



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Andrija Vinković

Dinamika sekvestracije ugljika u recentnim sedimentima Crnog i Jadranskog mora

DOKTORSKI RAD

Mentor:

dr. sc. Jasmina Obhodaš

Zagreb, 2025



University of Zagreb

Faculty of Science
Department of Geology

Andrija Vinković

Carbon sequestration dynamics in recent sediments of the Black and Adriatic Sea

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Jasmina Obhodaš, PhD

Zagreb, 2025

Ova doktorska disertacija izrađena je na Institutu Ruđer Bošković pod vodstvom dr. sc. Jasmine Obhodaš, u sklopu Dokorskog studija Geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvale

Iskreno zahvaljujem mentorici dr. sc. Jasmini Obhodaš na prenesenom znanju, stručnoj pomoći, potpori i savjetima tijekom izrade ove doktorske disertacije.

Zahvaljujem članovima povjerenstva, izv. prof. dr. sc. Kristini Pikelj, izv. prof. dr. sc. Hani Fajković i dr. sc. Tinu Klanjščeku, na korisnim komentarima i prijedlozima za unaprjeđenje rada.

Posebno zahvaljujem dr. Gennadyu Laptevu na datiranju dijela uzoraka i, unatoč nasrtajima na njegovu zemlju, na izrazitoj pomoći pri izračunima brzine sedimentacije i doprinosu raspravi.

Zahvaljujem prof. dr. Günseli Yaprak i dr. sc. Ivani Tucaković na datiranju preostalih uzoraka, dr. sc. Tamari Troškot-Čorbić na mjerenju količine ugljika te dr. sc. Nedi Vdović na analizi veličine čestica. Također zahvaljujem stručnoj savjetnici Štefici Kampić i asistentici Lauri Huljek na pomoći u analizi mineralnog sastava.

Zahvaljujem prof. Snejani Monchevoj i dr. Danu Secrieru na koordinaciji uzorkovanja jezgre C1, dr. Krasimiri Slavovoj na uzorkovanju i dostavi jezgre C2 te posadi istraživačkog broda R/V Akademik pod vodstvom kapetana Cholakova na uzorkovanju crnomorskih jezgri. Također zahvaljujem dr. Mirku Đuroviću i dr. Danijeli Joksimović na koordinaciji uzorkovanja JJ jezgri, dr. sc. Danijeli Bogner na koordinaciji uzorkovanja SJ jezgri, kao i posadi istraživačkog broda Bios Dva pod vodstvom zapovjednika Roberta Tafre na uzorkovanju jadranskih jezgri. Zahvaljujem i ostalim članovima IAEA RER7015 projekta na sudjelovanju u uzorkovanjima te na doprinosu pri pisanju sažetaka i radova.

Zahvaljujem kolegama iz Laboratorija za nuklearne analitičke metode na suradnji i pomoći.

Hvala mojoj obitelji na neizmornoj pomoći i vječnoj podršci.

Posvećeno mami za oporavak i didi u spomen. Žao mi je što nisi mogao sudjelovati u obrani.

I možda zadnji put napisano, ali nikada zaboravljeno: Hoću, mogu, moram!

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Teorijska podloga	2
2.1. Razlozi istraživanja ugljika	2
2.2. Karakteristike atmosferskog ugljika.....	4
2.3. Ciklus ugljika	10
2.4. Oceansko skladište ugljika	15
2.4.1. Fizička pumpa ugljika	16
2.4.2. Biološka pumpa ugljika.....	18
2.4.3. Karbonatna pumpa ugljika	20
2.5. Ugljik u marinskim sedimentima	22
2.5.1. Organski ugljik	22
2.5.2. Anorganski ugljik	24
3. Pregled literature	25
3.1. Povijesni pregled istraživanja atmosferskog ugljika	25
3.2. Povijesni pregled istraživanja izotopa ugljika.....	28
3.3. Povijesni pregled mjerenja ugljika u marinskim sedimentima.....	29
3.3.1. Pregled metoda analize ugljika u sedimentima	33
3.4. Povijesni pregled mjerenja brzine sedimentacije u Crnom i Jadranskom moru.....	35
4. Pregled istraživanih područja	37
4.1. Crno more.....	37
4.2. Jadransko more.....	39
5. Materijali i metode	41
5.1. Uzorkovanje	41
5.2. Datiranje	45
5.2.1. Princip ^{210}Pb datiranja	46
5.3. Analiza veličine čestica	48
5.3.1. Princip određivanja veličine čestica	49
5.4. Mineralni sastav	50
5.4.1. Princip određivanja mineralnog sastava	50
5.5. Koncentracija ugljika	51
5.5.1. Princip određivanja koncentracije ugljika	51
5.6. Izračun sekvenciranja ugljika	52
6. Rezultati	55
6.1. Crnomorska jezgra C1	55

6.1.1. Datiranje jezgre C1.....	55
6.1.2. Analiza veličine čestica jezgre C1.....	56
6.1.3. Analiza mineralnog sastava jezgre C1.....	57
6.1.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre C1.....	59
6.2. Crnomorska jezgra C2.....	60
6.2.1. Datiranje jezgre C2.....	60
6.2.2. Analiza veličine čestica jezgre C2.....	61
6.2.3. Analiza mineralnog sastava jezgre C2.....	62
6.2.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre C2.....	63
6.3. Južnojadranska jezgra JJ1.....	64
6.3.1. Datiranje jezgre JJ1	64
6.3.2. Analiza veličine čestica jezgre JJ1	65
6.3.3. Analiza mineralnog sastava jezgre JJ1	66
6.3.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre JJ1	68
6.4. Južnojadranska jezgra JJ2.....	69
6.4.1. Datiranje jezgre JJ2	69
6.4.2. Analiza veličine čestica jezgre JJ2	70
6.4.3. Analiza mineralnog sastava jezgre JJ2	71
6.4.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre JJ2	73
6.5. Srednjojadranska jezgra SJ1.....	74
6.5.1. Datiranje jezgre SJ1.....	74
6.5.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ1.....	75
6.5.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ1	76
6.5.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ1.....	77
6.6. Srednjojadranska jezgra SJ2.....	78
6.6.1. Datiranje jezgre SJ2.....	78
6.6.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ2.....	79
6.6.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ2	80
6.6.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ2.....	82
6.7. Srednjojadranska jezgra SJ3.....	83
6.7.1. Datiranje jezgre SJ3.....	83
6.7.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ3.....	84
6.7.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ3	85
6.7.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ3.....	86
6.8. Sekvestracija u morima i oceanima	87
6.8.1. Sekvestracija u Crnom moru	87

6.8.2. Sekvestracija u Jadranskom moru	89
6.8.3. Sekvestracija u oceanima	91
7. Rasprava	94
7.1. Usporedba izmjerenih parametara jezgri	94
7.1.1. Usporedba datiranja CRS modelom	96
7.1.2. Usporedba datiranja CIC modelom	98
7.1.3. Usporedba količine ugljika	100
7.1.4. Usporedba sekvestracije ugljika	102
7.2. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika s objavljenim podacima	103
7.2.1. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika crnomorskih jezgri s objavljenim podacima	105
7.2.2. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika jadranskih jezgri s objavljenim podacima	109
7.3. Mogući uzroci povećanja brzine sedimentacije	117
7.4. Problemi s procjenama koncentracije ugljika u oceanima i sedimentima	126
8. Zaključak	129
9. Prošireni sažetak	131
10. Extended abstract	134
11. Literatura	137
12. Prilozi	200
13. Životopis	268

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Doktorska disertacija

DINAMIKA SEKVESTRACIJE UGLJIKA U RECENTNIM SEDIMENTIMA CRNOG I JADRANSKOG MORA

ANDRIJA VINKOVIĆ

Sažetak: Radi proučavanja promjena sekvestracije ugljika u recentnim marinskim sedimentima, uzorkovane su dvije sedimentne jezgre sa šelfa Crnog mora i pet sa šelfa Jadranskog mora. Sedimentni intervali jezgra su datirani te im je izmjerena količina ugljika, veličina čestica i mineralni sastav. Unatoč različitim okolišima i maritimnim karakteristikama Crnog i Jadranskog mora, prema površini sve jezgre pokazuju povećanje koncentracije organskog i anorganskog ugljika te brzine sedimentacije. Količina ukupnog ugljika se u prosjeku povećala za otprilike šest puta, a brzina sedimentacije za otprilike deset puta. Veće brzine sedimentacije bile su izmjerene u crnomorskim jezgrama. Izmjerene brzine sedimentacije se podudaraju s pojedinim mjerenjima iz literature. Veličina čestica većinom ukazuje na manje promjene, dok je mineralni sastav relativno konstantan. Ukoliko se pretpostavi da je za ovaj porast brzine sedimentacije i količine ugljika zaslužno povećanje atmosferske koncentracije ugljikovog dioksida, moguće je izračunati direktnu sekvestraciju atmosferskog ugljika. Za sedimente do 200 m dubine procijenjeno je da su u razdoblju od 2011-2020. crnomorski sedimenti sekvestrirali $0,011 \pm 0,005$ GtC/god, jadranski $0,009 \pm 0,004$ GtC/god, a ukupni oceanski sedimenti $2,500 \pm 1,261$ GtC/god. Porast sekvestracije ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala jezgri je u prosjeku $224,5 \pm 97,3$ %.

Ključne riječi: sedimentne jezgre, sekvestracija ugljika, brzina sedimentacije, Crno more, Jadransko more

Rad je izrađen na Institutu Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb

Rad sadrži: 271 stranica, 67 slika, 29 tablica, 26 jednadžbi, 11 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Mentor: dr. sc. Jasmina Obhodaš, voditelj Laboratorija za nuklearne analitičke metode, znanstveni savjetnik, Institut Ruđer Bošković, Zagreb

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Doctoral thesis

CARBON SEQUESTRATION DYNAMICS IN RECENT SEDIMENTS OF THE BLACK AND ADRIATIC SEA

ANDRIJA VINKOVIĆ

Abstract: To study changes in carbon sequestration in recent marine sediments, two sediment cores from the Black Sea shelf and five from the Adriatic Sea shelf were sampled. The sedimentary intervals of the cores were dated and their carbon content, particle size, and mineralogical composition were measured. Despite the different environments and maritime characteristics of the Black Sea and Adriatic Seas, all cores show increased organic and inorganic carbon concentrations and sedimentation rates towards the surface. The total carbon content increased by about six times on average, and the sedimentation rate by about ten times. Higher rates were measured in the Black Sea cores. The measured sedimentation rates are consistent with some measurements in the literature. The particle size mostly indicates minor changes, while the mineral composition is relatively constant. If it is assumed that this increase in sedimentation rate and carbon content is due to the increase in atmospheric carbon dioxide concentration, it is possible to calculate the direct sequestration of atmospheric carbon. For sediments up to 200 m deep, it was estimated that in the period from 2011-2020. Black Sea sediments sequestered at 0.011 ± 0.005 GtC/year, Adriatic Sea sediments at 0.009 ± 0.004 GtC/year, and total ocean sediments at 2.500 ± 1.261 GtC/year. The increase in carbon sequestration between the deepest and shallowest core intervals is 224.5 ± 97.3 % on average.

Keywords: sediment cores, carbon sequestration, sedimentation rate, Black Sea, Adriatic Sea

Thesis completed at Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb

Thesis contains: 271 pages, 67 figures, 29 tables, 26 equations, 11 appendices

Original in: Croatian

Supervisor: Dr. Jasmina Obhodaš, Head of Laboratory for nuclear analytical methods, Senior scientist, Ruđer Bošković Institute, Zagreb

1. Uvod

Industrijska revolucija i razvoj tehnologije doveli su do konstantnog povećanja količine ugljikovog dioksida (CO₂) otpuštenog u atmosferu. To je dovelo do povećanja njegove atmosferske koncentracije, što je imalo dodatni utjecaj na globalni ciklus ugljika. Prije razvoja industrije, Zemlja je imala relativno dobro uravnotežen prirodni ciklus, no s dodatnim antropogenim forsiranjem promijenili su se odnosi sekvestracije ugljika u atmosferi, oceanima, tlu i biosferi. Izraz sekvestracija ugljika (eng. *carbon sequestration*) koristi se za opisivanje prirodnih i antropogenih procesa kojima se CO₂ uklanja iz atmosfere ili preusmjerava od njegovih izvora i pohranjuje u oceanima, kopnu (vegetaciji, tlu, sedimentima) i geološkim formacijama (Sundquist et al., 2008). Kopnena sekvestracija i sekvestracija u morskoj vodi detaljnije su istražene i otprilike se zna njihov doprinos općoj sekvestraciji ugljika, ali malo pažnje je dano marinskim sedimentima.

Ciklus ugljika u oceanima je izrazito kompleksan i uključuje više formi ugljika, a samo manji dio tog ugljika dosegne sediment i bude uskladišten u njima. Zbog složenosti uzorkovanja sedimenta na većim dubinama, broj radova koji proučavaju sedimente u sklopu ciklusa ugljika je znatno manji u usporedbi s brojem radova koji se bave oceanskom vodom ili kopnenim okolišima. Dostupnost podataka o ugljiku iz sedimenta je stoga relativno mala pa se još uvijek koriste starije procjene za globalnu količinu ugljika u njima. Uz to, zbog razlike u dubinama uzorkovanja i načinima mjerenja ugljika, te korištene koncentracije se dosta razlikuju. Potrebno je napraviti detaljniju analizu sedimenata iz različitih okoliša i s različitih dubina kako bi se preciznije mogao procijeniti utjecaj sedimenta u globalnom ciklusu ugljika i buduće promjene u njemu. Ako se sedimentne jezgre analiziraju u intervalima i dodatno usporede s brzinama sedimentacije, moguće je dobiti pregled kako se je vremenom mijenjala sekvestracija ugljika te je moguće proučiti prate li te promjene trendove u povećanju atmosferske koncentracije CO₂.

U ovom radu su istraživane dvije crnomorske sedimentne jezgre i pet jadranskih jezgri. Sedimenti su analizirani u centimetarskim i polucentimetarskim intervalima kako bi se utvrdile promjene sa starošću sedimenta. Uzorcima su izmjerene starosti i količine ugljika te su im istražene veličine čestica i mineralni sastavi. Ti podaci su uspoređeni s atmosferskim koncentracijama CO₂ istih godina kao i starosti sedimenta, te je izvedena početna procjena skladištenja ugljika u pojedinim morima i ukupnim oceanima.

2. Teorijska podloga

2.1. Razlozi istraživanja ugljika

Većina svemirskog zračenja koje dopire do Zemljine površine potječe od Sunca, s valnim duljinama u rasponu od 300 do 2500 nm. Solarno zračenje sastoji se od 3-5 % ultraljubičastog zračenja, 42-43 % vidljivog svjetla i 52-55 % bliskog infracrvenog zračenja, no do površine Zemlje nikada ne dopire cijelo sunčevo zračenje (Wang & Yu, 2023). Zemlja je konstanto grijana dijelom tog zračenja, točnije sunčevim kratkovalnim zračenjem (valne duljine 320-390 nm). Tijekom prolaska kroz atmosferu, zračenje može biti potpuno reflektirano (oblacima) ili apsorbirano. Zbog toga, do površine Zemlje dolazi znatno smanjena količina energije. Oko 23 % sunčevog elektromagnetskog zračenja atmosfera i oblaci reflektiraju nazad u svemir, 6 % je reflektirano od površine Zemlje, 48 % je apsorbirano na površini i 23 % je apsorbirano u atmosferi (Trenberth et al., 2009). Kako bi se uravnotežilo konstantno zagrijavanje, Zemlja otpušta dugovalno zračenje (termalno ili infracrveno) valne duljine 2000-40000 nm. Iako vodena para, ugljikov dioksid i drugi staklenički plinovi relativno slabo upijaju sunčevo zračenje, uspješno apsorbiraju zračenje otpušteno s površine Zemlje. Stoga, otpušteno zračenje može biti dodatno apsorbirano u atmosferi. Molekule koje su apsorbirale energiju tog zračenja ulaze u nestabilno stanje povećane energije te počinju vibrirati i rotirati se. Kako bi izgubile dodatnu energiju, ponovno ju otpuštaju nazad u atmosferu. Dio novo otpuštenog zračenja otići će u svemir, ali dio će se vratiti ponovno na površinu Zemlje i dodatno je zagrijavati. To je poznato pod nazivom efekt staklenika (eng. *greenhouse effect*) (Mitchell, 1989; van Wijngaarden & Happer, 2023).

Staklenički plinovi (eng. *greenhouse gases*) su plinoviti sastojci atmosfere nastali kao posljedica prirodnih i ljudskih procesa, a koji upijaju i emitiraju zračenje na određenim valnim duljinama unutar spektra infracrvenoga zračenja (ISO, 2009). Najizraženiji staklenički plinovi su: vodena para (H_2O), ugljikov(IV) dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušikov(I) oksid (N_2O), ozon (O_3), fluorougljikovodici (HFC), perfluorougljici (PFC) i sumporov heksafluorid (SF_6). Doprinos pojedinog plina efektu staklenika ovisi o valnoj duljini zračenja koju može apsorbirati, koncentraciji plina, jačini apsorpcije po molekuli plina i sposobnost drugih plinova da apsorbiraju zračenje istih valnih duljina (Mitchell, 1989; van Wijngaarden & Happer, 2023).

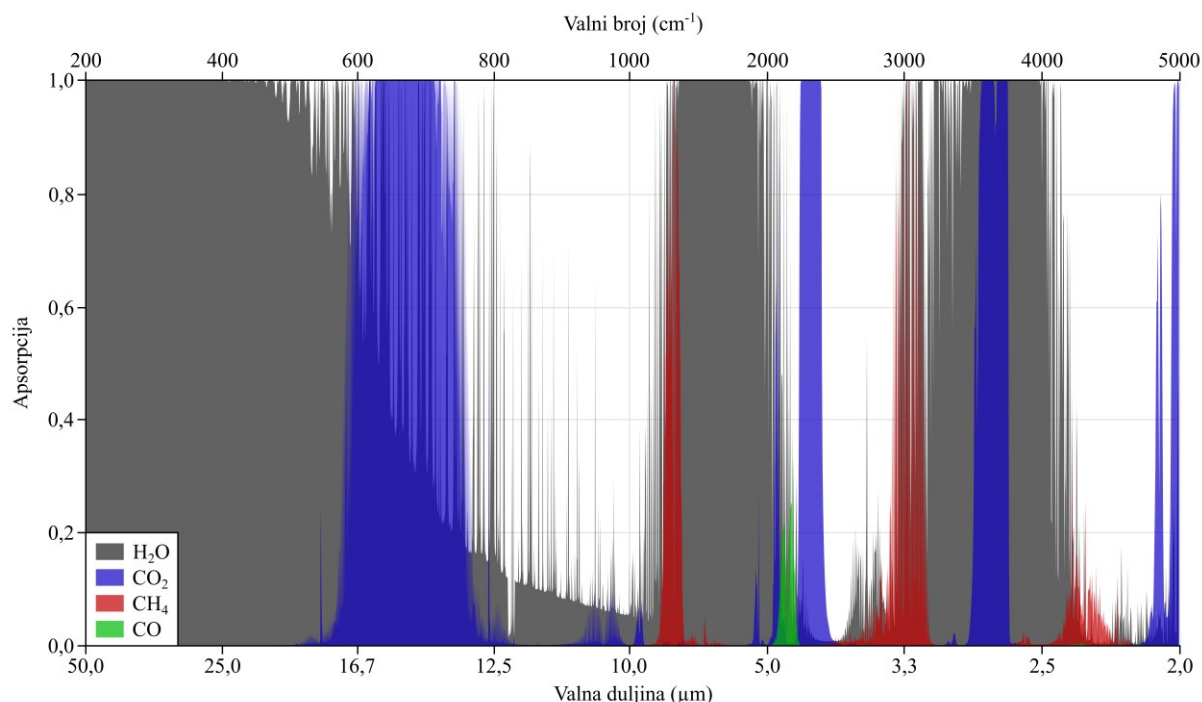
Iako se zrak sastoji većinom od dušika (78,08 %) i kisika (20,93 %), oni su skoro zanemarivi za ovaj efekt. Najjače apsorpcije i otpuštanja elektromagnetskog zračenja događaju se zbog vibrirajućeg ili rotirajućeg dipolnog momenta unutar molekula. Dipolni moment

molekule je proizvod prostornog odvajanja između središta negativnog naboja elektrona i središta pozitivnog naboja te veličine pozitivnog naboja. Zbog simetričnosti, središta pozitivnih i negativnih naboja dušika (N_2) i kisika (O_2) nalaze se u središtu molekule i time u središtu mase. Budući da nemaju odvojena središta naboja, dipolni moment će uvijek biti jednak nuli, neovisno o tome kako molekula vibrira ili se rotira. Situacija je kompleksnija kod poli atomskih ili asimetričnih molekula jer dolazi do promjena u dipolnom momentu uslijed vibracija i rotacija (van Wijngaarden & Happer, 2023). Dijelovi elektromagnetskog spektra koji nisu apsorbirani i mogu slobodno prolaziti kroz atmosferu se nazivaju atmosferski prozori (eng. *atmospheric windows*) (Mitchell, 1989; van Wijngaarden & Happer, 2023).

Koliko god se pričalo o CO_2 , on zapravo puno manje zagrijava Zemlju od vodene pare. Izračunato je da je vodena para zaslužna za 36-72 % ukupnog efekta staklenika, CO_2 za 9-26 %, CH_4 za 4-9 % te ozon za 3-7 % (Mikhaylov et al., 2020). Vodena para je zaslužna za najveći dio efekta staklenika jer apsorbira mnogo valnih duljina otpuštenog zračenja i time pokriva veliki dio elektromagnetskog spektra. Unatoč tome, nije zaslužna za promjene u intenzitetu efekta staklenika jer joj antropogene aktivnosti ne mijenjaju atmosfersku koncentraciju (Schmidt et al., 2010). Dijelovi spektra koje vodena para ne pokriva se nazivaju prozori vodene pare (eng. *water vapor windows*). Maksimum transmisije za najvažniji prozor vodene pare se nalazi na valnoj duljini od 10 μm , s djelomičnom prozirnošću između 8 i 14 μm (slika 1). Neke valne duljine prozora apsorbiraju drugi staklenički plinovi, poput CO_2 koji djelomično zatvara najveći prozor vodene pare apsorbirajući zračenje valne duljine od oko 12 do 15 μm . Što više neki plin zatvara te prozore, to ima veći utjecaj na efekt staklenika. Jedan od plinova koji značajno zatvaraju dijelove atmosferskog prozora je upravo CO_2 , čija koncentracija dodatno raste zbog antropogenog utjecaja, zbog čega se intenzivno proučava.

Kako bi se staklenički plinovi mogli lakše usporediti, njihov utjecaj na efekt staklenika se često izražava preko potencijala globalnog zatopljenja (eng. *global warming potential*; GWP). To je mjera koliko će energije apsorbirati jedna tona otpuštenog stakleničkog plina tijekom određenog vremenskog raspona u usporedbi s jednom tonom otpuštenog ugljikovog dioksida. Što je GWP za određeni plin veći, taj plin toliko više zagrijava Zemlju u odnosu na ugljikov dioksid u tom vremenskom razdoblju. Najčešće korišteno vremensko razdoblje je od 100 godina (GWP-100), ali se često koriste i razdoblja od 20 (GWP-20) i 500 godina (GWP-500). Ugljikov dioksid, kao referentni plin za izražavanje GWP-a, uvijek ima vrijednost od 1,0, neovisno o vremenskom razdoblju. Postoje različite vrijednosti GWP-a za CH_4 ovisno izražava li se GWP za fosilni ili recentni CH_4 . Fosilni CH_4 ima vrijednosti od $82,5 \pm 25,8$ (GWP-20),

$29,8 \pm 11,0$ (GWP-100) i $10,0 \pm 3,8$ (GWP-500), dok recentni ima vrijednosti od $79,7 \pm 25,8$ (GWP-20), $27,0 \pm 11,0$ (GWP-100) i $7,2 \pm 3,8$ (GWP-500) (IPCC, 2021).

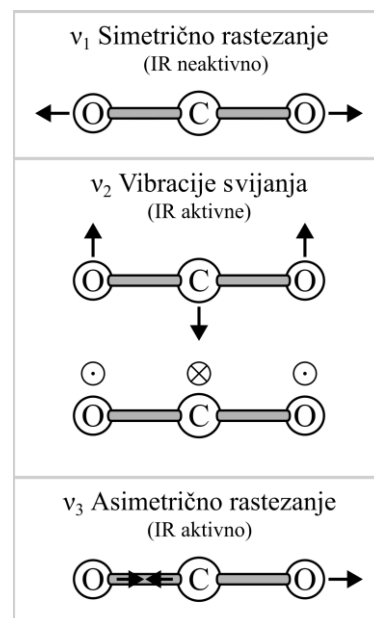


Slika 1. Apsorpcijske vrpce vodene pare, CO₂, CH₄ i CO u atmosferi u rasponu od 2 do 50 µm valne duljine. Podaci preuzeti iz EODG (2024).

2.2. Karakteristike atmosferskog ugljika

Nepobuđena molekula ugljikovog dioksida je linearna i simetrična. Zbog jako elektronegativnih atoma kisika na rubovima, atom ugljika ima slabi pozitivan naboj. Molekula CO₂ nema dipolni moment jer se centri negativnog i pozitivnog naboja podudaraju u centru simetrije. Ona može vibrirati s tri osnovne vibracije i ima četiri stupnja slobode: simetrično rastezanje, vibracije svijanja i asimetrično rastezanje (Barrett, 2005) (slika 2).

Osim vibracija, molekule u Zemljinoj atmosferi se također mogu i rotirati. Elektronska ili nuklearna pobuđenja visokih energija potrebna su kako bi se linearne molekule poput CO₂ potakle na rotiranje oko njihove osi simetrije. Budući da Zemljina termalna zračenja nemaju toliku energiju, os rotacije



Slika 2. Osnovne vibracije molekule CO₂. Uređeno prema McQuarrie & Simon (1997).

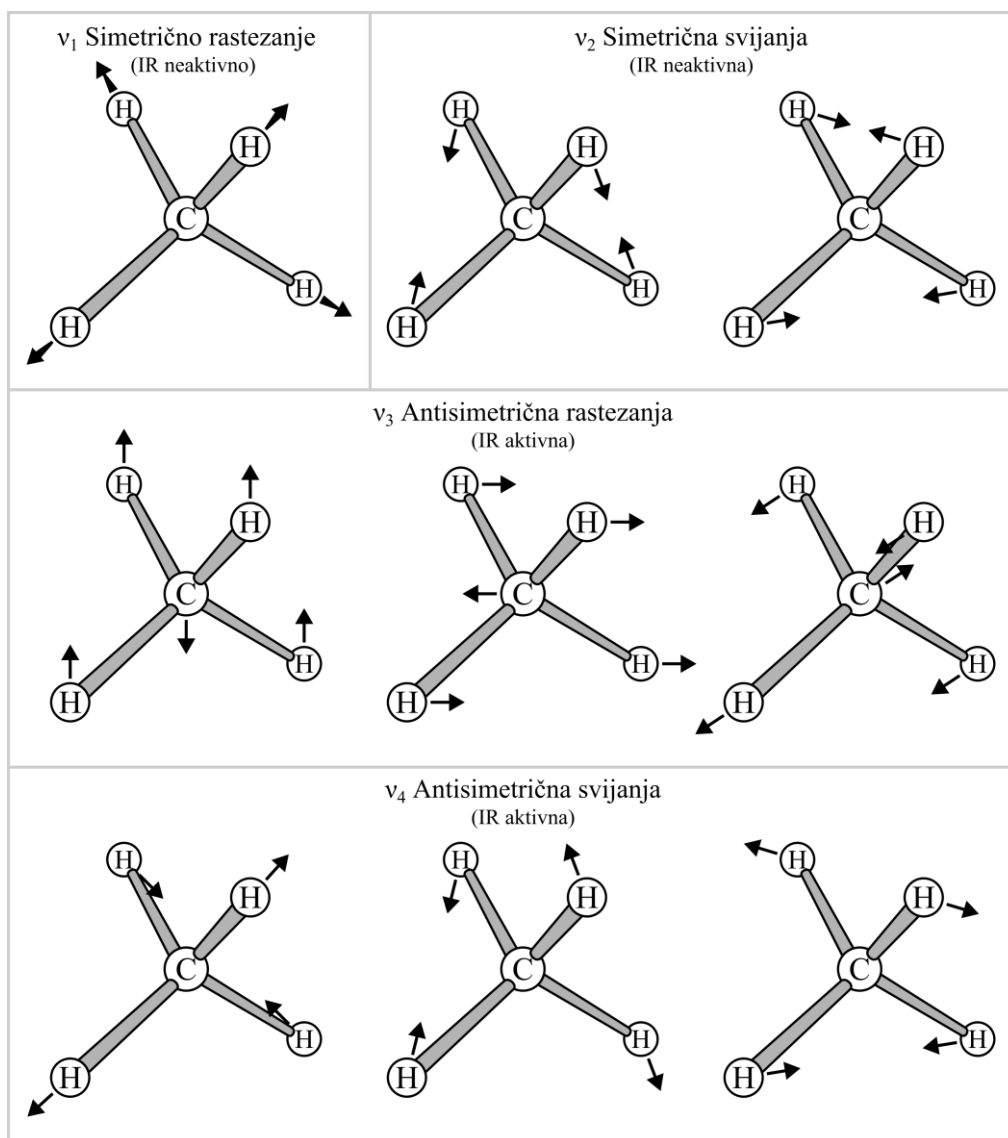
linearnih molekula je uvijek okomita na njihovu os simetrije. Tijekom savijanja molekule CO_2 , molekula vibrira okomito na os simetrije i stoga os rotacije može biti paralelna ili okomita na os vibracije. Ukoliko su osi okomite jedna na drugu, kao što je uvijek slučaj u simetričnom i asimetričnom rastezanju, zračenje iz vibracije molekule podijelit će se na donji i gornji bočni pojas unutar spektra i neće postojati zračenje na vibracijskoj frekvenciji nerotirajuće molekule. No, ukoliko su osi paralelne, rotacija neće utjecati na uzorak zračenja i molekula će zračiti u standardnoj vibracijskoj frekvenciji tijekom savijanja. Mogu se jedino dodatno pojaviti slabo pomaknuti bočni pojasevi zbog centrifugalnog razvlačenja rotirajuće molekule (van Wijngaarden & Happer, 2023).

Osnovne vrste vibracija molekule CH_4 su kompleksnije u odnosu na CO_2 zbog nelinearnosti molekule i većeg broja atoma. Molekula CH_4 može vibrirati s četiri osnovne vibracije i ima devet stupnjeva slobode: simetrično rastezanje, simetrična svijanja, antisimetrična rastezanja i antisimetrična svijanja (Maroni, 2005) (slika 3).

U atmosferi je također prisutan i ugljikov monoksid (CO). Sa svoja dva atoma ima sličnu elektronsku strukturu kao i molekula dušika ili kisika, no zbog nedostatka simetrije centar negativnog naboja se nalazi kod atoma kisika, a pozitivnog kod atoma ugljika. Zbog razlike u položaju tih centara, ugljikov monoksid je također staklenički plin. No, zbog nedostatka različitih vrsta vibracija, njegov je učinak na efekt staklenika izrazito malen u odnosu na CO_2 i CH_4 te se on rijetko spominje tijekom rasprava o klimi (van Wijngaarden & Happer, 2023).

Antropogene aktivnosti povećavaju koncentraciju stakleničkih plinova u atmosferi. Dva najjača antropogena staklenička plina su oba ugljikovi spojevi, točnije CO_2 i CH_4 . Koncentracija atmosferskog CO_2 povećala se od 280 ppm prije početka industrijske revolucije 1760. godine (IPCC, 2013) na 417,1 ppm u 2022. godini (Forster et al., 2023). Konstantnim praćenjem atmosferske koncentracije u opservatoriju na vulkanu Mauna Loa na Havajskom otočju, dobivena je krivulja koja ukazuje na konstanti porast njegove koncentracije (slika 4). Relativno linearni rast krivulje pokazuje da neovisno koliko ugljika bude otpušteno u atmosferu, Zemljin ciklus ugljika poprilično uspješno održava ravnotežu i preraspodjeljuje ga u sva dostupna skladišta ugljika. Koncentracija atmosferskog CH_4 se također značajno povisila, od 722 ppb u razdoblju od 1750-1803. (IPCC, 2013) do 1911,9 ppb u 2022. godini (Forster et al., 2023). Molekula CH_4 ima od 27,0 do 29,8 puta veći GWP-100 u odnosu na CO_2 , ali joj je životni vijek u atmosferi samo $11,8 \pm 1,8$ godina nakon čega se pretvara u CO_2 (IPCC, 2021). Stoga je CH_4 izravno puno jači staklenički plin, ali i dodatno s vremenom povećava koncentraciju CO_2 . Povišenje atmosferske koncentracije CO_2 , CH_4 i ostalih antropogenih

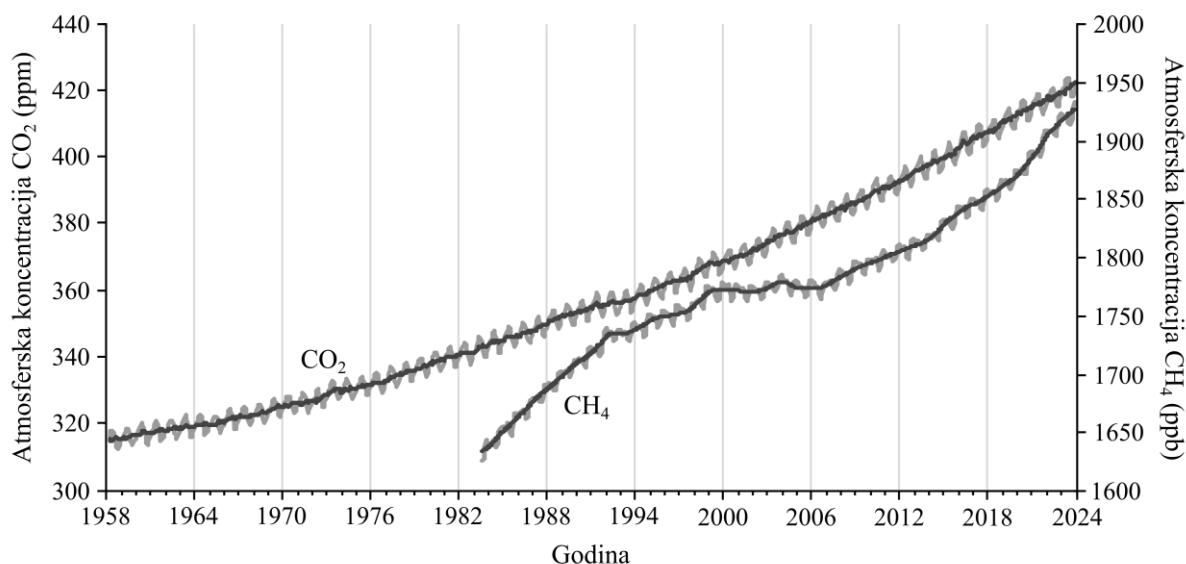
stakleničkih plinova dovodi do pojačavanja količine apsorbiranog Zemljinog dugovalnog zračenja i time do dodatnog zagrijavanja. Taj snažniji efekta staklenika naziva se pojačani efekt staklenika (eng. *enhanced greenhouse effect*) (Jain, 1993).



Slika 3. Osnovne vibracije molekule CH_4 . Uređeno prema Maroni (2005).

Porast atmosferskih koncentracija CO_2 izazvalo je povećanje njegove koncentracije u oceanima. U površinskim vodama Atlantskog oceana u blizini Bermuda parcijalni tlak CO_2 se konstantno povećavao kroz godine, s procijenjenom brzinom od $1,80 \pm 0,09 \mu\text{atm/god}$ u razdoblju od 1983. do 2011. godine (Bates et al., 2012). U blizini Kanarskih otoka fugacitet CO_2 se povećao brzinom od $1,55 \pm 0,43 \mu\text{atm/god}$ u razdoblju od 1995. do 2004. (González-Dávila et al., 2010). Isti trend je uočen i u Tihom oceanu, s povećanjem parcijalnog tlaka CO_2 od $1,88 \pm 0,16 \mu\text{atm/god}$ u razdoblju od 1988. do 2007. godine u blizini Havajskog otočja (Dore et al., 2009) (slika 5). Dodatne promjene u koncentraciji CO_2 morske vode koje su dobivene od

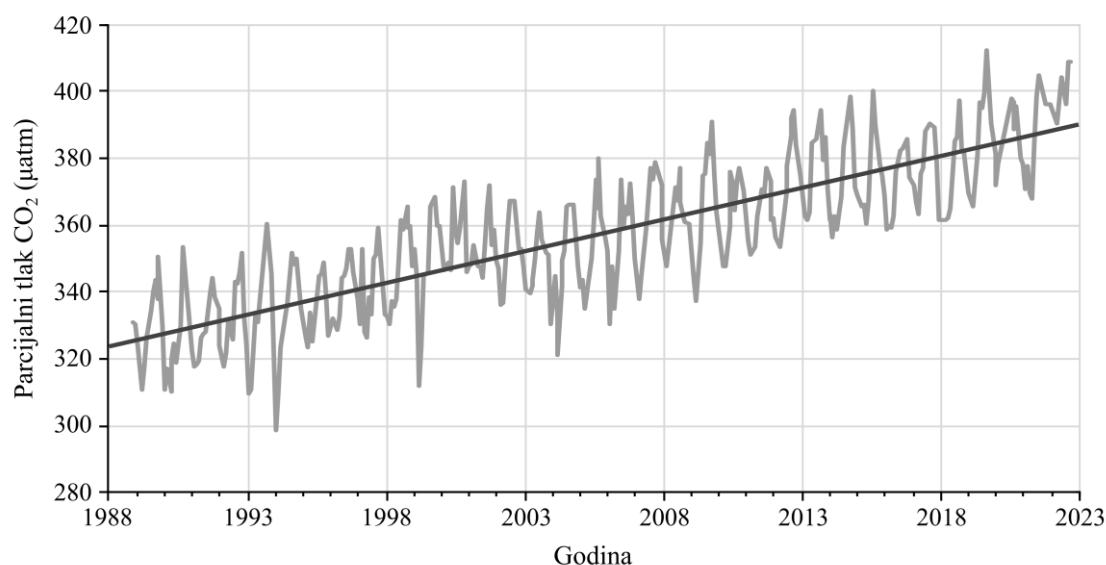
40 samostalnih plutača objavili su Sutton et al. (2019), dok se podaci dobiveni od većine trenutnih i prijašnjih plutača i znanstvenih krstarenja mogu pronaći na stranicama NOAA-NCEI (2022).



Slika 4. Krivulja mjesečnih koncentracija atmosferskog CH_4 i takozvana Keeling krivulja, odnosno krivulja mjesečnih koncentracija atmosferskog CO_2 . Mjerenja CO_2 provedena su na vulkanu Mauna Loa na Havajskom otočju (Keeling & Keeling, 2017). Rezultati za CH_4 su kombinacija mjerenja s više globalnih lokacija (Dlugokencky et al., 1994; Lan et al., 2022).

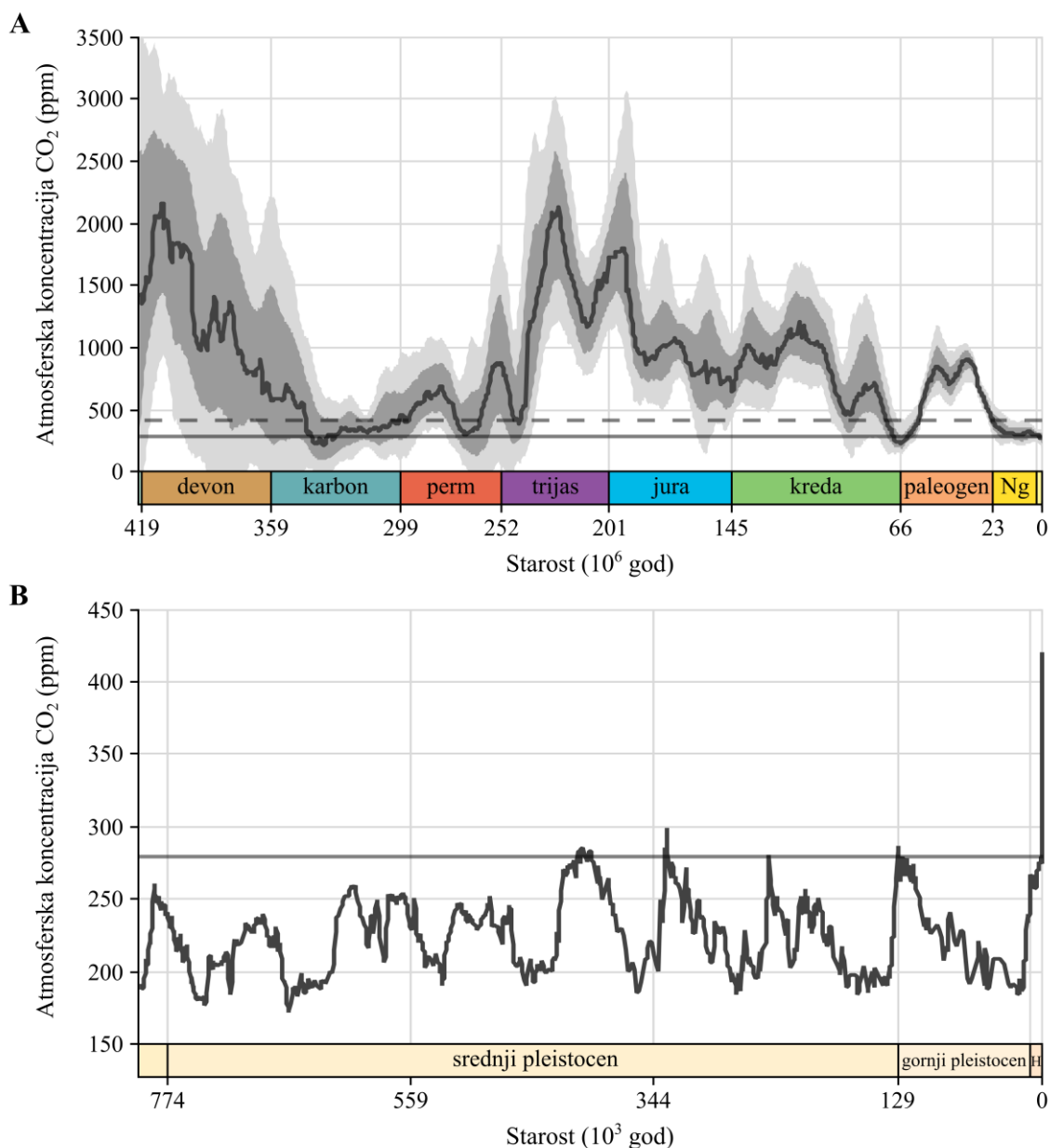
Ovo povećanje parcijalnog tlaka snizilo je globalni pH površinskih voda oceana za otprilike 0,11 jedinica, što odgovara povećanju koncentracije vodikova (H^+) iona za otprilike 30 % (Jiang et al., 2019). Međutim, treba napomenuti da lokalni pH može značajno varirati s godišnjim dobom i dubinom zbog fotosinteze i razgradnje organske tvari (Obhodaš et al., 2021).

