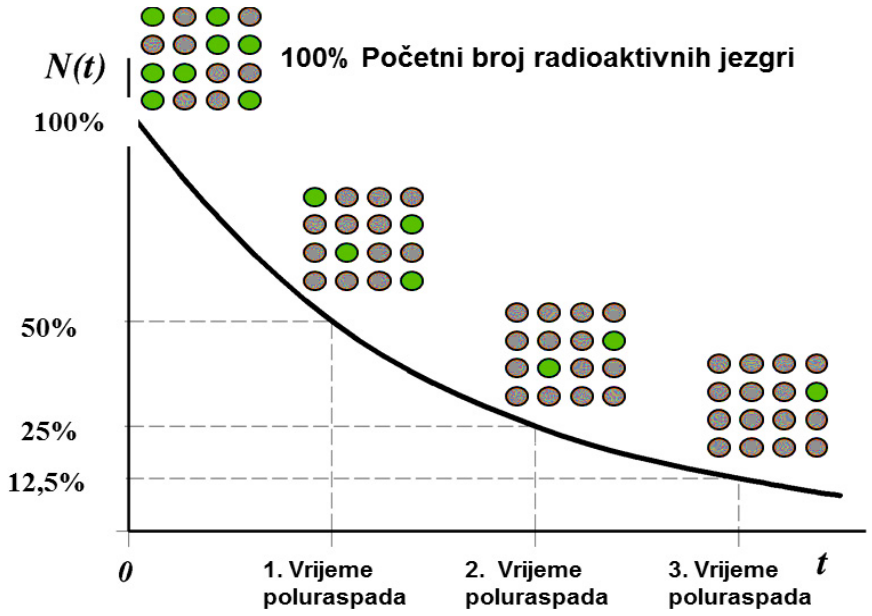
Isto tako bitno je naglasiti da svaka vrsta radioaktivnog izotopa ima svoj polu-život, vremensko trajanje da se prvotna količina nekog radioaktivnog elementa raspadne na pola (Vins, n.d.). Do danas su izmjereni svi polu-životi radioaktivnih elemenata do vrlo visoke preciznosti.

Neki od uobičajenih i često korištenih roditeljskih elemenata i elemenata kćerki i njihovo vrijeme poluraspada su navedeni na slici ispod (Slika 3.).

Roditelj	→ Kćer	Poluraspad (god.)
^{235}U	→ ^{207}Pb	4.5×10^9
^{238}U	→ ^{206}Pb	0.71×10^9
^{40}K	→ ^{40}Ar	1.25×10^9
^{87}Rb	→ ^{87}Sr	47×10^9
^{14}C	→ ^{14}N	5730

Slika 3.Vrijeme poluraspada radioaktivnih elemenata (Geotech, n.d.)

Kao što se može zaključiti, postoje velike razlike u trajanju poluraspada pojedinih izotopa. Izotopi s većim vremenom poluraspada se sporo transformiraju u stabilne elemente pa su stoga pogodniji za određivanje starosti vrlo starih sedimenata, dok se izotopi s kraćim vremenom poluraspada koriste za određivanje relativno mlađih stijena te su te metode u pravilu i preciznije.



Slika 4. Grafički prikaz broja atoma u određenom izotopu u odnosu s vremenom (Zbrinjavanje radioaktivnog otpada, 2015).

Da se raspadne izvorna količina uranija u nekom uzorku, potreban je vremenski period od 4,5 milijarde godina, dok s druge strane primjerice toriju je potrebno vrijeme od $3*10^{-7}$ s da bi se njegova prvobitna količina raspala na pola.

Tehnike za određivanje starosti sedimenta u kvartaru dijele se na tri kategorije. Metode koje nam daju neku vremensku procjenu, metode koje utemeljuju ekvivalentnost starosti i metode relativne starosti. Do danas je usavršeno preko četrdeset postupaka za određivanje starosti sedimenta pomoću radioaktivnog raspada pojedinih elemenata.

Radiometrijske metode određivanja starosti

Radiometrijski način određivanja starosti materijala se temelji radioaktivnom ponašanju određenog izotopa koji je u nestabilnom stanju te tako teži stabilnijem stanju. Potreban nam je početan broj atoma elemenata kćerki u uzorku kao i broj atoma roditeljskog elementa, dok je vremenski period poluraspada za određeni par elemenata roditelj-kćer, već poznat. Tim podacima se može odrediti vrijeme koje je proteklo od nastanka takvog odnosa između te dvije brojke.

Nadalje, svaka se radiometrijska metoda bavi s istim problemom ali na drugačiji način. Zbog toga su neke metode i tehnike pogodnije za određivanje točno određenih vrsta stijena, ovisno o sastavu i starosti.

Što se tiče samih vrsta stijena, magmatske stijene su najbolje za određivanje radiometrijske starosti. Kao početni događaj stvaranja tih vrsta stijena se uzima onaj trenutak kada dolazi do hlađenja i prelaska u čvrsto stanje jer se atomi više ne mogu slobodno kretati. Sedimentne stijene pak mogu dati podatak samo o starosti minerala u toj stijeni, točnije stijene su u pravilu uvijek mlađe od minerala koji je izgrađuju. Kao što i kaže sama riječ, metamorfne stijene su podložne raznim promjenama te su tako nepogodne za određivanje starosti jer daju podatak o vremenu metamorfoze, a ne o vremenu nastanka te stijene (Vins, n.d.).