Predviđa se da koncentracija atmosferskog CO_2 može porasti do 700 ppm (Hays et al., 2005) ili čak 1000 ppm (Zheng et al., 2018) do kraja stoljeća, dok se pH oceana može globalno sniziti za 0,3 jedinice (Hays et al., 2005). Unatoč ekološkim trendovima poput povećanja temperature površine mora, promjena u miješanju oceana, smanjenja produktivnosti zemljišta i pojačanog disanja, koji su često prikazani u modelima globalnog ciklusa ugljika i objašnjeni kao umanjena sposobnost Zemljinih rezervoara za preuzimanje ugljika, sekvstriranje ugljika u kopnenom i morskom okolišu se povećalo od 1960-ih godina (npr. Ballantyne et al., 2012; Keenan et al., 2016; DeVries et al., 2023; You et al., 2024).



Slika 5. Linija trenda i promjene parcijalnog tlaka CO₂ u morskoj vodi Tihog oceana u blizini Havajskog otočja (Dore et al., 2009).

Temperature i koncentracije atmosferskog CO₂ su se mijenjale kroz geološku povijest Zemlje (slika 6). Pleistocen je karakterističan po izmjenama hladnijih razdoblja glacijala i toplijih razdoblja interglacijala. Recentna geološka epoha holocena je zapravo zadnji interglacijal koji traje i danas. Nakon stabilizacije uvjeta nakon prijelaza iz pleistocena, holocen je do početka izrazitog antropogenog utjecaja bio poprilično stabilno razdoblje, s globalnim oscilacijama temperature od oko 1 °C (Neukom et al., 2019). Procjenjuje se da je morska razina rasla brzinom od otprilike 0,5 mm godišnje tijekom posljednjih 6000 godina, te 0,1 do 0,2 mm godišnje tijekom posljednjih 3000 godina. U proteklih 3000 do 5000 godina, oscilacije globalne razine mora na vremenskim skalama od 100 do 1000 godina vjerojatno nisu prelazile 0,3 do 0,5 metara (IPCC, 2001). Ipak, u otprilike posljednja dva stoljeća, količina atmosferskog CO₂ rasla je izrazito brzo, oko 100 puta brže nego tijekom prijelaza pleistocen-holocen (Waters et al., 2016). Temperatura atmosfere je također izrazito brzo rasla i ako se nastavi ovakav trend, stvorit će se klimatski uvjeti kakvi nisu bili prisutni tijekom pleistocena. Uspoređujući trajanje zadnjeg interglacijala s trajanjima prijašnjih, 70-tih godina prošlog stoljeća se je mislilo da će današnje toplo razdoblje relativno brzo završiti i da ponovno nastupa ledeno doba (Kukla et al., 1972). To bi se možda dogodilo da je regulacija Zemljinog klimatskog sustava prepuštena samo prirodnim varijacijama, no one djeluju na dugim vremenskim skalama, dok je danas vidljivo da je antropogeni utjecaj na taj sustav puno brži i da će najvjerojatnije produljiti trajanje ovog interglacijala (Zalasiewicz & Williams, 2021).

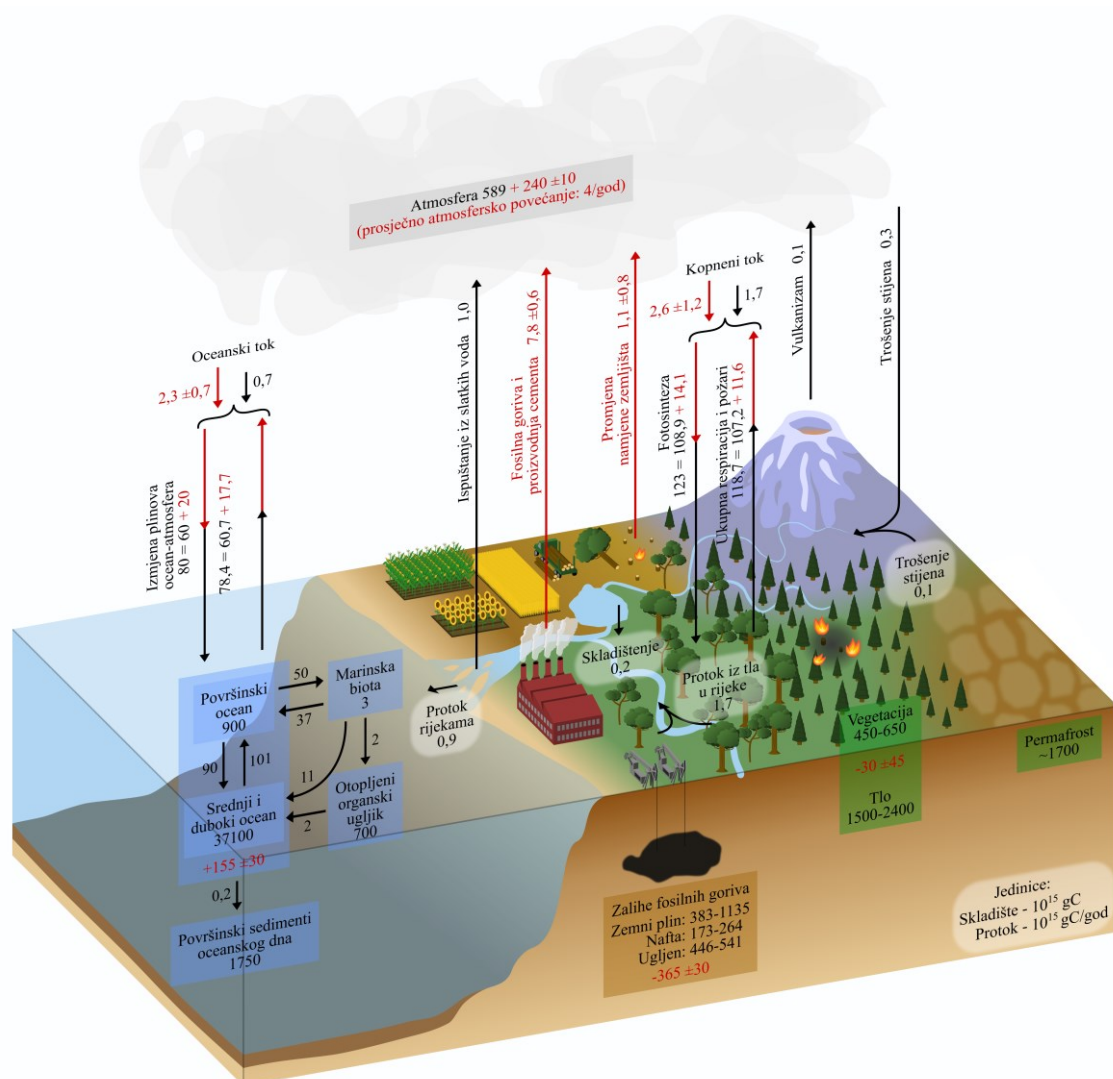


Slika 6. a) Procjena promjene atmosferske koncentracije CO₂ u zadnjih 420 milijuna godina. Tamnosiva i svijetlosiva boja prikazuju intervale pouzdanosti od 68 i 95 %. Podaci i izvori podataka su detaljno opisani u radu Foster et al. (2017). Ravna puna linija označava predindustrijsku atmosfersku koncentraciju od 280 ppm (IPCC, 2013), dok ravna crtkana linija označava koncentraciju 2022. godine od 417,1 ppm (Forster et al., 2023). b) Promjene u atmosferskoj koncentraciji CO₂ u posljednjih 800 tisuća godina. Podaci stariji od 1958. godine dobiveni su iz ledenih jezgri (Lüthi et al., 2008; NOAA-WDS, 2023), dok su noviji podaci dobiveni direktnim mjerenjima s Havajskog otočja (Keeling & Keeling, 2017). Ravna linija označava predindustrijsku atmosfersku koncentraciju od 280 ppm (IPCC, 2013).

2.3. Ciklus ugljika

Ciklus ugljika obuhvaća njegovo kruženje kroz okoliš te taloženje i otpuštanje iz njegovih prirodnih skladišta (slika 7). Prema Reichle (2020), najbitnije komponente globalnog ciklusa ugljika su:

1. Atmosfera; Antropogene aktivnosti su značajno poremetile prirodne geokemijske cikluse ugljika i drugih elemenata u nekoliko proteklih stoljeća. Trenutne koncentracije atmosferskog CO₂ se mogu dobiti direktnim mjerenjima, dok su povijesne procjene omogućene analizom zraka zarobljenog u ledenom pokrovu. Time su dobivene procjene atmosferskog sadržaja ugljika nekoliko stoljeća prije 1800. godine do raspona od 260 do 285 ppm. Oko polovice antropogenog ugljika se skladišti u oceanima i kopnu, dok se ostatak akumulira u atmosferi (Watson et al., 2020). Računa se da je vrijeme boravka molekule CO₂ u atmosferi oko 3,5 godine prije nego što se otopi u oceanu.
2. Kopno; Smanjenje koncentracije atmosferskog CO₂ fotosintezom zelenih biljaka se djelomično nadoknađuje ukupnim biljnim disanjem koje reciklira CO₂ natrag u atmosferu. Zbog toga je otprilike polovica ugljika asimilirana tijekom primarne proizvodnje. Dodatno disanje razgraditelja i potrošača rezultira s najmanje 90 % CO₂ koji se ispušta natrag u atmosferu. Preko 90 % ovog heterotrofnog disanja je mikrobno. Prirodni požari ubrzavaju povratak većine preostalih 10 % organskog ugljika u atmosferu. Najviše organskih ostataka se brzo raspada pomoću bakterija i gljiva u CO₂ ili CH₄.
3. Oceani; Oceani imaju najvažniji utjecaj za pohranjivanje atmosferskog CO₂. Gušće koncentracije biljnog svijeta (poput morskih alga) i životinja (poput koraljnih grebena) uglavnom zauzimaju male plitke površine morskog dna. Ostale obalne i izdižuće vode koje imaju dovoljno dušika i fosfora su odgovorne za proizvodnju velikog dijela oceanske biomase, te proizvodnju i ispuštanja CO₂. No, fitoplanktonska biomasa s visokom produktivnošću i transportom njihovih produkata prema dnu, rezultira značajnim pohranjivanjem CO₂ na dnu oceana. Površinski sloj oceana je zagrijan i relativno dobro pomiješan te je u prosjeku blizu ravnoteže s atmosferskim CO₂. Duboki i hladniji dijelovi oceana su relativno izolirani od površinskih voda i imaju drugačije koncentracije ugljika. Oceanski ciklusi ugljika su detaljnije opisani u sljedećem poglavlju.



Slika 7. Pojednostavljeni prikaz globalnog ciklusa ugljika. Brojevi prikazuju količinu ugljika u pojedinim skladištima (10^{15} gC) i godišnje tokove ugljika (10^{15} gC/god). Crni brojevi i strelice prikazuju pretpostavljene vrijednosti prije industrijske revolucije, dok crveni brojevi i strelice prikazuju moderne antropogene vrijednosti i promjene u skladištima. Količina ugljika u površinskim sedimentima oceanskog dna dobivena je zbrajanjem $150 \cdot 10^{15}$ gC organskog ugljika u mješovitom sloju (Emerson & Hedges, 1988) i $1600 \cdot 10^{15}$ gC u obliku dubokomorskih karbonatnih sedimenata (Archer, 1996). Uređeno prema IPCC (2013).

- Geosfera; Većina svjetskog ugljika je inertno pohranjena u Zemljinoj litosferi. Procjenjuje se da je u Zemljinoj kori i plaštu pohranjeno više od 99,99 % ukupnog ugljika, s količinom od $0,9 \cdot 10^{23}$ do $3,1 \cdot 10^{23}$ grama ugljika za litosferu s kontinentalnom korom i $1,4 \cdot 10^{23}$ grama ugljika za litosferu s oceanskom korom (Lee et al., 2020). Dio ugljika pohranjenog u Zemljinom plaštu je bio tamo pohranjen već onda kada je Zemlja nastajala, dok je drugi dio ugljika taložen u obliku organskog ugljika iz biosfere. Od

ugljika pohranjenog u geosferi, oko 80 % čine vapnenac i njegove izmjene, koji potječu od taloženja kalcijevog karbonata u obliku skeleta morskih organizama ili kemijskom precipitacijom, dok je 20 % pohranjeno u obliku kerogena nastalog taloženjem i zakopavanjem kopnenih organizama pod velikom toplinom i povišenim pritiskom. Metamorfoza karbonatnih stijena tijekom subdukcije u Zemljin plašt može osloboditi dodatnu količinu CO₂. Ovaj CO₂ se može ispuštati u atmosferu ili oceane putem vulkana i na mjestima vrućih točaka, a također može biti uklonjen antropogenim utjecajem, poput ekstrakcije kerogena u obliku fosilnih goriva. Dodatni nepredvidljiv prirodni tok povezan s geosferom koji može pridonijeti velikim količinama dodatnog CO₂ u atmosferi je vulkanska aktivnost. Tijekom vulkanske aktivnosti, ugljik može biti otpušten iz raznih stijena koje sadrže organski ili anorganski ugljik, poput karbonatnih stijena, lapora i šejla bogatog organskom tvari iz marinskog sedimenta, gabra i bazalta iz oceanske kore, karbonatnih stijena kontinentalne kore te peridotita iz plašta. Te stijene mogu biti podvrgnute procesima mehaničkog uklanjanja, metamorfizma te djelomičnog ili potpunog otapanja, čime se oslobađaju i mobiliziraju njihove zalihe ugljika (Zhang et al., 2024). Pregled procijenjene količine otpuštenog ugljika vulkanskom aktivnosti može se pronaći u Burton et al. (2013). Za razliku od vulkanizma, trošenje stijena uglavnom rezultira potrošnjom atmosferskog CO₂ tijekom različitih kemijskih reakcija. Na taj se način CO₂ uklanja iz atmosfere te se, u otopljenom obliku, prenosi rijekama (Harrington et al., 2024).

Suvremene količine ugljika za komponente njegovog ciklusa su (Solomon et al, 1985):

- Atmosfera = $0,720 \cdot 10^{18}$ gC,
- Kopnena biosfera, uključujući slatkovodne ekosustave i nežive organske materijale poput tla = $1,7 \cdot 10^{18}$ gC,
- Oceani, uključujući otopljeni anorganski ugljik, te živu i neživu morsku biotu = $3,86 \cdot 10^{19}$ gC, oceanski sedimenti = 10^{23} gC,
- Stijene bogate organskom tvari $\approx 10^{24}$ gC, fosilna goriva = $3,7 \cdot 10^{18}$ gC.

Uklanjanje CO₂ iz atmosfere uključuje više procesa, poput brze razmjene s kopnenom biosferom i površinskim slojem oceana kroz izmjene na granici zrak-more te puno sporiji prodor do oceanskih dubina koji ovisi o vertikalnom transportu vodenih masa (Archer & Brovkin, 2008). Na tisućljetnoj vremenskoj ljestvici, CO₂ se u velikoj mjeri uravnotežuje

između atmosfere i oceana te ovisno o povezanim povećanjima kiselosti i temperature oceana, obično 20 % dodanih tona CO₂ ostaje u atmosferi, dok se 80 % miješa u ocean. Na višetisućljetnim i duljim vremenskim ljestvicama, geokemijski i geološki procesi bi mogli vratiti atmosferski CO₂ na njegovu predindustrijsku koncentraciju, ukoliko se zaustave njegova antropogena ispuštanja (Archer et al., 1997).

Ugljik se može uskladištiti na više načina unutar dostupnih skladišta i zato se istražuju tri njegova oblika unutar tih okoliša (Schumacher, 2002):

1. Organski ugljik (eng. *organic carbon*; OC) nastaje prirodnim raspadom biljaka i životinja. U tlu i sedimentu postoji velika raznolikost prisutnih oblika OC koji se kreću od svježije organske tvari sve do visoko razgrađenih oblika poput humusa. Ti oblici su prisutni u obliku raznih molekula, od jednostavnih šećera i ugljikohidrata do kompleksnih bjelančevina, masti i organskih kiselina. Koncentracija OC može biti povišena kontaminacijama uzrokovanih antropogenim utjecajem.
2. Anorganski ugljik (eng. *inorganic carbon*; IC) potječe iz stijena, tla ili sedimenta i od skeleta organizama. Ovaj oblik ugljika je najčešće prisutan u obliku karbonata, od kojih su najčešći kalcit i aragonit (CaCO₃) te dolomit (CaMg(CO₃)₂). Moguća je i prisutnost drugih karbonatnih minerala, ovisno o lokaciji nastanka tla ili lokaciji izvora sedimenata. Kalcit i dolomit mogu biti stvoreni i zbog antropogenog utjecaja (npr. prakse vapnjenja).
3. Elementarni ugljik (eng. *elemental carbon*; EC) većinom uključuje čađu, grafit, prirodni i drveni ugljen. Ovaj tip ugljika završi u tlu ili sedimentu kao nepotpuni proizvod izgaranja organske tvari, iz geoloških izvora ili raspršenjem tijekom kopanja, obrade ili izgaranja ovih materijala.

Zbog sekvestracije, očekuje se povećanje koncentracije OC i IC u tlima i sedimentima, a moguće je i povećanje EC zbog sve učestalijih prirodnih požara. U slučaju da se analizom mjeri ukupni prisutni ugljik, onda se izmjereni ugljik naziva ukupni ugljik (eng. *total carbon*; TC) koji se izražava kao zbroj OC, IC i EC (jednadžba 1), dok se u sedimentima i tlu, gdje se smatra da nema EC, može izraziti kao zbroj OC i IC (jednadžba 2) (Schumacher, 2002).

$$TC = OC + IC + EC \quad (1)$$

$$TC = OC + IC \quad (2)$$

Osim izravnog povećanja količine ugljika, moguće je proučavati i njegove izotope. Ugljik ima 15 poznatih izotopa, od kojih su samo tri prirodna: ¹²C (98,93 %), ¹³C (1,07 %) i ¹⁴C

(u tragovima). ^{12}C i ^{13}C su stabilni, dok je ^{14}C nestabilan. Odnosi stabilnih izotopa ($^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ ili $\delta^{13}\text{C}$) se računaju usporedbom sa standardom (najčešće s „Pee Dee Belemnite“ (PDB) standardom ili novijim „Vienna Pee Dee Belemnite“ (VPDB)) (jednadžba 3), a njihove promjene mogu dati dodatne informacije o okolišu. Organizmi preferiraju lakše izotope, pa će, primjerice plankton u organsku tvar ugrađivati više ^{12}C . U slučaju povećane primarne produkcije kada se troši puno ^{12}C tijekom fotosinteze, organizmi će početi ugrađivati sve više ^{13}C i time će iznos $\delta^{13}\text{C}$ rasti. Ako organska tvar ugradi više ^{12}C , manje će ga biti dostupnog za izgradnju anorganskog dijela te on neminovno ima povišeni $\delta^{13}\text{C}$. Isto tako, kako organska tvar tone u dublje dijelove mora, reagira s kisikom i oksidira čime se otpušta CO_2 sa sniženim $\delta^{13}\text{C}$ zbog čega je kod bentičkih organizama povećana koncentracija ^{12}C . $\delta^{13}\text{C}$ može pomoći i u interpretaciji cirkulacije oceana, jer što je dulje voda bez kontakta s površinom, oksidacija će biti potpunija i $\delta^{13}\text{C}$ će biti snižen. Budući da svako skladište ugljika ima specifičan potpis izotopa ugljika, $\delta^{13}\text{C}$ može dodatno otkriti promjene u skladištenju i otpuštanju CO_2 iz tih skladišta. Uslijed različitih iznosa $\delta^{13}\text{C}$ za različite kopnene biljke zbog razlika u kompleksnostima stanica, $\delta^{13}\text{C}$ također može ukazati na kopneni utjecaj (Maslin & Swann, 2006).

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{uzorak}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}} - 1 \right) \cdot 1000 \quad (3)$$

Nestabilni prirodni izotop ugljika, ^{14}C , nastaje u atmosferi. Kad kozmičko zračenje uđe u atmosferu, ono je podvrgnuto raznim transformacijama tijekom kojih nastane neutron. U gornjim slojevima troposfere i stratosfere, neutron može biti uhvaćen dušikovim atomom, čime nastaje ^{14}C i jedan proton (jednadžba 4). ^{14}C brzo reagira s kisikom i formira ugljikov monoksid (^{14}CO) (jednadžba 5), koji brzo oksidira u ugljikov dioksid ($^{14}\text{CO}_2$) (jednadžba 6) i rasprostire se jednoliko po cijeloj atmosferi. Beta raspadom radioaktivnog ^{14}C nastaje ^{14}N , elektron i elektronski antineutrino (jednadžba 7). Energija te reakcije iznosi 156 keV. Biljke konstanto asimiliraju ^{14}C procesom fotosinteze, a životinje konzumiranjem biljaka. $^{14}\text{CO}_2$ se normalno otapa u oceanima, pa se ^{14}C također nalazi i u svim morskim organizmima. Unutar organizma se količina raspadnutog ^{14}C konstantno nadoknađuje novim iz atmosfere i stoga organizmi tijekom života imaju konstantnu koncentraciju tog izotopa. Nakon smrti organizma, ^{14}C se više ne nadoknađuje i koncentracija mu se počinje smanjivati prateći eksponencijalni zakon radioaktivnog raspada, s vremenom poluraspada od 5730 godina, čime je omogućeno određivanje starosti uzorka do otprilike 60000 godina (Alves et al., 2018).

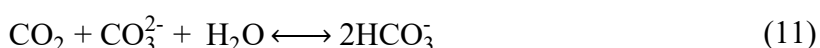


2.4. Oceansko skladište ugljika

U oceanima se ciklus ugljika regulira pomoću tri mehanizma:

1. Abiotski anorganski ciklus ugljika koji obuhvaća izmjenu CO_2 između zraka i mora, njegovo otapanje i hidrataciju do ugljične kiseline, disocijaciju ugljične kiseline, te miješanje i transport ukupnog otopljenog CO_2 u morskoj vodi,
2. Cikličnost organskog ugljika zbog biološke aktivnosti,
3. Cikličnost anorganskog ugljika u obliku karbonatnih skeleta.

Kada CO_2 bude otopljen u morskoj vodi, većinom reagira s vodom i tvori ugljičnu kiselinu (H_2CO_3) (jednadžba 8). Ugljična kiselina disocira u bikarbonatni ion (HCO_3^-) (jednadžba 9), koji zatim disocira u karbonatni ion (CO_3^{2-}) (jednadžba 10). Budući da ovim reakcijama nastaju vodikovi ioni, pH vode se smanjuje. Zbog nepotpune disocijacije otopljenog CO_2 na karbonatne ione i puferske sposobnosti morske vode, dio CO_2 će reagirati s prisutnim karbonatnim ionima i izravno proizvesti bikarbonatne ione bez dodatnih vodikovih iona (jednadžba 11).



$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CaCO}_3]} \quad (13)$$

Od svih ovih iona, za faunu je najbitniji karbonatni ion kojeg koristi za proizvodnju kalcitnog ili aragonitnog skeleta. Karbonatni skeleti nastaju spajanjem karbonatnog iona s ionom kalcija (jednadžba 12), dok se otapanjem raspada na te iste ione. Treba napomenuti da iako jednadžbe za nastanak i otapanje kalcita i aragonita izgledaju jednako, ta dva minerala su

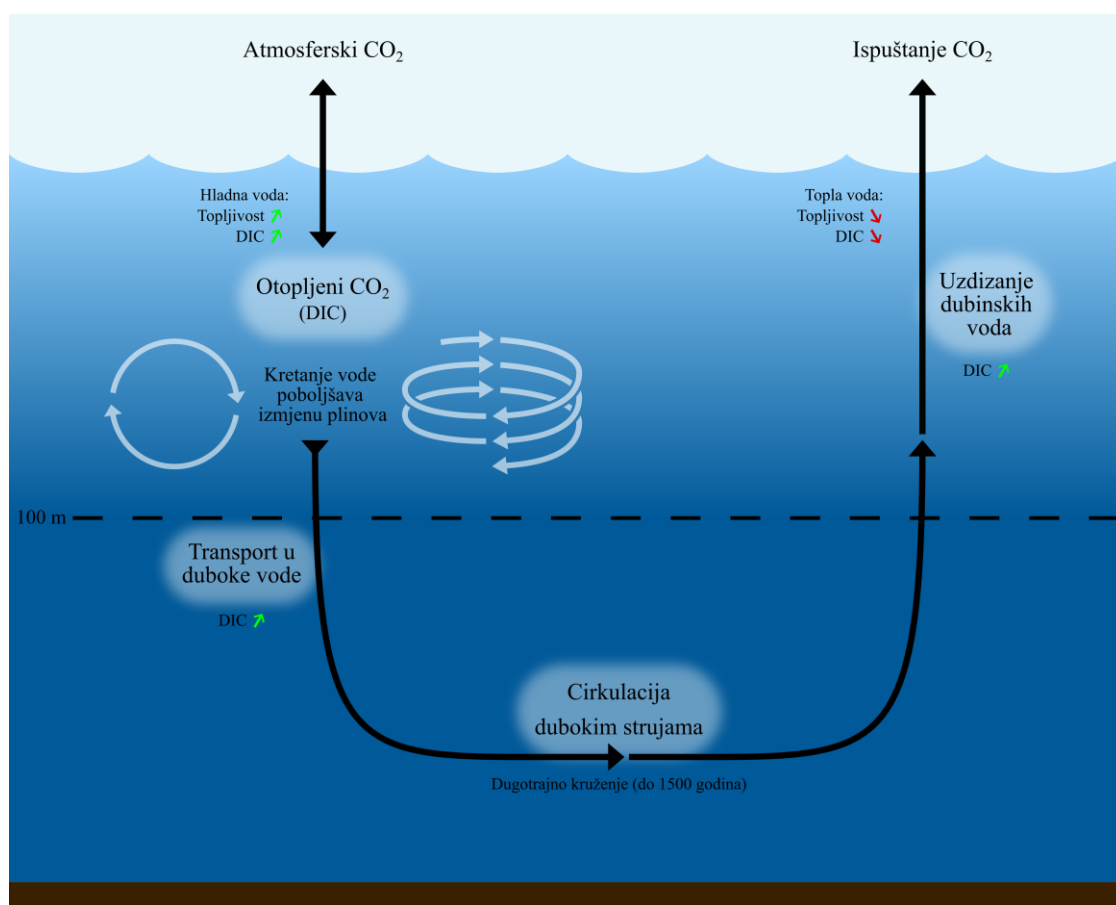
različitih struktura i time se ponašaju različito. Aragonit je oko 1,5 puta topljiviji od kalcita na 25 °C. Za njega se obično kaže da je metastabilni oblik kalcijevog karbonata i njegova pojava se ne očekuje pri termodinamičkoj ravnoteži. Stanje zasićenja vode kalcitom (Ω_{cal}) ili aragonitom (Ω_{arg}) se definira kao koncentracija otopljenog kalcijevog i karbonatnog iona u morskoj vodi podijeljena s koncentracijom njihovog produkta (kalcita ili aragonita) pri ravnoteži (jednadžba 13). Kada je $\Omega = 1$, morska voda je točno u ravnoteži obzirom na kalcit ili aragonit, tj. mineral se ne otapa ni precipitira. Kada je $\Omega > 1$, morska voda je prezasićena obzirom na kalcit ili aragonit i tada mineral precipitira. Kada je $\Omega < 1$, morska voda je podzasićena obzirom na kalcit ili aragonit i mineral se otapa (Dickson, 2011).

2.4.1. Fizička pumpa ugljika

Slana morska voda sadrži gotovo sve elemente periodnog sustava, a zbog svoje blage lužnatosti može u otopini zadržavati ione disociranih slabih kiselina. Samo mala količina CO_2 se zadržava u otopljenom stanju, dok većina CO_2 i ugljične kiseline u kombinaciji s vodom disocira u bikarbonatne (HCO_3^-) i karbonatne (CO_3^{2-}) ione. Procijenjena podjela $\text{HCO}_3^- : \text{CO}_3^{2-} : \text{CO}_2$ je 100 : 10 : 1, ali je izrazito varijabilna. Zbroj HCO_3^- , CO_3^{2-} i CO_2 se naziva ukupni otopljeni anorganski ugljik (eng. *dissolved inorganic carbon*; DIC). Tijekom geološke povijesti Zemlje nastao je veliki rezervoar DIC-a u oceanima interakcijom morske vode sa sedimentima, produktima trošenja s kopna, izmjenom plina s atmosferom i otplinjavanjem iz unutrašnjosti Zemlje.

DIC se u oceanima distribuira strujama i turbulentnim miješanjem i time, u pojednostavljenom modelu, njegov transport u oceanima uglavnom slijedi opće cirkulacije oceana. U sjevernom Atlantskom oceanu, površinske vode se hlade i poniru u duboko more u procesu formiranja dubokih voda. Opadanjem temperature, povećava se topljivost CO_2 plina u morskoj vodi. Budući da je novonastala duboka voda hladna, transport otopljene ugljikove frakcije prema dolje zbog visoke topljivosti CO_2 se naziva pumpa topljivosti (eng. *solubility pump*) (Volk & Hoffert, 1985) ili fizička pumpa ugljika (eng. *physical carbon pump*) (slika 8). Međutim, reakcija CO_2 s morskom vodom, čime nastaju bikarbonatni i karbonatni ioni, je suprotna topljivosti i opada sa snižavajućom temperaturom. U teoretskom oceanu, ukupni gradijent DIC-a idući od površine prema dubini bio bi blago pozitivan ukoliko bi se gledala samo pumpa topljivosti. Na svom putu kroz ocean, dio duboke vode se izdiže u južnim dijelovima oceana oko Antarktika, miješa se s vodenim masama iz svih oceana, ponovno hladi

i formira duboke i srednje duboke vode koje se šire u Atlantski, Tih i Indijski ocean. U izdižućim regijama smanjuje se topljivost CO_2 u morskoj vodi zbog povećanja temperature i smanjenja tlaka i time te lokacije mogu prestati biti skladište i postati izvor CO_2 . Krug fizičke pumpe ugljika se zatvara transportom plitkih vodenih masa iz izdižućih regija nazad do područja proizvodnje dubokih voda u sjevernom Atlantskom oceanu i južnim dijelovima oceana (Broecker & Peng, 1982). Voda koja je provela najduže vrijeme bez kontakta s atmosferom nalazi se u sjevernom dijelu Tihog oceana ispod dubine od oko 2000 m i stara je otprilike 1500 godina. Ljudski poremećaj ciklusa ugljika dogodio se samo tijekom posljednjih 250 godina, a razrjeđivanje visokih antropogenih zaliha ugljika u gornjem dijelu oceana s velikim dubokovodnim rezervoarima trajat će najmanje šest puta duže. Također, zbog klimatske promjene dolazi do sporijih oceanskih cirkulacija i miješanja, čime se smanjuje stopa izmjene antropogenog ugljika na površini vode i čime se umanjuje učinkovitost oceana kao rezervoara ugljika.



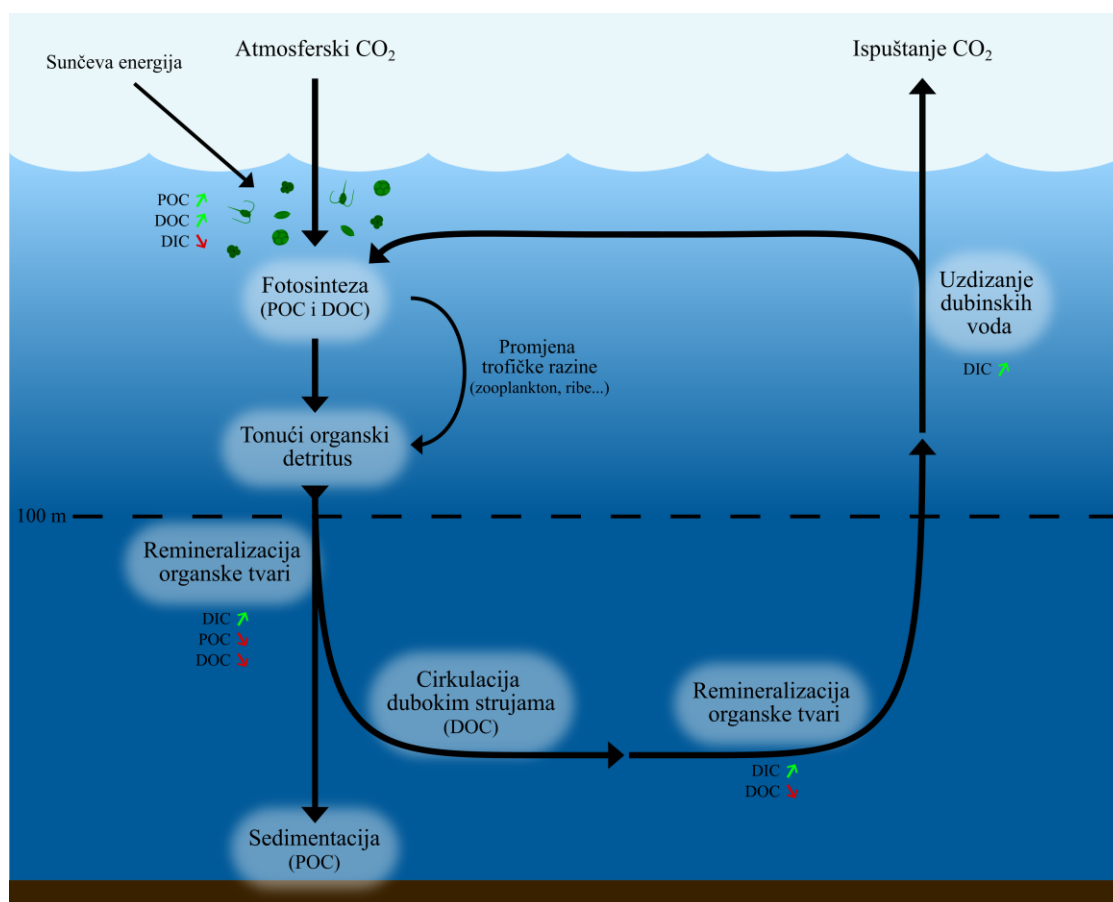
Slika 8. Pojednostavljeni prikaz fizičke pumpe ugljika u oceanima. Uređeno prema Heinze et al. (1991), Bopp et al. (2002) i OCP (2016).

2.4.2. Biološka pumpa ugljika

Dok isključivo anorganski ciklus ugljika dovodi do blagog povećanja DIC-a s dubinom, biološki ciklus ugljika je odgovoran za kompleksniju raspodjelu koja je prisutna u stvarnoj oceanskoj raspodjeli DIC-a. Ova raspodjela je uglavnom uzrokovana preuzimanjem DIC-a putem biote u površinskom oceanu radi proizvodnje čestičnog materijala, okomitim tokom tih čestica i njihovom razgradnjom na putu kroz vodeni stupac (slika 9). Do biološkog vezanja ugljika uglavnom dolazi u površinskom sloju oceana, gdje fitoplankton procesom fotosinteze proizvodi biomasu koju drugi organizmi na višim trofičkim razinama mogu iskoristiti. Uz CO₂, dodatni ograničavajući čimbenici su svjetlost i hranjive tvari koje su potrebne za rast fitoplanktona. Od ukupnog čestičnog organskog ugljika (eng. *particulate organic carbon*; POC) koji bude proizveden u površinskom sloju oceana, samo oko 25 % na kraju potone kroz vodeni stupac (Schlitzer, 2000) pri čemu se većina remineralizira i vrati u otopljeni fazu unutar 1500 m dubine, a manje od 1 % POC-a doseže morsko dno oceana i tamo se taloži (Lee et al., 2004).

Osim POC-a, morska biota također proizvodi otopljeni organski ugljik (eng. *dissolved organic carbon*; DOC), koji se razlikuje od POC-a po veličini čestica (Turnewitsch et al., 2007). Za razliku od DIC-a, koji je doista kemijski otopljen, naziv DOC može biti donekle zavaravajući jer se zapravo odnosi na vrlo male čestice koje prolaze kroz filtere s porama od 0,7 ili 0,45 µm (Tisserand et al., 2024). Kako sve više malih čestica prestane tonuti kroz vodeni stupac jer postaju suspendirane, DOC se transportira kroz oceane slično DIC-u. Dok velik udio DOC-a može opstati i akumulirati se u vodenom stupcu prije remineralizacije u anorgansku tvar, biološki labilni DOC se u gornjem dijelu oceana razgrađuje pretežno mikrobnom aktivnošću u roku od nekoliko minuta do dana (Carlson, 2002). Korištenjem DOC-a bakterije mogu izgraditi iskoristivu biomasu i time dio DOC-a može ponovno ući u klasični hranidbeni lanac kroz mikrobn ciklus. Međutim, budući da sam mikrobn ciklus uključuje nekoliko trofičkih razina, velik dio recikliranog DOC-a ponovno se pretvara u DIC tijekom tih procesa (Fenchel, 2008). Osim mikrobne razgradnje, dodatne važne procese u uklanjanju otopljenih organskih tvari mogu predstavljati UV zračenje i sorpcija na veće čestice (Carlson, 2002).

Oceansko skladište DOC-a je veće od skladišta POC-a, ali je za oko jedan red veličine manje od skladišta DIC-a. Većina DOC-a je dosta otporna na remineralizaciju, na što ukazuje njihova visoka datirana starost (4000 do 6000 godina) (Druffel et al., 1992). Dakle, većina morskog DOC-a ne doprinosi puno dinamici kruženja ugljika u oceanima unutar vremenskog roka miješanja svjetskog oceana (oko 1500 godina).



Slika 9. Pojednostavljeni prikaz biološke pumpe ugljika u oceanima. Uređeno prema Heinze et al. (1991), Bopp et al. (2002) i OCP (2016).

Transport čestica putem biološke pumpe ugljika, remineralizacija i cirkulacija oceana se preklapaju i odgovorni su za većinu gradijenta otopljenog ugljika i hranjivih tvari u vodenom stupcu. Kod vertikalnog gradijenta, niske površinske koncentracije nastaju zbog biološke apsorpcije, dok se povećavaju s dubinom zbog remineralizacije. U dubljim slojevima, koncentracije se horizontalno povećavaju sa starošću vode u smjeru toka jer voda prima sve više remineraliziranih proizvoda od čestica u procesu razgradnje. Kruženje biološkog ugljika kroz ocean je zatvoreno kada se dublje vode izdignu i vrate natrag u površinski mješoviti sloj. Ove stare, duboke vode su jako obogaćene remineraliziranim biogenim ugljikom, koji zatim izlazi u obliku plina nazad u atmosferu, pa su izdižuće regije izvori ugljika za atmosferu s obzirom na biološku i fizičku pumpu ugljika.