Metoda Uran – Olovo ($^{235}U/^{207}Pb$ i $^{238}U/^{206}Pb$)

Ova metoda je najstarija poznata metoda za datiranje stijena. Postupak korištenja metode Uran–Olovo je dosta složeniji od ostalih jer koristi nekoliko metoda datiranja koje se kombiniraju. Uran se u prirodi sastoji od dva izotopa, a to su uran-235 i uran-238 (Vins, n.d.). Ta dva izotopa imaju različita vremena poluraspada i proizvode olovo-207 i olovo-206. Kod ove metode je bitno razlikovati olovo koje je nastalo radioaktivnim raspadom urana i olovo koje je bilo prisutno u stijeni kao originalni sastojak u vremenu njenog nastanka. Obično se metode kombiniraju iz razloga što poluraspad ^{235}U je brži pa se određuje starost pomoću odnosa ^{207}Pb i ^{206}Pb u stijeni (K.). Ova metoda se primjenjuje u procjeni apsolutne kronologije uzoraka organskog porijekla te se koristi za određivanjestarosti sedimenta u proteklih oko tristo tisuća godina .

Transformacija urana je vrlo karakteristična iz razloga što uran prolazi kroz niz raspada dok na kraju ne dostigne stabilan izotop. Tako, na primjer, uran 238 će propadati do urana 234, koji zatim propada do torija 230. Torij će se zatim raspasti na izotop radija, koji se raspada do radona i tako sve do stabilnog izotopa olova. Taj proces raspadanja iz elemenata u elemente se naziva lanac radioaktivne transformacije.

Lanac radioaktivne transformacije urana:

$$^{238}U \rightarrow ^{238}Th \rightarrow ^{234}Pa \rightarrow ^{234}U \rightarrow ^{230}Th \rightarrow ^{226}Ra \rightarrow \ldots\ldots ^{206}Pb$$

U- datiranje se uglavnom koristi za datiranje formiranja stalagmitnog kalcita. Stalagmiti su kalcitne tvorevine koje nastaju u krškom podzemlju. Oborinska voda s površine dolazi do podzemlja, tako otapa stijene bogate vapnencem te ta voda stvara naslage kristala kalcita, koje možemo naći u različitim bojama i oblicima. Voda koja nosi ove kristale kalcita sadrži i tragove urana koji je topljiv u vodi. S druge strane torij nije topljiv u vodi pa tako torij koji se nalazi u mineralnim naslagama u

špiljskom okruženju nastaje samo raspadom urana - 234. Isti ovaj princip datiranja se koristi i za datiranje koralja.

Metoda Kalij – Argon (^{40}K/^{40}Ar)

Starost uzorka računa se na temelju vremena poluraspada ^{40}K. Kalij je vrlo čest element u prirodi, nalazi se u glini, evaporitima i tinjcima. Ova metoda se koristi za uzorke stare od sto tisuća godina pa do četiri milijarde godina. Izotop kalij–40 je radioaktivani raspada se u dva različita elementa kćeri, u kalcij-40 i argon-40. Ova metoda ne predstavlja veliki problem jer je odnos broja novonastalih atoma ova dva elementa dobro poznat i uvijek je konstantan (Vins, n.d.). Kada bi izrazili to u postocima, 11,2% će biti atomi argona-40, dok preostalih 88,8% će pripadati kalciju-40. Trenutak kada se počinje brojati vrijeme je zapravo ono vrijeme kada stijena prijeđe u čvrsto stanje, ukoliko je riječ o magmatskim stijenama. Argon je inertan plin i on isparava dok je stijena u tečnom stanju kao lava. Zato se i uzima vrijeme kada se stijena stvrdne kao početak određivanja vremena iz razloga što argon ostane zarobljen u toj stijeni. Kao i u svim radiometrijskim metodama treba se izmjeriti odnos kalcija-40 i argona-40 kako bi se pomoću jednadžbe (Jednadžba 1.) moglo izračunati vrijeme u godinama.

Jednadžba 1. Vrijeme računanja starosti sedimenta (Krstarica forum, 2007.)

$$t = h \times \frac{\ln\left[1 + \frac{(\text{argon} - 40)}{(0.112 \times (\text{kalijum} - 40))}\right]}{\ln(2)}$$

t - vrijeme u godinama, h - vrijeme poluraspada, ln – prirodni logaritam (Krstarica forum, 2007.)

Također je bitno naglasiti da mala količina argona ostaje zarobljena u stijeni tokom procesa otvrdnjavanja u obliku mjehurića. Za ovu metodu je neophodan način određivanja i količine argona koji se nalazi u mjehurićima, što se vrlo lako izvodi jer su poznati izotopi argona, argon-40 i argon-36. Odnos ta dva izotopa je poznat pa se starost stijena određuje mjerenjem ukupne količine argona i oduzimanjem količine izotopa argona-36 (Vins, n.d.).

Metoda Rubidij – Stroncij (^{87}Rb/^{86}Sr)

Razvoj ovog procesa započeli su njemački kemičari Otto Hahn i Fritz Strassman. Ova metoda se često koristi kao pomoćna metoda prethodnoj iz razloga što je rubidij prisutan u mineralima u kojima je i kalij (K.). Metoda rubidij i stroncij se temelji na činjenici da se ^{87}Rb raspada u izotop ^{87}Sr, s polu-životom od 48,8 milijardi godina. Ako je poznat početni iznos Sr, starost stijena se može odrediti mjerenjem Rb i Sr koncentracija i odnosa ^{87}Sr/^{86}Sr. Odnos stroncija-87 i nekog njegovog stabilnog izotopa, primjerice stroncija-86, raste rijekom vremena pa se tako sve više i više rubidija-87 pretvara u stroncij-87. U trenutku formiranja stijene iz lave svi dijelovi te stijene su imali jednak odnos izotopa stroncija-87 i stroncija-86, ali se razlikuju po sadržaju rubidija.

Iako se ova metoda smatra vrlo pouzdanom, u vrlo rijetkim slučajevima može doći do pogrešnog očitavanja. Jedan od uzroka pogreške je datiranje stijene koja sadrži pojedine minerale starije od osnovne matične stijene. Ova situacija se često događa kada magma u trenutku tečenja kroz unutrašnjost Zemlje pokupi i rastopi minerale stijena kroz koje potječe. Isto tako, do pogreške može doći ukoliko je stijena u svojoj geološkoj prošlosti bila povrgnuta procesu metamorfoze (Vins, n.d.).