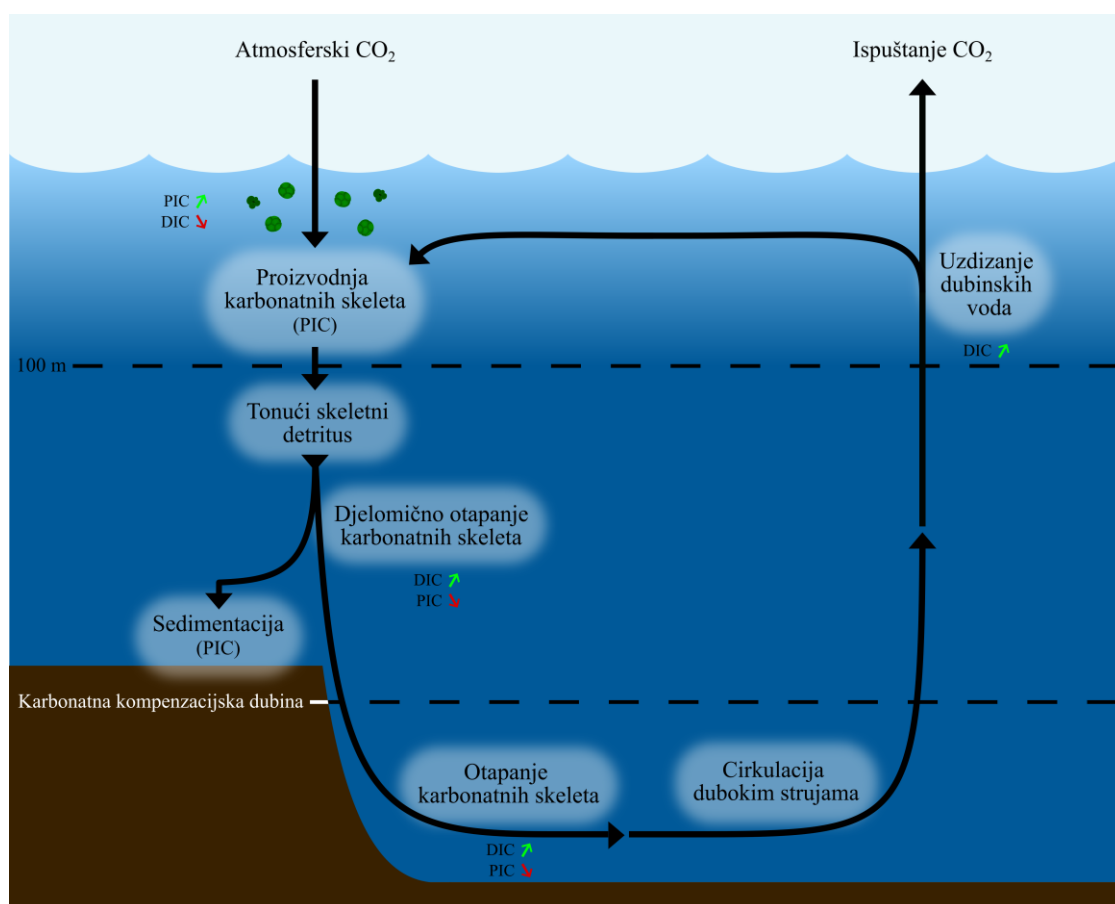
2.4.3. Karbonatna pumpa ugljika

Uz kruženje POC-a i DOC-a, proizvodnja kalcijevog karbonata (CaCO_3) morskim organizmima koji grade karbonatne skelete je također važna za ciklus ugljika u oceanu zbog uzrokovanja pomaka u količini ukupnog DIC-a (slika 10). HCO_3^- se pretvara u CO_3^{2-} radi proizvodnje CaCO_3 i tijekom tog procesa, CO_2 se oslobađa u okolne vode (Frankignoulle et al., 1994). Dakle, CaCO_3 pumpa djeluje u suprotnom smjeru od pumpe organskog ugljika, no, budući da se više ugljika veže za POC i DOC tijekom biološke proizvodnje nego za CaCO_3 , ta suprotna CaCO_3 pumpa ne može u potpunosti nadoknaditi djelovanje pumpe organskog ugljika. Kalcijev karbonat je u oceanskom ciklusu ugljika prisutan kao čestični anorganski ugljik (eng. *particulate inorganic carbon*; PIC). Topljivost aragonita i kalcita lagano raste pri nižoj temperaturi i snažno raste s povećanjem dubine, odnosno tlaka (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). Čestice skeleta koje tonu zajedno s POC-om kroz vodeni stupac obično se razgrađuje pri većim dubinama nego organske čestice. Unatoč tome, vjerojatno dolazi do djelomičnog otapanja kalcitnih i aragonitnih planktonskih skeleta i na manjim dubinama od horizonta zasićenja CaCO_3 . Dubokomorski sedimenti su uglavnom sastavljeni od tvrdih vapnenačkih i silicijskih skeleta (Archer, 1996).

Uklanjanje i ispuštanje CO_3^{2-} mijenja sposobnost morske vode da značajno disocira ugljičnu kiselinu. Prema nekim modelima koji su pokušali objasniti razlike između prethodnih glacijala i interglacijala, zaustavljanje globalne biološke proizvodnje CaCO_3 smanjilo bi atmosfersku koncentraciju CO_2 za oko 75 ppm. Veća koncentracija CO_2 u morskoj vodi dovodi do smanjenja koncentracije CO_3^{2-} , što dovodi do povećanog otapanja karbonatnih sedimenata. Time bi se narušila ravnoteža između taloženja CaCO_3 i donosa Ca^{2+} i CO_2 rijekama, a ako bi donos Ca^{2+} dulje vrijeme dominirao nad njegovim iskorištavanjem, oceanima bi se povisio pH dok bi pCO_2 oceana i atmosfere opadao. Taj pad se zaustavlja kada se koncentracija CO_3^{2-} vrati na početnu (Broecker & Peng, 1986). Točnost ovih modela dodatno ovisi o veličini globalne proizvodnje CaCO_3 , koja još uvijek nije precizno određena.

Stopa globalne proizvodnje također ovisi i o dostupnosti silicijeve kiseline. Ukoliko je dostupnost otopljenih silikata velika, zbog energetskih razloga dominiraju organizmi koji proizvode opalni skelet (eng. *biogenic silica*; bSi). Stoga se mnogi proizvođači bSi skeleta nalaze u područjima izdizanja voda, dok su proizvođači CaCO_3 skeleta prisutniji u drugim oceanskim područjima (Dymond & Lyle, 1985).

Spremnici organski vezanog ugljika i ugljika žive biomase u oceanima su znatno manji od anorganskih spremnika, s približnim omjerom od 1:50 (Ciais et al., 2013). Ipak, rast broja fitoplanktonskih jedinki i primarna proizvodnja u površinskim vodama održava nižu prosječnu koncentraciju CO_2 površinskog sloja nego što bi bila bez njega. Zbog velike važnosti faune u reguliranju koncentracije CO_2 , pretpostavlja se da bi atmosferska koncentracija CO_2 u svijetu s neživotnim oceanom bila otprilike dvostruko veća od predindustrijske koncentracije. Nagli teorijski prestanak morskog života bi povećao koncentraciju CO_2 u atmosferi za oko 150-240 ppm (Tjiputra et al., 2025).



Slika 10. Pojednostavljeni prikaz karbonatne pumpe ugljika u oceanima. Djelomično uređeno prema Heinze et al. (1991).

2.5. Ugljik u marinskim sedimentima

Dok su koncentracije ugljika i njegove promjene relativno poznate za morsku vodu, premalo se zna o njegovom utjecaju na morski sediment. Samo manji broj radova se bavi tim pitanjem, i oni često ne proučavaju anorganski i organski ugljik u isto vrijeme, nego se većinom fokusiraju na jedan od njih. Radovi vezani za organski ugljik su puno češći.

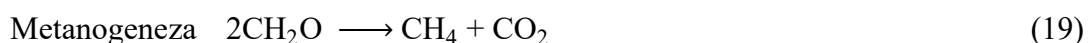
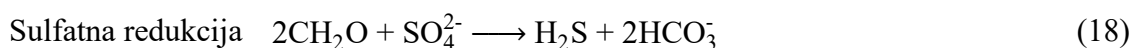
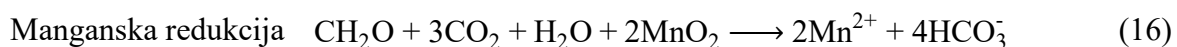
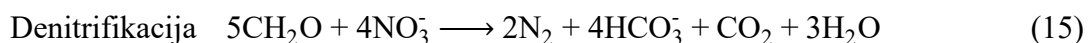
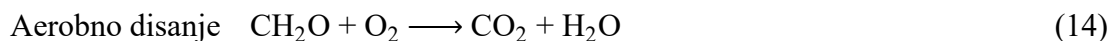
2.5.1. Organski ugljik

Organska tvar u marinskom sedimentu može biti marinskog ili kopnenog porijekla. Tvar kopnenog porijekla dolazi u oceane rijekama i sastoji se od svježih biljnih ostataka, otopljene humusne tvari i humusa (Hedges et al., 1986; Dai et al., 2019). Prisutnost ugljikovodika iz ugljena i šejlova može pokazati da su rijeke transportirale reciklirani organski ugljik koji je oslobođen trošenjem kopnenih sedimentnih stijena (Mackenzie, 1981). Organska tvar morskog porijekla se skoro isključivo sastoji od fitoplanktona unutar 100 metara dubine. Fitoplankton i zooplankton sadrže razne kemijske spojeve, ali su posebno bogati proteinima, koji im obično čine polovicu ili dvije trećine ukupne mase i to pridodaje karakteristično niskom atomskom omjeru ugljik/dušik koji iznosi oko 6 do 7 (Redfield et al., 1963). Većina preostale organske tvari se sastoji od labilnih polisaharida i lipida (Parsons et al., 1984).

Broj organskih čestica koje dosegnu duboke dijelove oceana je puno manji od originalne količine nastale fotosintezom. Količina remineralizacije organskih čestica se razlikuje ovisno o istraživanom području, s tim da je veća na otvorenom oceanu (80-90 %) nego u produktivnim plitkomorskim područjima ili područjima izdizanja voda (oko 50 %) (Platt & Harrison, 1985). Zbog toga postoje razlike u količina toka čestične organske tvari u morskom stupcu. Procijenjeni globalni tok čestične organske tvari na dubinama ispod 100 metara je $7 \cdot 10^{15}$ gC/god (Martin et al., 1987), što je samo između 10 i 20 % ukupne fotosintetske proizvodnje. Većina čestičnog organskog materijala u oceanu je u obliku velikih fekalnih izlučina i amorfnih nakupina poznatih kao morski snijeg, koje su podvrgnute raspadanju u dubokovodnom stupcu i na granici sediment-voda.

Većina razgradnje organske tvari događa se u morskoj vode oksidacijom do CO_2 pomoću mikroorganizama. Oksidacija se može dogoditi u vodenom stupcu tijekom tonjenja, na granici sediment-voda i tijekom zakopavanja u sediment. Razlaganje tijekom tonjenja u morskoj vodi gotovo je u potpunosti uzrokovano oksičnim uvjetima (jednadžba 14), što vrijedi i za raspadanje koje se događa na granici sediment-voda. Samo u neobičnim anoksičnim vodenim tijelima, poput Crnog mora, tijekom taloženja se razgradnja događa i drugim

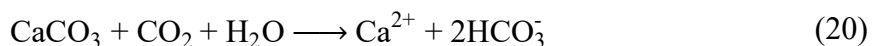
procesima osim oksidacije pomoću kisika. Kad je organska tvar zakopana u sediment, vremenom se otopljeni kisik u pornoj vodi istroši. Kod većine sedimenata, potrošnja kisika se završi u intervalu od nekoliko centimetara od površine. Nakon nestanka kisika, raspad organske tvari ipak ne prestaje. Neke bakterije mogu koristiti razne druge spojeve koje sadrže kisik za dodatnu oksidaciju organske tvari, poput otopljenih nitrata i sulfata te krutih željeznih i manganovih oksida. Dakle prvo se troši kisik, zatim nitrati (jednadžba 15) i manganovi oksidi (jednadžba 16) i na kraju željezni oksihidroksidi (jednadžba 17) i sulfati (jednadžba 18). Kad budu potrošeni svi spojevi koji sadrže kisik, organska tvar se razlaže na CO_2 zajedno s CH_4 (jednadžba 19). U tom slučaju organska tvar prolazi kroz istodobnu oksidaciju i redukciju. Budući da proces proizvodnje CH_4 daje vrlo malo korisne energije bakterijama, proces je nepotpun jer utječe samo na lagano razgradive spojeve. Kao rezultat toga, dio organske tvari ipak bude sačuvan u sedimentu (Berner, 1989). Poznato je da je očuvanje organske tvari jednako za aerobne i anaerobne uvjete ukoliko je brzina sedimentacije veća od 0,1 cm/god (Canfield, 1989).



Zbog izrazite promjenjivosti organske tvari, još uvijek ne postoji precizna procjena ukupne količine organskog ugljika u sedimentima. Prema nekim procjenama, ukupna količina organskog ugljika u miješanom sloju morskog sedimenta (dubine unutar sedimenta do 20 cm na kontinentskom rubu i do 10 cm u otvorenom oceanu) iznosi $150 \cdot 10^{15}$ gC (Emerson & Hedges, 1988).

2.5.2. Anorganski ugljik

Anorganski ugljik je manje istraživani od organskog. Pojam anorganski ugljik obuhvaća više različitih otopljenih i čestičnih formi, ali za sedimentaciju je definitivno najvažniji čestični oblik kalcijevog karbonata (CaCO_3). Iako je otporniji od većine organske tvari, svejedno je podvrgnut otapanju na putu kroz vodeni stupac i na površini morskog sedimenta. Glavna jednadžba otapanja je:



Unatoč trenutnom zakiseljavanju, plići dijelovi oceana su prezasićeni kalcitom. Vrijednosti Ω_{cal} površinske vode variraju sa zemljopisnom širinom, otprilike od 5,0-7,0 u tropskim i suptropskim regijama do 2,0-3,4 u Južnom oceanu (Chau et al., 2024). U velikoj mjeri zbog povećavajuće topljivosti kalcita s tlakom, dublji oceani postaju podzasićeni, jer se brzina reakcije otapanja povećava s dubinom. Dubina gdje je brzina taloženja CaCO_3 točno uravnotežena s otapanjem naziva se karbonatna kompenzacijska dubina (eng. *carbonate compensation depth*; CCD), iako se obično definira kao dubina gdje je sadržaj CaCO_3 u sedimentu ispod 10 % (Sulpis et al., 2018).

Količina CaCO_3 na morskom dnu koji bi se potencijalno mogao otapati ovisi o geometriji otapanja u površinskim sedimentima. Zona otapanja je izolirana na nekoliko površinskih centimetara sedimenta, ali bioturbacija može izložiti i sediment ispod ove dubine, sve do dubine od oko 10 cm, tako da je cijeli bioturbirani sloj u mogućnosti povratka u ocean. Ako otapanje nadmaši ukupnu brzinu taloženja, tada erozija morskog dna može učinkovito otapati stare karbonate procesom kemijske erozije (Archer et al., 1998). Zbog dodatnog antropogenog oceanskog CO_2 i zakiseljavanja oceana, očekuje se smanjenje dubine CCD-a, što bi moglo dovesti do otapanja već istaloženih karbonata. U nekim područjima sjevernog Atlantskog oceana zamijećeno je izrazito otapanje karbonata uzrokovano antropogenim ugljikom, za kojeg se procjenjuje da je odgovoran za 40-100 % ukupnog otapanja na tom području (Sulpis et al., 2018). Otapanje karbonata može se događati i u plićim područjima, iznad CCD-a i bez značajnijeg utjecaja antropogenog CO_2 , gdje se pretpostavlja da je povezano s razgradnjom organske tvari, čija oksidacija povisuje lokalnu kiselost (Liang et al., 2023).

Količinu morskih karbonata je teško procijeniti, ali očekuje se njihovo smanjenje zbog povećanog unosa antropogenog CO_2 . Prema nekim procjenama, ukupna količina CaCO_3 u dubokomorskom sedimentu (dubine unutar sedimenta do 10 cm) iznosi $1770 \cdot 10^{15}$ gC (Archer et al., 1998).

3. Pregled literature

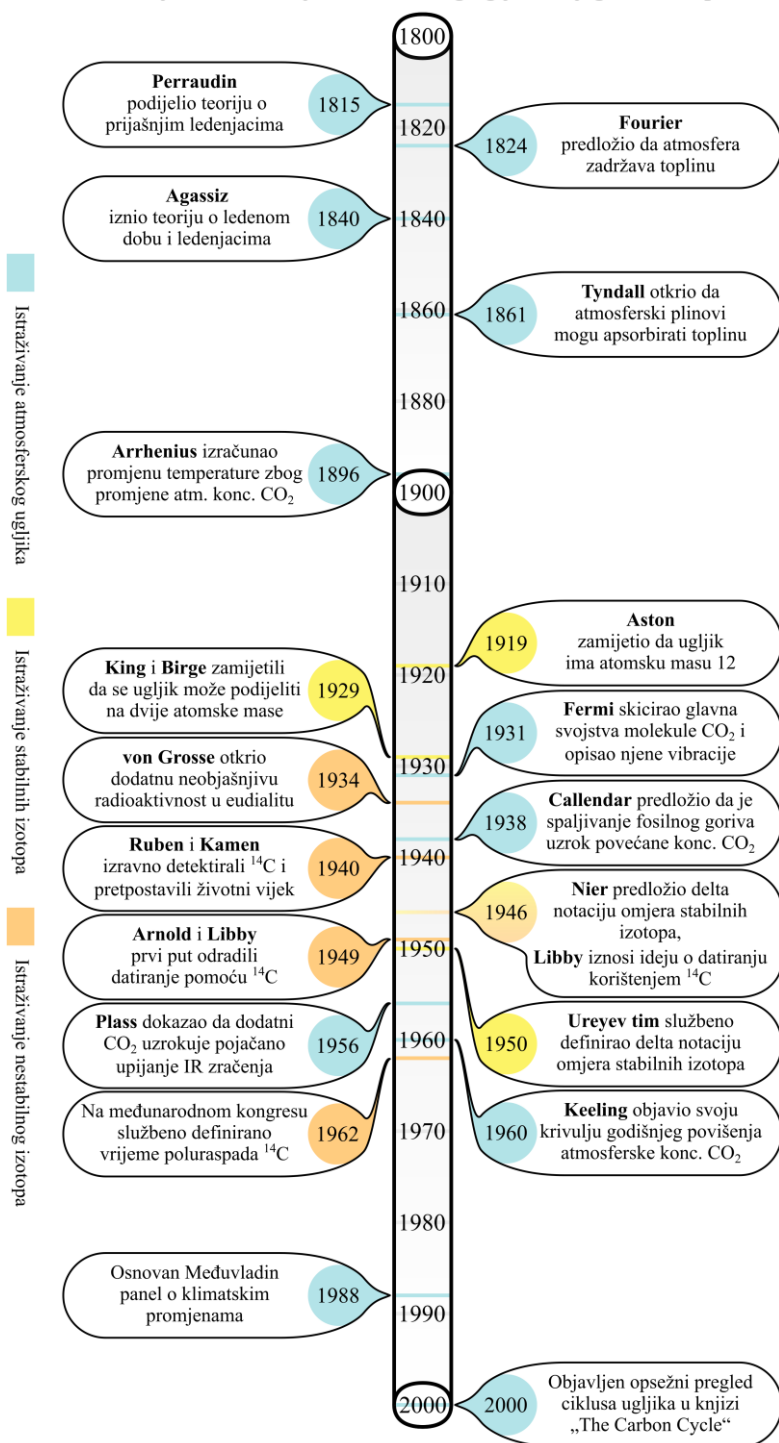
3.1. Povijesni pregled istraživanja atmosferskog ugljika

Razmišljanja o prošlim hladnijim razdobljima Zemljine prošlosti i klimatskim promjena počela su još u 19. stoljeću (slika 11). Švicarski planinar i lovac na divokoze Jean-Pierre Perraudin je 1815. godine podijelio teoriju kako su velike granitne stijene u švicarskim Alpama rezultat prijašnjeg ledenjaka koji se prostirao dublje u dolinu. Američko-švicarski biolog i geolog Jean Louis Rodolphe Agassiz je 1840. godine iznio teoriju o ledenom dobu kada su se ledenjaci prostirali preko većine europskog i sjevernoameričkog kontinenta. No, u to vrijeme je glavno razmišljanje bilo vezano za biblijski potop, kojim je bio objašnjen transport stijena, pa su druge teorije smatrane bogohulnim, te su bile zanemarene (Calel, 2011).

Francuski matematičar i fizičar koji je u tom stoljeću pokušao riješiti pitanje globalnih promjena temperatura je bio Jean Baptiste Joseph Fourier. On je prvi znanstvenik koji je predstavio ideju da se Zemlja grije zbog atmosfere koja djeluje poput staklene kugle, zadržavajući toplinu. To se smatra prvim spominjanjem procesa koji se u današnje vrijeme naziva efekt staklenika i za to se najčešće citira njegov rad iz 1827. (Fourier, 1827), ali prema Fleming (1999), prvo spominjanje je zapravo tri godine ranije (Fourier, 1824). Te spoznaje je iskoristio i nadogradio britanski fizičar John Tyndall, koji je otkrio da iako su vodena para, ugljikov dioksid, ozon, ugljikovodici i razni drugi plinovi prozirni za svjetlost, svejedno mogu apsorbirati toplinu iz zraka (Tyndall, 1861). Pokušavajući riješiti pitanje promjene globalne temperature, švedski fizičar i kemičar Svante August Arrhenius je prvi izračunao promjenu kopnene temperature zbog promjene atmosferske koncentracije CO₂ (pazeći i na promjene vodene pare) (Arrhenius, 1896). Arrhenius je još uvijek smatrao da na te promjene prvenstveno utječe vulkanizam, a ideja o antropogenom utjecaju se pojavila kasnije.

Talijansko-američki fizičar Enrico Fermi je 1931. godine skicirao glavna svojstva molekule CO₂ i njene tipove vibracije, a njegove skice se koriste još i danas (Fermi, 1931). Rusko-američka fizičarka Jenny Rosenthal Bramley je prva opisala opću kvadratnu vibracijsku funkciju tetraedralnih molekula pomoću pet konstanti, što je otvorilo put prema izračunima vrsta i frekvencija vibracija CH₄ (Rosenthal, 1934). Prvu računicu tih pet konstanti objavili su američki fizičar David Mathias Dennison i njegov kolega Manfred Johnston, koristeći tada dostupne podatke za infracrvene pojase CH₄ i na taj način prvi put opisali njegove vibracije (Dennison & Johnston, 1935).

Povijest istraživanja atmosferskog ugljika i njegovih izotopa



Slika 11. Pojednostavljeni povijesni pregled istraživanja utjecaja atmosferskog ugljika i istraživanja izotopa ugljika.

No, unatoč svim napredcima u 19. i početkom 20. stoljeća, razmišljanja o klimatskim promjenama tijekom prve polovice 20. stoljeća je lijepo izrekao Thomas Arthur Blair napisavši „sa sigurnošću možemo reći da klima nije pod utjecajem čovjekovih aktivnosti osim lokalno i prolazno“ (Blair, 1942). Tom stavu se suprotstavio, do tada relativno nepoznati, britanski parni inženjer i izumitelj Guy Stewart Callendar. On je proučio mjerenja temperature i atmosferskih koncentracija CO₂ tijekom prethodnih 50 godina. Predložio je da je došlo do povišenja temperature zbog povećanja koncentracije CO₂ uzrokovanog antropogenim spaljivanjem fosilnog goriva (Callendar, 1938). Callendarovo upozorenje je ostalo dugo zanemareno jer je glavno mišljenje tog vremena bilo da oceani mogu lagano upiti sav dodatni CO₂ i kako zastupljenija vodena para također može upiti Zemljino infracrveno zračenje istih valnih

duljina kao i CO₂ (poglavlje 2.1.).

Nagli razvoj infracrvene spektroskopije dokazao je da su infracrvene vrpce CO₂ i vodene pare različite. Shvaćajući što bi to moglo značiti za klimatske promjene, kanadski fizičar Gilbert Norman Plass dokazao je da dodavanje CO₂ u atmosferu uzrokuje presretanje i upijanje veće količine infracrvenog zračenja (Plass, 1956). Još uvijek je ostalo pitanje oceanskog preuzimanja ugljika, a to je pokušao riješiti američko-austrijski kemičar i nuklearni fizičar Hans Eduard Suess određivanjem starosti ugljika korištenjem njegovog radioizotopa. No, zbog malog broja mjerenja i nedostatka osjetljivosti metode, činilo mu se da je količina fosilnog ugljika uistinu mala u atmosferi (Suess, 1955). Američki oceanograf Roger Randall Dougan Revelle je zajedno sa Suessom došao do zaključka da ugljik ostane u atmosferi 10 godina prije nego što bude prenesen u ocean. Ipak, Revelle je proučavanjem puferske sposobnosti oceana i daljnjim računima došao do zaključka da oceani zapravo apsorbiraju samo desetinu prijašnje računice i da oko 80 % dodanog CO₂ ostaje u atmosferi (Revelle & Suess, 1957).

Kako bi se precizno mjerila koncentracija CO₂ u atmosferi, Revelle je zaposlio mladog američkog geokemičara Charlesa Davida Keelinga koji je izgradio bazu za ta mjerenja na vulkanu Mauna Loa na Havajskom otočju. Originalni plan je bio da se dobije bazna linija koncentracije atmosferskog CO₂ te da se za par desetljeća uspoređi s novim podacima i zamijeti promjena. No, Keeling je uspio detektirati povišenje koncentracije 1960., nakon samo dvije godine mjerenja. Tada je objavio poznatu „Keeling krivulju“ (Keeling, 1960) i time je započeto doba moderne znanosti o klimi. Mjerenja na vulkanu Mauna Loa traju još i danas (slika 4).

Značajan prikaz globalnog ciklusa ugljika izradili su Bolin et al. (1979). 1988. godine Svjetska meteorološka organizacija (eng. *World Meteorological Organization*; WMO) u suradnji s Programom Ujedinjenih naroda za okoliš (eng. *United Nations Environment Programme*; UNEP) osniva Međuvladin panel o klimatskim promjenama (eng. *Intergovernmental Panel on Climate Change*; IPCC) radi istraživanja i obavješćavanja vlada država o klimatskim promjenama. Znamenita publikacija koja je sadržavala najopsežniji pregled globalnog ciklusa ugljika bila je „The Carbon Cycle“ (Wigley & Schimel, 2000) koja sažima svo znanje do 1993. i dodatno ga ažurira 2000. godine izvadcima iz IPCC izvješća iz 1994. (IPCC, 1994) i 1995. godine (IPCC, 1995). Znanje o ciklusu ugljika nastavlja brzo napredovati i kontinuirano se dokumentiraju nove informacije, kao što se može vidjeti u posljednjom IPCC izvještaju iz 2023. godine (IPCC, 2023).

3.2. Povijesni pregled istraživanja izotopa ugljika

Prvi izmjereni izotop ugljika je bio stabilni ^{12}C . Britanski kemičar i fizičar Francis William Aston je 1919. godine pomoću masenog spektrografa utvrdio da ugljik ima atomsku masu 12, a kisik 16 (Aston, 1919). Američki fizičari Arthur Scott King i Raymond Thayer Birge su 1929. godine pronašli ^{13}C kada su zamijetili da se izmjereni ugljik može podijeliti na dvije atomske mase, 12,0000 i 13,0026 (King & Birge, 1929). Isti autori su najvjerojatnije prvi koji su pretpostavili relativni odnos $^{12}\text{C}:^{13}\text{C}$ (King & Birge, 1930), dok je omjer ciljano istražen 1932. godine od strane američkog fizičara Francisa Arthura Jenkinsa i nizozemskog fizičara Leonarda Salomona Ornsteina (Jenkins & Ornstein, 1932). Američki fizičar Alfred Otto Carl Nier i američko-norveški fizikalni kemičar Earl Gulbransen su 1939. godine prvi proveli sistematični pregled omjera stabilnih izotopa ugljika u raznim uzorcima (Nier & Gulbransen, 1939). Delta notaciju omjera stabilnih izotopa je originalno predložio Nier 1946. godine (Nier, 1946), dok ju je tim američkog fizikalnog kemičara Harolda Claytona Ureya službeno definirao 1950. godine (McKinney et al., 1950). Američki geokemičar Harmon Craig je najvjerojatnije prvi koji je izmjerio $\delta^{13}\text{C}$ u velikom broju različitih vrsta uzoraka (Craig, 1953).

Istraživanje nestabilnog ^{14}C neočekivano je počelo s njemačkim nuklearnim kemičarom Aristidom von Grosseom kada je 1934. godine otkrio dodatnu neobjašnjivu radioaktivnost u mineralu eudialitu (von Grosse, 1934). Iste je godine američki fizičar Franz Newell Devereux Kurie otkrio neutronom potaknutu pretvorbu atmosferskog dušika u ugljik (Kurie, 1934). ^{14}C su prvi put izravno detektirali američki kemičari Samuel Ruben i Martin David Kamen te pretpostavili da ima životni vijek od 25000 godina (Ruben & Kamen, 1940). Ideju o mogućnosti datiranja pomoću ^{14}C predložio je američki fizikalni kemičar Willard Frank Libby 1946. godine (Libby, 1946), a dodatno ju je proširio i definirao 1952. u knjizi „Radiocarbon dating“ (Libby, 1952). Libby je zajedno sa svojim studentom, Ernestom Andersonom i ostatkom tima proveo prvo mjerenje ^{14}C u organskoj tvari (Anderson et al., 1947), čime je potvrđena njegova pretpostavka. Prvi rad koji koristi ^{14}C datiranje objavljen je 1949. godine uz suradnju s američkim fizikalnim kemičarom Jamesom Richardom Arnoldom (Arnold & Libby, 1949). U drugom izdanju knjige „Radiocarbon dating“, Libby je definirao vrijeme poluraspada od 5568 godina (Libby, 1955), što je ubrzo promijenjeno tijekom znanstvenog kongresa „Fifth Radiocarbon Dating Conference“ (23-28. srpanj 1962., Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo) u srednju vrijednost tri različita tima (5760 ± 50 (Mann et al., 1961), 5780 ± 65 (Watt et al., 1961), 5680 ± 40 (Olsson et al., 1962)) koja je iznosila 5730 ± 40 godina (Godwin 1962a; 1962b) i koristi se sve do danas.

3.3. Povijesni pregled mjerenja ugljika u marinskim sedimentima

Istraživanje ugljika u marinskim sedimentima je započelo istraživanjem sedimentne organske tvari. Početna istraživanja su bila ograničena na određivanje ukupne organske tvari u površinskom marinskom sedimentu (Verigo, 1888). Proučavanje organske tvari se razvijalo prateći ciljeve identificiranja vrste organske tvari i njihove marinske taložne uvjete radi objašnjavanja izvora i nastanka nafte (Trask, 1932). Moderna organska geokemija marinskog sedimenta je počela otkrićem porfirinskih pigmenata izvedenih iz klorofila u nafti i bitumenu ekstrahiranom iz stijena pomoću nepolarnih otapala (Treibs, 1934), a nastavljena je istraživanjem humusne tvari metodama i tehnikama koje su ranije razvijene i korištene za istraživanje organske tvari u tlu (Rashid, 1985). Fokus se s vremenom pomakao na istraživanje sudbine organske tvari nastale iz nafte (Goldberg, 1975). Kasnije je naglasak postavljen na istraživanje paleoceanografskih uvjeta i globalnih ciklusa korištenjem kemijskog sastava i svojstava organskih spojeva (Wehmiller, 1993).

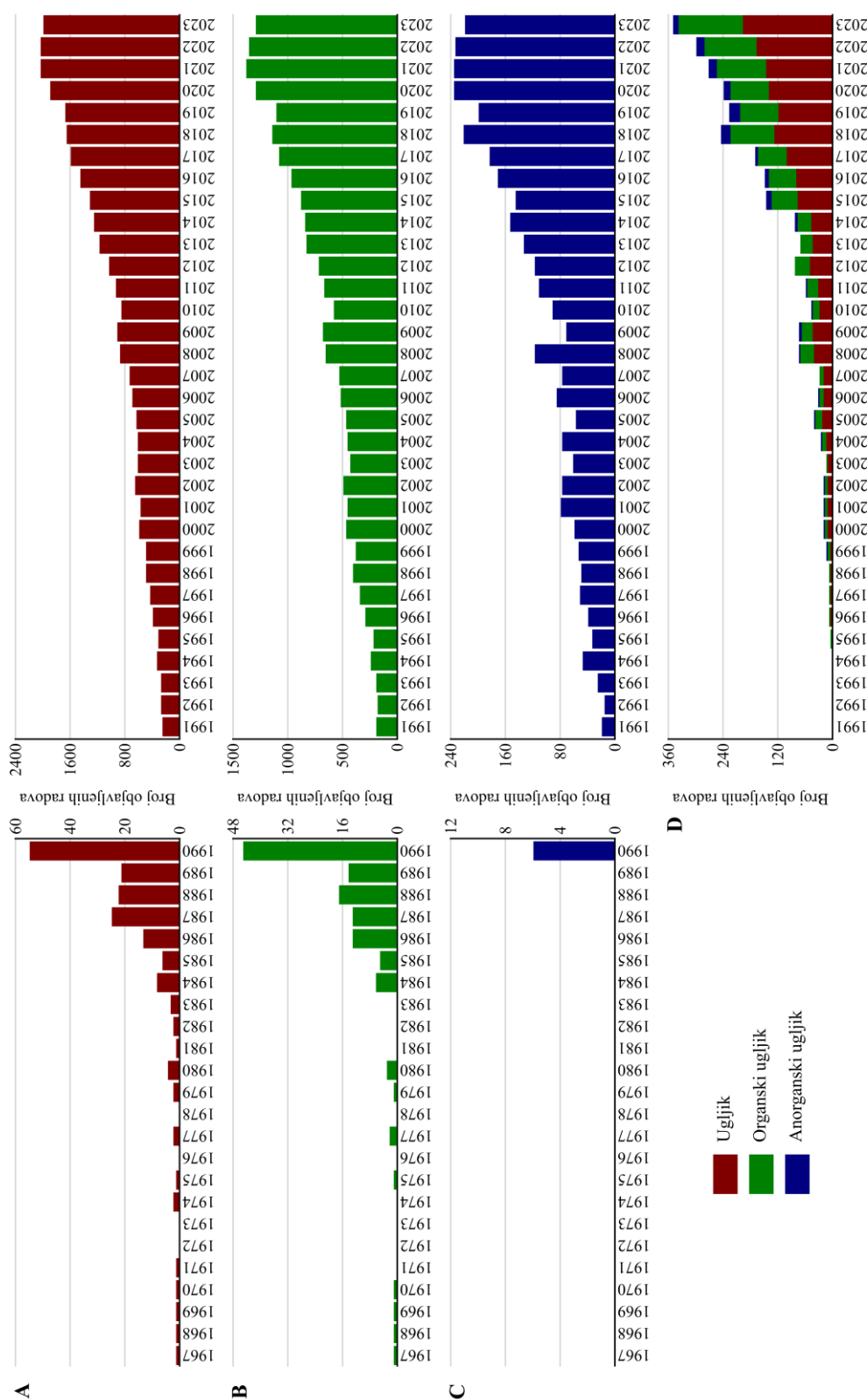
Točni trenutak prelaska s mjerenja organske tvari ili karbonata na izravno mjerenje ugljika u sedimentima je teško pronaći. Kako bi se proveo što obuhvatniji pregled literature, proveden je pregled baze podataka „Web of Science“ (WoS) koristeći dva seta pojmova (slika 12):

- a) „ocean“, „sediment“ i „ugljik“ (eng. *ocean, sediment, carbon*),
- b) „more“, „sediment“ i „ugljik“ (eng. *sea, sediment, carbon*).

Prvi set pokazuje prvo spominjanje ugljika u oceanskim sedimentima 1967. godine (Gross, 1967). Drugi set pokazuje da je najstarije spominjanje ugljika u marinskim sedimentima Niino et al. (1969). Oba seta pojmova se polagano sve češće spominju do 1991. godine, nakon čega počinje izrazito ubrzan rast broja objavljenih radova. Ukoliko se dodatno traži specifično organski ugljik i doda se pojam „organski“ (eng. *organic*), rezultati su isti kao i prijašnji. Ali, ako se traži specifično anorganski ugljik i doda se pojam „anorganski“ (eng. *inorganic*), objavljivanja počinju puno kasnije. Prva objava je ista za oba seta pojmova s dodatnim anorganskim pojmom i objavljena je tek 1990. godine (McCorkle et al., 1990). Time se izravno vidi da, makar se anorganski ugljik proučavao u obliku karbonata, organski ugljik je puno ranije postao izravna tema mnogih istraživanja.

Radovi vezani uz sekvestraciju ugljika u marinskim sedimentima pojavili su se mnogo kasnije. Ako se u prijašnje setove pojmova doda pojam „sekvestracija“ (eng. *sequestration*), najstarija publikacija u kombinaciji s pojmom ocean je objavljena tek 1992. godine (Downing

& Cataldo, 1992), a u kombinaciji s pojmom more 1995. (McCave, 1995). McCave (1995) je istovremeno i prva publikacija koja spominje pojmove sekvestracija i organski ugljik. Prva publikacija koja spominje sekvestraciju anorganskog ugljika u oba seta pojmova ponovno se javlja nekoliko godina kasnije, točnije, 1999. godine (Raven & Falkowski, 1999). Grafički



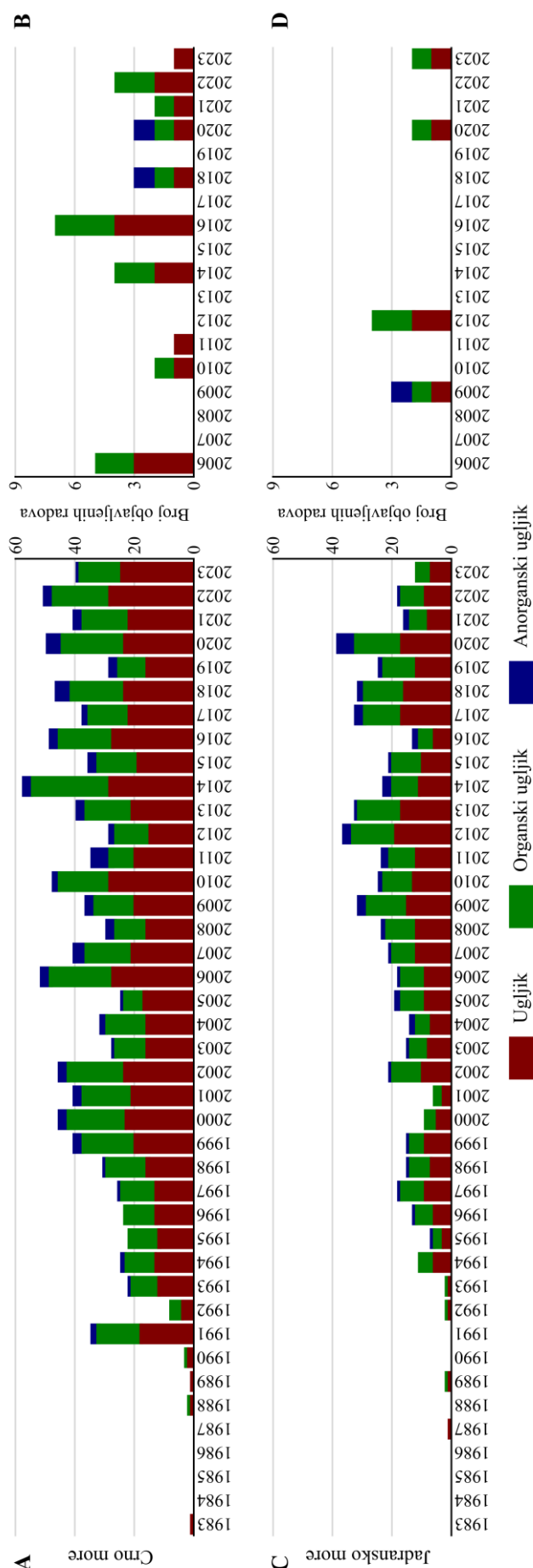
Slika 12. Broj objavljenih radova za oceane i mora prema Web of Science bazi podataka koristeći pojmove: a) ugljik, b) organski ugljik, c) anorganski ugljik i d) sekvestracija ugljika, organskog ugljika i anorganskog ugljika.

prikaz promjene broja publikacija kroz godine nalazi se na slici 12. Slični pregled literature vezan za tla može se pronaći u Feller & Bernoux (2008).

Ukoliko se traže radovi isključivo za Crno more, baza podataka ukazuje da je prvi rad koji spominje ugljik u sedimentima Crnog mora bio Leventhal (1983), a nakon 1993. postoji otprilike konstanti porast broja objavljenih radova (slika 13). Organski ugljik prati isti trend, a prvi put se javlja u radu Hay (1988). Anorganski ugljik se prvi put spominje u radu Fry et al. (1991), a od 1997. godišnje se spominje u vrlo malom broju radova. Prvo spominjanje sekvestracije ugljika pojavljuje se u radu Bouloubassi et al. (2006), što je ujedno i prvo spominjanje sekvestracije organskog ugljika, dok se sekvestracija anorganskog ugljika spominje tek 2018. godine (Dijkstra et al., 2018). U razdoblju od 1988. do 2023. sekvestracija ugljika se u Crnom moru spominje u malom broju radova.

Za Jadransko more, prvo spominjanje ugljika u sedimentima dogodilo se godinu ranije u radu Herndl et al. (1987). Broj godišnjih radova polagano raste do 2007., nakon čega je relativno stabilan, a zatim pada nakon 2020. godine (slika 13). Rezultati istraživanja organskog ugljika su prvi put objavljeni 1989. godine (Fontugne et al., 1989), a kasnija objavljivanja otprilike prate jednaki trend. Anorganski ugljik se prvi put spominje kasnije, u radu Barbanti et al. (1995), a nadalje je također prisutan u malom broju godišnjih radova. Pojam sekvestracija ugljika se spominje u iznimno malom broju radova, počevši s radom Canals et al. (2015), koji je ujedno i prvi rad koji spominje sekvestraciju organskog ugljika te prvi i jedini rad u rezultatima pretraživanja WoS baze podataka koji spominje sekvestraciju anorganskog ugljika. Iako se nije pojavio u rezultatima pretraživanja, rad Vinković et al. (2022) također istražuje anorganski ugljik u sedimentima Jadranskog mora. U razdoblju od 1987. do 2023. sekvestracija ugljika se u Jadranskom moru spominje samo u jedanaest radova.

Vrijednosti koje se još i danas koriste za količinu ugljika skladištenog u marinskom sedimentu se sve nalaze u relativno starijoj literaturi. Za organski ugljik se najčešće spominje $150 \cdot 10^{15}$ gC u miješanom sloju morskog sedimenta (dubine unutar sedimenta do 20 cm na kontinentskom rubu i 10 cm u otvorenom oceanu) (Emerson & Hedges, 1988), makar je taj iznos bio spomenut samo kao maksimalni tok čestičnog organskog ugljika proizvedenog fotosintezom. Dubinu miješanog sloja sedimenta odredili su ^{14}C stratigrafijom kao 10 cm u otvorenim oceanima te pomoću maksimalne dubine probijanja nepoduprtog ^{210}Pb i Pu kao 20 cm na kontinentskom rubu. Količina anorganskog ugljika se obično opisuje vrijednostima za ukupnu količinu CaCO_3 u dubokomorskom sedimentu koje iznose $1600 \cdot 10^{15}$ gC (Archer, 1996) ili $1770 \cdot 10^{15}$ gC (Archer et al., 1998). Oba izračuna količine anorganskog ugljika u sedimentu



koriste maksimalnu dubinu unutar sedimenta od 10 cm, gdje pretpostavljaju da prestaje bioturbacija. Vrijednosti koje se koriste za količinu ukupnog ugljika su 10^{23} gC (Solomon et al, 1985) ili zbroj prethodno navedene vrijednosti za organski ugljik i prve navedene vrijednosti za anorganski ugljik, $1750 \cdot 10^{15}$ gC (npr. IPCC, 2013). Vrijednost od 10^{23} gC je pretpostavljena za sedimente s uključenim dubinama većim od 10 cm, odnosno za sedimente unutar i ispod zone bioturbacije.