Metoda Ugljika (^{14}C)

Metodu je otkrio 1949. Willard Frank Libby, koji je za to otkriće dobio Nobelovu nagradu za kemiju. Metoda se temelji na određivanju starosti organske tvari. Ova metoda je u vrlo širokoj upotrebi za određivanje starosti materijala poput kosti, drveta, vlakana, biljaka pa čak i uginulih životinja (Hrvatska enciklopedija, 2020.).

Odnos izotopa ugljika-14i stabilnih izotopa ugljika-12 i ugljika-13 je relativno konstantan u atmosferi i živim organizmima. Kada neki živi organizam umre, prestaje unos ugljika kako disanjem tako i prehranom. Količina ugljika-14 u tom trenutku opada procesom radioaktivnog raspada. Pad odnosa ugljika-14 u odnosu na stabilni izotop ukazuje na to koliko je star uzorak, odnosno može se izračunati koliko je vremena prošlo od trenutka smrti. Vrijeme polu-raspada ugljika-14 je 5730 godina, a koristi se za datiranje uzoraka starih i do približno 45000 godina (Vins, n.d.).

Ostatci dinosaura koji su živjeli prije oko 60 miliona godina se ne mogu obraditi ovom metodom iz razloga što se je ugljik u tim uzorcima već raspao pa se koristi neka druga metoda, izuzev ako su ti uzorci kontaminirani. Dok, primjerice za određivanje starosti nekih drugih vrsta kao što su mamuti, koji su živjeli u vremenu holocena, se mogu odrediti ovom metodom.

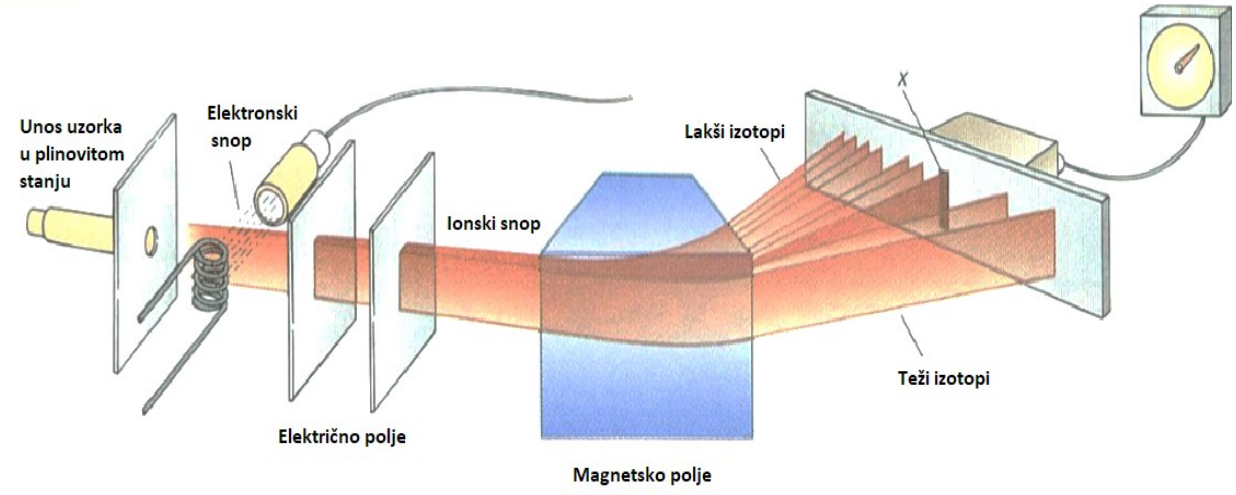
Metoda ugljika-14 ima određene pretpostavke, a to su da mora biti stalna i jednolika produkcija izotopa ugljika-14 u atmosferi, jednolika raspodjela izotopa ugljika-14 u biosferi, poznato vrijeme poluraspada izotopa ugljika-14, poznata aktivnost ugljika-14 u uzorku u trenutku prestanka izmjene tvari s okolinom te izostanak naknadne kemijske ili izotopne izmjene s ugljikom iz okoline nakon smrti organizma. Problem nastaje jer ova metoda pokazuje anomalije u odnosu na druge metode. Analizirani uzorci pokazuju vrijeme koje je dosta starije od stvarne starosti uzorka zbog toga što omjeri ugljika-12 i ugljika-14 nisu baš u potpunosti konstantni (Krajcar Bronić, 2013.).

Takvo odstupanje postoji zbog više faktora od kojih je jedan i ljudsko djelovanje. Izgaranjem fosilnih goriva se otpušta velika količina ugljika-12 u atmosferu i time se remeti omjer $^{12}C/^{14}C$. Također, termonuklearne eksplozije do 1960-ih su umjetno

udvostručile razinu ^{14}C u atmosferi pa se tako i udvostručila razina ^{14}C u materijalima koji sadrže ugljik. Treći faktor se ne odnosi na ljudsko djelovanje, a odnosi se na pretpovijesne uzorke u kojima su znanstvenici pronašli abnormalno niske razine ^{235}Pu i abnormalno visoke razine ^{239}Pu. Ovakve ogromne anomalije se mogu samo opisati preko prirodnih uzoraka kao što su kometarna bombardiranja, supernova ili nadzemnih kometarnih eksplozija. Brojne studije rade na tome da se razvije i produži kalibracijska krivulja radiokarbonske metode i da se poveća točnost (P., 2019.).

Masena spektrometrija (MS)

Masena spektrometrija je analitička tehnika određivanja relativne mase i količine iona nastalih ionizacijom atoma i molekula te raspadom ioniziranih molekula pomoću instrumenta koji se naziva maseni spektrometar (Wikipedia, n.d.). Određuje se odnos količine radioaktivnog elementa i produkta njegovog raspada u nekoj određenoj stijeni. Instrument radi u visokome vakuumu i sastoji se od četiri glavna dijela (Slika 5.).