Slika 13. Broj objavljenih radova o ugljiku unutar sedimenta prema Web of Science bazi podataka za: a) Crno more, b) sekvestraciju u Crnom moru, c) Jadransko more i d) sekvestraciju u Jadranskom moru.

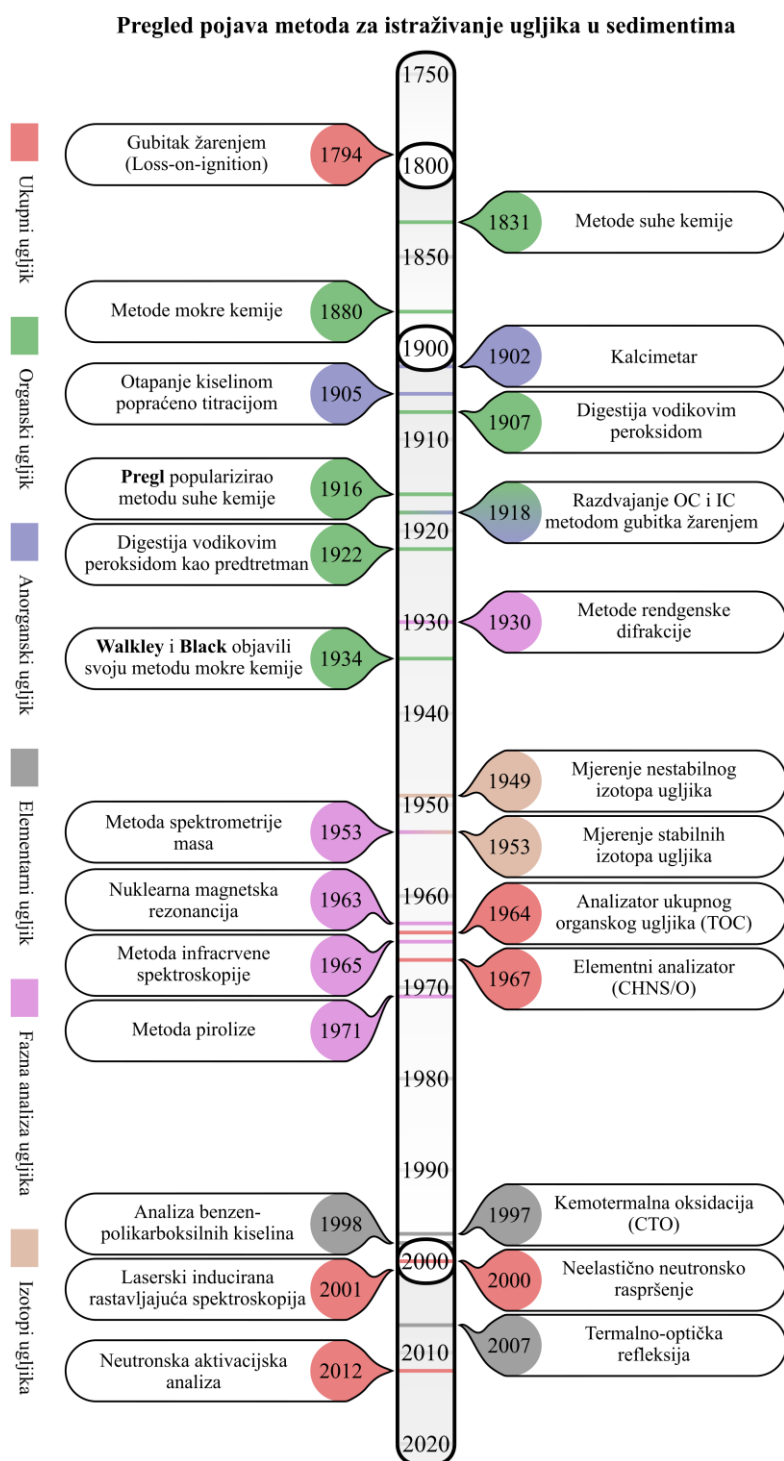
3.3.1. Pregled metoda analize ugljika u sedimentima

Različiti oblici ugljika u sedimentu mogu biti mjereni različitim metodama, stoga se danas koristi velik broj metoda za određivanje ukupnog ugljika, organskog ugljika, anorganskog ugljika, elementarnog ugljika, faznu analizu ugljika ili za određivanje izotopa ugljika (slika 14). Sve metode su većinom prvo korištene za analizu ugljika u tlu, a kasnije iskorištene i za sedimente. Kratki opis metoda i njihovog početnog korištenja radi analiziranja sedimenata nalazi se u prilogu 1. Ukoliko nije bilo moguće pronaći točnu godinu prvog korištenja u sedimentima, navedena je godina prvog korištenja u tlu.

Metode za određivanje ukupnog ugljika su metode koje mjere ukupnu prisutnost ugljika te one kojima se mogu dobiti rezultati za barem dvije frakcije ugljika (ukupnog, organskog i/ili anorganskog), čime se treća može jednostavno izračunati (jednadžba 2). Ove metode se mogu jednostavno modificirati na mjerenje samo organskog ili anorganskog ugljika predtretmanom kiselinom ili zagrijavanjem. Većina ovih metoda su kvantitativne, a mogu se podijeliti na destruktivne i nedestruktivne. Metoda gubitka žarenjem (eng. *loss-on-ignition*; LOI) je destruktivna metoda i najstarija metoda za mjerenje ugljika u sedimentima, korištena još 1794. godine. Danas se LOI još uvijek koristi u manjoj količini, ali je većinom zamijenjena drugim destruktivnom metodama: analizatorima ukupnog organskog ugljika, elementnim analizatorima i laserski induciranom rastavljajućom spektroskopijom. Nedestruktivne metode obuhvaćaju neelastično neutronske raspršenje i neutronske aktivacijske analize.

Neke metode se koriste isključivo za određivanje količine organskog ugljika. Za semi kvantitativnu metodu digestije vodikovim peroksidom nije potrebna nikakva priprema uzorka, dok kvantitativne metode suhe i mokre kemije često zahtijevaju dodatnu pripremu, to jest uklanjanje velikih čestica i homogenizaciju uzorka, te temeljiti predtretman uzorka, odnosno uklanjanje ometajućih tvari (prvenstveno karbonata) i vode (Schumacher, 2002).

Većina metoda za određivanje količine anorganskog ugljika izravno mjeri kalcijev karbonat za kojeg pretpostavlja da je jedini anorganski spoj te da je jedini izvor kalcija. Prvenstveno se radi o metodi kalcimetra i metodi otapanja kalcijevog karbonata klorovodičnom kiselinom popraćenom titracijom. Također postoje metode koje mjere kalcij iz kojeg se izračuna količina CaCO_3 .



Slika 14. Pojednostavljeni povijesni pregled pojava novih metoda za istraživanje ugljika i njegovih izotopa u sedimentima.

Pomoću metoda koje mjere ukupni ugljik se može mjeriti i elementarni ugljik, ako se iz uzorka prvo uklone OC zagrijavanjem i IC dodavanjem kiseline, ali postoje i neke metode koje se ciljano koriste za elementarni ugljik. To su kemotermalna oksidacija, analiza benzen-polikarboksilnih kiselina i termalno-optička refleksija. Mjerenja elementarnog ugljika imaju veću primjenjivost u analizama tla, budući da obuhvaćaju analizu takozvanog crnog ugljika (eng. *black carbon*; BC), odnosno ugljičnog ostatka iz nepotpunih procesa izgaranja (Goldberg, 1985).

Također postoje metode koje ne služe za mjerenje količine ugljika, nego određivanje njegove faze. Za proučavanje faza anorganskog ugljika koristi se metoda rendgenske difrakcije, dok se za organski ugljik koriste metode pirolize. Metode infracrvene spektroskopije mogu odrediti faze organskog

i anorganskog ugljika, nuklearna magnetska rezonancija može istražiti organski i elementarni ugljik, dok su metode spektrometrije masa primjenjive na sva tri oblika ugljika.

Najčešće korištene metode mjerenja stabilnih izotopa ugljika (^{12}C , ^{13}C) su zapravo modificirane verzije prethodno spomenute metode spektrometrije masa, od kojih su najčešće korištene spektrometrijska metoda određivanja omjera mase izotopa i akceleratora masena spektrometrija. Često se oba izotopa mjere u isto vrijeme te se izražava njihov omjer $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$, češće izražen kao $\delta^{13}\text{C}$. Nestabilni izotop (^{14}C) mjeri se korištenjem brojača, točnije plinskog proporcionalnog brojača i tekućinskog scintilacijskog brojača, ili također pomoću akceleratora masene spektrometrije.

3.4. Povijesni pregled mjerenja brzine sedimentacije u Crnom i Jadranskom moru

Istraživanje brzine sedimentacije u Crnom moru započelo je 1970. godine radom Ross et al. (1970), gdje je istražena turska obala i dubokomorski zapadni bazen pomoću ^{14}C radioizotopa, a dubokomorska područja su istraživana na isti način i narednih godina (npr. Degens & Ross, 1972). Nakon toga je većina objavljenih brzina sedimentacije bila za zapadni dio Crnog mora, a istraživanja su izvedena u sklopu izrade geološke karte Ukrajine (Podoplelov et al., 1977; Sibirchenko et al., 1983; 1987; Ivanov et al., 1990; Avrametz et al., 2007), no bilo je i istraživanja zapadnog i istočnog dubokog bazena od strane drugih znanstvenika (Glenn & Arthur, 1985; Calvert et al., 1987; Hay, 1988). Prvi radovi koji su koristili ^{210}Pb za izračun brzine sedimentacije objavljeni su 1991. godine, a istraživali su sedimente u blizini turskog grada Samsun te dubokomorske bazene (Anderson & Fleisher, 1991; Barnes & Cochran, 1991; Cowie & Hedges, 1991; Crusius & Anderson, 1991; Moore & O'Neill, 1991). Izotop ^{137}Cs je prvi put korišten kao potvrda datiranja olovom, također 1991. godine u radu Moore & O'Neill (1991), a ubrzo je i samostalno korišten (Curtis & Broadway, 1992). U novijim radovima, često se koristi kombinacija datiranja pomoću ^{210}Pb i ^{137}Cs (npr. Gulin, 2000; Ayçik et al., 2004; Yücel et al., 2012; Sari et al., 2018), a ponekad se kao dodatna potvrda koristi i ^{241}Am (npr. Laptev et al., 2002; Laptev & Voitsekhovich, 2009; Gulin et al., 2019a). Zapadni dio Crnog mora je sveukupno detaljnije istražen, a najviše istražena područja su oko poluotoka Krim, delta rijeke Dunav (uključujući njezine kanale i jezera), dubokomorski bazen te ukrajinski i ruski dijelovi mora. Prema broju istraživanja dalje slijede turski, rumunjski, bugarski te naposljetku gruzijski dijelovi Crnog mora. Detaljni pregled objavljenih brzina sedimentacije Crnog mora nalazi se u prilogu 2.

Proučavanje brzine sedimentacije u Jadranskom moru započelo je dvije godine ranije, točnije 1968. godine radom Schreiber et al. (1968) gdje je pomoću više radioizotopa istražena delta rijeke Po. U sedamdesetima je bio mali broj istraživanja, odnosno uz pomoć ^{14}C istraženi su samo Limski zaljev (Paul, 1970) i delta rijeke Po (Selli et al., 1977). Nakon toga se većinom istraživala talijanska obala, a pojavljuje se i prvi rad koji je koristio ^{137}Cs (Albertazzi et al., 1984) te prvi koji je koristio kombinaciju ^{210}Pb i ^{137}Cs (Guerzoni et al., 1984). Izotop ^{241}Am je jedino korišten u analizama jezgri opisanih u radu Vinković et al. (2022) i ovom radu. U osamdesetima i nadalje još uvijek dominira istraživanje talijanskih dijelova Jadranskog mora (npr. Giordani et al., 1992; Frignani et al., 2004; Palinkas & Nitttrouer, 2007; Gallmetzer et al., 2019), no od otprilike 2006. godine ima sve više istraživanja u hrvatskom dijelu (npr. Mihelčić et al., 2006; Cukrov et al., 2009; Petrinc et al., 2012; Giglio et al., 2020). Manji broj istraživanja proveden je u slovenskom dijelu Jadranskog mora (npr. Ogorelec et al., 1981; 1997; Faganeli et al., 1991; Tomašových et al., 2019). Za Albaniju su jedino pronađene brzine sedimentacije za Drimski zaljev (Petrinc et al., 2012; Ilijanić et al., 2014), a za Crnu Goru jedino za okolicu grada Budve (Vinković et al., 2022; ovaj rad) i zaljev Boka kotorska (Mikac et al., 2022). Najveći broj brzina sedimentacija u Jadranskom moru objavljeno je za Venecijansku lagunu, deltu rijeke Po i Kaštelanski zaljev. Detaljni pregled objavljenih brzina sedimentacije Jadranskog mora nalazi se u prilogu 3.

4. Pregled istraživnog područja

4.1. Crno more

Crno more je najveće kontinentsko more s površinom od $4,2 \cdot 10^5 \text{ km}^2$, maksimalnom dubinom od oko 2000 metara i volumenom od $5,3 \cdot 10^5 \text{ km}^3$ (Özsoy & Unluata, 1997). Ono je također i najveći meromiktički bazen na svijetu jer se voda unutar bazena nalazi u dva sloja koja se međusobno ne miješaju (Duliu et al., 2013). Ima pozitivnu vodnu bilancu s odljevom vode od otprilike $320 \text{ km}^3/\text{god}$ kroz Bospor, preko Mramornog mora i kroz Dardanele do Egejskog mora. Rjeđa, hladnija crnomorska voda nižeg saliniteta izlazi iz Crnog mora blizu površine, dok gušća, toplija mediteranska voda višeg saliniteta ulazi u Crno more pri dnu. Efikasnost ulaza dublje, slanije vode je ograničena, ali je ona ključna za održavanje stratifikacije i dubinskih uvjeta Crnog mora.

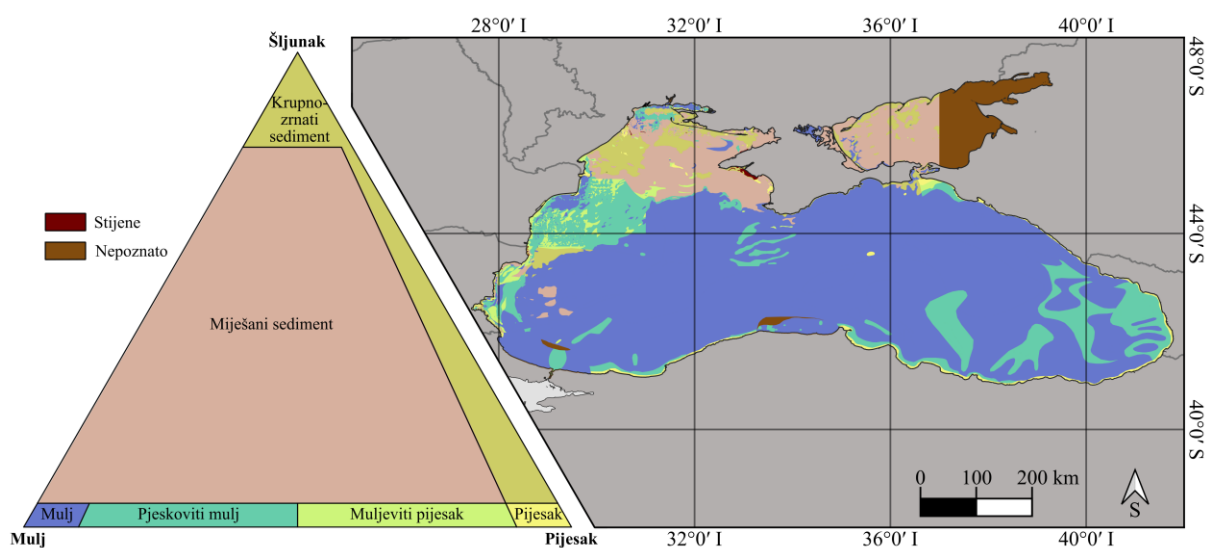
Zbog razlike u salinitetu i time u gustoći crnomorske i mediteranske vode, dolazi do znatnog anoksičnog (euksinskog) sloja zasićenog sumporovodikom (H_2S). On se nalazi u cijelom bazenu i počinje na dubini od 120 do 180 metara (Florea et al., 2011). Postojanje euksinskog sloja, koji je nastao prije otprilike 7000 godina, omogućilo je odlične uvjete za očuvanje struktura unutar sedimenta zbog nedostatka bentičkih organizama (Duliu et al., 2013). Crnomorski bazen je podijeljen na dva manja bazena, istočni i zapadni. Morske struje su formirane pod utjecajem vjetera. Glavna struja se prostire preko cijelog bazena i kreće se suprotno od kazaljke na satu, s ograncima koji stvaraju manja kružna kretanja (Miladinova et al., 2017). Sjeverozapadni šelf je plitak i izduljen, a jugoistočni je strm s mnogim podmorskim kanjonima i proširenjima kanala.

Sedimentacija u Crnom moru je dominirana terigenim materijalom, s većom sedimentacijom u istočnom dijelu bazena (Oaie & Secieru, 2004). Glavna rijeka je Dunav koja donosi najveće količine vode i sedimenta u crnomorski bazen. Njegov prosječni godišnji protok vode je $190,7 \text{ km}^3/\text{god}$. Protok sedimenta prije je bio $51,7 \text{ Mt/god}$ (Panin & Jipa, 2002), ali se smanjio za 50 do 70 % nakon 1980-ih zbog izgradnje brana. Crno more je eutrofično od 1970-ih (Yunev et al., 2007). Fosfor je limitirajući nutrijent za primarnu proizvodnju u obalnim područjima, dok je dušik limitirajući u dubokovodnom području. Koncentracije fosfora i dušika su se stabilizirale u ranim 1980-im godinama (Yunev et al., 2007).

Sjeverozapadno područje Crnog mora karakterizirano je kontinentalnom klimom s prodorima hladnog sibirskog zraka tijekom zime, dok je jugoistočno područje zaštićeno visokim planinama i karakterizirano submediteranskom klimom. Prosječna površinska

temperatura iznosi 16 °C, a dubokovodna ispod 100 metara iznosi 9 °C (Miladinova et al., 2017). Za razliku od Sredozemnog mora, u Crnom moru nema naznaka povisivanja površinske ili dubokovodne temperature. Trenutni srednji površinski salinitet iznosi 17,53 ‰, ali je pokazao negativni trend od 0,02 ‰/god tijekom perioda od 1960. do 2015. godine. Taj trend slabi s dubinom i nakon 200 metara prelazi u pozitivni trend. Još uvijek nije objašnjen razlog negativnog trenda, ali ne ovisi o brzini vjetra, povećanju precipitacije ili promjeni u dinamici struja. Dubokovodni salinitet ispod 200 metara trenutno iznosi 22 ‰ (Miladinova et al., 2017).

Crno more je dio anatolskog dijela alpsko-himalajskog orogenog sistema koji se nalazi između Euroazijske ploče na sjeveru te Afričke i Arapske ploče na jugu (Yanko-Hombach et al., 2017). Geološka povijest Crnog mora obuhvaća tri glavna razdoblja: a) do srednje krede, prije početka otvaranja Crnog mora, b) od srednje krede do eocena, tijekom kompleksnog otvaranja bazena i c) od oligocena do kvartara, s poslije riftnim razvojem i orogenom aktivnosti u okolnom području (Robb et al., 1998). Zapadni bazen je stariji i od istočnog je odvojen grebenom Andrusov, koji je sastavljen od kontinentske kore s 6 km debelim pokrovom sedimenata. Zapadni bazen se sastoji od oceanske do suboceanske kore sa sedimentnim pokrovom od 19 km. Istočni bazen se sastoji od oceanske kore okružene stanjenom kontinentskom korom, zajedno prekrivenim s 12 km sedimenata (Nikishin et al., 2012) (slika 15). U istočnom dijelu Crnog mora još uvijek je prisutna kompresijska tektonika. Glavna veličinska frakcija recentnog sedimenta je glina (Ross, 1977), dok su glavne mineralne faze kvarc, kalcit, aragonit, feldspati, tinjci i minerali glina (ilit, klorit, montmorilonit) (Stoffers & Müller, 1972; Ross et al., 1978; Fulga, 2011).



Slika 15. Površinski sedimenti Crnog mora prema Folk 7 klasifikaciji (Kaskela et al., 2019; EMODnet, 2023a).

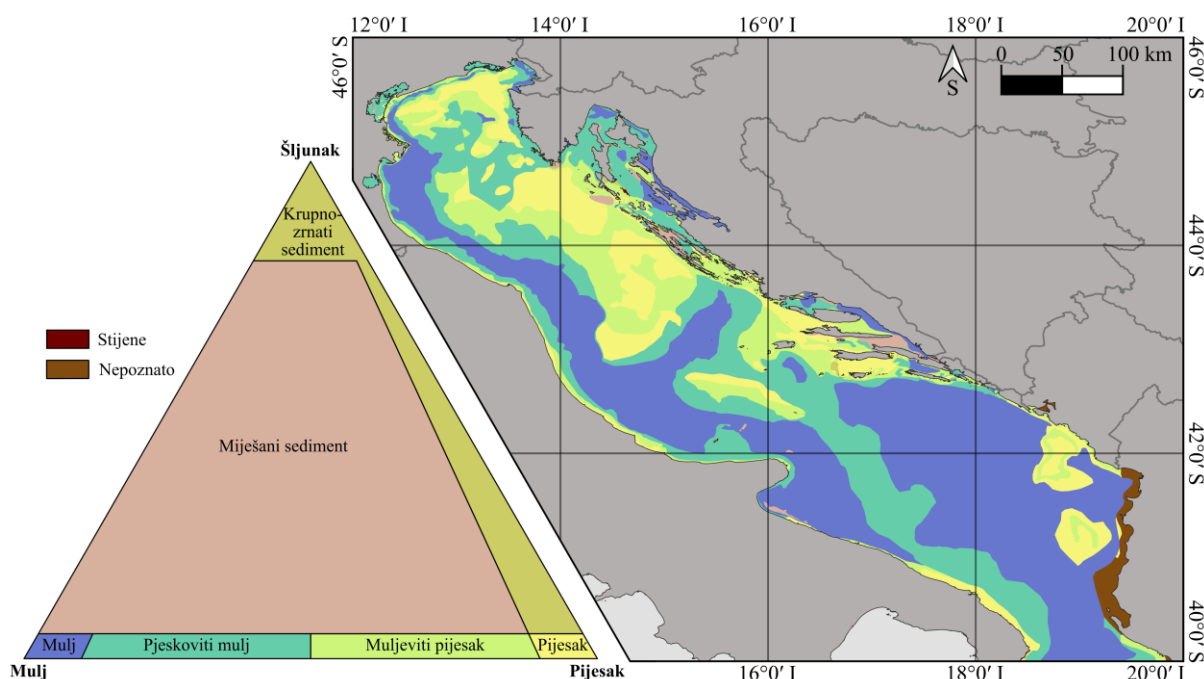
4.2. Jadransko more

Jadransko more je djelomično zatvoreno kontinentsko more dugo 870 km i u prosjeku široko 160 km. Ima površinu od $1,38 \cdot 10^5 \text{ km}^2$, maksimalnu dubinu od 1244 metara i volumen od $3,5 \cdot 10^4 \text{ km}^3$ (Vrdoljak et al., 2021). Glavna površinska morska struja se kreće suprotno od kazaljke na satu. Zbog velikog kontinentalnog utjecaja, prostire se kroz dvije klimatske regije, submediteransku na sjeveru i mediteransku u ostatku mora.

Rijeka Po ima prosječni godišnji protok vode od $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ i time je rijeka s najvećim doprinosom nutrijenata i sedimenta u Jadransko more (Raicich, 1996). Sjeverni Jadran je eutrofan zbog donosa nutrijenata rijekom Po, dok je ostatak mora oligotrofan. Limitirajući nutrijent za primarnu proizvodnju je fosfor, a njegova koncentracija pokazuje trend smanjivanja u periodu od 1994. do 2010. godine (Krstulović et al., 2012). Za razliku od ostalih dijelova Sredozemnog mora, Jadransko more ima pozitivnu vodnu bilancu jer precipitacijom i donosom rijeka dobiva više slatke vode nego što je gubi evaporacijom (Raicich, 1996).

Postoje tri značajne morfološke zone Jadranskog mora: a) sjeverna plitkomorska, b) srednja duboka karakterizirana kontinentskim šelfom te c) južna, vrlo duboka. Također postoje tri vrste vode: a) Jadranska površinska voda (do 100 m dubine), b) Levantinska intermedijalna voda (između 100 i 600 m dubine) te c) Jadranska duboka voda (ispod 600 m dubine). Prosječna površinska temperatura iznosi $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, a dubokovodna temperatura se podigla od $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ u 1960-im godinama do $13,2 \text{ }^\circ\text{C}$ u 2019. (Obhodas et al., 2020). Povišenje dubokovodne temperature je pratilo i povišenje u dubokovodnom salinitetu od $38,65 \text{ ‰}$ u 2007. do $38,78 \text{ ‰}$ u 2019. (Obhodas et al., 2020). Raspon površinskog saliniteta u sjevernom dijelu iznosi od 33 do 37 ‰, a u južnom od 38 do 39 ‰ (Krstulović et al., 2012). Jadransko more je mikroklimno more s rasponom plime od oko 30 cm na jugu do 1,2 m na sjeveru (Krvavica et al., 2025). Formiranje jadranskih pridnenih voda ovisi o jačini vjetra i direktno je povezano s gradijentom atmosferskog tlaka između sjeverne Europe i Sredozemnog mora. Gusta i hladna površinska voda se formira tijekom zime hlađenjem izazvanim hladnim sjeveroistočnim vjetrom burom, koja je izrazito snažna između studenog i ožujka. To uzrokuje tonjenje površinske vode bogate kisikom. Uvjeti potpune dostupnosti kisika u dubokom Jadranskom moru ostvarili su se prije otprilike 1650 ± 100 godina (Fontugne et al., 1989). Formacija guste, pridnene vode bogate kisikom u južnom Jadranskom moru omogućuje donos kisika u istočne, duboke sredozemne vode (Fontugne et al., 1989).

Jadransko more zauzima predgorsko područje apeninskog i dinaridskog navlačnog pojasa, nastalo sudarom Afričke i Euroazijske tektonske ploče (Geiss, 1987). Transverzalna asimetrija Jadranskog mora karakterizirana je razlikama u nasuprotnim obalama s Dinaridima u blizini istočne obale i Apeninima udaljenijim od zapadne. Niska talijanska sjeverozapadna obala je nastala jakim pleistocenskim i holocenskim nanosima rijeka (Danovaro & Boero, 2019). Srednja i južna talijanska obala je stjenovita, dok je istočna izrazito razvedena s velikim brojem otoka koji prate pružanje obale (Duplančić Leder et al., 2004). Za izgled današnjeg prostora Jadranskog mora zaslužni su tektonski pokreti tijekom eocena i ranog oligocena. Ti pokreti, najčešće po reverznim rasjedima, nisu nikada prestali i uzrokuju česte potrese (Velić, 2007). Na recentniju sedimentaciju u Jadranskom moru izrazito su utjecali kvartarni ciklusi glacijala i interglacijala. Pleistocenske naslage su najdeblje (100-1400 m) i sastoje se većinom od pijeska, prahovitih pijeskova, glina i glinovitih stijena (Malvić et al., 2015). Današnje prostiranje mora je postignuto nakon posljednjeg glacijala. Dno obalnih i sjevernijih dijelova je prekriveno pijeskom, dok su srednji i južni dijelovi većinom prekriveni prahom (Petrinec et al., 2012) (slika 16). Glavne mineralne faze jadranskog sedimenta su kvarc, kalcit, dolomit, feldspati, tinjci i minerali glina (muskovit, ilit, smektit, klorit) s povremenim pojavama pirita, amfibola i serpentina (Calanchi et al. 1996; Ivanić et al., 2020).



Slika 16. Površinski sedimenti Jadranskog mora prema Folk 7 klasifikaciji (Kaskela et al., 2019; EMODnet, 2023a).

5. Materijali i metode

5.1. Uzorkovanje

Uzorci su uzorkovani pomoću gravitacijskog i hidrauličkog korera. Tijekom uzorkovanja se pazilo da se u obzir uzimaju samo jezgre s neporemećenim slojevima sedimenta. Opisi gravitacijskog i hidrauličkog korera te njihove prednosti i mane su:

- a) Gravitacijski korer je najjednostavniji tip korera. Prvenstveno se sastoji od otvorene cijevi i utega tako da ga gravitacija može potisnuti dovoljno duboko u morsko dno kako bi se uzorkovao stupac sedimenta. Postoji velik broj gravitacijskih korera, od najjednostavnijih cijevi, sve do velikih i sofisticiranih instrumenata. Najjednostavniji verzija je obični komad plastične cijevi koji se može koristiti samo za uzorkovanje u vrlo plitkim sredinama, poput plimne zone. Takva cijev se može ručno potiskivati, pa njome može rukovati i ronilac ili se koristiti za poduzorkovanje sedimenta dobivenog velikim graberom. Prednosti ovakvog gravitacijskog korera je što je jednostavan i jeftin i što se uzorkovanje može provesti uz vizualni pregled. Ovaj tip korera je dobar za plitke sedimente, no u studijama klimatskih promjena potrebno je uzorkovati neporemećene sedimente iz dubljih područja kako bi se maksimalno umanjio antropogeni utjecaj. Najčešće se radi o dubinama između 50 i 100 metara, gdje je sedimentacija još uvijek dovoljno izražena, kako bi se postigla željena vremenska razlučivost. Stoga je koreru potrebno dodati metalno opterećenje radi učinkovitijeg prodiranja u sediment te dodatan mehanizam za brtvljenje vrha cijevi nakon prodiranja kako bi se stvorio vakuum pri uvlačenju jezgre i zadržao talog tijekom izvlačenja korera. Tako uzorkovanje se provodi na istraživačkim brodovima koji su opremljeni radnom platformom, vitlom i čeličnom žicom odgovarajućeg promjera. Nedostaci gravitacijskog korera namijenjenog za veće dubine su visoka početna cijena uređaja i potreba za logističkom podrškom istraživačkog broda. Uz to, dodatne komplikacije uključuju nemogućnost vizualnog pregleda mjesta uzorkovanja te poteškoće u njegovom odabiru zbog heterogenosti dna. Neki od problema koji nastaju zbog ovih komplikacija, poput dvostrukog prodiranja i pada korera, se mogu riješiti ugrađivanjem dodatnih mehanizama, ali to poskupljuje početnu cijenu uređaja. Dodatno, postoje gravitacijski koreri s višestrukim jezgrama postavljeni na jednoj platformi sa zajedničkim utegom kako bi se odradilo višestruko uzorkovanje jednog mjesta radi komparativnih studija, procjena preciznosti uzorkovanja ili utvrđivanja heterogenosti sedimenta.

- b) Hidraulički koreri su konstruirani za uzorkovanje kratkih jezgri (do 0,7 metara) s minimalnim gubicima na granici između vode i sedimenta, što je izrazito bitno za datiranje površinskih sedimenata. Klip ispunjen vodom osigurava polagano prodiranje sedimenta u cijev, što kontrolira brzinu prodiranja u sediment i smanjuje početno uznemiravanje površinskog sloja koje se javlja u drugim korerima koji velikom brzinom ulaze u sediment. Dodatni okvir oko jezgre omogućava držanje cijevi u okomitom položaju i dopušta ugradnju mehanizma koji brtvi dno cijevi neposredno nakon što cijev izađe iz sedimenta. Donja brtva cijevi uvelike poboljšava uzorkovanje pjeskovitog sedimenta. Zaklopka na vrhu cijevi može biti nepovratni ventil aktiviran u trenutku prodora ili klip koji se zadrži u paralelnom položaju u odnosu na površinu sedimenta. Budući da je jezgra potpuno zatvorena u trenutku kada je uzorkovanje završeno, hidrauličkim korerima se mogu dobiti najpovoljniji uzorci za datiranje i druge analize. Glavni nedostaci hidrauličkih koreri je veća visoka početna cijena i potreba za logističkom podrškom istraživačkog broda i obučene posade.

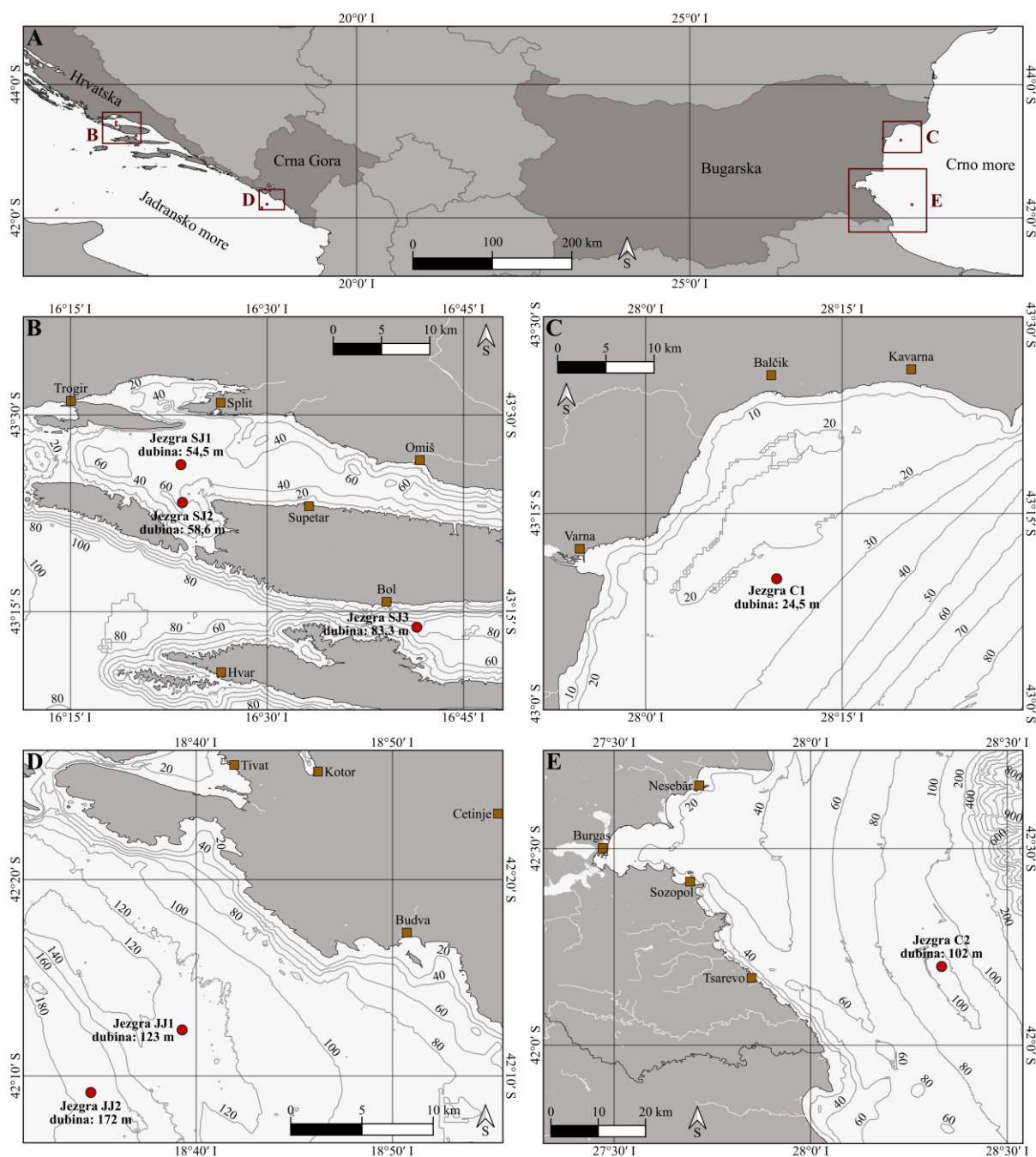
U razdoblju od 2018. do 2023. godine uzorkovane su i obrađene sljedeće sedimentne jezgre iz Crnog i Jadranskog mora (slika 17):

1. Crno more:

- a. Jezgra C1 (RER7009/18–2, Core 1) uzorkovana je 26. rujna 2018. s palube istraživačkog broda R/V *Akademik* u blizini grada Varne u Bugarskoj (koordinate: 43°10,0' S, 28°10,0' I, morska dubina: 24,5 m) koristeći hidraulički multikorer (promjer cijevi: 100 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 20,5 °C, koncentracija otopljenog kisika 7,85 mg/L, pH 8,30, a salinitet 18,2 ‰. Koristeći ekstruder, ova jezgra duga 26,5 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.
- b. Jezgra C2 (AK-21/06-29/09) uzorkovana je 29. lipnja 2021. s palube istraživačkog broda R/V *Akademik* u blizini grada Burgasa u Bugarskoj (koordinate: 42°12,0' S, 28°20,0' I, morska dubina: 102,0 m) koristeći hidraulički multikorer (promjer cijevi: 80 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 8,8 °C, koncentracija otopljenog kisika 2,40 mg/L, pH 8,00, a salinitet 19,97 ‰. Koristeći ekstruder, ova jezgra duga 29 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.

2. Jadransko more:

- a. Jezgra JJ1 (RER7009/19–1, Core 3) uzorkovana je 8. listopada 2019. s palube istraživačkog broda Bios Dva u blizini grada Budve u Crnoj Gori (koordinate: 42°12,3' S, 18°39,3' I, morska dubina: 123,0 m) koristeći gravitacijski korer (promjer cijevi: 86 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 15,5 °C, koncentracija otopljenog kisika 4,21 mg/L, konduktivitet 4,79 S/m, a salinitet 39,04 ‰. Koristeći ekstruder, ova jezgra duga 12,5 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.
- b. Jezgra JJ2 (RER7009/19–2, Core 2) uzorkovana je 8. listopada 2019. s palube istraživačkog broda Bios Dva u blizini grada Budve u Crnoj Gori (koordinate: 42°09,2' S, 18°34,6' I, morska dubina: 172,0 m) koristeći gravitacijski korer (promjer cijevi: 86 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 15,4 °C, koncentracija otopljenog kisika 4,22 mg/L, konduktivitet 4,78 S/m, a salinitet 39,05 ‰. Jezgra duga 12,5 cm je cijela transportirana do laboratorija, izrezana u polu centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične kutijice i zamrznuti do početka analiza.
- c. Jezgra SJ1 (T1-2) uzorkovana je 20. travnja 2021. s palube istraživačkog broda Bios Dva u blizini grada Splita u Hrvatskoj (koordinate: 43°26,209' S, 16°23,418' I, morska dubina: 54,5 m) koristeći gravitacijski korer (promjer cijevi: 86 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 15,7 °C, koncentracija otopljenog kisika 8,73 mg/L, a pH 8,30. Koristeći ekstruder, ova jezgra duga 25 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.
- d. Jezgra SJ2 (T2-3) uzorkovana je 20. travnja 2021. s palube istraživačkog broda Bios Dva između otoka Šolte i Brača u Hrvatskoj (koordinate: 43°23,320' S, 16°23,535' I, morska dubina: 58,6 m) koristeći gravitacijski korer (promjer cijevi: 86 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je 13,9 °C, koncentracija otopljenog kisika 8,79 mg/L, a pH 8,29. Koristeći ekstruder, ova jezgra duga 22 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.



Slika 17. a) Pregledna karta lokacija uzorkovanja sedimentnih jezgri u Crnom i Jadranskom moru: b) srednjojadranskih jezgri SJ1, SJ2 i SJ3, c) crnomorske jezgre C1, d) južnojadranskih jezgri JJ1 i JJ2, e) crnomorske jezgre C2. Izobate su dobivene iz EMODnet digitalne raspodjele dubina (EMODnet, 2022).

- e. Jezgra SJ3 (T3-1) uzorkovana je 20. travnja 2021. s palube istraživačkog broda Bios Dva između otoka Brača i Hvara u Hrvatskoj (koordinate: $43^{\circ}13,803' S$, $16^{\circ}41,430' I$, morska dubina: 83,3 m) koristeći gravitacijski korer (promjer cijevi: 86 mm). Temperatura vode na morskom dnu bila je $14,3^{\circ} C$, koncentracija otopljenog kisika $8,56 \text{ mg/L}$, a pH 8,30. Koristeći ekstruder, ova

jezgra duga 16 cm je odmah nakon vađenja izrezana na centimetarske intervale koji su potom pospremljeni u plastične vrećice i zamrznuti do početka analiza.

Intervali sedimenta jezgara C1, JJ1 i JJ2 premješteni su u plastične kutijice (58·58·40 mm), zamrznuti u tekućem dušiku i liofilizirani otprilike 40 sati koristeći Labconco - FreeZone 2.5 L liofilizator. Radi maksimalnog očuvanja količine sedimenta ostalih jezgara, zamrznuti intervali sedimenta su izvađeni iz frizera (-28 °C) i direktno u vrećicama liofilizirani otprilike 40 sati.

5.2. Datiranje

Uzorcima je analizirana aktivnost olova (^{210}Pb), radija (^{226}Ra), cezija (^{137}Cs) i americija (^{241}Am) izravnim gama testom. Jezgre C1, JJ1 i JJ2 analizirane su u Ukrajinskom Hidrometeorološkom Institutu, Kijev, Ukrajina, koristeći EG&G Ortec HPGe GWL koaksijalni niskopozadinski germanijski detektor (Appleby et al., 1986). Gama spektroskopijski sustav osigurava disperziju od 0,5 keV po kanalu u rasponu energije gama zraka od 20 keV do 2 MeV i uobičajeno postiže rezoluciju od 1,2 keV na 122 keV i 2,1 keV na 1,33 keV. Apsolutne učinkovitosti detektora za različite mase uzoraka i različite visine ispunjenosti spremnika su utvrđene korištenjem kalibriranih standardnih izvora i sedimentnih uzoraka poznate aktivnosti. Apsolutna učinkovitost je u rasponu od 65 % na 46,5 keV (^{210}Pb) do 11 % na 661,7 keV (^{137}Cs). Uzorci suhog sedimenta bili su postavljeni u posebno izrađene plastične posudice dizajnirane da stanu unutar udubljenja detektora.