Slika 5. Maseni spektrometar s magnetskim analizatorom (Davina Linehan)

Prvi dio je sustav za unošenje uzorka, drugi dio je ionski izvor tj. molekule ili atomi se pretvaraju u ione bombardiranjem pomoću elektrona. Ti bombardirani atomi raznih elemenata ostaju bez elektrona, točnije postaju pozitivno nabijeni pa se u magnetskom polju ubrzavaju i skreću pod kutom koji ovisi o njihovoj masi. Taj treći dio se naziva analizator. On savija putanje različitih iona i tako razdvaja ione po njihovoj masi i/ili naboju. Zadnji dio masenog spektrometra je detektor. Detektor skuplja i karakterizira ione zatim se elektronički odrađuje signal i na ekranu se dobiva zapis spektra (Wikipedia, n.d.).

Termoluminiscencija

Termoluminiscencija je vrsta luminiscencije koja je prouzročena dovođenjem topline pa time raste i temperatura. Elektroni se oslobađaju zagrijavanjem i emitiraju karakterističnu emisiju svjetlosti koja je proporcionalna broju elektrona zarobljenih u kristalnoj rešetki. Toplina prazni ili resetira termoluminiscentni potpis materijala. Uzorak se u par sekundi zagrijava do 450°C pa se akumulirana energija oslobađa u obliku svjetlosti te se mjeri (Wikipedia, n.d.).

Ova tehnika se koristi samo za mjerenje uzoraka koji su u prošlosti bili izloženi velikom zagrijavanju. Točnije, mjeri se vrijeme koje je proteklo od zadnjeg pobuđivanja elektrona, odnosno od zadnjeg izlaganja uzorka toplini bila to sunčeva svjetlost, pečenje, vulkanska erupcija i slično. Ovom metodom se mogu datirati sedimenti, minerali i keramika (Struna, n.d.). Tehnika ima vrlo široku primjenu i relativno je jeftina. Često ovu metodu koriste arheolozi u svojim istraživanjima, no također se primjenjuje vrlo često za određivanje starosti dubokog morskog sedimenta i sedimenta prapora.

Datiranje pomoću kozmičkog zračenja

Kozmogeni prirodni radioaktivni izotopi su nastali u svim fazama stvaranja Zemlje, a njihovo nastajanje traje i do danas. Stvaranje ovih izotopa događa se konstantnom interakcijom visokoenergetskih kozmičkih zraka s jezgrama elemenata koje ulaze u atmosferu. Te zrake se sudaraju s jezgrama i uzrokuju stvaranje visokoenergetskih neutrona koji zrače na površinu Zemlje. Kozmičko zračenje je nešto veće u gornjim slojevima atmosfere nego na površini. Sudar tih čestica u određenim mineralima uzrokuje propadanje jezgara pa se stvaraju novi radionuklidi. Koncentracija radionuklida ovisi o tome koliko dugo je neka stijena ili mineral izložen površini. Dva najčešća mjerena kozmogena nuklida su Berilij-10 i Aluminij-26 i ti nuklidi su posebno korisni kada kozmičke zrake pogode Kisik-16 i Silicij-28 u kvarcu.

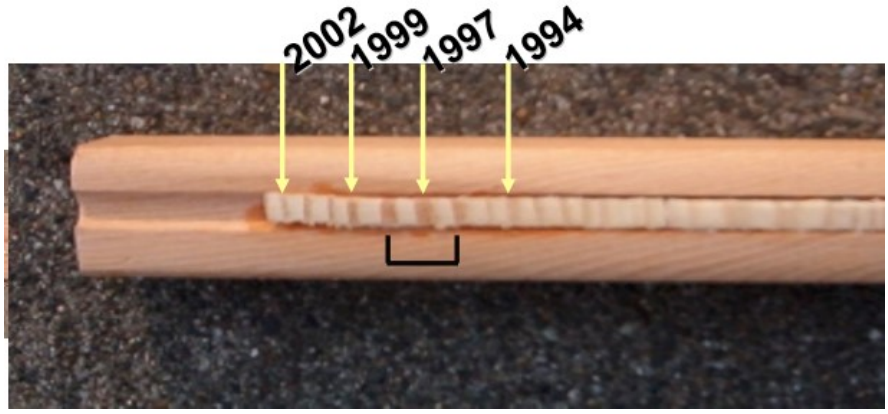
Ova tehnika se koristi za razumijevanje i određivanje brzine geomorfoloških procesa kao što su ledenjačke površine, za određivanje povijesti erodiranog sedimenta, za tokove lava, udare meteorita, za praćenje razvoja špiljskih sustava i drugih geoloških događaja. Najkorisnije je koristiti ovu tehniku za stijene koje su izložene u razdoblju od 10 do 30 000 000 godina (Wikipedia, n.d.).

OSTALE METODE DATIRANJA

Postoje i razne metode datiranja koje ne uključuju radiometrijske metode. Pod te metode se svrstava dendrokronologija, datiranje pomoću varvi i proučavanjem lišajeva. To su metode koje se koriste i ograničene su na epohu holocena.

Dendrokronologija

Dendrokronologija je metoda utvrđivanja starosti mjerenjem broja godova na drvetu. Ona se temelji na godišnjem rastu godova (Slika 6.). Što je drvo starije to godovi postaju sve uži. Debljina tih godova različita je i ovisi, naravno, o starosti drveta ali i o klimatskim uvjetima (Hrvatska enciklopedija, n.d.). Stoga, ova metoda se koristi i za proučavanje klimatskih promjena kroz kvartar. Često je metoda korištena iz razloga kalibracije podataka koji su dobiveni nekom drugom metodom.