Jezgra C2 analizirana je na Ege Sveučilištu, Izmir, Turska, koristeći 184 cc HPGe detektor, ORTEC-671 spektroskopsko pojačalo i Canberra više kanalni analizator sa spektralnom memorijom od 8 K. Rezolucija koaksijalnog detektora bila je 1,85 keV na 1,33 MeV gama energiji ^{60}Co i 25 % relativne učinkovitosti. Minimalna detektabilna aktivnost bila je 2,21 Bq/kg za 200.000 s. Radi smanjivanja pozadinskog zračenja, detektor je bio dodatno zaštićen olovnom štitom debljine 100 mm. Uzorak je sniman u obliku prešane tablete.

Jezgre SJ1, SJ2 i SJ3 analizirane su na Institutu Ruđer Bošković, Zagreb. Uzorak je postavljen u cilindrične posudice volumena 125 cm³ i izmjeren koristeći HPGe detektor visoke rezolucije (BE5030P, Canberra), rezolucije 1,95 keV na 1,33 MeV (^{60}Co). Vrijeme snimanje je ovisilo o količini uzorka.

^{210}Pb je određen preko njegove gama emisije na 46,5 keV, a ^{226}Ra pomoću gama zraka na 295 i 352 keV koje emitira njegova izotopna kćer ^{214}Pb nakon tri tjedna skladištenja u zatvorenim posudicama kako bi se omogućila radioaktivna ravnoteža. ^{137}Cs je izmjeren pomoću njegovih emisija na 661,7 keV, a ^{241}Am pomoću emisija na 59,5 keV. Korekcija za učinak samoapsorpcije niskoenergetskih gama zraka unutar uzorka je izvršena pomoću parametara prigušenja navedenih u Appleby et al. (1992). Opsežnija analiza radionuklida u jezgri C1 objavljena je u Yücel et al. (2020).

5.2.1. Princip ^{210}Pb datiranja

^{210}Pb se prirodno pojavljuje kao jedan od radioizotopa u lancu raspada ^{238}U . Radioaktivna neravnoteža između ^{210}Pb (vrijeme poluraspada: 22,23 godine) i njegovog izotopa roditelja ^{226}Ra (vrijeme poluraspada: 1600 godina) nastaje zbog srednjeg člana, plinovitog izotopa radona (^{222}Rn). Raspadom ^{226}Ra nastaje ^{222}Rn i dio radona u tlima ili sedimentima bude otpušten u atmosferu gdje se dalje raspada na ^{210}Pb koji se veže za atmosferske aerosole, da bi kasnije bili uklonjeni iz atmosfere pomoću oborina ili suhog taloženja (Husain et al., 2008). Dio ovih radioaktivnih padalina se adsorbira na sedimentne čestice unutar vodenih tijela koje se talože na dno, gdje se zbog konstantne sedimentacije s vremenom akumuliraju u morskom sedimentu i time, ukoliko sediment ostaje relativno neporemećen, čine pouzdani zapis o povijesti sedimentacije. ^{210}Pb aktivnost koja nastaje izravnim raspadom izotopa roditelja unutar sedimenata se naziva poduprti ^{210}Pb (eng. *supported ^{210}Pb*) i ona je konstantna s dubinom sedimenata. Višak ^{210}Pb aktivnosti u sedimentima, u odnosu na onaj koji je izravno nastao *in-situ* raspadom ^{226}Ra , se naziva nepoduprti ^{210}Pb (eng. *unsupported ^{210}Pb*). Dok se nepoduprti ^{210}Pb raspada u skladu sa zakonom radioaktivnog raspada, može se koristiti za određivanje starosti sedimenata pomoću odgovarajućeg modela za procjenu početne aktivnosti. Vrijeme poluraspada ^{210}Pb od 22,23 godine ga čini prikladnim za datiranje sedimenata u rasponu od 130 do 150 godina, međutim preciznost metode na donjoj vremenskoj granici postaje ograničena. U većini slučajeva, pretpostavlja se da je poduprti ^{210}Pb u ravnoteži s *in-situ* ^{226}Ra . Višak, tj. nepoduprti ^{210}Pb se određuje oduzimanjem ^{210}Pb poduprtog roditeljem ^{226}Ra od ukupne izmjerene ^{210}Pb aktivnosti. Goldberg (1963) je postavio temelje ^{210}Pb datiranja kada ga je iskoristio za datiranje ledenjaka, dok je ^{210}Pb prvi put iskorišteno za datiranje jezerski sedimenata u radu Krishnaswamy et al. (1971), a za datiranje marinskih sedimenata u Koide et al. (1972).

Najčešće se koriste dva modela za izračun starosti pomoću ^{210}Pb aktivnosti, konstantna stopa zalihe nepoduprtog ^{210}Pb (eng. *Constant Rate of unsupported ^{210}Pb Supply*; CRS) i

konstantna početna koncentracija ^{210}Pb (eng. *Constant Initial ^{210}Pb Concentration*; CIC). Temeljnu hipotezu CRS modela postavio je Goldberg (1963), dok su model dovršili i unaprijedili Appleby & Oldfield (1978) i Robbins (1978). Ovaj model je vjerojatno najšire prihvaćen i temelji se na pretpostavci da je zaliha ^{210}Pb dominirana konstantni direktnim atmosferskim doprinosom. U ovom modelu je početna nepoduprta aktivnost ^{210}Pb obrnuto proporcionalna stopi akumulacije. Prema tome, starost t sedimenta na dubini x se računa iz jednadžbe (Appleby & Oldfield, 1978):

$$A_x = A(0) \cdot e^{-\lambda t} \quad (21)$$

gdje je $A(0)$ zaliha nepoduprtog ^{210}Pb cijele jezgre (Bq/m^2), A_x je zaliha nepoduprtog ^{210}Pb ispod dubine x (Bq/m^2) i λ je konstanta raspada ^{210}Pb ($\lambda = \ln 2 / (22,23 \text{ god}) \approx 0,03114 \text{ god}^{-1}$). Dakle, starost t se može izraziti kao (Appleby & Oldfield, 1978):

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left[\frac{A(0)}{A_x} \right] \quad (22)$$

A_x i $A(0)$ se mogu izračunati izravnom numeričkom integracijom profila nepoduprtog ^{210}Pb . Brzina sedimentacije r se može izračunati jednadžbom (Appleby & Oldfield, 1978):

$$r = \frac{\lambda A_x}{C_x} \quad (23)$$

gdje je C_x koncentracija (tj. specifična aktivnost) nepoduprtog ^{210}Pb u sloju sedimenta na dubini x (Bq/kg).

CIC model su opisali Pennington et al. (1976). On pretpostavlja da je početna koncentracija nepoduprtog ^{210}Pb konstantna neovisno o promjenama koje su se dogodile u brzini sedimentacije. Ako su te pretpostavke zadovoljene, starost se može izračunati jednadžbom (Appleby & Oldfield, 1978):

$$C_x = C(0) \cdot e^{-\lambda t} \quad (24)$$

gdje je C_x aktivnost nepoduprtog ^{210}Pb sedimentnog sloja na dubini x (Bq/kg), a $C(0)$ aktivnost nepoduprtog ^{210}Pb na površini sedimenta (Bq/kg). Prema CIC modelu, aktivnost ^{210}Pb se mora konstantno smanjivati s dubinom. Nagib pravca logaritamski prikazane aktivnosti ^{210}Pb u odnosu na dubinu je mjera brzine sedimentacije i može se prikazati jednadžbom (Appleby & Oldfield, 1978):

$$\frac{d}{dm} \cdot \ln(C) = -\frac{\lambda}{r} \quad (25)$$

Ponekad se koristi i dodatni model, konstanti tok - konstantna sedimentacija (eng. *Constant Flux - Constant Sedimentation*; CF-CS) (prilog 3), kojeg su prvog opisali Krishnaswamy et al. (1971). To je najjednostavniji model koji pretpostavlja da je atmosfersko taloženje na površinu sedimenta konstantno te da je stopa akumulacije također konstantna i stoga se može koristiti u stabilnim okolišima. Brzina sedimentacije određuje se iz srednjeg nagiba eksponencijalnog linearnog prilagođavanja dijagrama koncentracije nepoduprtog ^{210}Pb u odnosu na dubinu.

Za mjerenje cezija (^{137}Cs) i americija (^{241}Am) izrazito su bitne prijašnje ljudske aktivnosti. Prije Černobilske katastrofe 1986. i kasnije katastrofe u Fukushima Daiichi nuklearnoj elektrani u 2011., globalni izvori ^{137}Cs (vrijeme poluraspada: 30,05 godina) su većinom bile atmosferske oborine zbog prijašnjih testiranja nuklearnih oružja. ^{137}Cs se jako adsorbira na sedimente i varijacije u njegovoj aktivnosti s dubinom bi trebala ukazivati na povijest padalina, s početkom sedimentacije u 1954. godini (početak testiranja nuklearnih oružja) i maksimumima aktivnosti u 1963. (najviše testiranja nuklearnih oružja), 1986. (Černobil) i 2011. (Fukushima Daiichi). Ti maksimumi predstavljaju jasne referentne kronološke markere, koji se mogu koristiti kako bi potvrdili ^{210}Pb starosti gdje su one dvosmislene ili nesigurne (Appleby et al., 1991). Praktična aplikacija ^{137}Cs datiranja je često komplicirana zbog mobilnosti cezija i djelomičnog miješanjem sedimenta. Kada je to slučaj, mjerenja ^{241}Am (vrijeme poluraspada: 432,6 godina), koji je također otpušten testiranjem nuklearnih oružja, te Černobilskom i Fukushima Daiichi katastrofama, mogu predstaviti korisnu alternativu ili dopunu. Iako je aktivnost ^{241}Am vrlo mala, ipak je značajno manje mobilan od ^{137}Cs (Appleby et al., 1991).

5.3. Analiza veličine čestica

Raspodjela veličine čestica (eng. *particle size distribution*; PSD) određena je koristeći Beckman Coulter LS 13,320 analizator veličine čestica na Institutu Ruđer Bošković, Zagreb. PSD je izračunat pomoću softvera koji koristi Mieovu teoriju raspršenja svjetlosti (optički parametri: indeks loma = 1,53, indeks apsorpcije = 0,1). Uzorci su dodatno opisani pomoću trokomponentnog dijagrama odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980).

5.3.1. Princip određivanja veličine čestica

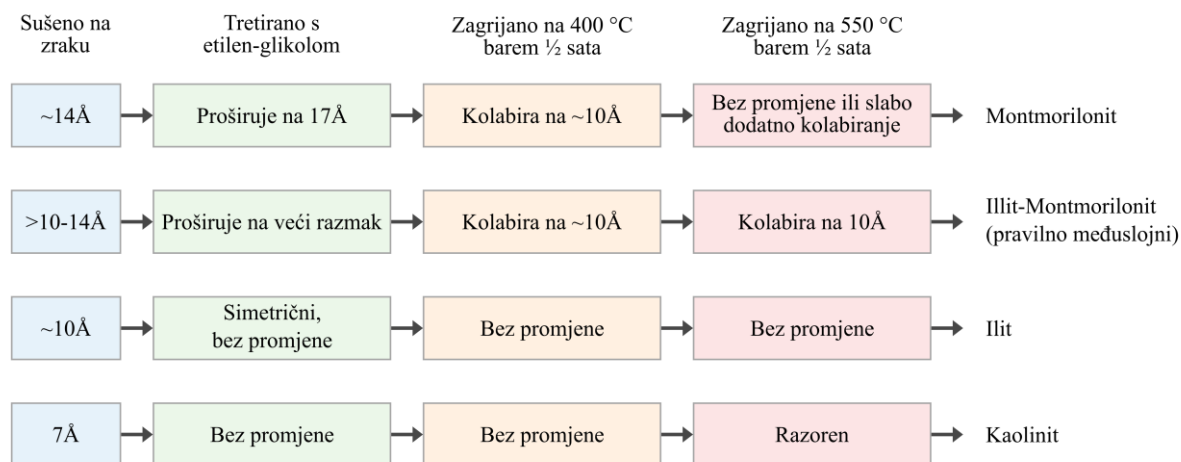
Kada elektromagnetsko zračenje osvjetli česticu koja ima drugačiju dielektričnu konstantu od okolnog medija, zračenje će biti raspršeno ovisno o njegovoj valnoj duljini i optičkim svojstvima čestice. Ova raspršenja se obično opisuju pojmovima difrakcije, refleksije, refrakcije i apsorpcije. Budući da većina materijala ima jake sposobnosti apsorpcije zračenja u infracrvenoj i ultraljubičastoj regiji, što drastično smanjuje intenzitet raspršenog zračenja, većina uređaja za raspršenje svjetlosti koristi vidljivu svjetlost u rasponu valne duljine od 350 do 900 nm. Postoje različite metode koje koriste raspršenje svjetlosti za dobivanje informacija o materijalu, ali najviše korištena je metoda elastičnog raspršenja svjetlosti (eng. *elastic light scattering*; ELS) koja se koristi za karakterizaciju čestica od mikro do milimetarskih veličina. U toj metodi, upadno i raspršeno svjetlo ima jednaku frekvenciju, dok intenzitet raspršenog svjetla ovisi o dimenziji i optičkim svojstvima čestice. U pravilu je intenzitet funkcija veličine čestice, indeksa loma čestice, indeksa loma medija, valne duljine svjetlosti, polarizacije i kuta raspršenja. U čestičnom materijalu se pojavljuju dodatne varijable kao što su koncentracija čestica i interakcija među česticama. Uzorak se pripremi kako bi se minimizirala interakcija među česticama, a tijekom mjerenja se pretpostavlja da su indeks loma i gustoća čestica jednake kroz cijeli uzorak. Pomoću toga se sustav pojednostavi i time se dobije da intenzitet raspršene svjetlosti ovisi samo o kutu raspršenja te veličini i obliku čestice.

Mieova teorija raspršenja svjetlosti objašnjava interakciju svjetlosti s česticom određene veličine kao funkciju kuta za poznatu valnu duljinu i polarizaciju svjetlosti, uz pretpostavku da je čestica sferična, glatka, homogena i poznatog indeksa loma. Ova teorija obuhvaća sve moguće interakcije između čestica i svjetlosti, ali je upotrebljiva samo za okrugle čestice. Sfere proizvode uzorke raspršenja koji su karakterizirani određenim minimumima i maksimumima na različitim kutovima ovisno o svojstvima čestice. Većina prirodnog materijala ipak nema savršeno okrugle čestice i stoga svi komercijalni instrumenti aproksimiraju i tretiraju svaku česticu kao sferu, neovisno o stvarnom obliku. Time se dobije raspodjela veličine koja ovisi o samo jednoj varijabli, promjeru čestice (Beckman Coulter, 2011).

5.4. Mineralni sastav

Mineralni sastav određen je rendgenskom difrakcijom na prahu (eng. *X-ray powder diffraction*; XRPD) na Geološkom Odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu koristeći difraktometar za prah Philips X'Pert s Cu-K α zračenjem na 40 kV i 40 mA, snimajući difrakciju od 4 do 63° 2 θ . Difraktogrami su obrađeni pomoću računalnog programa X'Pert High Score (PANanalytical, 2004) i uspoređeni s Powder Diffraction File bazom podataka.

Određivanje minerala glina provedeno je tako da je uzorak pomiješan s destiliranom vodom, homogeniziran i centrifugiran te je iz gornjeg dijela kivete kapaljkom izvađena sitnozrnata frakcija. Nakon taloženja te frakcije, dio uzorka je prebačen na laboratorijsko stakalce i ostavljen da se osuši na zraku, nakon čega je sniman s prijašnje opisanim postavkama. Zatim je staklace ostavljeno 24 sata u eksikator u parama etilen-glikolom te mu je snimljena difrakcija od 4 do 30° 2 θ . Nakon toga je uzorak termički obrađen pola sata na 400 °C i ponovno snimljen. Uzorak je ponovno termički obrađen pola sata na 550 °C i još jedanput snimljen. Difraktogrami minerala glina identificirani su prateći Starkey et al. (1984) i Poppe et al. (2001) (slika 18).



Slika 18. Identifikacija prisutnih minerala glina prema Starkey et al. (1984) i Poppe et al. (2001).

5.4.1. Princip određivanja mineralnog sastava

Metoda rendgenske difrakcije (eng. *X-ray diffraction*; XRD) se temelji na sposobnosti određenih kristala da difraktiraju rendgenske zrake na specifični način čime omogućuju temeljito proučavanje strukture prisutnih kristalnih faza. XRPD je metoda XRD-a u kojoj se uzorak sastoji od praha, te sadrži mnogo nasumično orijentiranih kristala. Kada fotoni rendgenske zrake dođu do tvari, dolazi do više tipova interakcije, od apsorpcija do raspršenja. Važno raspršenje je takozvano koherentno raspršenje ili Rayleighovo raspršenje koje se

pojavljuje između fotona upadnog zračenja i elektrona unutar uzorka. Njime je energija raspršenog zračenja jednaka početnoj i zadržava jednaki fazni odnos u odnosu na upadno zračenje (Dinnebier & Billinge, 2008). Fotoni rendgenskih zraka bivaju raspršeni u svim smjerovima, no zbog periodične prirode kristalne strukture, doći će do konstruktivnih ili destruktivnih interakcija između raspršenih zraka i time do karakterističnog difrakcijskog fenomena koji može otkriti točni mineralni sastav uzorka.

Glavni princip ove metode se temelji na difrakciji rendgenskih zraka od periodičnih atomskih ravnina i na kutnoj ili energijskoj detekciji difraktiranog signala. Geometrijsku interpretaciju konstruktivne interferencije dao je Sir William Lawrence Bragg (Bragg, 1913) i time su geometrijski uvjeti za difrakciju definirani Braggovim zakonom:

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin(\theta) \quad (26)$$

gdje je n stupanj difrakcije (cijeli broj), λ je valna duljina upadne zrake (nanometri), d_{hkl} je međuravninska udaljenost (nanometri), a θ je kut refleksije (stupnjevi). Difrakcijski podaci su većinom prikazani kao raspodjela intenziteta u odnosu s 2θ kutom.

5.5. Koncentracija ugljika

Koncentracije ugljika određene su koristeći peć za izgaranje LECO C744 u INA-Industriji nafte, d.d., Zagreb. Peć koristi visoko frekvencijsko induksijsko izgaranje s automatskim čišćenjem komore za izgaranje. Sustav detekcije je ne disperzivna infracrvena (eng. *non-dispersive infrared*; NDIR) ćelija i rezultirajući signal je funkcija koncentracije. Instrumentalni raspon za ugljik je od 0,002 do 60 mg, a preciznost instrumenta je 0,001 mg ili 1,5 % relativne standardne devijacije (eng. *relative standard deviation*; RSD). Raspon determinacije je od 0,01 do 100 % težine ugljika. Svaki uzorak se analizira na TC i OC na prethodno izvaganom uzorku, dok se IC određuje kao razlika između TC i OC (jednadžba 2). Za određivanje TC, 0,5 g uzorka je spaljeno na 1400 °C u struji kisika kako bi se postigla potpuna oksidacija. OC je određen nakon predtretmana 0,5 g uzorka s klorovodičnom kiselinom (18 % HCl) radi uklanjanja karbonata, nakon čega je slijedilo spaljivanje na 1400 °C.

5.5.1. Princip određivanja koncentracije ugljika

Takozvani analizatori ugljika su sposobni mjeriti ugljik u raznim vrstama materijala. Prethodno izvagani uzorak se spaljuje visokofrekventnim induksijskim izgaranjem u struji

kisika čime se oksidira ugljik prisutan u uzorku i pretvara u CO i CO₂ koji se dalje transportiraju strujom kisika. Kako bi se olakšala detekcija ugljika, struja plina prolazi pokraj zagrijanog katalizatora koji pretvara CO u CO₂. Ugljik se zatim detektira tijekom prolaza kroz NDIR ćeliju. Kako bi se smanjile smetnje od prirodnih varijacija atmosferskog tlaka unutar NDIR ćelije, koristi se regulator tlaka za održavanje konstantnog tlaka. Dodatna komponenta u struji plina je elektronički senzor koji se koristi u dijagnostičke svrhe za praćenje protoka plina nosača.

Detekcija CO₂ ne disperzivnom infracrvenom ćelijom se temelji na principu da CO₂ apsorbira infracrvenu energiju jedinstvenih valnih duljina unutar infracrvenog spektra (LECO, 1996) (slika 1). Upadna infracrvena energija tih valnih duljina se apsorbira dok struja plina prolazi kroz infracrvene detektorske ćelije. Kako CO₂ ulazi u ćeliju, mjerena razina zračenja se smanjuje i detektor preračunava tu ukupnu promjenu energije u postotak ugljika. Koncentracije nepoznatih uzoraka se određuju usporedbom s kalibracijskim standardima. Prije svakog mjerenja provedu se referentna mjerenja čistog plina nosača kako bi se što više umanjile instrumentalne pogreške. CO₂ apsorbira infracrveno zračenje na valnim duljinama između 2,6 i 4 μm (LECO, 2007).

5.6. Izračun sekvestracije ugljika

Sekvestracija je izračunata iz izmjerene koncentracije ukupnog ugljika u sedimentima i koncentracije ugljika u atmosferi, odnosno atmosferskom stupcu jednakog polumjera kao cijev u kojoj je sediment uzorkovan. Za izračun koncentracije ugljika u atmosferi uzeta je samo troposfera uz pretpostavke da ona sadrži 75-80 % atmosferske mase (McGraw-Hill, 2005) te da njena debljina iznosi oko 17 km u srednjim geografskim širinama (Johnson, 2010). Dodatne korištene vrijednosti su prosječna masa atmosfere od $5,1480 \cdot 10^{21}$ g (Trenberth & Smith, 2005) i gustoća standardne atmosfere od $1,225 \text{ g/dm}^3$ (ICAO, 1993). Mala razlika između izračuna sekvestracije za pojedine jezgre nastale je zbog razlika u polumjerima cijevi: 5 cm za jezgru C1, 4 cm za jezgru C2 i 4,3 cm za jezgre JJ1, JJ2, SJ1, SJ2 i SJ3. Prikaz početnih vrijednosti nalazi se u tablici 1.

Svakom intervalu sedimenta izračunata je brzina sedimentacije ugljika koristeći izmjerene mase intervala, količine ugljika i brzine sedimentacije CRS modela. Brzina sedimentacije ugljika je zatim preračunata na površinu od jednog cm^2 radi usporedbe jezgri različitih promjera. Za pojedini datirani interval sedimentnih jezgra, vrijednosti tadašnjih atmosferskih koncentracija CO₂ za razdoblja starija od 1959. godine dobivene su iz ledenih

jezgri (Bereiter et al., 2015), a za razdoblje od 1959. do 2020. iz konstantnog praćenja na Havajskom otočju (Keeling et al., 2005; NOAA-GML, 2024). Zatim je izračunata množina atmosferskog CO₂ i masa atmosferskog TC za pojedinu godinu te množina CO₂ u atmosferskog stupcu i brzina nakupljanja TC u stupcu, također preračunata na površinu jezgre. Izračunat je omjer brzine sekvestracije ugljika u sedimentu i brzine nakupljanja ugljika u atmosferskom stupcu i naposljetku je izračunata sekvestracija ugljika iz atmosfere u sediment, izražena u g/cm²god (prilozi 4 do 10). Količine sekvestriranog ugljika u sedimentima uspoređene su s atmosferskim koncentracijama ugljika istih godina metodom linearne regresije. Proces izračuna sekvestracije nalazi se u tablici 2.

Tablica 1. Početne vrijednosti korištene za izračun sekvestracije ugljika u sedimentima.

	Opis	Simbol	Iznos	Jednadžba	Referenca
	Masa atmosfere	m_{atm}	$5,148 \cdot 10^{21}$ g		Trenberth & Smith (2005)
	Masa troposfere	m_{tro}	$3,861 \cdot 10^{21}$ g	$m_{\text{atm}} \cdot 0,75$	McGraw-Hill (2005)
	Debljina troposfere	h_{tro}	170000 dm		Johnson (2010)
	Gustoća troposfere	ρ_{tro}	1,225 g/dm ³		ICAO (1993)
	Volumen troposfere	V_{tro}	$3,152 \cdot 10^{21}$ dm ³	$m_{\text{tro}}/\rho_{\text{tro}}$	
	Volumen 1 mol idealnog plina	V_{plin}	22414 dm ³		Clapeyron (1834)
	Množina plina u troposferi	n_{tro}	$1,406 \cdot 10^{17}$ mol	$V_{\text{tro}}/V_{\text{plin}}$	
	Molarna masa ugljika	M_{ugljik}	12,011 g/mol		Prohaska et al. (2022)
Jezgra C1	Polumjer cijevi	r_{C1}	0,5 dm		
	Volumen troposferskog stupca	V_{C1}	$1,335 \cdot 10^5$ dm ³	$\pi \cdot r_{\text{C1}}^2 \cdot h_{\text{tro}}$	
	Množina plina u troposferskom stupcu	n_{C1}	5,954 mol	$V_{\text{C1}}/V_{\text{plin}}$	
Jezgra C2	Polumjer cijevi	r_{C2}	0,4 dm		
	Volumen troposferskog stupca	V_{C2}	$8,541 \cdot 10^4$ dm ³	$\pi \cdot r_{\text{C2}}^2 \cdot h_{\text{tro}}$	
	Množina plina u troposferskom stupcu	n_{C2}	3,810 mol	$V_{\text{C2}}/V_{\text{plin}}$	
Jadranske jezgre	Polumjer cijevi	r_{J}	0,43 dm		
	Volumen troposferskog stupca	V_{J}	$9,870 \cdot 10^4$ dm ³	$\pi \cdot r_{\text{J}}^2 \cdot h_{\text{tro}}$	
	Množina plina u troposferskom stupcu	n_{J}	4,403 mol	$V_{\text{J}}/V_{\text{plin}}$	

Radi procjene sekvestracije pojedinih mora i ukupnih oceana, jezgre su podijeljene na intervale dubine mora od 50 m. Za izračun su korištene sve jezgre, neovisno o izvornom moru, prema podjeli po intervalima: 0-50 m - C1, 50-100 m - SJ1, SJ2, SJ3, 100-150 m - C2, JJ1, 150-200 m - JJ2. Prateći trend u literaturi gdje se uglavnom iskazuje prosječna brzina sedimentacije, sekvestracija je izračunata pomoću prosječnih sekvestracija u jezgrama. Zbog usporedbe s recentnim stanjem, sekvestracija je također izračunata koristeći samo površinske intervale (u

prosijeku starosti oko šest godina), koji većinom imaju veće količine sekvestracije u odnosu na prosječne vrijednosti. Kako bi se proučila promjena u sekvestraciji kroz godine, dodatno je izračunata sekvestracija u intervalima od deset godina (prilog 11). Radi usporedbe s procijenjenom sekvestracijom, korišteni su podaci o porastu atmosferske koncentracije i količini otpuštenog CO₂ u 2023. godini. Prema podacima izmjenjenim na Havajskom otočju (NOAA-GML, 2024), atmosferska koncentracija je porasla za 5,47 GtC (20,03 GtCO₂) u 2023. godini, dok je prema Global Carbon projektu procijenjena količina od 11,15 GtC (40,85 GtCO₂) za ukupna otpuštanja CO₂ u 2023. godini (Friedlingstein et al., 2023). Za procjenu površina pojedinih dubinskih intervala, korištena je GEBCO_2024 raspodjela dubina mora (GEBCO, 2024).

Tablica 2. Jednadžbe korištene za izračun sekvestracije ugljika u sedimentima.

Opis	Simbol	Jedinica	Jednadžba
Duljina intervala	h_{sed}	cm	
Brzina sedimentacije prema CRS modelu	r_{CRS}	cm/god	
Masa ugljika u uzorku	m_{TC}	g	
Polumjer jezgre	r_{jez}	cm	
Koncentracija atmosferskog CO ₂	C_{atm}	ppm	
Površina jezgre	P_{jez}	cm ²	$r_{\text{jez}}^2 \cdot \pi$
Vrijeme taloženja intervala sedimenta	t_{sed}	god	$h_{\text{sed}}/r_{\text{CRS}}$
Brzina sedimentacije TC	r_{sed}	g/god	$m_{\text{TC}}/t_{\text{sed}}$
Brzina sedimentacije TC po površini	r_{sedp}	g/cm ² god	$r_{\text{TC}}/P_{\text{jez}}$
Množina CO ₂ u troposferi	n_{CO_2}	mol	$C_{\text{atm}} \cdot n_{\text{tro}} \cdot 10^{-6}$
Masa TC u troposferi	m_{CO_2}	g	$M_{\text{ugljik}} \cdot n_{\text{CO}_2}$
Množina CO ₂ u troposferskom stupcu	n_{stu}	mol	$C_{\text{atm}} \cdot n_{\text{C1}} \cdot 10^{-6},$ $C_{\text{atm}} \cdot n_{\text{C2}} \cdot 10^{-6},$ $C_{\text{atm}} \cdot n_{\text{J}} \cdot 10^{-6}$
Brzina nakupljanja TC u troposferskom stupcu	r_{stu}	g/god	$n_{\text{stu}} \cdot M_{\text{ugljik}} \cdot 365$
Brzina nakupljanja TC u troposferskom stupcu po površini	r_{stup}	g/cm ² god	$r_{\text{stu}}/(r_{\text{jez}}^2 \cdot \pi)$
Brzina sekvestracije ugljika u sedimentu	r_{sek}	g/cm ² god	$r_{\text{sed}}/r_{\text{stu}} \cdot r_{\text{stup}}$

Dodatne korištene pretvorbe su (ORNL, 1990):

- 1 ppm CO₂ = 2,13 GtC
- 1 gC = 3,664 gCO₂
- 1 GtC = 1 PgC = 10¹⁵ g

6. Rezultati

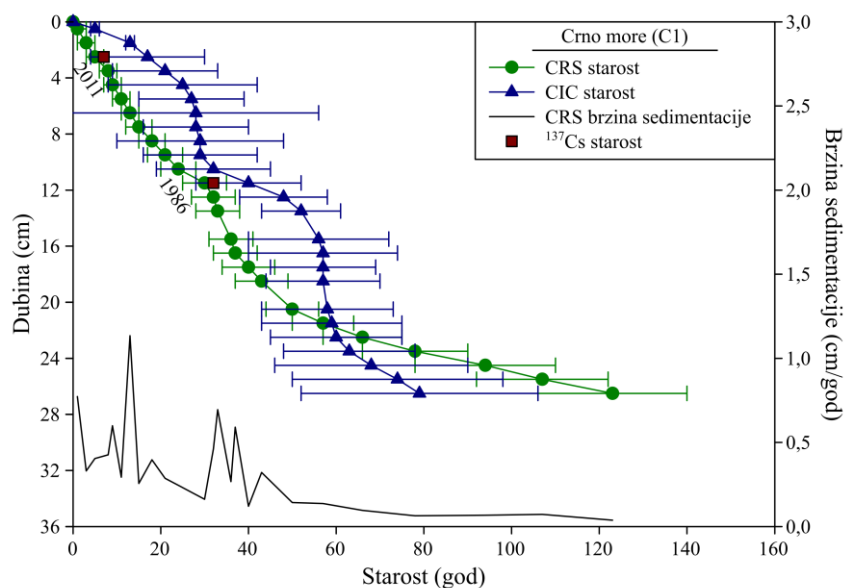
6.1. Crnomorska jezgra C1

6.1.1. Datiranje jezgre C1

Datiranje crnomorske jezgre C1 CRS modelom ukazuje na maksimalnu starost od 123 ± 17 god, dok se CIC modelom dobiva starost od 79 ± 27 god (slika 19). CRS model ukazuje na polaganu sedimentaciju u donjem dijelu jezgre te ubranu sedimentaciju u gornjem dijelu. Izračunata CRS sedimentacija na dnu jezgre, na dubini 26-27 cm (123 ± 17 god), iznosila je $0,038 \pm 0,035$ cm/god ($0,048 \pm 0,044$ g/cm²god). Brzina postepeno raste do intervala na dubini 20-21 cm (50 ± 6 god) gdje iznosi $0,143 \pm 0,064$ cm/god ($0,177 \pm 0,079$ g/cm²god), nakon kojeg naglo raste. Sljedeći datirani interval, 18-19 cm (43 ± 6 god), ukazuje na brzinu sedimentacije od $0,321 \pm 0,120$ cm/god ($0,397 \pm 0,149$ g/cm²god). Brzina nastavlja rasti i u recentnom intervalu, 0-1 cm (1 ± 2 god), iznosi $0,773 \pm 0,327$ cm/god ($0,728 \pm 0,308$ g/cm²god).

CIC model ne pokazuje nikakvu pravilnost i naizgled nije primjenjiv na sedimentaciju na ovoj lokaciji. Sedimentacija na dnu jezgre, 26-27 cm (79 ± 27 god), iznosi $0,103 \pm 0,069$ cm/god ($0,130 \pm 0,087$ g/cm²god). Prema površini ima dva ciklusa promjena setova intervala s brzinom sedimentacije <1 cm/god i onima >1 cm/god. Maksimalnu brzinu (s jednakom greškom) od $1,479 \pm 1,479$ cm/god ($1,810 \pm 1,810$ g/cm²god) postiže u intervalu 17-18 cm (57 ± 12 god). Na površini jezgre, u intervalu 0-1 cm (5 ± 1 god), brzina sedimentacije iznosi $0,111 \pm 0,106$ cm/god ($0,105 \pm 0,100$ g/cm²god).

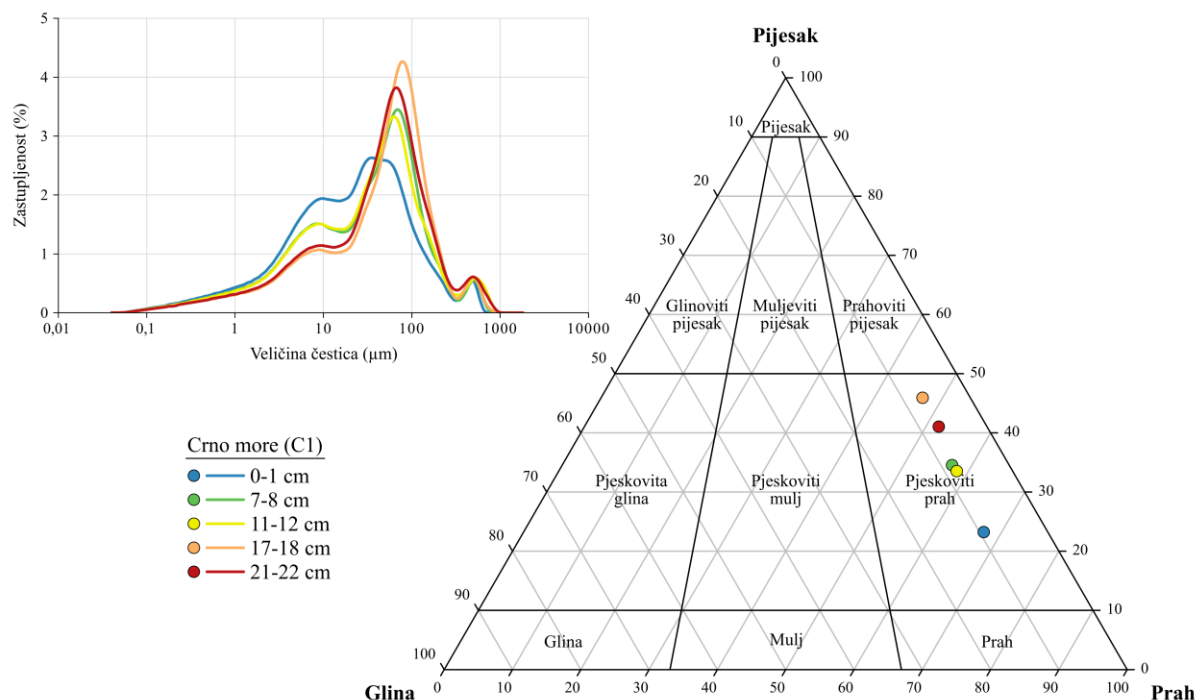
U jezgri se pojavljuju dva maksimuma aktivnosti ¹³⁷Cs. Dublji se nalazi u intervalu 11-12 cm i odgovara starosti od 32 godine, tj. Černobilskoj katastrofi 1986. godine. Plići maksimum se nalazi na dubini od 2-3 cm sa starošću od 7 godina, koja ukazuje na nesreću u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi 2011. godine. Maksimumi aktivnosti cezija se izvrsno podudaraju s rezultatima datiranja CRS modelom (slika 19).



Slika 19. Rezultati datiranja jezgre C1 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.1.2. Analiza veličine čestica jezgre C1

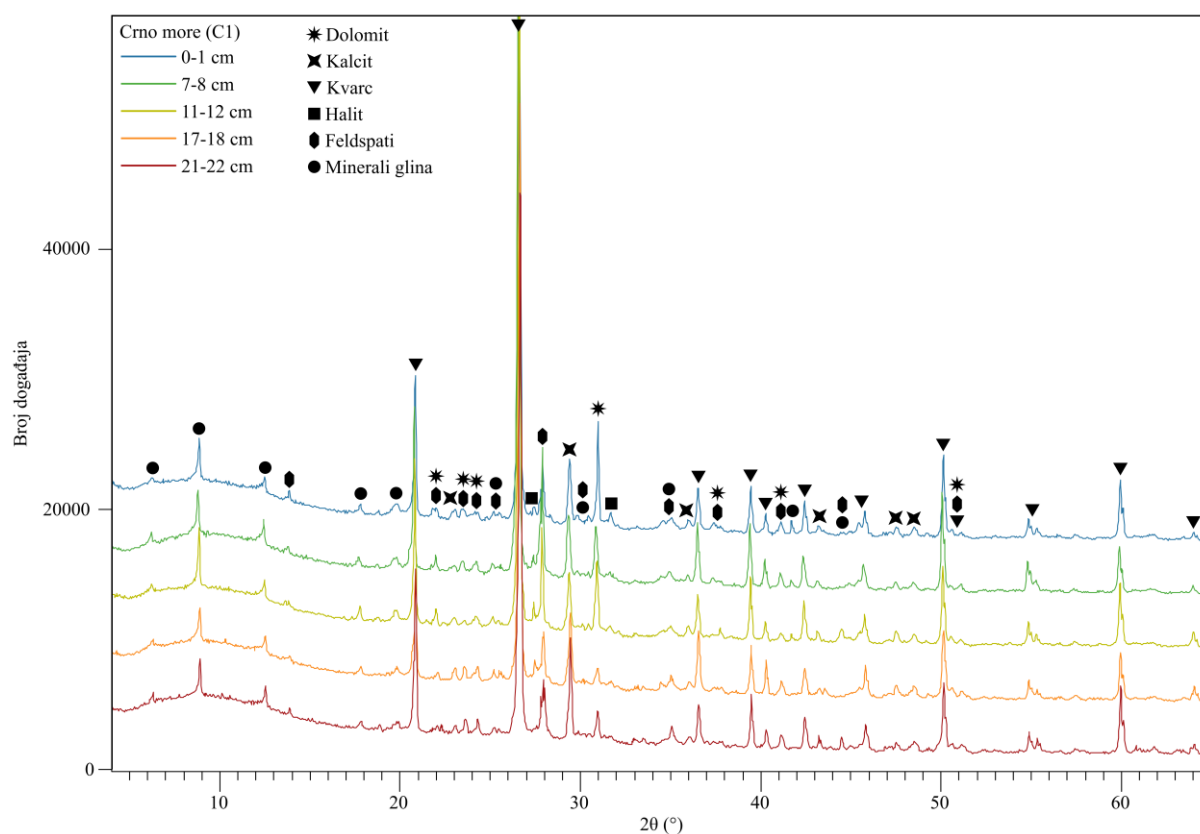
Jezgra C1 se u svih pet mjerenih intervala sastoji od većinom sitnozrnatih čestica (slika 20). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980), svi intervali su klasificirani kao pjeskoviti prah. Količina gline se polagano povećava od najdubljeg intervala prema površini i iznosi: 7,1 % u 21-22 cm, 7,0 % u 17-18 cm, 8,2 % u 11-12 cm, 8,4 % u 7-8 cm i 9,4 % u 0-1 cm. Zastupljenost praha se prvotno smanjuje, a zatim se naglo povećava i iznosi: 51,9 % u 21-22 cm, 47,1 % u 17-18 cm, 58,3 % u 11-12 cm, 57,1 % u 7-8 cm i 67,4 % u 0-1 cm. Količina pijeska prvotno ima mali porast, ali zatim se drastično smanjuje i iznosi: 41,0 % u 21-22 cm, 45,9 % u 17-18 cm, 33,5 % u 11-12 cm, 34,5 % u 7-8 cm i 23,2 % u 0-1 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 82,95 μm za 21-22 cm, 81,87 μm u 17-18 cm, 73,58 μm u 11-12 cm, 66,77 μm u 7-8 cm i 52,81 μm u 0-1 cm.



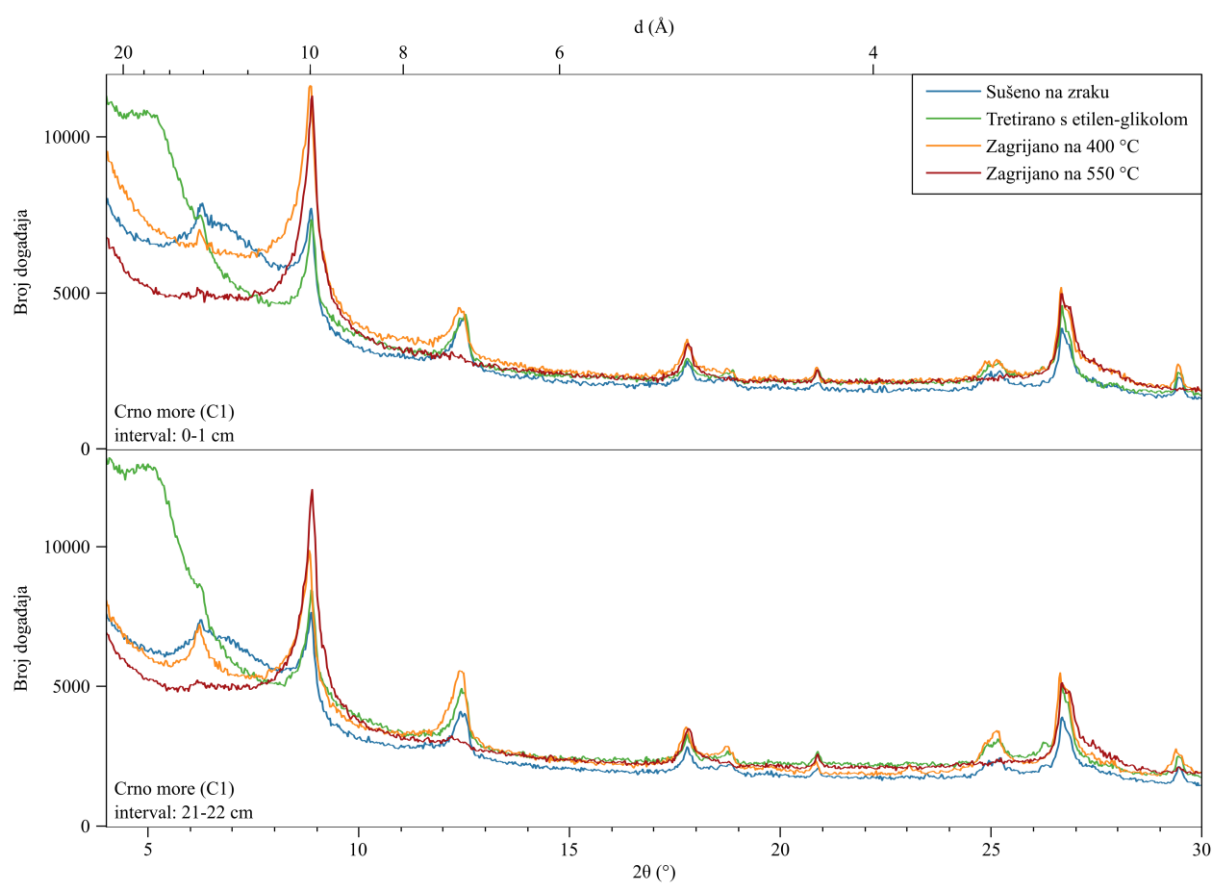
Slika 20. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre C1.

6.1.3. Analiza mineralnog sastava jezgre C1

XRPD analiza pokazuje da su glavne mineralne faze: kvarc, kalcit, dolomit, feldspati i minerali glina (slika 21). Halit je također prisutan u uzorcima zbog njegove precipitacije iz morske vode tijekom liofilizacije. Kvarc izrazito dominira, a slijede ga karbonati i minerali glina. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Nema razlike u mineralima glina između najplićeg (0-1 cm) i najdubljeg (21-22 cm) intervala, a prisutni su obliku montmorilonita, ilita i kaolinita (slika 22).



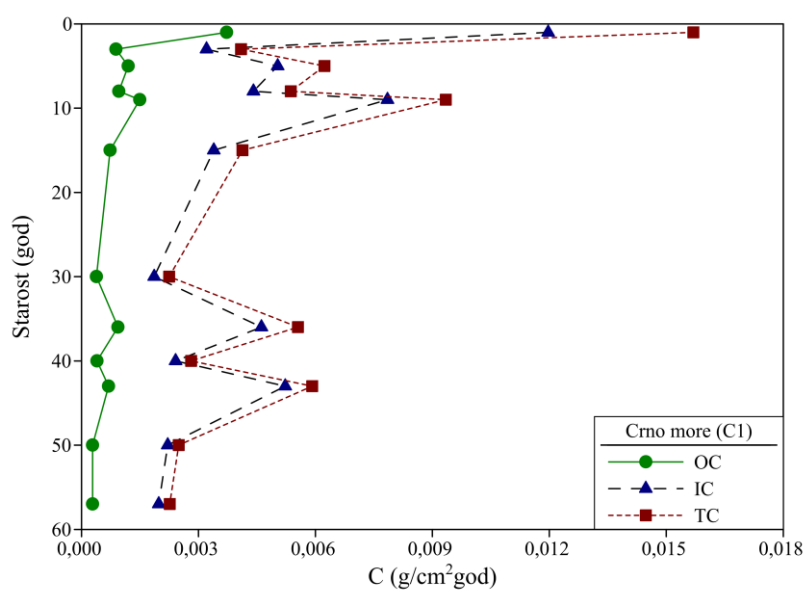
Slika 21. XRPD difraktogrami jezgre C1.



Slika 22. XRD difraktogrami minerala glina jezgre C1. Interpretirano prateći sliku 18.

6.1.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre C1

Kroz jezgru C1, koncentracije OC su u rasponu od 0,24 do 0,51 %, IC od 1,64 do 1,96 %, a TC od 2,12 do 2,34 %. Postotak preračunat u količinu taloženja ugljika po godini, koristeći CRS model, daje raspon OC od 0,022 do 0,292 g/god, IC od 0,146 do 0,940 g/god, a TC od 0,176 do 1,233 g/god. Preračunavanjem po površini sedimentne jezgre, dobije se raspon OC od $0,028 \cdot 10^{-2}$ do $0,372 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,186 \cdot 10^{-2}$ do $1,197 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,225 \cdot 10^{-2}$ do $1,569 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 23).



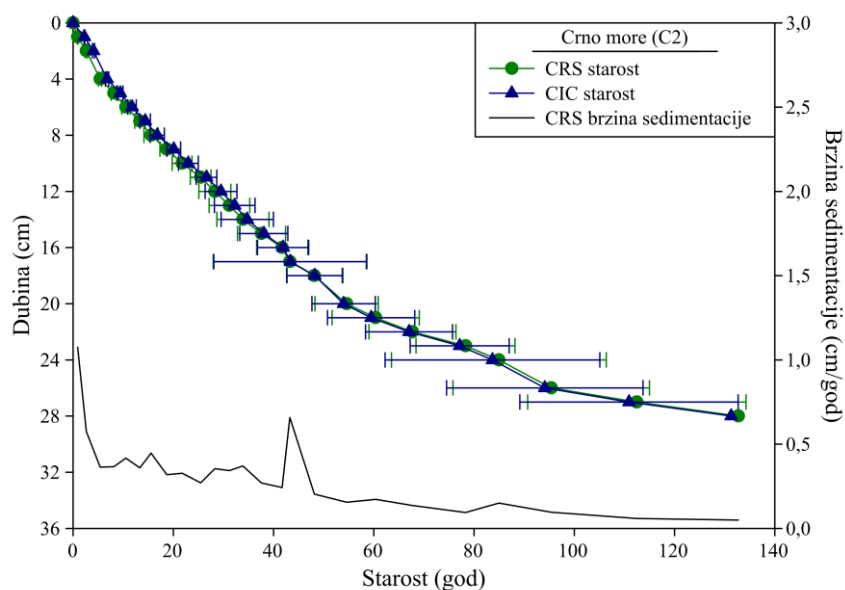
Slika 23. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri C1.

6.2. Crnomorska jezgra C2

6.2.1. Datiranje jezgre C2

CRS i CIC modeli imaju izrazito dobro podudaranje za jezgru C2 (slika 24). Maksimalna starost za CRS model je 133 godina, a za CIC 131 godine. Oba modela ukazuju na sporiju sedimentaciju u dubljim intervalima jezgre i ubrzanu u plićim. Prema CRS modelu, brzina sedimentacije na dnu jezgre, u intervalu 27-28 cm (133 god), iznosi $0,049 \text{ cm/god}$ ($0,039 \pm 0,011 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Brzina sedimentacije polagano raste do intervala na dubini 19-20 cm ($55 \pm 6 \text{ god}$), gdje iznosi $0,156 \pm 0,018 \text{ cm/god}$ ($0,130 \pm 0,015 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Prema površini, sedimentacija ubrzava te ima izdvojeno povećanje na dubini od 16-17 cm ($43 \pm 15 \text{ god}$) s iznosom od $0,658 \pm 0,232 \text{ cm/god}$ ($0,586 \pm 0,207 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Površinska dva intervala pokazuju dodatno ubrzanje sedimentacije i u intervalu 0-1 cm ($1 \pm 0 \text{ god}$) ona iznosi $1,075 \pm 0,067 \text{ cm/god}$ ($0,831 \pm 0,052 \text{ g/cm}^2\text{god}$).

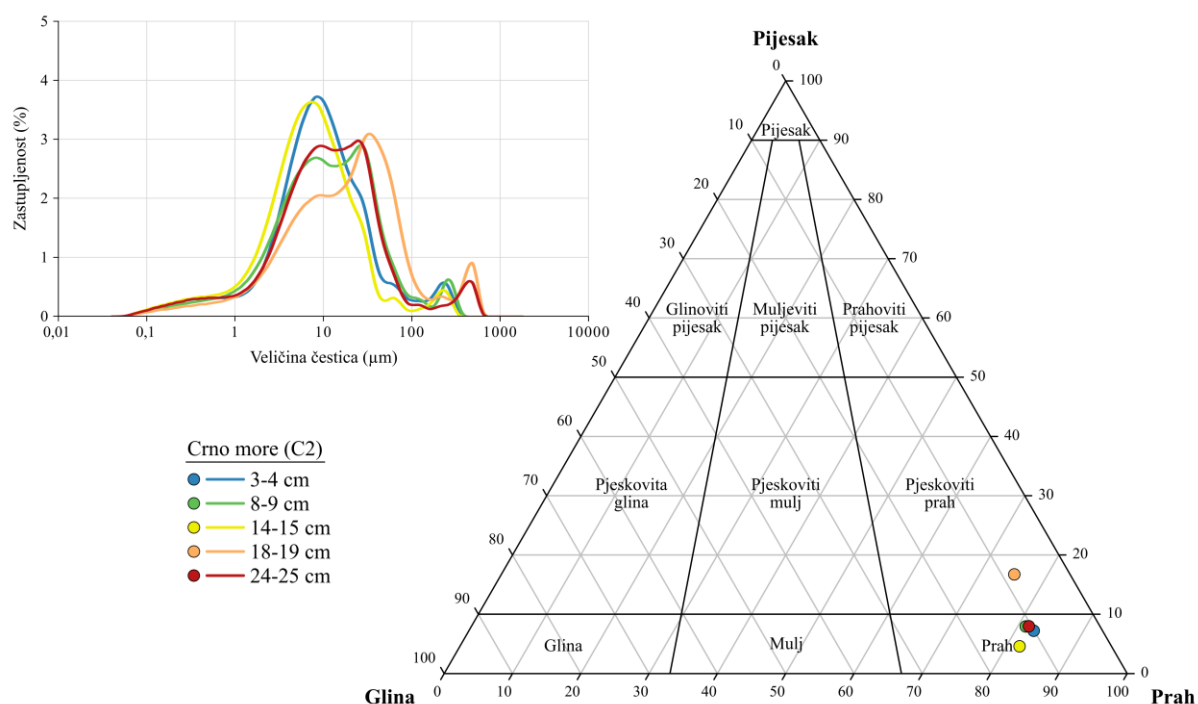
Prema CIC modelu, u intervalu 27-28 cm (131 god) na dnu jezgre brzina sedimentacije iznosi $0,008 \text{ cm/god}$ ($0,006 \pm 0,002 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Prateći polagan porast, na dubini od 19-20 cm ($54 \pm 6 \text{ god}$) brzina sedimentacije iznosi $0,019 \pm 0,002 \text{ cm/god}$ ($0,015 \pm 0,002 \text{ g/cm}^2\text{god}$). CIC model ne pokazuje povišenje na dubini od 16-17 cm ($43 \pm 15 \text{ god}$) te je brzina sedimentacije $0,023 \pm 0,008 \text{ cm/god}$ ($0,021 \pm 0,007 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Sukladno CRS modelu, površinski intervali pokazuju dodatno ubrzanje, pa je u intervalu 0-1 cm ($2 \pm 0 \text{ god}$) brzina sedimentacije $0,441 \pm 0,027 \text{ cm/god}$ ($0,341 \pm 0,021 \text{ g/cm}^2\text{god}$).



Slika 24. Rezultati datiranja jezgre C2 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.2.2. Analiza veličine čestica jezgre C2

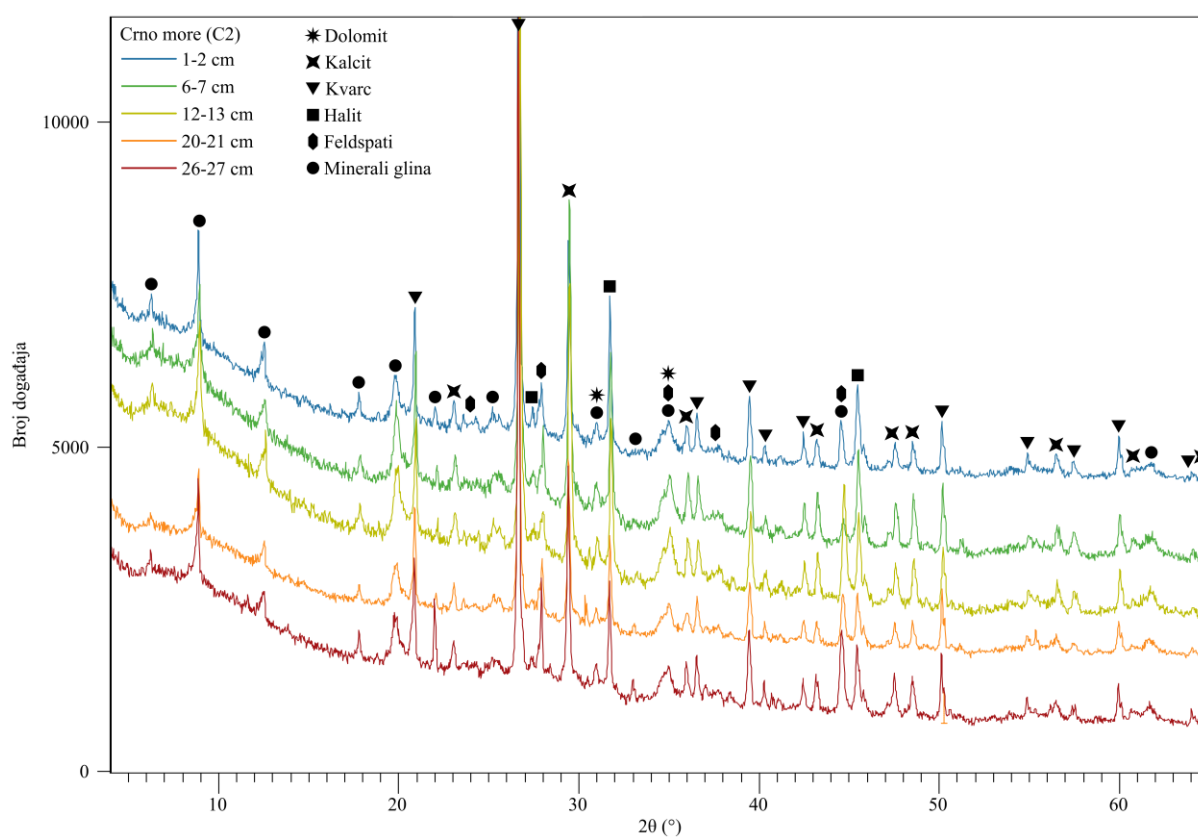
Jezgra C2 se u svih pet mjerenih intervala većinom sastoji od sitnozrnatih čestica (slika 25). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980), svi intervali su klasificirani kao prah, osim intervala 18-19 cm koji je klasificiran kao pjeskoviti prah. Od najdubljeg intervala prema površini, postotak gline se u početku smanjuje, zatim se znatno povećava i na kraju ima povratak na otprilike početne vrijednosti i iznosi: 10,42 % u 24-25 cm, 8,17 % u 18-19 cm, 13,49 % u 14-15 cm, 10,89 % u 8-9 cm i 10,09 % u 3-4 cm. Količina praha prati otprilike isti trend, osim što se lagano povećava nakon prvotnog smanjenja, i iznosi: 81,79 % za 24-25 cm, 75,27 % za 18-19 cm, 82,12 % za 14-15 cm, 81,36 % za 8-9 cm i 82,87 % za 3-4 cm. Postotak pijeska u početku ima veći porast, pa veliki pad i zatim povratak na otprilike početne udjele i iznosi: 7,79 % za 24-25 cm, 16,56 % za 18-19 cm, 4,39 % za 14-15 cm, 7,75 % za 8-9 cm i 7,04 % za 3-4 cm. Prosječna veličina čestica je: 35,62 μm za 24-25 cm, 52,56 μm za 18-19 cm, 17,63 μm za 14-15 cm, 27,27 μm za 8-9 cm i 23,51 μm za 3-4 cm.



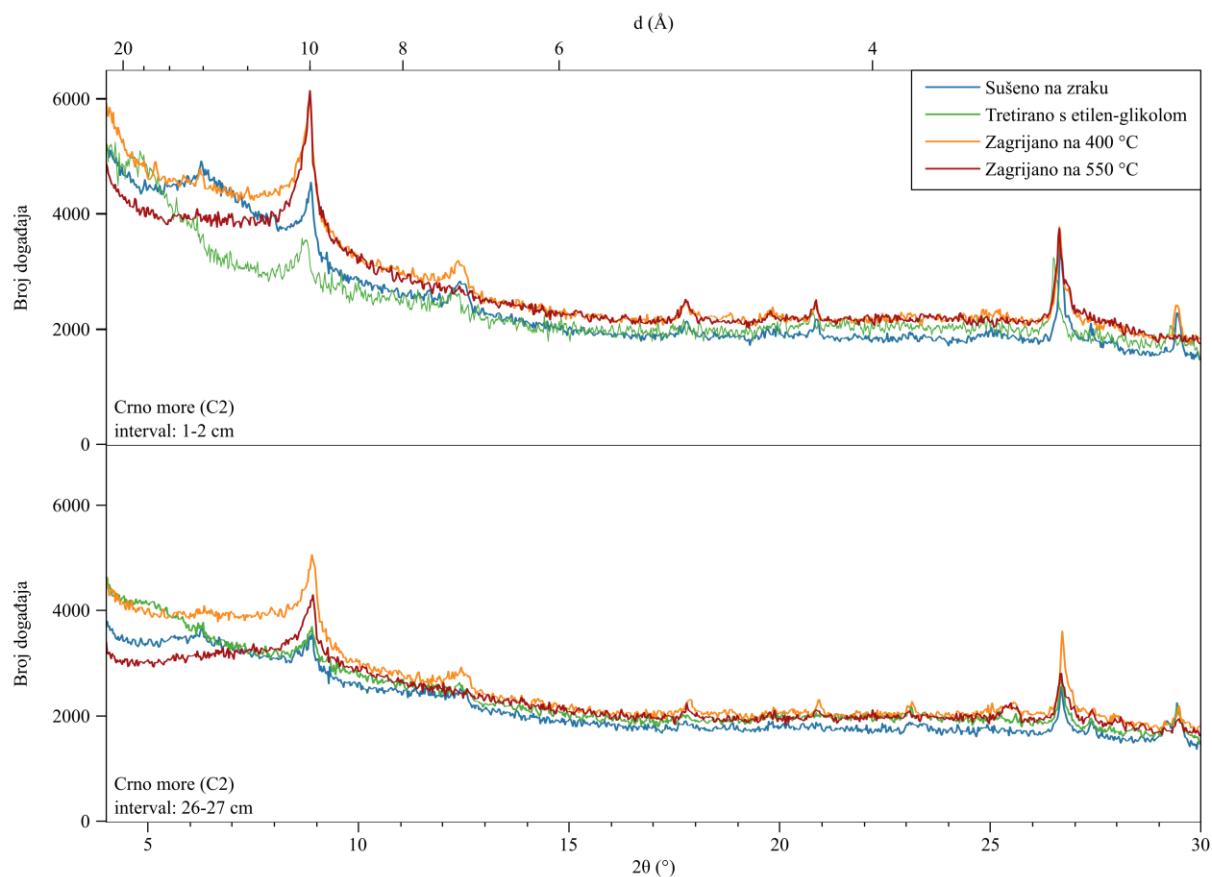
Slika 25. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre C2.

6.2.3. Analiza mineralnog sastava jezgre C2

XRPD analiza daje slične rezultate kao jezgra C1, odnosno pokazuje da su glavne mineralne faze: kvarc, kalcit, dolomit, feldspati i minerali glina (slika 26). Halit je također prisutan u uzorcima zbog njegove precipitacije iz morske vode tijekom liofilizacije. Kvarc izrazito dominira, a slijede ga karbonati i minerali glina. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Minerali glina ne pokazuju promjenu u prisutnim fazama između najplićeg (1-2 cm) i najdubljeg (26-27 cm) mjenog intervala. Prisutni su montmorilonit, ilit i kaolinit (slika 27).



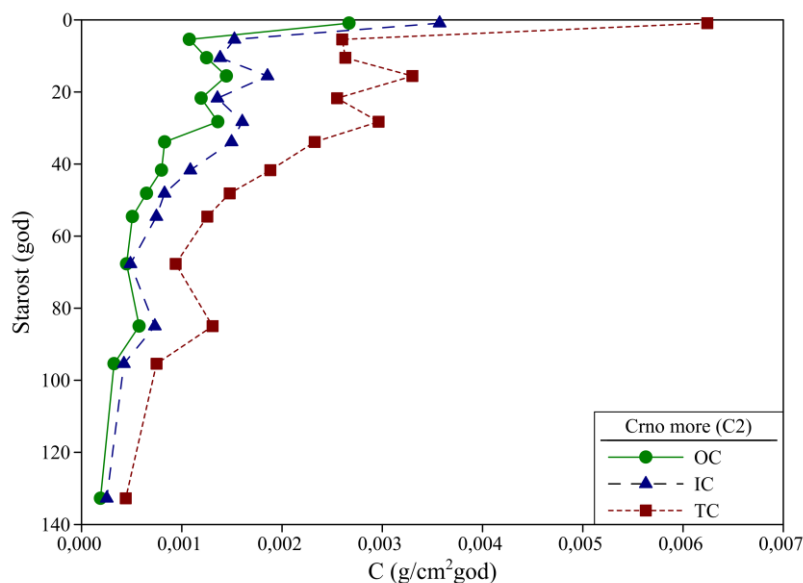
Slika 26. XRPD difraktogrami jezgre C2.



Slika 27. XRD difraktogrami minerala glina jezgre C2. Interpretirano prateći sliku 18.

6.2.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre C2

Jezgra C2 ima veću zastupljenost OC u odnosu na jezgru C1, u rasponu od 1,51 do 2,23 %. IC se nalazi u rasponu od 1,94 do 2,95 %, a TC od 3,45 do 5,03 %. Prema CRS modelu taloženje ugljika po godini daje raspon OC od 0,009 do 0,134 g/god, IC od 0,017 do 0,180 g/god, a TC od 0,022 do 0,314 g/god. Preračunavanjem po površini sedimentne jezgre, raspon OC je od $0,019 \cdot 10^{-2}$ do $0,267 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,025 \cdot 10^{-2}$ do $0,357 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,044 \cdot 10^{-2}$ do $0,624 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 28).



Slika 28. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri C2.

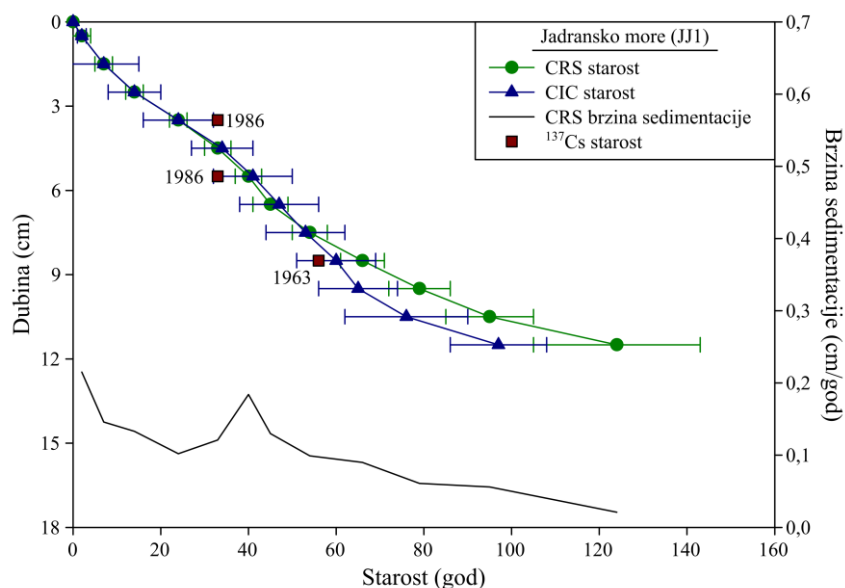
6.3. Južnojadranska jezgra JJ1

6.3.1. Datiranje jezgre JJ1

Za jezgru JJ1, CRS i CIC modeli se izrazito podudaraju za plići dio jezgre, dok dolazi do razdvajanja u najdublja četiri intervala (slika 29). Maksimalna starost prema CRS modelu je 124 ± 19 godina, a prema CIC modelu 97 ± 11 godina. CRS model ukazuje na postepeno ubrzavanje brzine sedimentacije. Najdublji interval, 11-12 cm (124 ± 19 god), ima brzinu sedimentacije od $0,021 \pm 0,013$ cm/god ($0,012 \pm 0,007$ g/cm²god). Dalje slijedi postepeno ubrzavanje, uz dodatni interval velike brzine na dubini od 5-6 cm (40 ± 3 god), gdje brzina iznosi $0,184 \pm 0,042$ cm/god ($0,061 \pm 0,014$ g/cm²god). U površinskom intervalu 0-1 cm (2 ± 2 god) brzina sedimentacije iznosi $0,215 \pm 0,036$ cm/god ($0,052 \pm 0,009$ g/cm²god).

CIC model pokazuje manje ubrzanje sedimentacije. Na dnu jezgre, na 11-12 cm dubine (97 ± 11 god), brzina iznosi $0,062 \pm 0,027$ cm/god ($0,034 \pm 0,015$ g/cm²god). U CIC modelu se također pojavljuje interval veće brzine sedimentacije, ali na većoj dubini od 7-8 cm (53 ± 9 god) gdje iznosi $0,189 \pm 0,097$ cm/god ($0,098 \pm 0,050$ g/cm²god). Interval 0-1 cm (2 ± 1 god) ima brzinu sedimentacije od $0,207 \pm 0,044$ cm/god ($0,050 \pm 0,011$ g/cm²god).

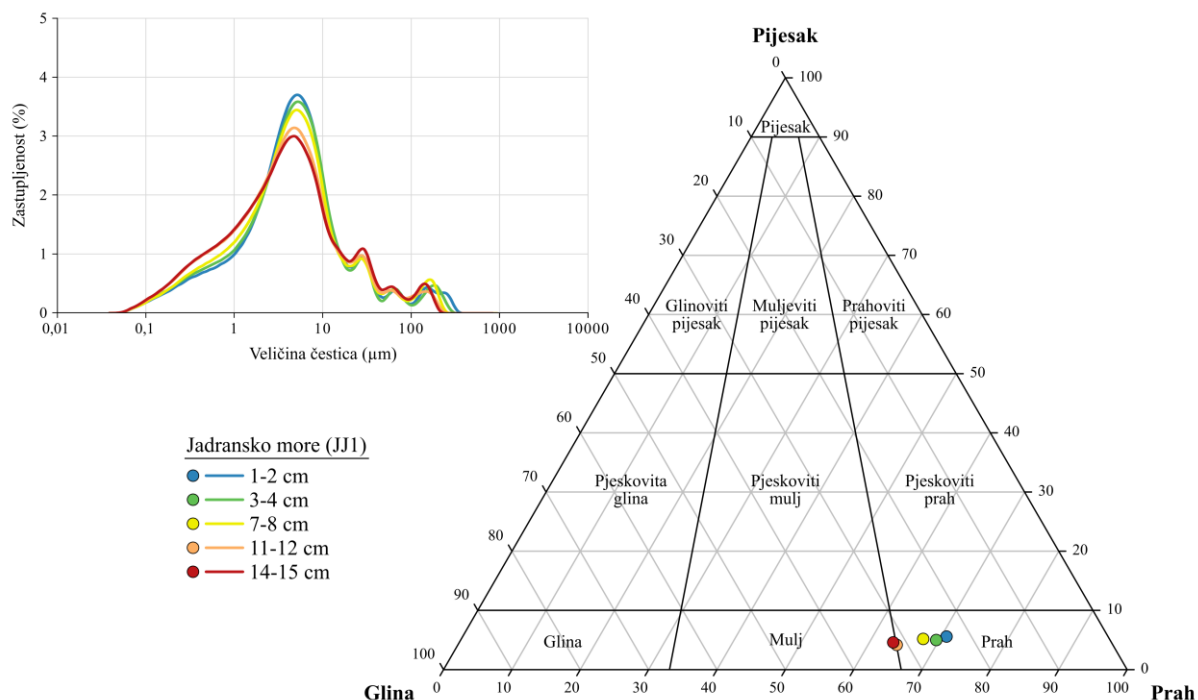
Dublji maksimum aktivnosti ^{137}Cs se nalazi na dubini od 8-9 cm i odgovara starosti od 56 godina, odnosno 1963. godini kada je bio maksimum testiranja nuklearnih oružja. Dodatna povećana koncentracija ^{137}Cs javlja se u dva intervala, 5-6 cm i 3-4 cm. Ti maksimumi odgovaraju starosti od 33 godina, tj. Černobilskoj katastrofi 1986. godine (slika 29).



Slika 29. Rezultati datiranja jezgre JJ1 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.3.2. Analiza veličine čestica jezgre JJ1

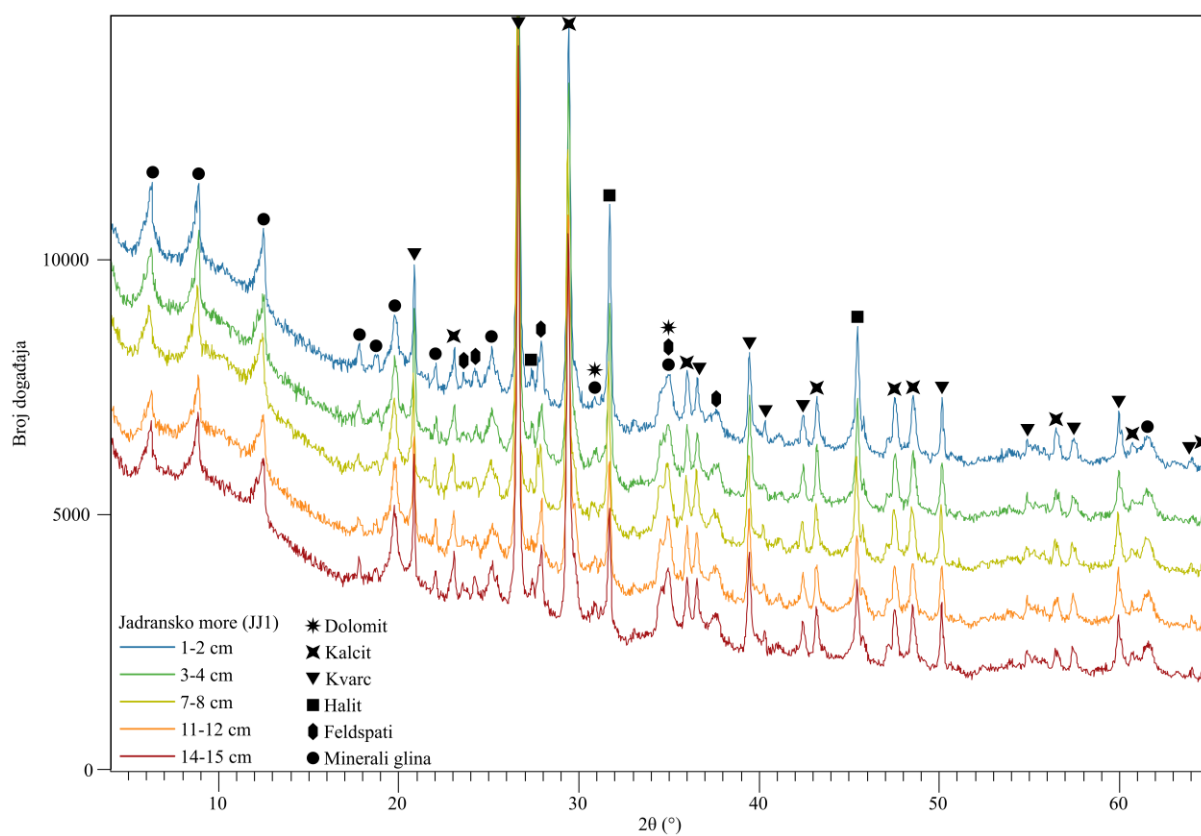
Jezgra JJ1 u svih pet mjerenih intervala ima veliku zastupljenost sitnozrnatih čestica i vrlo malo pijeska (slika 30). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980), dublja dva intervala se nalaze na granici između praha i mulja, dok su plića tri direktno klasificirana kao prah. Količina gline se polagano smanjuje od najdubljeg intervala prema površini i iznosi: 31,8 % u 14-15 cm, 31,6 % u 11-12 cm, 27,2 % u 7-8 cm, 25,4 % u 3-4 cm i 23,6 % u 1-2 cm. Zastupljenost praha ima porast kroz cijelu jezgru i iznosi: 63,5 % u 14-15 cm, 64,2 % u 11-12 cm, 67,6 % u 7-8 cm, 69,6 % u 3-4 cm i 70,8 % u 1-2 cm. Količina pijeska ima vrlo mali porast i iznosi: 4,6 % u 14-15 cm, 4,2 % u 11-12 cm, 5,2 % u 7-8 cm, 5,0 % u 3-4 cm i 5,6 % u 1-2 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 12,82 μm za 14-15 cm, 12,01 μm u 11-12 cm, 14,09 μm u 7-8 cm, 14,30 μm u 3-4 cm i 16,03 μm u 1-2 cm.



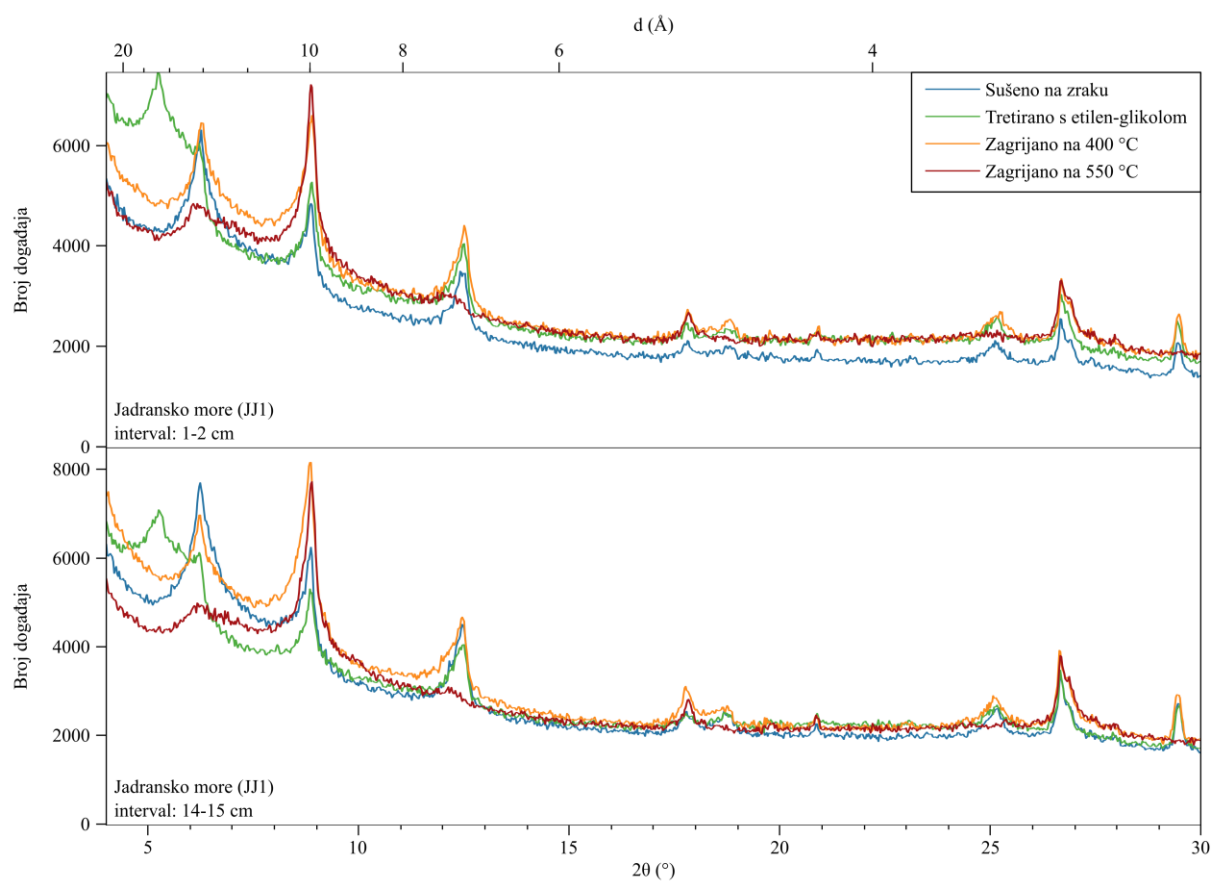
Slika 30. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre JJ1.

6.3.3. Analiza mineralnog sastava jezgre JJ1

XRPD analiza pokazuje da su glavne mineralne faze jednake kao i za Crno more, točnije: kvarc, kalcit, dolomit, feldspati i minerali glina (slika 31). Halit je također prisutan u uzorcima zbog njegove precipitacije iz morske vode tijekom liofilizacije. Kvarc je još uvijek dominantna faza, ali manje nego u crnomorskim uzorcima. Zastupljenost karbonata i minerala glina je veća u odnosu na jezgru C1. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Prisutni minerali glina su jednaki u najplićem (1-2 cm) i najdubljem (14-15 cm) mjerenom intervalu, a to su montmorilonit, ilit i kaolinit (slika 32).



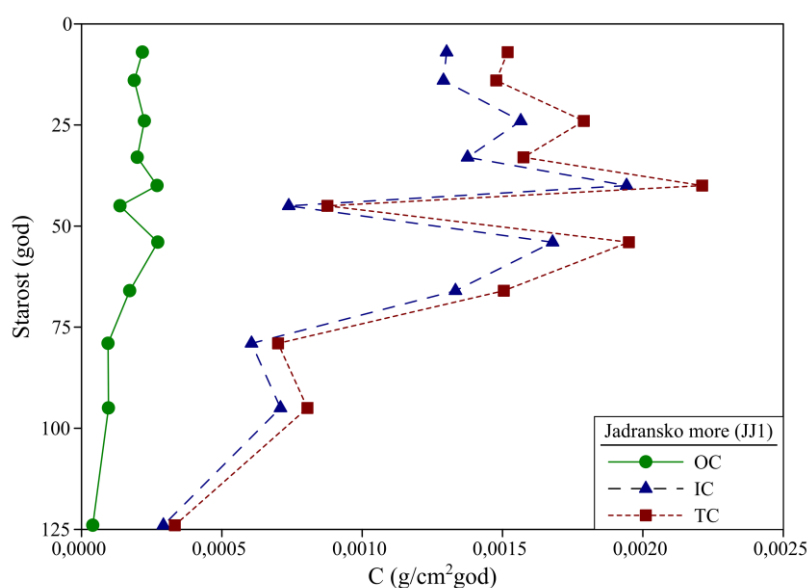
Slika 31. XRPD difraktogrami jezgre JJ1.



Slika 32. XRD difraktogrami minerala glina jezgre JJ1. Interpretirano prateći sliku 18.

6.3.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre JJ1

Jezgra JJ1 ima malo veću zastupljenost OC i veliku zastupljenost IC. OC se nalazi u rasponu od 0,32 do 0,43 %, IC od 2,31 do 2,97 %, a TC od 2,64 do 3,40 %. Prema CRS modelu taloženje ugljika po godini daje raspon OC od 0,002 do 0,016 g/god, IC od 0,017 do 0,113 g/god, a TC od 0,019 do 0,128 g/god. Preračunavanjem po površini sedimentne jezgre, raspon OC je od $0,004 \cdot 10^{-2}$ do $0,027 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,029 \cdot 10^{-2}$ do $0,194 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,033 \cdot 10^{-2}$ do $0,221 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 33).



Slika 33. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri JJ1.