Slika 6. Uzorak uzet iz drveta (Dating Techniques)

Upravo ovaj postupak se koristi za određivanje i najstarijeg drveća na svijetu. Godovi drveta ne daju pouzdan vremenski period dalje od 11,800 godina iz razloga što je u to vrijeme nastupila dramatična promjena klimatskih uvjeta na Zemlji (Vins, n.d.).

Ledena jezgra

Ledene jezgre su cilindrični uzorci leda izvučeni iz ledenjaka i omogućuju nam da se vratimo u vrijeme i pomoću njih možemo rekonstruirati klimatske uvijete kroz prošlost unatrag 800 000 godina. Ledenjaci se formiraju kao slojevi snijega koji se nakupljaju jedan na drugi (Polarpedia, n.d.). Svaki sloj je različit po teksturi i kemiji. Pomoću tih uzoraka možemo odrediti temperaturu zraka, stopu padalina, vulkansku i solarnu aktivnost pa čak i kemijski sastav atmosfere iz određenog vremena u prošlosti. Uzorci se uzimaju najčešće s Grenlanda i Antarktike, a čuvaju se u Coloradu u Nacionalnom laboratoriju za ledene jezgre.

Ledene jezgre prikazuju sezonske razlike u svojstvima snijega i tako stvaraju slojeve, baš kao i prstenovi kod drveća. Led sadrži prašinu i uran pa se tako raspad urana-238 do urana-234 iz prašine koristi za datiranje. Podaci koji se nalaze u ledenim jezgrama nam pružaju najizravniji i najdetaljniji način za istraživanje klimatskih i atmosferskih uvjeta znanstvenicima posebno zanimljivim kao proučavanje interglaciijalnih razdoblja u kvartaru (Polarpedia, n.d.).

Također, bitno je naglasiti da je najvažnije svojstvo ledenih jezgri to da se u uzorku nalaze mjehurići zraka koji nam omogućuju arhivu atmosferskih plinova. Matematičkim modelima i kemijskim odvajanjima se s lakoćom može dobiti zapis o povećanju stakleničkih plinova kroz prošlost.

Varve

Još jedna od metoda datiranja koja je zasnovana na sezonskim varijacijama u slojevima sedimenta nataloženih pod vodom. Varve su ritmična akumulacije sedimenta mulja, pijeska ili gline. Sastoje se od mineralnog taloga koji nastaju u proljeće, organskog taloga od ostataka biljaka algi i polena te finog mineralnog materijala nastalog od taloženja u ljeto i jesen (Vins, n.d.). Isto tako debljina sloja

varvi i vrsta nataloženog materijala daje podatke o klimatskim promjenama, a pomoću polena se mogu odrediti i vrste biljaka oko mjesta u kojemu je uzet uzorak.

Lišajevi

Ova tehnika datiranja temelji se na odnosu veze između veličine lišaja i starosti izložene stijene. Lišajevi su dugotrajni organizmi nastali simbiozom gljiva i cijanobakterija ili algi koji nastaju na površini stijene odmah što se dogodio neki geološki događaj kao što je , primjerice, odron stijene ili kad je odložen neki kameni materijal donesen radom ledenjaka. Rastu u širokom rasponu oblika i boja. Metoda se naziva lihenometrija. Vrlo često korištena metoda za datiranje kasnog holocena. Mjerenje rasta lišajeva je vrlo jednostavan i precizan proces. Mogu se datirati stijene čak i mlađe od 500 godina.

Postoji više metoda određivanja starosti stijena pomoću lišajeva. Najjednostavnija se oslanja na promatranje najvećeg lišaja na stijeni, mjeri se promjer te se prati rast tog lišaja kroz godine. Druge metode se temelje na promatranju više njih. Uz podatak rasta lišaja može se izračunati prosjek rasta lišaja te se lako dođe do podatka vremena nastanka stijene ili vremena kada se neki geološki događaj dogodio (Wikipedia, n.d.).

4. PRIMJERI DATIRANJA

U svijetu je nekoliko stotina laboratorija koji aktivno koriste različite metode datiranja. Postoji jako puno podataka i primjera datiranja, a u posljednjih pedeset godina obrađeno je više od sto tisuća mjerenja. Mnoge primjere datiranja možemo pronaći na našim područjima. Znanstvenicima je posebno zanimljiv dinarski krš, koji pokriva otprilike polovicu teritorija države. Dinarsko područje je prepoznato kao područje velikih prirodnih vrijednosti kao što su razne uvale, jezera, ponikve, speleološki objekti. Bitno je istaknuti svjetski poznata Plitvička jezera koja su baš zbog raznolikosti i zbog sedrenih barijera uvršteni pod UNESCO-vom zaštitom. Također, kao primjer datiranja treba spomenuti i speleoteme odnosno špiljski talog.

Datiranje sedre

Sedra je sedimentna stijena koja nastaje uz određene uvijete i karakteristična je po svojoj šupljikavoj teksturi. Ovaj tip stijene se formira se u hladnoj vodi zbog velike koncentracije otopljenog kalcijevog karbonata gdje pH vrijednost mora biti veća od osam, a koncentracija otopljene organske tvari mora biti niska (Plitvička jezera).

Ključnu ulogu imaju alge i bakterije iz razloga što se mikrokristali kalcita lijepe na tvari koje izlučuju te iste alge i bakterije. Tada dolazi do taloženja kalcijevog karbonata i kroz niz godina dolazi do osedravanja, odnosno stvaranja sedrenih barijera. Kemijska formula procesa osedravanja izgleda ovako:

Jednadžba 2. Kemijska formula koja prikazuje stvaranje sedre (Plitvička jezera)

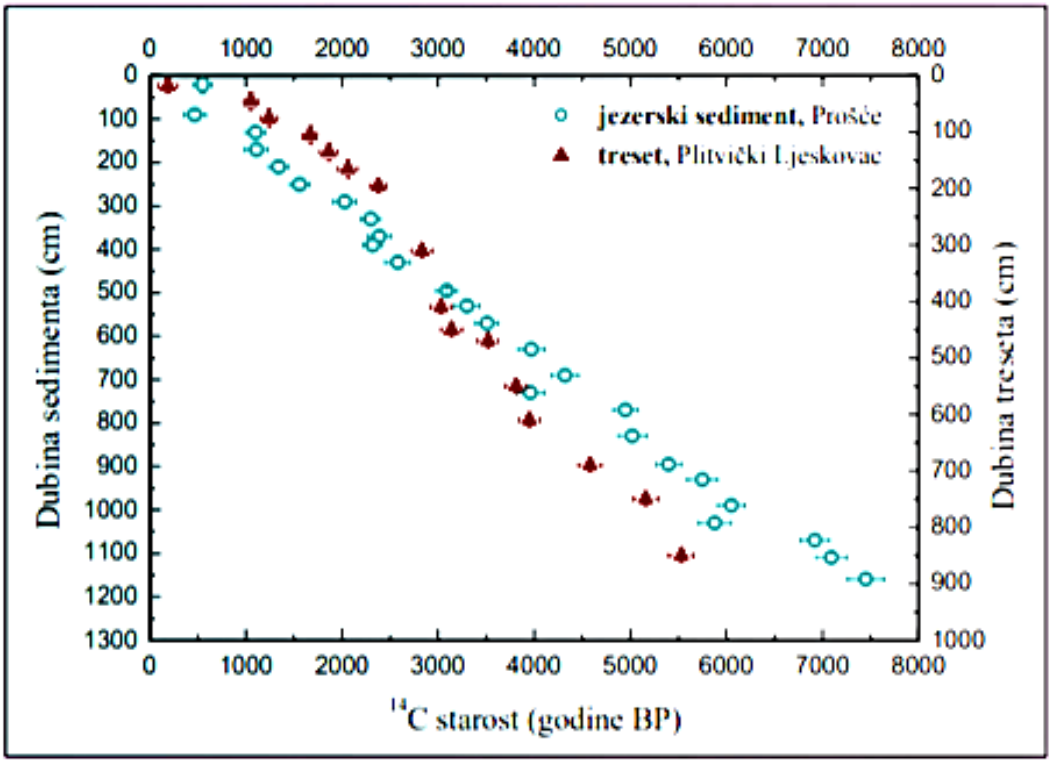
$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \xleftrightarrow{\text{rasprskavanje vode}} CO_2\uparrow + H_2O + CaCO_3\downarrow \text{(sedra)}$$

Za ovaj proces je također bitna i klima koja mora biti toplija i brzina strujanja vode, koja također ima vrlo bitnu ulogu. Karakteristična tekstura nastaje uz pomoć mahovina, ličinki kukaca i ostalih beskralježnjaka koji brzo okamenjuju i ostaju očuvani u sedri. Tako su nastale barijere koje odjeljuju jezera (Slika 7.) i smatra se da su nastale početkom holocena što znači da su jezera vrlo mladog nastanka (Plitvička jezera, 2019.).



Slika 7. Uzdužni hidrogeološki profil. Izradio JUNPPJ. (Plitvička jezera, 2019.)

Uzeti su uzorci iz dviju bušotina u blizini Prošćanskog jezera kako bi se analizom polena i metodom ugljika – 14 ustanovila starost i detalji vezani za rast obale treseta i sedrenih barijera kroz prošlost. Povijest rasta sedrenih barijera od formiranja do danas nije u potpunosti poznata. Zaključeno je tim analizama da je rast treseta i sedrenih barijera povezan, odnosno proces se događao istovremeno što dovodi do zaključka da su klimatski uvjeti bili povoljni za oba procesa (Slika 8.). Vremensko taloženje sedre i treseta odgovara upravo periodu Holocena, točnije procjenjuje se starost između 6.000 i 7.000 godina, što se može zaključiti iz dijagrama.



Slika 8. Dijagram prikazuje odnos dubine sedre i treseta u odnosu na starost izraženu metodom ^{14}C u godinama (Institut Ruđer Bošković, 2010.)

Ovom analizom treseta, sedre i polena omogućilo je datiranje i razumijevanje tadašnje klime te geoloških događaja koji su se odvijali ne samo na području Plitvičkih jezera već i na širem području (T., 2019.).

Datiranje speleotema

Speleotem je špiljski talog ili drugim riječima naziv za sige. Speleotemi se formiraju u špiljskim vapnenačkim ili dolomitnim sustavima. Oni su sekundarnog podrijetla iz razloga što su nastali fizikalno – kemijskom reakcijom iz nekog primarnog minerala. Postoji mnogo različitih oblika i vrsta špiljskog taloga ovisno o tome kako voda

dospijeva do unutrašnjosti – kapanjem, slijevanjem, taloženjem ili nekim drugim načinom. Na oblik i boju također utječu i neki vanjski čimbenici, a to su količina kiseline u vodi, klima iznad tla, količinu godišnjih oborina, gustoću biljnog pokrova, brzinu prodiranja vode i slično (Lacković, 2003.). Stoga, speleotemi se proučavaju jer njihove veličine i mjesto rasta omogućuje pogled u geološku prošlost.

Za proučavanje se koriste analize omjera izotopa ^{18}O i ^{16}O i metoda ugljika kako bi se dobili rezultati vezani za padaline, temperaturu i promjene vegetacije u posljednjih 500.000 godina. Mjere se količine preostalih izotopa u sigi i znaju se točno poluraspadi tih izotopa, što su nam ulazni parametri za izračun starosti sige, a točnost podataka je oko +/- 10% (Lacković, 2003.) .