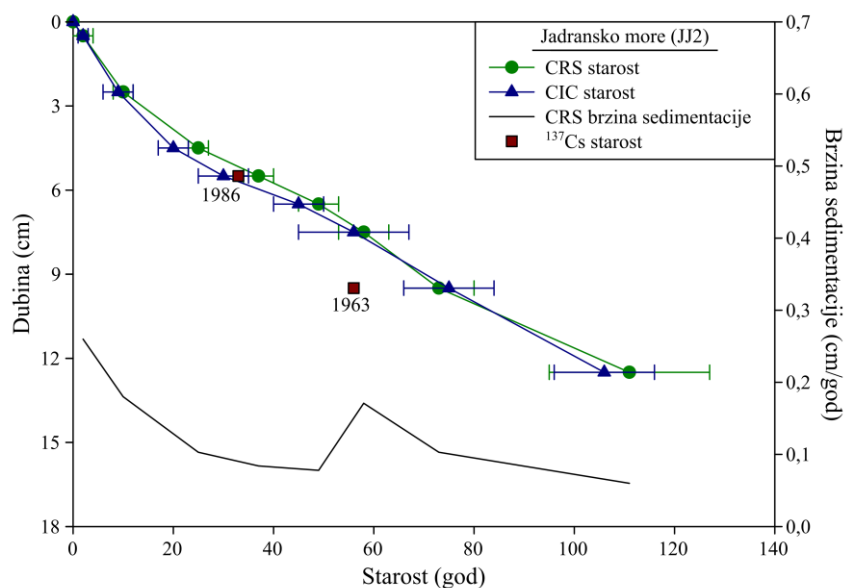
6.4. Južnojadranska jezgra JJ2

6.4.1. Datiranje jezgre JJ2

Kod jezgre JJ2, CRS i CIC modeli se podudaraju u površinskim i dubljim dijelovima jezgre, dok dolazi do malog razilaženja u srednjim dijelovima (slika 34). Oba modela pokazuju ubrzanje sedimentacije u površinskim intervalima. Maksimalna starost prema CRS modelu je 111 ± 16 godina, a prema CIC modelu 106 ± 10 godina. Prema CRS modelu, brzina sedimentacije na dnu jezgre, interval 12-12,5 cm (111 ± 16), iznosi $0,060 \pm 0,028$ cm/god ($0,042 \pm 0,019$ g/cm²god). Izdvojeno povišenje brzine sedimentacije nalazi se na dubini od 7-7,5 cm (58 ± 5 god) gdje iznosi $0,171 \pm 0,060$ cm/god ($0,108 \pm 0,038$ g/cm²god). Ubrzanje sedimentacije pojavljuje se u tri površinska sloja i pri površini, u intervalu 0-0,5 cm (2 ± 2 god), brzina sedimentacije iznosi $0,260 \pm 0,018$ cm/god ($0,076 \pm 0,005$ g/cm²god).

Prema CIC modelu, brzina sedimentacije u najdubljem intervalu na 12-12,5 cm dubine (106 ± 10 god) iznosi $0,100 \pm 0,031$ cm/god ($0,071 \pm 0,022$ g/cm²god). Brzina sedimentacije ostaje otprilike jednaka u najdubljim uzorcima, zatim se malo smanjuje u intervalima 6-6,5 (45 ± 5 god) i 5-5,5 cm (30 ± 5 god) i naposljetku raste do najveće brzine u površinskom intervalu, 0-0,5 cm (2 ± 1 god), od $0,277 \pm 0,060$ cm/god ($0,081 \pm 0,018$ g/cm²god).

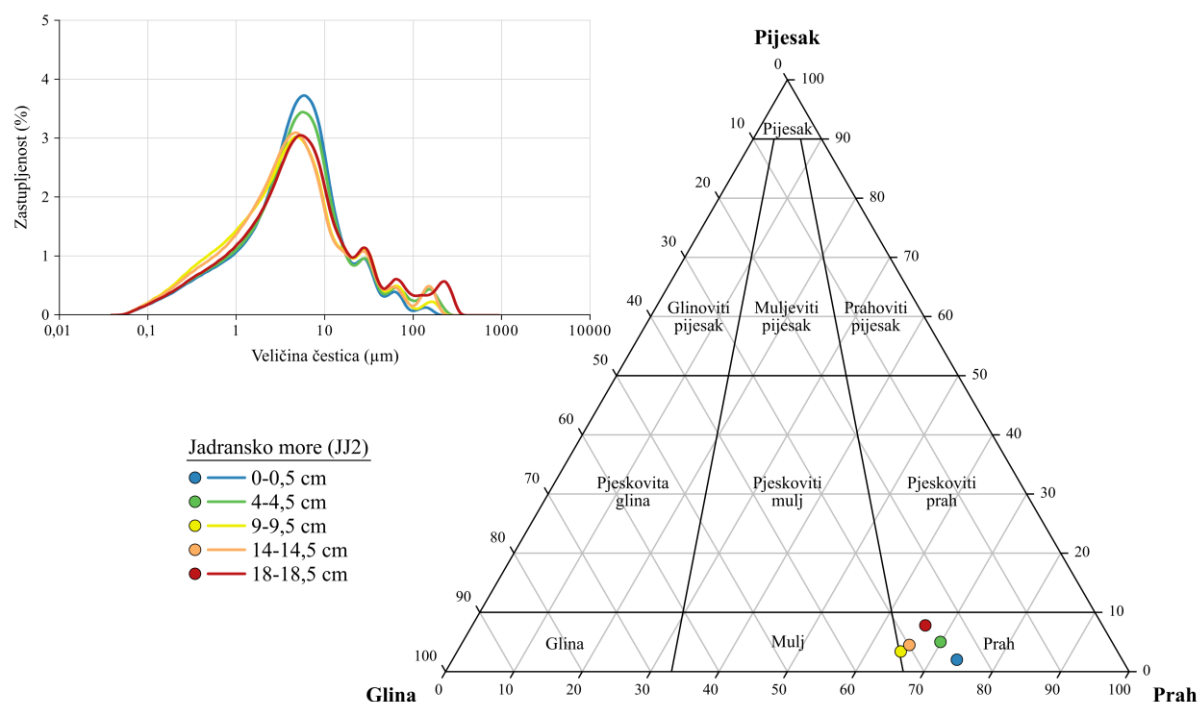
U jezgri JJ2 se javljaju dva maksimuma aktivnosti ¹³⁷Cs. Dublji se nalazi na dubini 9-9,5 cm i odgovara starosti od 56 godina, tj. maksimalnom testiranju nuklearnih oružja 1963. godine. Plići maksimum se nalazi na dubini od 5-5,5 cm te odgovara starosti od 33 godina, odnosno 1986. godini i Černobilskoj katastrofi (slika 34).



Slika 34. Rezultati datiranja jezgre JJ2 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.4.2. Analiza veličine čestica jezgre JJ2

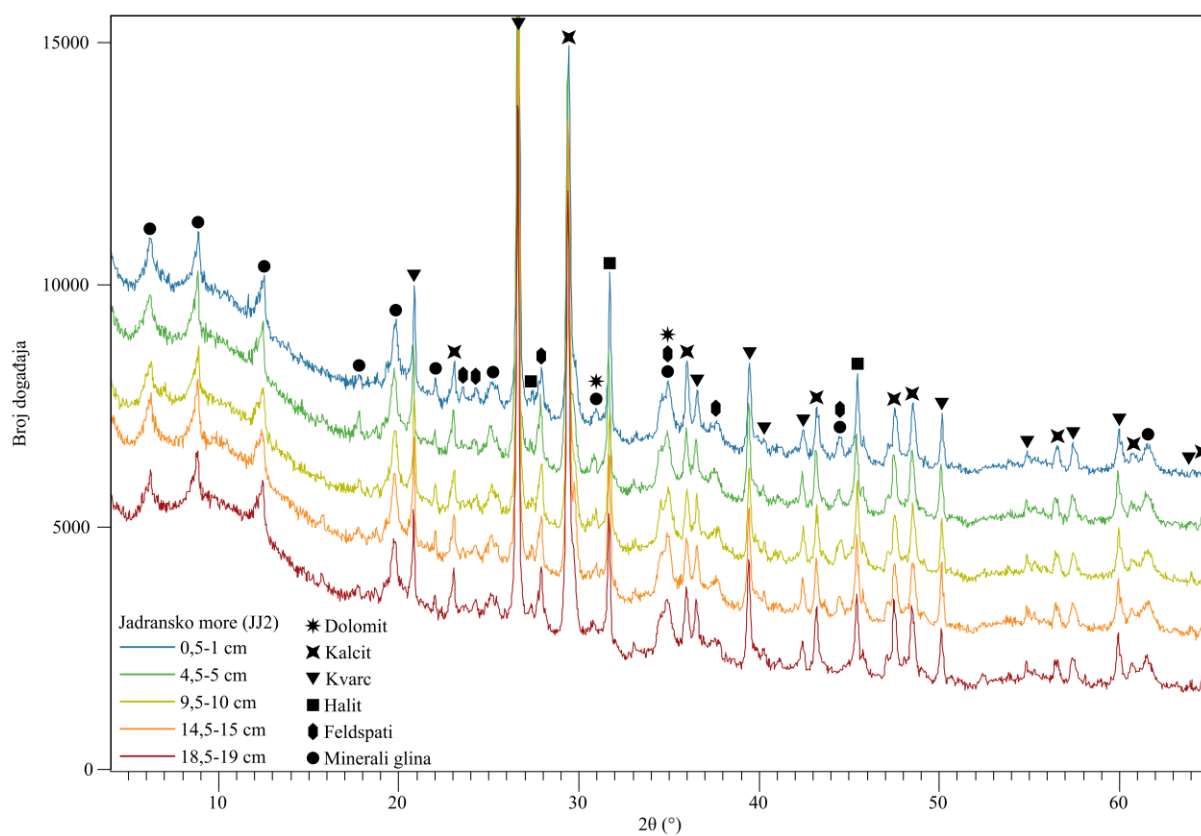
Slično jezgri JJ1, jezgra JJ2 u svih pet mjerenih intervala ima veliku zastupljenost sitnozrnatih čestica i vrlo malo pijeska (slika 35). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980), svi intervali su direktno klasificirani kao prah, osim intervala 9-9,5 cm koji se nalazi na granici između praha i mulja. Količina gline prema površini ima prvotni porast, a zatim pad i iznosi: 25,9 % u 18-18,5 cm, 29,9 % u 14-14,5 cm, 31,7 % u 9-9,5 cm, 25,1 % u 4-4,5 cm i 24,2 % u 0-0,5 cm. Zastupljenost praha ima prvotni pad, a zatim izraženiji porast i iznosi: 66,3 % u 18-18,5 cm, 65,6 % u 14-14,5 cm, 64,9 % u 9-9,5 cm, 69,9 % u 4-4,5 cm i 73,8 % u 0-0,5 cm. Količina pijeska se većinom smanjuje kroz jezgru i iznosi: 7,8 % u 18-18,5 cm, 4,5 % u 14-14,5 cm, 3,4 % u 9-9,5 cm, 5,0 % u 4-4,5 cm i 2,0 % u 0-0,5 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 20,01 μm za 18-18,5 cm, 12,97 μm u 14-14,5 cm, 11,13 μm u 9-9,5 cm, 13,84 μm u 4-4,5 cm i 9,59 μm u 0-0,5 cm.



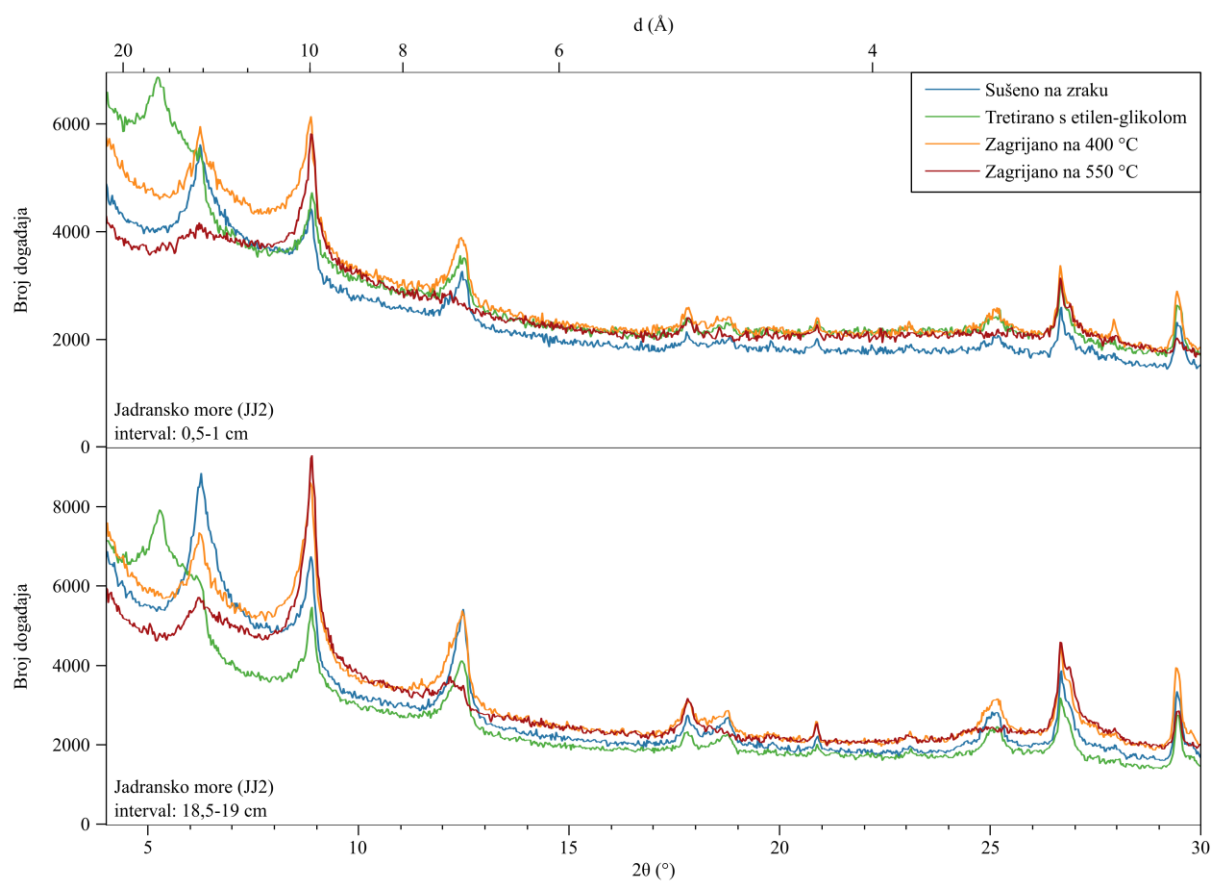
Slika 35. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre JJ2.

6.4.3. Analiza mineralnog sastava jezgre JJ2

Difraktogrami uzoraka jezgre JJ2 su slični onima jezgre JJ1. Glavne mineralne faze su: kvarc, kalcit, dolomit, feldspati i minerali glina (slika 36). Halit je također prisutan u uzorcima zbog njegove precipitacije iz morske vode tijekom liofilizacije. Kvarc je još uvijek dominantna faza uz povećanu zastupljenost karbonata i minerala glina koja je povećana u odnosu na sediment Crnog mora. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Prisutni minerali glina su jednako kao i u jezgri JJ1, točnije montmorilonit, ilit i kaolinit. Nema vidljive promjene u prisutnim mineralima između najplićeg (0,5-1 cm) i najdubljeg (18,5-19 cm) mjerenog intervala (slika 37).



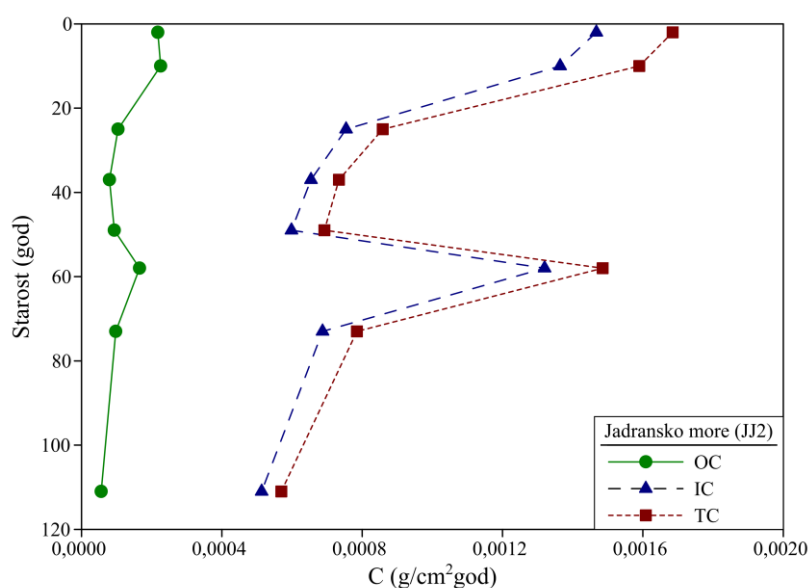
Slika 36. XRPD difraktogrami jezgre JJ2.



Slika 37. XRD difraktogrami minerala glina jezgre JJ2. Interpretirano prateći sliku 18.

6.4.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre JJ2

Jezgra JJ2 ima slične zastupljenosti OC i IC kao jezgra JJ1. OC se nalazi u rasponu od 0,31 do 0,45 %, IC od 2,72 do 2,95 %, a TC od 3,14 do 3,31 %. Taloženje ugljika po godini koristeći CRS model daje raspon OC od 0,003 do 0,013 g/god, IC od 0,030 do 0,085 g/god, a TC od 0,033 do 0,098 g/god. Za godišnje taloženje po površini jezgre, OC ima raspon od $0,006 \cdot 10^{-2}$ do $0,023 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,051 \cdot 10^{-2}$ do $0,147 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,057 \cdot 10^{-2}$ do $0,169 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 38).



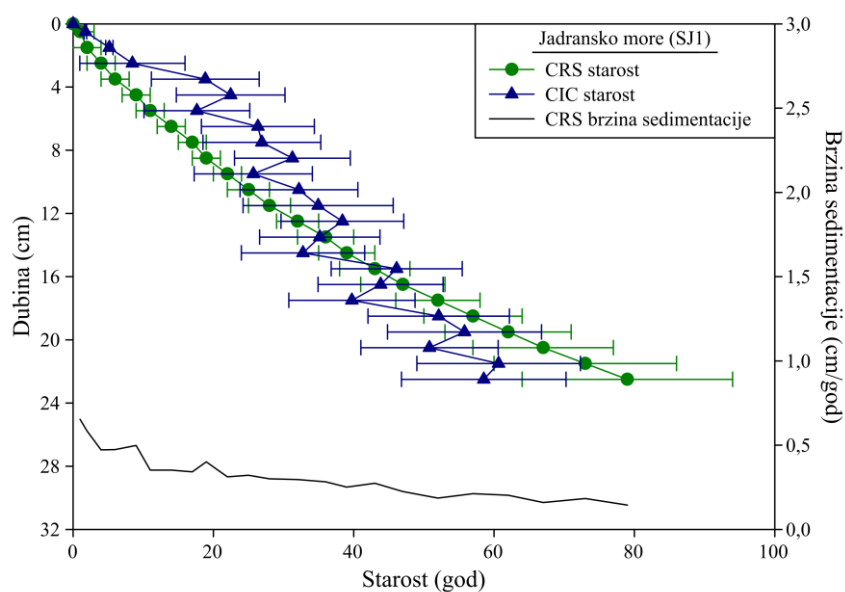
Slika 38. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri JJ2.

6.5. Srednjojadranska jezgra SJ1

6.5.1. Datiranje jezgre SJ1

Datiranje jezgre SJ1 CRS modelom daje krivulju s polaganim oštrijim usponom prema površini jezgre (slika 39). Maksimalna starost prema CRS modelu je 79 ± 15 godina. Brzina sedimentacije u najdubljem intervalu jezgre, 22-23 cm (79 ± 15 god), iznosi $0,144 \pm 0,082$ cm/god ($0,101 \pm 0,057$ g/cm²god). Brzina polagano raste kroz cijelu jezgru do intervala 5-6 cm (11 ± 2 god), gdje ima brzinu od $0,352 \pm 0,064$ cm/god ($0,238 \pm 0,043$ g/cm²god). Iznad se brzina sedimentacije naglije povećava i u površinskom intervalu, 0-1 cm (1 ± 2 god), ima konačnu brzinu od $0,653 \pm 0,116$ cm/god ($0,227 \pm 0,040$ g/cm²god).

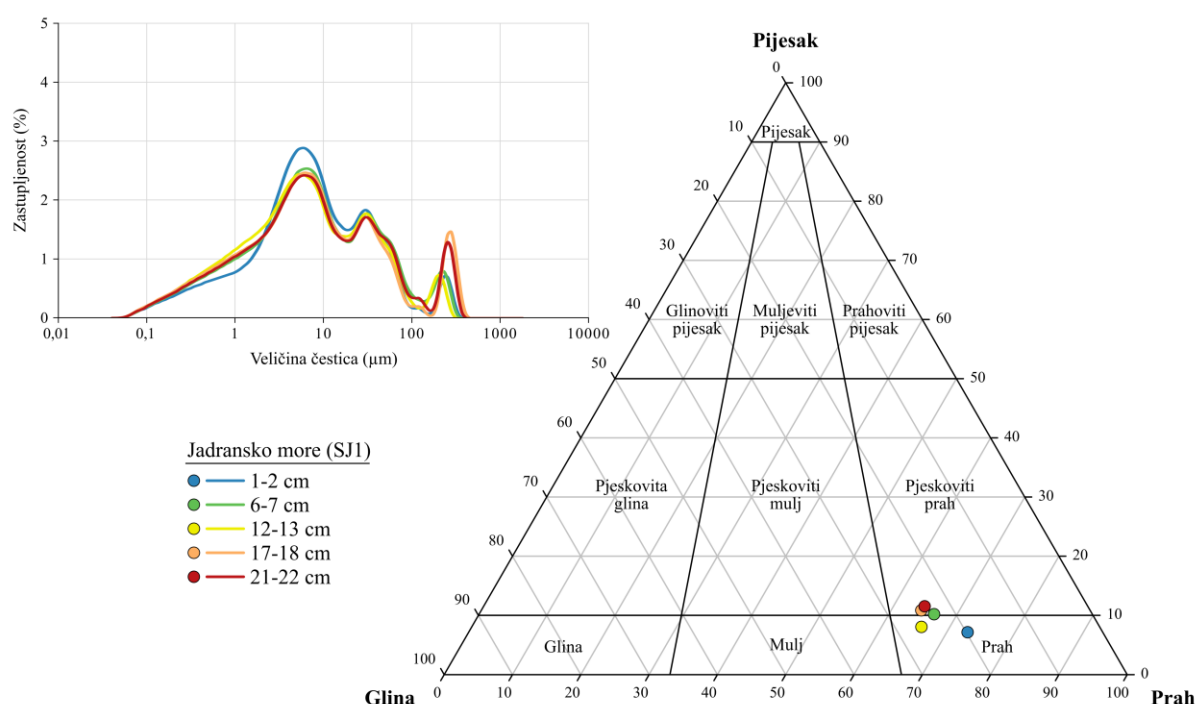
CIC model daje kaotičnije rezultati, stoga vjerojatno nisu zadovoljene njegove pretpostavke i time on nije iskoristiv za ovu lokaciju.



Slika 39. Rezultati datiranja jezgre SJ1 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.5.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ1

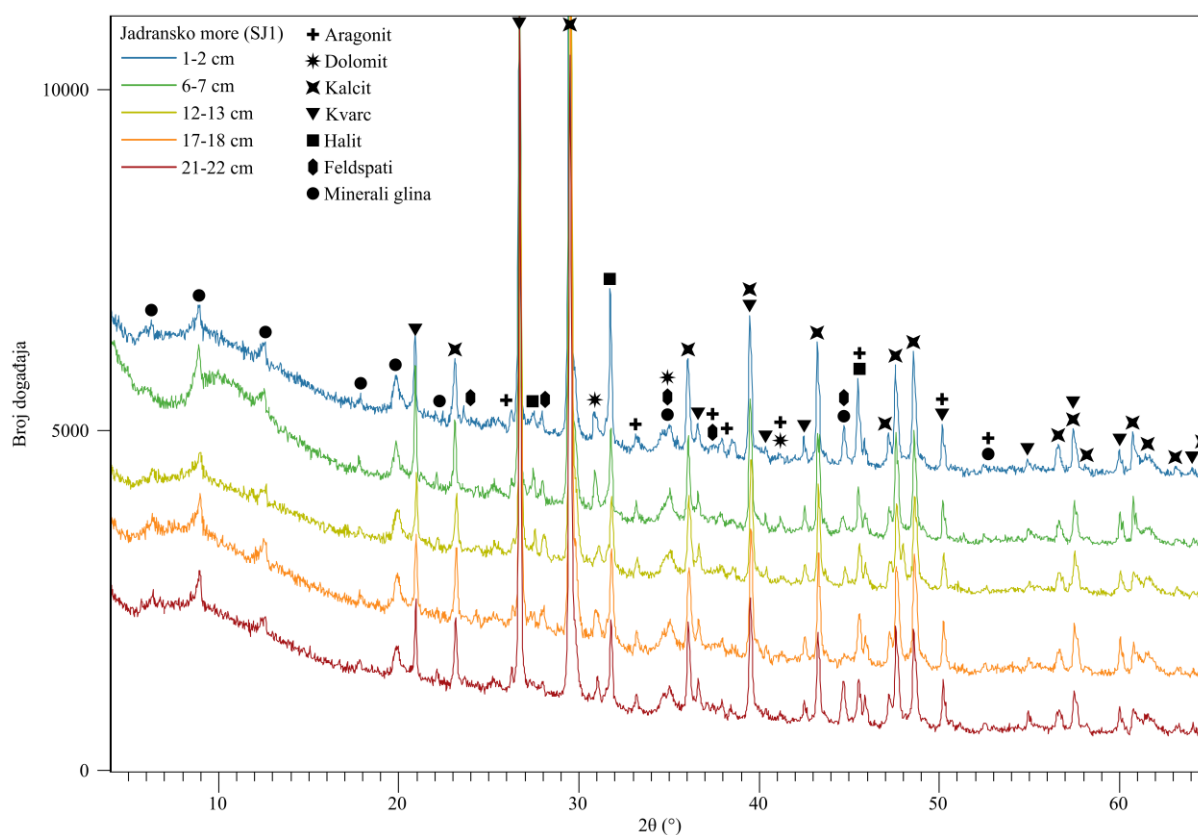
Analiza veličine čestica jezgre SJ1 pokazuje da su svih pet mjerenih intervala jezgre većinom sitnozrnati (slika 40). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980), intervali 1-2 cm i 12-13 cm su klasificirani kao prah, dok su ostala tri intervala klasificirana kao pjeskoviti prah. Zastupljenost gline, idući od najdubljeg do najplićeg intervala, prvotno ima manji porast, a zatim veći pad i iznosi: 23,94 % za 21-22 cm, 24,75 % za 17-18 cm, 26,13 % za 12-13 cm, 23,22 % za 6-7 cm i 19,83 % za 1-2 cm. Količina praha otprilike ima konstantni porast, koji je izraženiji u najplićem intervalu, i iznosi: 64,75 % za 21-22 cm, 64,58 % za 17-18 cm, 65,99 % za 12-13 cm, 66,77 % za 6-7 cm i 73,25 % za 1-2 cm. Zastupljenost pijeska ima konstantni pad, osim u intervalu 6-7 cm gdje ima izraženiji porast, i iznosi: 11,34 % za 21-22 cm, 10,67 % za 17-18 cm, 7,88 % za 12-13 cm, 10,01 % za 6-7 cm i 6,95 % za 1-2 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 31,89 μm za 21-22 cm, 34,40 μm za 17-18 cm, 21,96 μm za 12-13 cm, 26,07 μm za 6-7 cm i 22,91 μm za 1-2 cm.



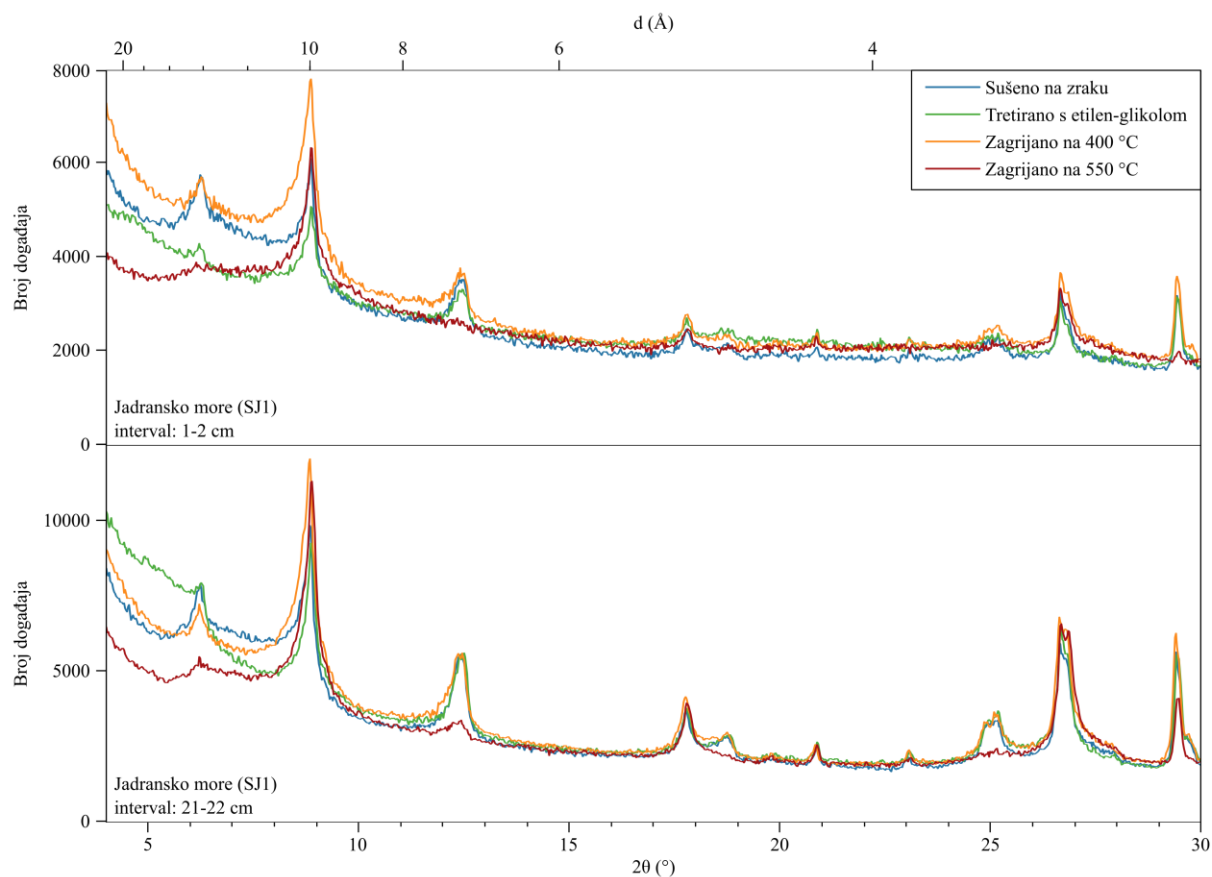
Slika 40. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre SJ1.

6.5.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ1

Analiza mineralnog sastava jezgre SJ1 pokazuje da su glavne mineralne faze: aragonit, dolomit, kalcit, kvarc, feldspati i minerali glina (slika 41). Halit je također prisutan zbog sušenja uzorka liofilizacijom. Kvarc i kalcit su dominantne faze, dok su drugi karbonati i minerali glina također više zastupljeni u odnosu na uzorke iz Crnog mora. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Minerali glina su prisutni u obliku montmorilonita, illita i kaolinita te nema vidljive promjene između prisutnosti minerala glina između najplićeg (1-2 cm) i najdubljeg (21-22 cm) mjenog intervala (slika 42). Zbog djelomične razlike u početnom djelu XRPD difraktograma, dodatno su izmjereni minerali glina u intervalu 6-7 cm, no pokazuju skoro identični difraktogram kao i za najdublji interval (21-22 cm).



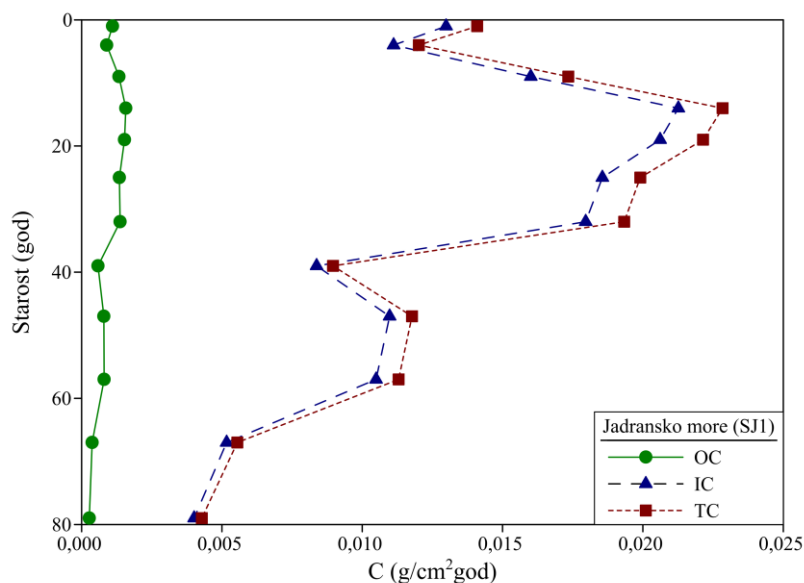
Slika 41. XRPD difraktogrami jezgre SJ1.



Slika 42. XRD difraktogrami minerala glina jezgre SJ1. Interpretirano prateći sliku 18.

6.5.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ1

Jezgra SJ1 ima veću zastupljenost OC i izrazito veću zastupljenost IC u odnosu na južnojadranske jezgre. OC se nalazi u rasponu od 0,40 do 0,48 %, IC od 5,64 do 5,93 %, a TC od 6,12 do 6,37 %. Koristeći CRS model, taloženje ugljika po godini daje raspon OC od 0,016 do 0,092 g/god, IC od 0,233 do 1,235 g/god, a TC od 0,249 do 1,327 g/god. OC ima raspon godišnjeg taloženja po površini jezgre od $0,028 \cdot 10^{-2}$ do $0,158 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,401 \cdot 10^{-2}$ do $2,126 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,429 \cdot 10^{-2}$ do $2,284 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 43).



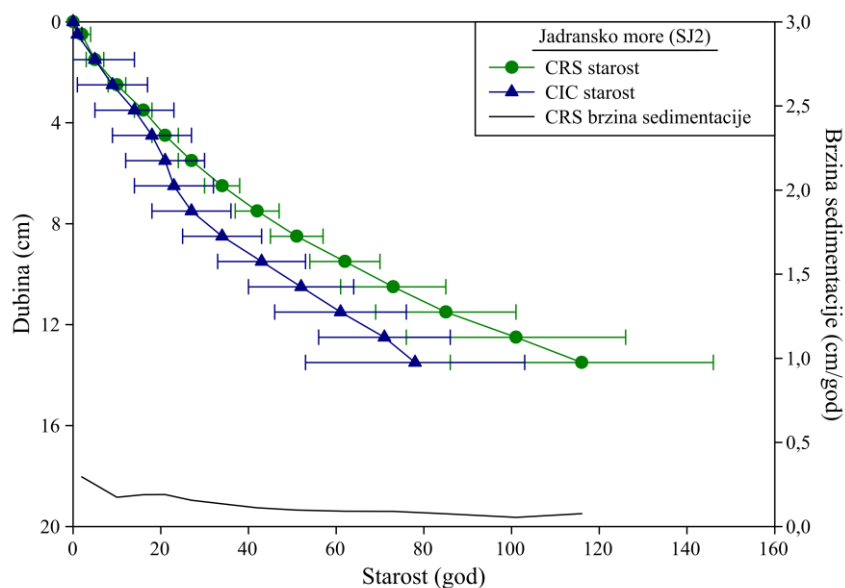
Slika 43. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri SJ1.

6.6. Srednjojadranska jezgra SJ2

6.6.1. Datiranje jezgre SJ2

Datiranje jezgre SJ2 CRS i CIC modelima pokazuje podudaranje u par površinskih intervala te razdvajanje u dubljim intervalima (slika 44). Unatoč razlikama, oba modela ukazuju na ubrzavanje sedimentacije prema površini jezgre. Maksimalna starost koristeći CRS model je 116 ± 30 godina, a CIC model 78 ± 25 godina. Prema CRS modelu, najdublji interval na dubini od 13-14 cm (116 ± 30 god) ima brzinu sedimentacije od $0,077 \pm 0,081$ cm/god ($0,071 \pm 0,074$ g/cm²god). Kroz cijelu jezgru postoji postepeno zaoštavanje krivulje i povećanje brzine sedimentacije. Recentna brzina sedimentacije, u intervalu 0-1 cm (2 ± 2 god), iznosi $0,295 \pm 0,056$ cm/god ($0,166 \pm 0,031$ g/cm²god).

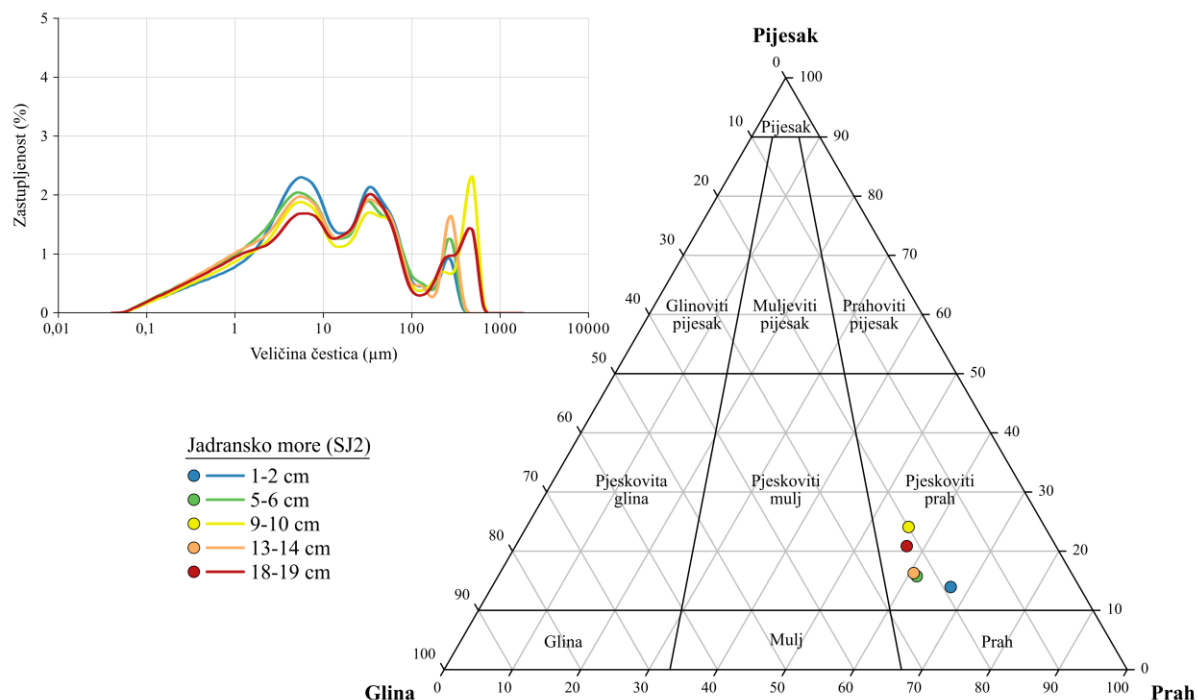
Prema CIC modelu, brzina sedimentacije na dnu jezgre, 13-14 cm (78 ± 25 god), iznosi $0,132 \pm 0,081$ cm/god ($0,121 \pm 0,074$ g/cm²god). Sedimentacija je otprilike jednake brzine do ubrzavanja oko intervala na dubini od 5-6 cm (21 ± 9 god), gdje postiže najveću brzinu od $0,485 \pm 0,435$ cm/god ($0,391 \pm 0,351$ g/cm²god) i nakon kojeg se malo smanjuje. Brzina sedimentacije u površinskom intervalu, 0-1 cm (1 ± 1 god), iznosi $0,300 \pm 0,132$ cm/god ($0,168 \pm 0,074$ g/cm²god).



Slika 44. Rezultati datiranja jezgre SJ2 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.6.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ2

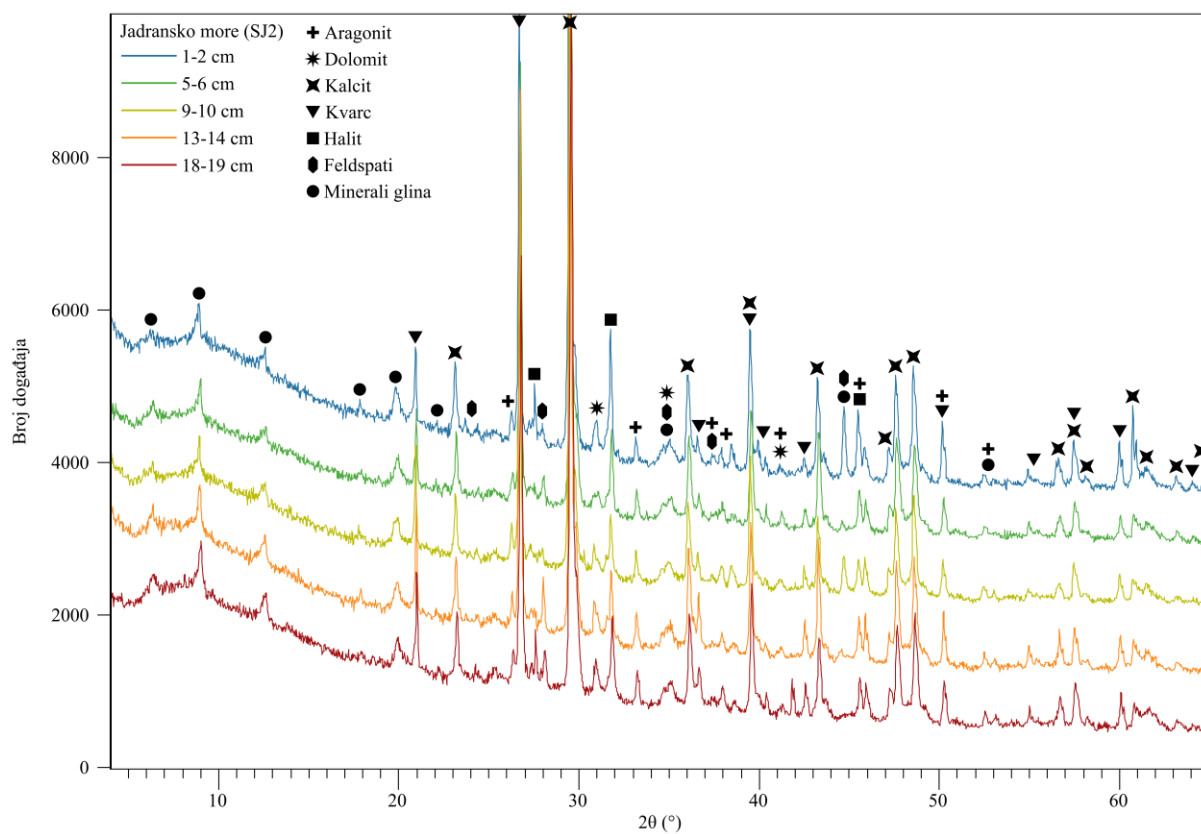
Analiza veličine čestica uzoraka jezgre SJ2 pokazuje da su svih pet izmjerenih intervala većinom sastavljeni od sitnozrnatih čestica (slika 45). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980) svi uzorci su klasificirani kao pjeskoviti prah. Od najdubljeg prema najplićem intervalu, zastupljenost gline ima konstantu promjenu porasta i pada te iznosi: 21,89 % za 18-19 cm, 23,15 % za 13-14 cm, 19,99 % za 9-10 cm, 22,96 % za 5-6 cm i 18,91 % za 1-2 cm. Postotak praha ima prvotni porast, zatim pad i dalje porast do vrha jezgre i iznosi: 57,42 % za 18-19 cm, 60,72 % za 13-14 cm, 56,08 % za 9-10 cm, 61,43 % za 5-6 cm i 67,33 % za 1-2 cm. Zastupljenost pijeska ide suprotno od praha, s prvotnim padom, zatim porastom i daljnjim padom do površine jezgre i iznosi: 20,69 % za 18-19 cm, 16,13 % za 13-14 cm, 23,93 % za 9-10 cm, 15,60 % za 5-6 cm i 13,76 % za 1-2 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 71,13 μm za 18-19 cm, 42,73 μm za 13-14 cm, 85,82 μm za 9-10 cm, 38,62 μm za 5-6 cm i 34,74 za 1-2 cm.