5. ZAKLJUČAK

U završnom radu opisane su metode i tehnike kojima se određuje starost sedimenta, ali i organskih materijala u geološkom razdoblju kvartara. Pomoću mnoštva prikupljenih uzoraka i podataka zaključeno je da se pod kvartarnom starosti smatraju uzorci koji pripadaju periodu od otprilike 2.588 milijuna godina pa sve do danas. Kao što je navedeno ranije u radu, prvo se razvijala relativna starost sedimenta na principu da su mlađi slojevi uvijek iznad starijih.

Otkrićem radioaktivnosti izotopa mnogo toga promijenilo u geološkoj kronologiji pa tako i u ostalim znanostima. Od tada su se rezultati dobiveni mjerenjima i analizama mogli svrstati u određeni period geoloških događanja.

U radu su opisane najčešće korištene metode za određivanje starosti uzoraka pomoću radioaktivnog raspada izotopa. Neke od često korištenih metoda u određivanju sedimenta kvartara su: metoda Uran – Olovo, metoda Rubidij – Stroncij, metoda Kalij – Argon, a za organske uzorke se koristi metoda Ugljika – 14. Osim navedenih metoda također postoje i druge kombinacije izotopa koje se isto tako koriste za određivanje sedimenta. Svaka radiometrijska metoda funkcionira na jednak način, a temelji se na odnosu broja početnih i novonastalih nuklida te vrijeme poluraspada koje ovisi o elementu i karakteristično je za svaki element. Također, bitno je naglasiti da nisu sve metode praktične za određene vrste stijena, nego ovisno o sastavu i starosti stijena se izabire određena metoda radioaktivnog raspada. Rezultati ovakvog načina datiranja su vrlo pouzdani, s visokim stupnjem točnosti i preciznosti, no i dalje se radi na tome da se metode usavrše.

Uz metode radioaktivnog raspada, opisane su i metoda termoluminiscencije i metoda datiranja pomoću kozmičkih zračenja. Isto tako, pouzdane metode za određivanje starosti kvartarnih stijena, ali i šire.

Opisane su i metode koje se ne zasnivaju na radioaktivnom raspadu izotopa. To su metode koje se temelje na promatranju godova drveća, proučavanjem varvi, rasta lišajeva i vađenjem ledenih jezgri iz ledenjaka. Ove metode su ograničene na epohu

holocena i ne samo da se dobivaju rezultati starosti već i promjene klimatskih promjena u tom periodu. Često se koristi metoda vađenja ledenih jezgri iz razloga što pruža najizravniji i najdetaljniji način za istraživanje klimatskih i atmosferskih uvjeta u vremenu interglacijalnih promjena.

Navedeni su primjeri datiranja na području naše zemlje, a to su primjeri sedrenih barijera na području Nacionalnog parka Plitvička jezera koje su kvartarnog nastanka. Isto tako, speleotemi su uzeti kao drugi primjer datiranja, no ne samo to, već se koriste i za dobivanje rezultata o klimatskim uvjetima, padalinama, temperaturi zraka i ostalim vanjskim čimbenicima koji su se događali za vrijeme kvartara što uvelike potpomaže znanstvenicima da lakše razumiju klimatske i geološke događaje u prošlosti.

6. POPIS LITERATURE

Alač, B. D. (n.d.). *Predavanje iz fizike.* Dohvaćeno iz Radioaktivnost: https://www.fzsri.uniri.hr/files/FAKULTET/KATEDRE/Katedra_temeljne/Microsoft%20Word%20-%20Radioaktivnost_Primjena%20u%20medicini_povjerenstvo_Z.pdf

B., D. (n.d.). *AntarcticGlaciers.org*. Dohvaćeno iz How are ice cores dated? : http://www.antarcticglaciers.org/question/how-are-ice-cores-dated/

B., D. (n.d.). *AntarcticGlaciers.org*. Dohvaćeno iz How are ice cores dated?: http://www.antarcticglaciers.org/question/how-are-ice-cores-dated/

Bakalar, N. (20.. Travanj 2015.). *The New York Times*. Dohvaćeno iz Digging Up the Root of Carbon Dating: https://www.nytimes.com/2015/04/21/science/digging-up-the-root-of-carbon-dating.html

Bronić K., B. J. (2018.). *Reconstruction of the karst Quaternary environment in Croatia based on radiocarbon results.* Zagreb: Ruđer Bošković Institut.

Dating Techniques. (n.d.). Dohvaćeno iz file:///C:/zavrsni%20rad/New%20folder%20(2)/New%20folder/ne%20znam/dating%20techniques.pdf

Davina Linehan. (n.d.). *Slide serve.* Dohvaćeno iz Metode historijske geologije: https://www.slideserve.com/davina/metode-historijske-geologije

Geotech. (n.d.). *Geotech*. Dohvaćeno iz Kako se određuje starost stijena?: https://www.geotech.hr/kako-se-odreduje-starost-stijena/

Hajdas I., I. O. (12.. 9. 2008). Recent developments in Quaternary dating methods. *Geographica Helvetica*, str. 176-180.

Halamić, J. (21.. Siječanj 2019.). *Geologija Hrvatske.* Dohvaćeno iz Kvartar: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_21-1-2019.pdf

Hrvatska enciklopedija. (2020.). *Leksinografski zavod Miroslav Krleža*. Dohvaćeno iz Radioizotropno datiranje: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51486

Hrvatska enciklopedija. (2020.). *Leksinografski zavod Miroslav Krleža*. Dohvaćeno iz Masena spektrometrija: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=39268

Hrvatska enciklopedija. (n.d.). *Leksikografski zavod Miroslav Krleža*. Dohvaćeno iz Kvartar: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=34888

Hrvatska enciklopedija. (n.d.). *Leksinografski zavod Miroslav Krleža*. Dohvaćeno iz Dendrokronologija: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=14555

I., K. B. (2008.). *Zavod za eksperimentalnu fiziku.* Dohvaćeno iz Datiranje arheoloških artefakata metodom 14C: https://bib.irb.hr/datoteka/323099.Sisak2008-text.pdf

Institut Ruđer Bošković. (2010.). *Institut Ruđer Bošković.* Dohvaćeno iz Radioaktivni ugljik 14C u arheologiji, geologiji i istraživanju okoliša: http://fulir.irb.hr/408/

K., F. F. (n.d.). *Primjenjena paleontologija.* Dohvaćeno iz Moderne metode istraživanja u paleontologiji: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/8.Prim.pal._Moderne_metode_2019-20..pdf

Kapural, L. (n.d.). *Povijest.hr.* Dohvaćeno iz Zakon kvartara: Migriraj, prilagodi se ili ugini!: https://povijest.hr/povijestice/zakon-kvartara-migriraj-prilagodi-se-ili-ugini/

Krajcar Bronić, I. (2013.). *Crosbi.* Dohvaćeno iz Određivanje starosti metodom radioaktivnog ugljika 14C i neke primjene u arheološkim istraživanjima: https://www.bib.irb.hr/659333

Krstarica forum. (2007.). *Krstarica forum.* Dohvaćeno iz Teorija evolucije: https://forum.krstarica.com/threads/teorija-evolucije.133360/page-4

Lacković, D. (2003.). *Hrvatski speleološki poslužitelj*. Dohvaćeno iz Sige: http://speleologija.eu/znanost/sige/sige-svojstva.html

Leksinografski zavod Miroslav Krleža. (2020.). *Hrvatska enciklopedija*. Dohvaćeno iz Dentrokronologija: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=14555

M., W. (2002.). *Quartinary Dating Methods.* London: John Wiley & Sons Ltd.

P., L. (2019.). *Scott focus*. Dohvaćeno iz "Anomalije" radiokarbonskog datiranja: https://hr.sott.net/article/24511-Anomalije-radiokarbonskog-datiranja

Peppe D. J. (2013.). *The nature education*. Dohvaćeno iz Dating Rocks and Fossils Using Geologic Methods: https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/dating-rocks-and-fossils-using-geologic-methods-107924044/

Plitvička jezera. (2019.). *Plitvička jezera*. Dohvaćeno iz Starost i rast sedrenih barijera: https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/sedra/starost-i-rast-sedrenih-barijera/

Plitvička jezera. (n.d.). *Plitvička jezera.* Dohvaćeno iz Sedra: https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/sedra/

Polarpedia. (n.d.). *Edu arctic*. Dohvaćeno iz Ledena jezgra: https://polarpedia.eu/hr/ledena-jezgra/

Rukavina, D. (1996). *Ledeno doba.* Zagreb.

Srdoć D., O. B. (1985). *Srdoć D., Obelić B., Horvatinčić N., Culiberg M., Šercelj A., Slijepčević A. Radiocarbon dating and pollen analyses of two peat bog sin the Plitvice national park.* Zagreb: Institut Ruđer Bošković.

Srdoć D., O. J. (1994.). *Radiocarbon and Uranium-series dating of the Pltvice lakes travertines.* Zagreb.

Struna. (n.d.). *Hrvatsko strukovno nazivlje*. Dohvaćeno iz Datiranje termoluminiscencijom: http://struna.ihjj.hr/naziv/datiranje-termoluminiscencijom/31984/

T., K. (2019.). *Plan upravljanja nacionalnim parkom plitvička jezera 2019.-2028.* Plitvička jezera: Nitor usluge d.o.o.

Vins, K. R. (n.d.). *Teorija evolucije*. Dohvaćeno iz Radiometrijske metode datiranja: http://www.teorijaevolucije.com/radiodatiranje.html

Vojvodina.cafe. (2008.). *Vojvodina.cafe*. Dohvaćeno iz Teorija evolucije ili kreacionizma: http://www.vojvodina.cafe/showthread.php/7295-Teorija-evolucije-ili-kreacionizma/page7

Wikipedia. (n.d.). Dohvaćeno iz Surface exposure dating: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_exposure_dating

Wikipedia. (n.d.). Dohvaćeno iz Thermoluminescence: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoluminescence

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Geokronološki metod: https://bs.m.wikipedia.org/wiki/Geohronolo%C5%A1ki_metod

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Radioizotropno datiranje: https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Radioizotopno_datiranje

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Surface exposure dating: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_exposure_dating

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Ionska stupica: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ionska_stupica

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Ernest Rutherford: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford#Teorija_radioaktivnog_raspadanja

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Dohvaćeno iz Lichenometry: https://en.wikipedia.org/wiki/Lichenometry

Zbrinjavanje radioaktivnog otpada. (2015). *Zbrinjavanje radioaktivnog otpada.* Dohvaćeno iz Radioaktivnost: http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/

POPIS SLIKA

Slika 1. Karta svijeta za vrijeme ranog kvartara (Wikipedia) 3
Slika 2. Fluvijalne naslage na području rijeke Drave, Vučice i Karašice (Halamić, 2019.) ... 5
Slika 3. Vrijeme poluraspada radioaktivnih elemenata (Geotech, n.d.) 9
Slika 4. Grafički prikaz broja atoma u određenom izotopu u odnosu s vremenom (Zbrinjavanje radioaktivnog otpada, 2015). 9
Slika 5. Maseni spektrometar s magnetskim analizatorom (Davina Linehan)..... 15
Slika 6. Uzorak uzet iz drveta (Dating Techniques) 18
Slika 7. Uzdužni hidrogeološki profil. Izradio JUNPPJ. (Plitvička jezera, 2019.)..... 22
Slika 8. Dijagram prikazuje odnos dubine sedre i treseta u odnosu na starost izraženu metodom ^{14}C u godinama (Institut Ruđer Bošković, 2010.) 23

POPIS JEDNADŽBI

Jednadžba 1. Vrijeme računanja starosti sedimenta (Krstarica forum, 2007.)..... 12
Jednadžba 2. Kemijska formula koja prikazuje stvaranje sedre (Plitvička jezera) 21