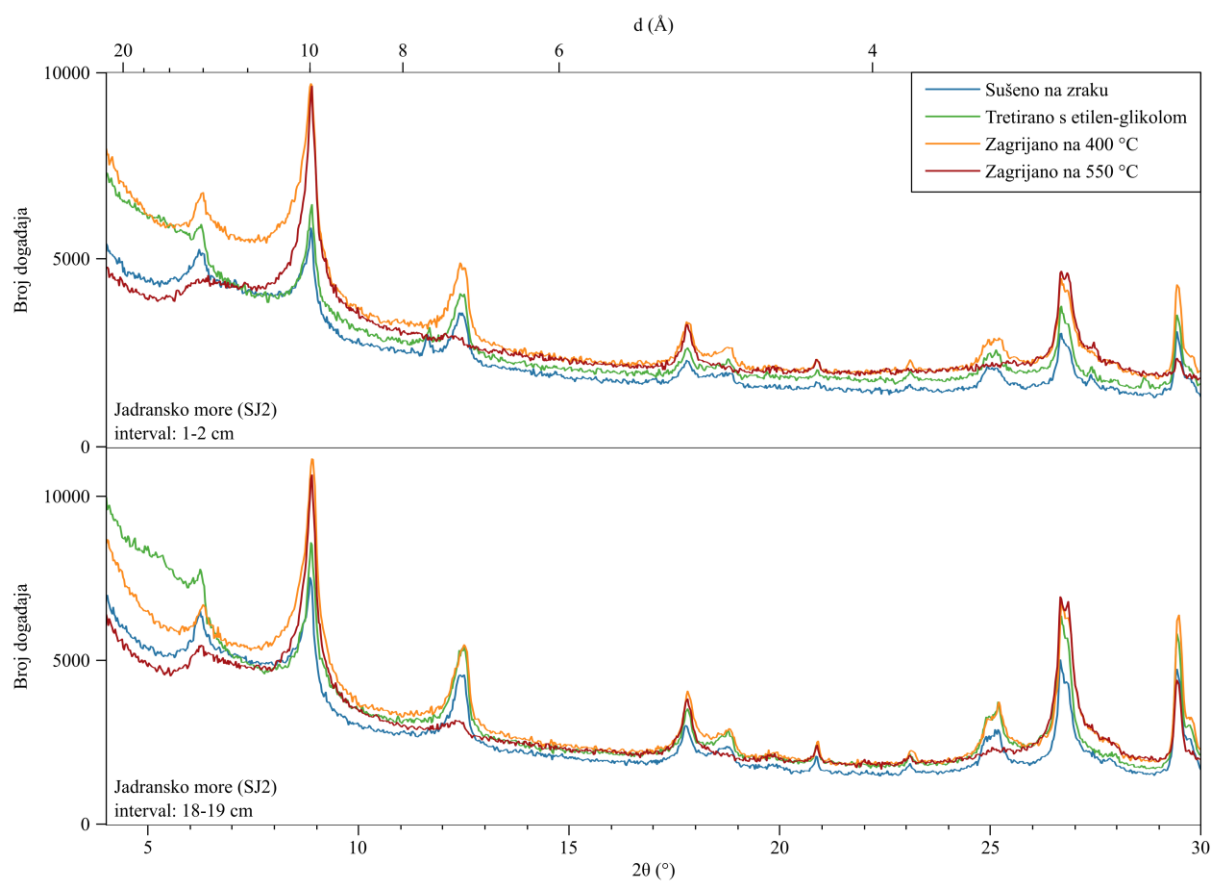
Slika 45. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre SJ2.

6.6.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ2

Analiza mineralnog sastava jezgre SJ2 pokazuje da su glavne mineralne faze iste kao za jezgru SJ1, točnije: aragonit, dolomit, kalcit, kvarc, feldspati i minerali glina (slika 46). Halit je također prisutan zbog precipitacije tijekom sušenja liofilizacijom. Kvarc i kalcit su ponovno dominantne faze, dok su drugi karbonati i minerala glina također više zastupljeni u odnosu na uzorke sedimenta Crnog mora. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Isti minerali glina su prisutni u najplićem (1-2 cm) i najdubljem (18-19 cm) mjerenom intervalu, a prisutni su u obliku montmorilonita, ilita i kaolinita (slika 47).



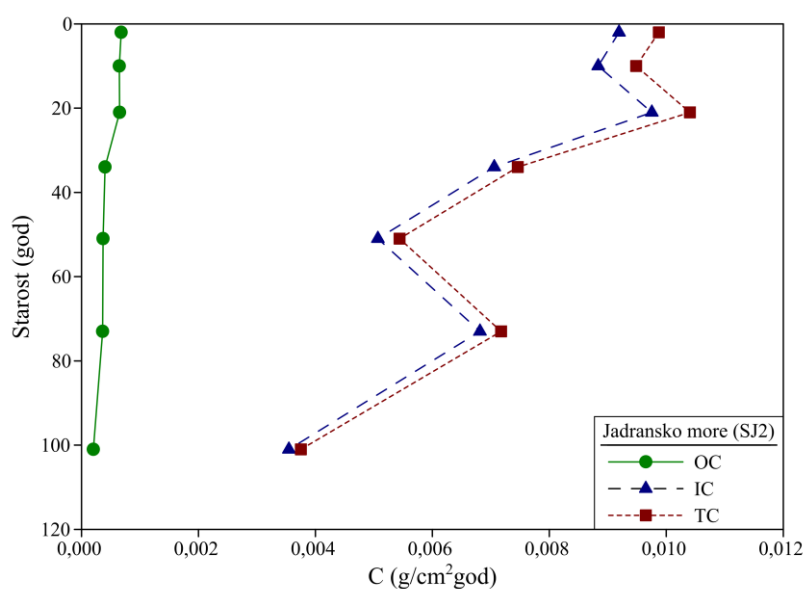
Slika 46. XRPD difraktogrami jezgre SJ2.



Slika 47. XRD difraktogrami minerala glina jezgre SJ2. Interpretirano preteći sliku 18.

6.6.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ2

Jezgra SJ2 ima otprilike jednaku zastupljenost OC i dosta veću zastupljenost IC u odnosu na jezgru SJ1, ali preračunato po godini, ima manje konačne koncentracije. OC se nalazi u rasponu od 0,37 do 0,47 %, IC od 6,22 do 7,91 %, a TC od 6,68 do 8,33 %. Taloženje ugljika po godini prema brzini sedimentacije CRS modela daje raspon OC od 0,012 do 0,039 g/god, IC od 0,206 do 0,567 g/god, a TC od 0,218 do 0,604 g/god. Raspon godišnjeg taloženja po površini jezgre za OC je od $0,020 \cdot 10^{-2}$ do $0,068 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,355 \cdot 10^{-2}$ do $0,975 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,375 \cdot 10^{-2}$ do $1,040 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 48).



Slika 48. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri SJ2.

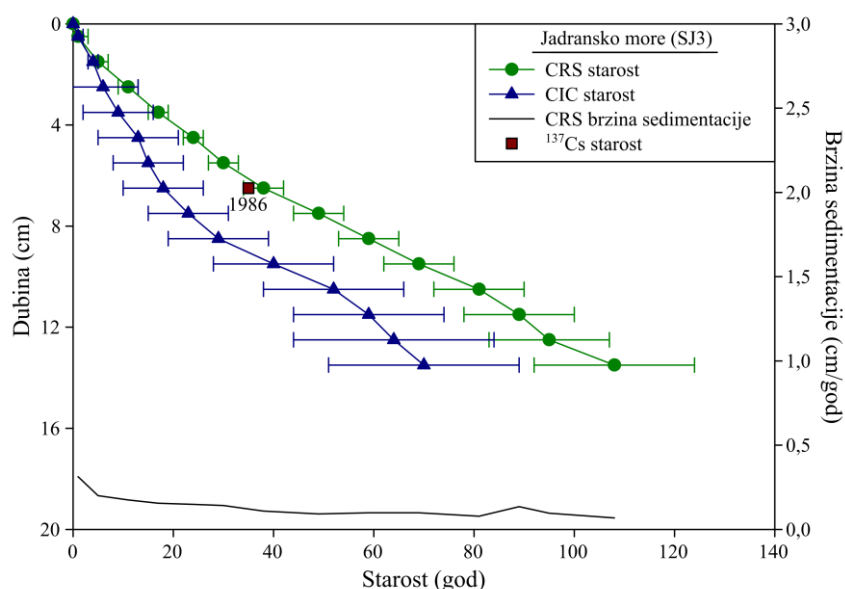
6.7. Srednjojadranska jezgra SJ3

6.7.1. Datiranje jezgre SJ3

Datiranje jezgre SJ3 pokazuje razdvajanje rezultata CRS i CIC modela (slika 49). Maksimalna starost dobivena CRS modelom je 108 ± 16 godina, a CIC modelom 70 ± 19 godina. Prema CRS modelu, brzina sedimentacije na dnu jezgre, na dubini od 13-14 cm (108 ± 16 god), iznosi $0,068 \pm 0,051$ cm/god ($0,080 \pm 0,060$ g/cm²god). Sedimentacije ima izdvojeni interval veće brzine na dubini od 11-12 cm (89 ± 11 god), gdje postiže brzinu od $0,135 \pm 0,075$ cm/god ($0,156 \pm 0,087$ g/cm²god). Sljedeći intervali imaju nešto manju brzinu, a ona nastavlja postepeno rasti prema površini jezgre. U intervalu 0-1 cm (1 ± 2 god) brzina sedimentacije iznosi $0,313 \pm 0,060$ cm/god ($0,281 \pm 0,054$ g/cm²god).

U najdubljem intervalu, 13-14 cm (70 ± 19 god), CIC model daje brzinu sedimentacije od $0,156 \pm 0,154$ cm/god ($0,186 \pm 0,183$ g/cm²god). Brzina ostaje relativno jednaka u najdublja tri intervala, a zatim se u intervalima 10-11 cm (52 ± 14 god) i 9-10 cm (40 ± 12 god) naglo smanjuje na brzine od $0,083 \pm 0,047$ cm/god ($0,109 \pm 0,062$ g/cm²god) i $0,061 \pm 0,026$ cm/god ($0,080 \pm 0,034$ g/cm²god). Nakon tih intervala, sedimentacija naglo ubrzava i u površinskom intervalu, 0-1 cm (1 ± 1 god), postiže iznos od $0,420 \pm 0,258$ cm/god ($0,377 \pm 0,231$ g/cm²god).

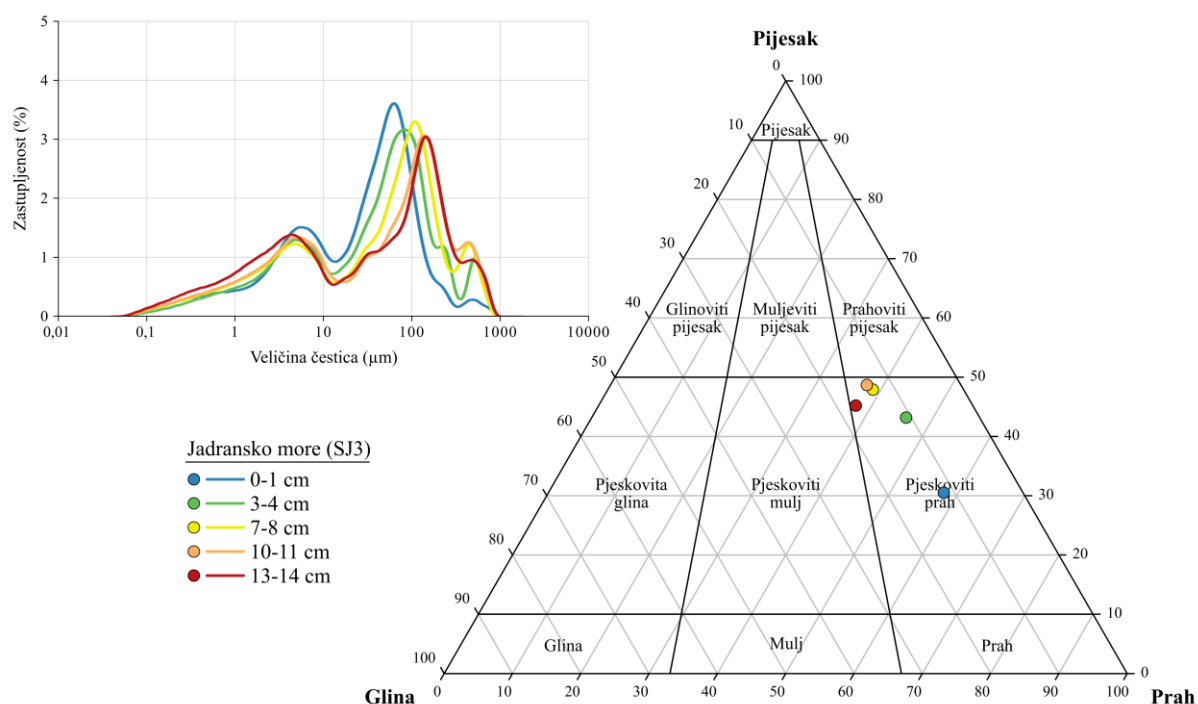
U jezgri SJ3 se pojavljuje jedan značajni maksimum aktivnosti ¹³⁷Cs na dubini od 6-7 cm koji odgovara starosti od 35 godina, odnosno Černobilskoj katastrofi 1986. godine.



Slika 49. Rezultati datiranja jezgre SJ3 koristeći CRS i CIC model. Brzina sedimentacije je izražena pomoću CRS modela.

6.7.2. Analiza veličine čestica jezgre SJ3

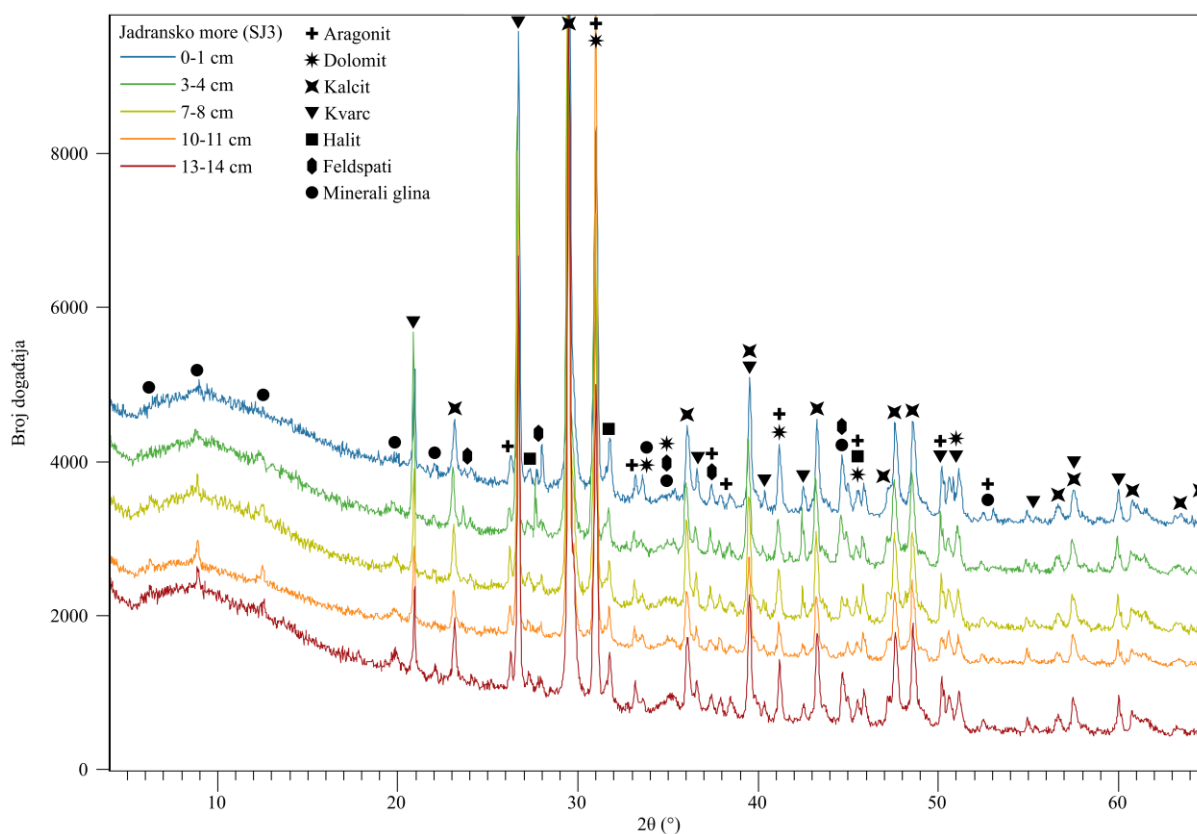
Analiza veličine čestica jezgre SJ3 pokazuje da su svi uzorci većinom sitnozrnati, s tim da sadrže više pijeska u odnosu na druge jadranske jezgre (slika 50). Prema trokomponentnom dijagramu odnosa količine gline, praha i pijeska (Folk, 1954; 1980) svi uzorci su klasificirani kao pjeskoviti prah. Idući od najdubljeg do najplićeg intervala, postotak gline ima konstanti pad, osim malog porasta u površinskom intervalu, i iznosi: 17,17 % za 13-14 cm, 13,80 % za 10-11 cm, 13,31 % za 7-8 cm, 10,90 % za 3-4 cm i 11,62 % za 0-1 cm. Zastupljenost praha je u dva najdublja intervala otprilike jednaka, a zatim ima konstanti porast i iznosi: 37,77 % za 13-14 cm, 37,62 % za 10-11 cm, 38,91 % za 7-8 cm, 46,61 % za 3-4 cm i 58,03 % za 0-1 cm. Postotak pijeska ima prvotni porast, a zatim konstanti pad i iznosi: 45,06 % za 13-14 cm, 48,58 % za 10-11 cm, 47,78 % za 7-8 cm, 43,49 % za 3-4 cm i 30,35 % za 0-1 cm. Prosječna vrijednost veličine čestica je: 109,70 μm za 13-14 cm, 117,40 μm za 10-11 cm, 104,70 μm za 7-8 cm, 91,34 μm za 3-4 cm i 58,65 μm za 0-1 cm.



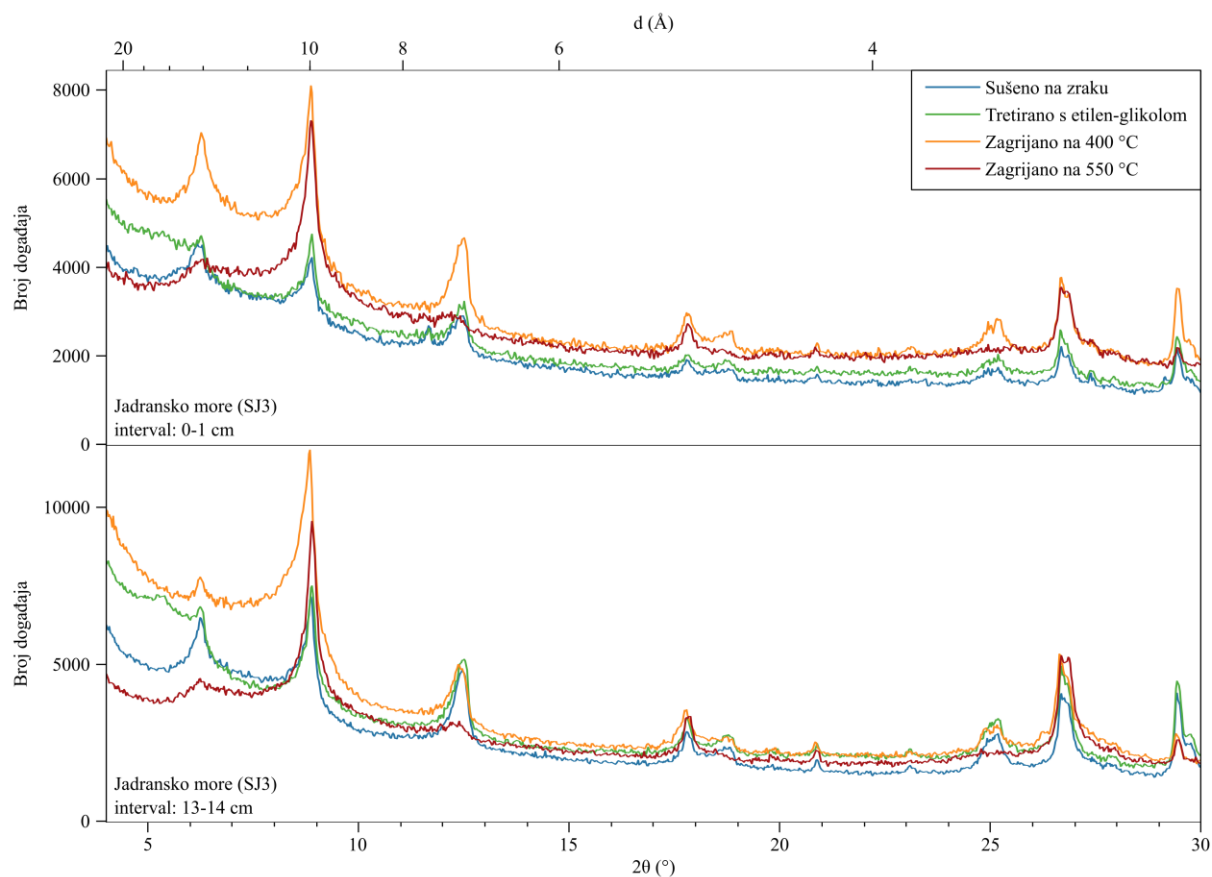
Slika 50. Krivulja veličine čestica i trokomponentni dijagram odnosa količine gline, praha i pijeska za uzorke jezgre SJ3.

6.7.3. Analiza mineralnog sastava jezgre SJ3

Analiza mineralnog sastava jezgre SJ3 pokazuje da su glavne mineralne faze iste kao za ostale srednjojadranske jezgre, odnosno: aragonit, dolomit, kalcit, kvarc, feldspati i minerali glina (slika 51). Halit je također prisutan zbog precipitacije tijekom sušenja liofilizacijom. Kvarc i kalcit su ponovno dominantne faze, s tim da dolomit također ima veću zastupljenost u odnosu na prethodne jezgre. Aragonit i minerala glina su ponovno više zastupljeni u odnosu na uzorke sedimenta iz Crnog mora. Nema vidljivih promjena u trendovima njihovih odnosa kroz jezgru. Minerali glina su ponovno zastupljeni u obliku montmorilonita, ilita i kaolinita. Nema promjene u njihovim prisutnostima između najplićeg (0-1 cm) i najdubljeg (13-14 cm) mjenog intervala (slika 52).



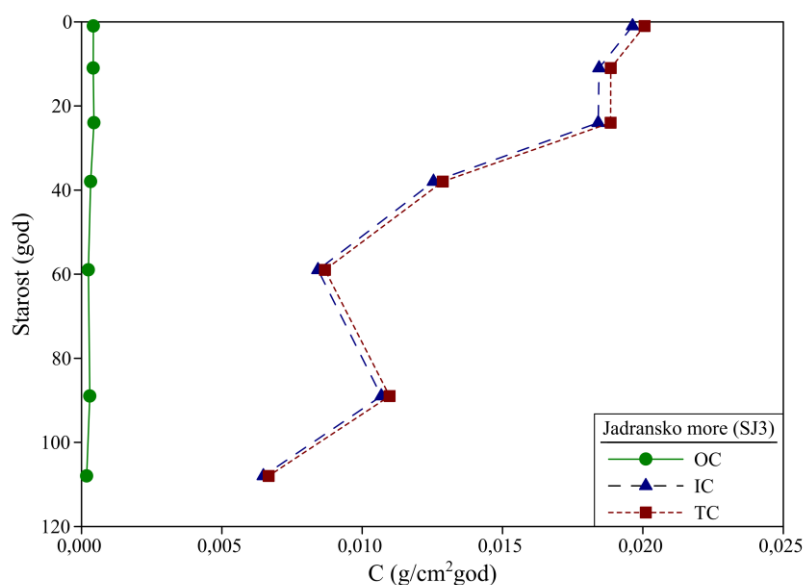
Slika 51. XRPD difraktogrami jezgre SJ3.



Slika 52. XRD difraktogrami minerala glina jezgre SJ3. Interpretirano prateći sliku 18.

6.7.4. Mjerenje koncentracije ugljika jezgre SJ3

Jezgra SJ3 ima sličnije zastupljenosti OC i IC jezgri SJ2, ali konačne koncentracije preračunate po godini su sličnije jezgri SJ1. OC se nalazi u rasponu od 0,17 do 0,22 %, IC od 7,39 do 7,96 %, a TC od 7,60 do 8,14 %. CRS model daje raspon taloženja ugljika po godini za OC od 0,011 do 0,026 g/god, IC od 0,376 do 1,140 g/god, a TC od 0,387 do 1,165 g/god. OC ima raspon godišnjeg taloženja po površini jezgre od $0,018 \cdot 10^{-2}$ do $0,044 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, IC od $0,648 \cdot 10^{-2}$ do $1,963 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god, a TC od $0,667 \cdot 10^{-2}$ do $2,006 \cdot 10^{-2}$ g/cm²god (slika 53).



Slika 53. Koncentracije OC, IC i TC u jezgri SJ3.

6.8. Sekvestracija u morima i oceanima

6.8.1. Sekvestracija u Crnom moru

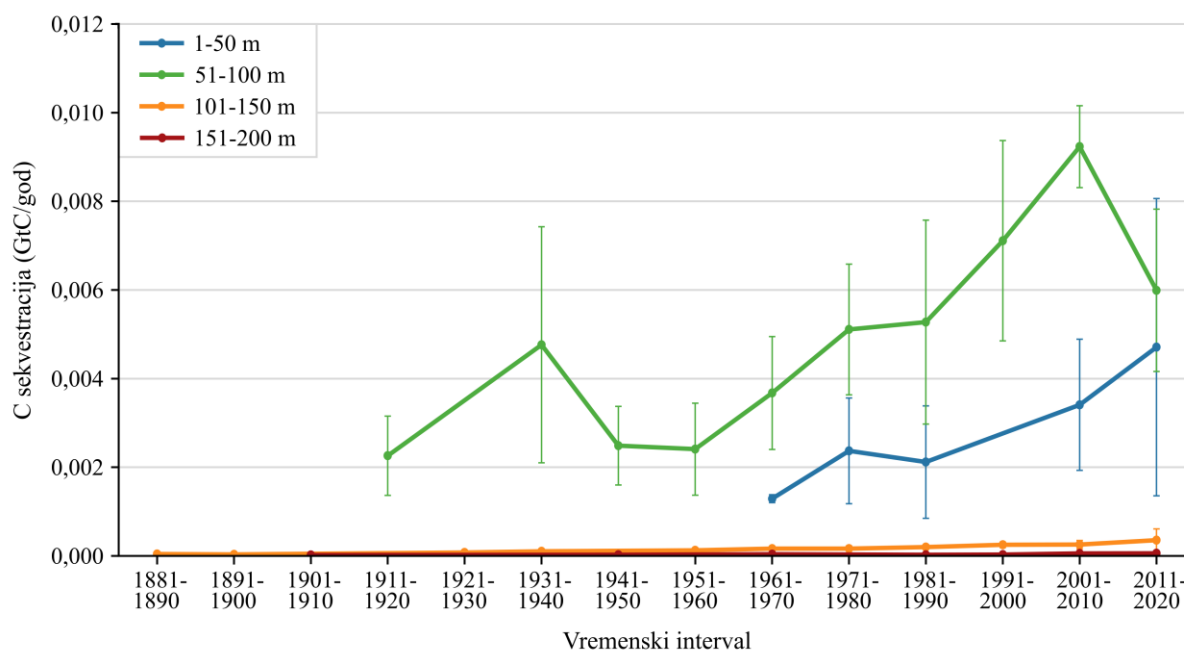
Koristeći GEBCO_2024 raspodjelu dubina (GEBCO, 2024), dobivene površine Crnog mora su: $5,43 \cdot 10^4$ km² na dubini mora od 1-50 m, $4,34 \cdot 10^4$ km² na dubini od 51-100 m, $1,03 \cdot 10^4$ km² na dubini od 101-150 m i $3,48 \cdot 10^3$ km² na dubini od 151-200 m. Ukupna površina Crnog mora dobivena za dubine od 1-200 m iznosi $1,11 \cdot 10^5$ km², što je rasponu od 24-27 % površine Crnog mora dubine manje od 200 m ($1,01 \cdot 10^5$ - $1,13 \cdot 10^5$ km²) (BSC, 2007).

Iako nema najveću površinu, upotrebljavajući prosječne brzine sekvestracija u svim jezgrama, interval na dubini mora od 51-100 m ima najveću količinu sekvestracije, $0,00534 \pm 0,00252$ GtC/god (tablica 3). Ta količina odgovara $0,09771 \pm 0,04618$ % povećanja atmosferske koncentracije ugljika u 2023. godini te $0,04791 \pm 0,02265$ % ukupnim otpuštanjima iste godine. Ukoliko se upotrebljavaju samo površinski intervali jezgri u procjeni sekvestracije, brzine sekvestracija su veće, a interval na 1-50 m dubine mora ima najizraženiju sekvestraciju, točnije $0,00852 \pm 0,00361$ GtC/god (tablica 3). U usporedbi s povećanjem atmosferske koncentracije 2023. godine, to bi bilo $0,15589 \pm 0,06594$ %, a s procijenjenim otpuštanjima, $0,07644 \pm 0,03233$ %. Sekvestracija na svim dubinama mora je veća ako se koriste samo površinski dijelovi sedimentnih jezgara.

Tablica 3. Procijenjena količina sekvestracije u sedimentima Crnog mora koristeći prosječne i površinske sekvestracije ugljika analiziranih jezgara Crnog i Jadranskog mora, te usporedba vrijednosti s povećanjem atmosferske koncentracije ugljika 2023. godine i procijenjenom količinom otpuštenog ugljika iste godine.

	Dubina mora	Sekvestracija C (GtC/god)	Usporedba s atm. konc. C (%)	Usporedba s otpuštenim C (%)
Prosječne vrijednosti	1-50 m	$0,00299 \pm 0,00208$	$0,05475 \pm 0,03796$	$0,02684 \pm 0,01861$
	51-100 m	$0,00534 \pm 0,00252$	$0,09771 \pm 0,04618$	$0,04791 \pm 0,02265$
	101-150 m	$0,00019 \pm 0,00013$	$0,00342 \pm 0,00229$	$0,00167 \pm 0,00112$
	151-200 m	$0,00004 \pm 0,00002$	$0,00067 \pm 0,00029$	$0,00033 \pm 0,00014$
Površinske vrijednosti	1-50 m	$0,00852 \pm 0,00361$	$0,15589 \pm 0,06594$	$0,07644 \pm 0,03233$
	51-100 m	$0,00637 \pm 0,00222$	$0,11647 \pm 0,04062$	$0,05711 \pm 0,01992$
	101-150 m	$0,00071 \pm 0,00034$	$0,01295 \pm 0,00628$	$0,00635 \pm 0,00308$
	151-200 m	$0,00006 \pm 0,00001$	$0,00107 \pm 0,00007$	$0,00053 \pm 0,00004$

Ako se proučavaju promjene u brzini sekvestracije po godinama u Crnom moru, vidljiv je skoro konstantni porast prema današnjici (slika 54, prilog 11). Najveću sekvestraciju od $0,009233 \pm 0,000924$ GtC/god pokazuju sedimenti u intervalu od 51-100 m dubine more za razdoblje 2001-2010. godine. U najmlađem intervalu brzina sekvestracije iznosi $0,005992 \pm 0,001831$ GtC/god, dok u najstarijem iznosi $0,002260 \pm 0,000894$ GtC/god, čime je zamjetan veliki porast u njejoj brzini. Taj porast se vidi i na drugim dubinama mora, ali u manjem rasponu. Interval 1-50 m ima značajan porast od $0,001291 \pm 0,000089$ do $0,004709 \pm 0,003353$ GtC/god. Najdublji intervali pokazuju puno manju promjenu u sekvestraciji. Interval 101-150 m od $0,000045$ do $0,000355 \pm 0,000254$ GtC/god, dok interval 151-200 m od $0,000020 \pm 0,000009$ do $0,000059 \pm 0,000004$ GtC/god. Svi intervali ukazuju na relativno konstantno povećanje brzine sekvestracije unutar crnomorskog sedimenta, ali izrazito ovisi o dubini sedimenta.



Slika 54. Promjene količine sekvestracije CO₂ u sedimentima Crnog mora po intervalima od deset godina.

6.8.2. Sekvestracija u Jadranskom moru

Pomoću GEBCO_2024 raspodjele dubina (GEBCO, 2024), dobivene površine pojedinih intervala dubine Jadranskog mora su: $3,53 \cdot 10^4$ km² na dubini mora od 1-50 m, $3,31 \cdot 10^4$ km² na dubini od 51-100 m, $2,37 \cdot 10^4$ km² na dubini od 101-150 m i $1,09 \cdot 10^4$ km² na dubini od 151-200 m. Ukupna površina Jadranskog mora izračunata za dubine od 1-200 m je $1,03 \cdot 10^5$ km², što je u skladu s $1,02 \cdot 10^5$ km² za isti dubinski raspon koje je dao Jardas (1996). Crno more ima veće površine svih dubinskih intervala, osim 101-150 m, gdje Jadransko more ima nešto više od udvostručenu površinu.

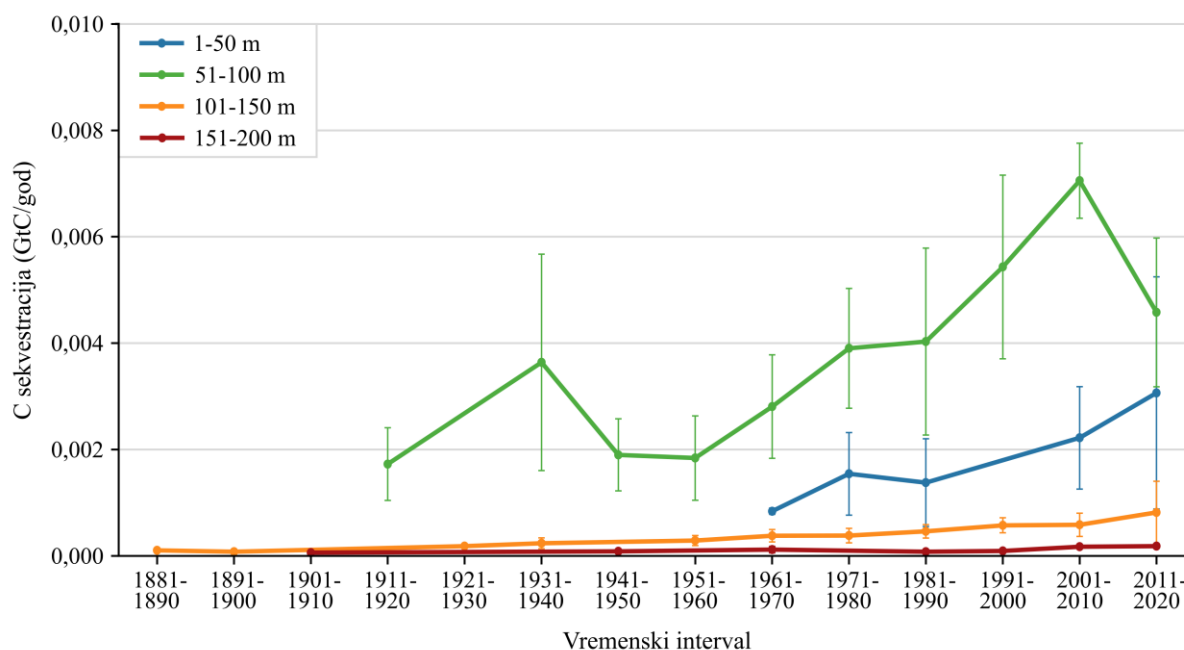
Po istom principu kako je prikazano za Crno more, ako se sekvestracija procjenjuje pomoću prosječnih sekvestracija u svim jezgrama, interval na dubini mora od 51-100 m pokazuje najveću sekvestraciju. Ona za Jadransko more iznosi $0,00408 \pm 0,00193$ GtC/god (tablica 4), što je $0,07464 \pm 0,03528$ % u usporedbi s povećanjem atmosferske koncentracije ugljika 2023. godine te $0,03660 \pm 0,01730$ % u usporedbi s globalnim otpuštanjima ugljika. Ako se za procjenu sekvestracije koriste površinske sekvestracije jezgara, najveću među njima ima interval od 1-50 m s iznosom od $0,00555 \pm 0,00235$ GtC/god (tablica 4). To je $0,10145 \pm 0,04291$ % povećanja atmosferske koncentracije ugljika i $0,04974 \pm 0,02104$ % ukupnog otpuštenog ugljika. Korištenje samo površinskih intervala, kao i kod Crnog mora, konstantno

daje povećanu sekvestraciju. No, zbog manjih površina ovih dubinskih intervala, Jadransko more ima manje iznose sekvestracije u odnosu na Crno more.

Tablica 4. Procijenjena količina sekvestracije u sedimentima Jadranskog mora koristeći prosječne i površinske sekvestracije ugljika analiziranih jezgara Crnog i Jadranskog mora, te usporedba vrijednosti s povećanjem atmosferske koncentracije ugljika 2023. godine i procijenjenom količinom otpuštenog ugljika iste godine.

	Dubina mora	Sekvestracija C (GtC/god)	Usporedba s atm. konc. C (%)	Usporedba s otpuštenim C (%)
Prosječne vrijednosti	1-50 m	$0,00195 \pm 0,00135$	$0,03563 \pm 0,02470$	$0,01747 \pm 0,01211$
	51-100 m	$0,00408 \pm 0,00193$	$0,07464 \pm 0,03528$	$0,03660 \pm 0,01730$
	101-150 m	$0,00043 \pm 0,00029$	$0,00786 \pm 0,00527$	$0,00386 \pm 0,00258$
	151-200 m	$0,00011 \pm 0,00005$	$0,00209 \pm 0,00091$	$0,00103 \pm 0,00044$
Površinske vrijednosti	1-50 m	$0,00555 \pm 0,00235$	$0,10145 \pm 0,04291$	$0,04974 \pm 0,02104$
	51-100 m	$0,00486 \pm 0,00170$	$0,08898 \pm 0,03103$	$0,04363 \pm 0,01521$
	101-150 m	$0,00163 \pm 0,00079$	$0,02982 \pm 0,01446$	$0,01462 \pm 0,00709$
	151-200 m	$0,00018 \pm 0,00001$	$0,00336 \pm 0,00023$	$0,00165 \pm 0,00011$

Promjene sekvestracije po godinama u Jadranskom moru ponašaju se vrlo slično onima iz Crnog mora i pokazuju relativno konstantan porast (slika 55, prilog 11). Ipak, zbog manje površine Jadranskog mora, iznosi pojedinih sekvestracija su također manji. Najveću sekvestraciju pokazuje ponovno interval dubine mora od 51-100 m u razdoblju od 2001-2010. godine, kada ona iznosi $0,007053 \pm 0,000706$ GtC/god. U najstarijem intervalu pokazuje sekvestraciju od $0,001726 \pm 0,000683$ GtC/god, a u najmlađem $0,004578 \pm 0,001399$ GtC/god. Porast je u manjem iznosu također zamjetan i u drugim intervalima. Interval na 1-50 m dubine mora pokazuje porast od $0,000840 \pm 0,000058$ do $0,003065 \pm 0,002182$ GtC/god. Dubina sedimentne jezgre ponovno igra izrazitu ulogu te intervali na većim dubinama mora imaju sve manje promjene u sekvestraciji. Interval 101-150 pokazuje promjenu od $0,000105$ do $0,000817 \pm 0,000586$ GtC/god, a interval 151-200 m od $0,000062 \pm 0,000029$ do $0,000184 \pm 0,000012$ GtC/god. Povećanje količine sekvestracije vidljivo je u svakom dubinskom intervalu. Zbog povećane površine na dubini od 101-150 m, taj interval pokazuje najveću razliku u najstarijem i najmlađem dijelu u odnosu na sediment Crnog mora.



Slika 55. Promjene količine sekvestracije CO₂ u sedimentima Jadranskog mora po intervalima od deset godina.

6.8.3. Sekvestracija u oceanima

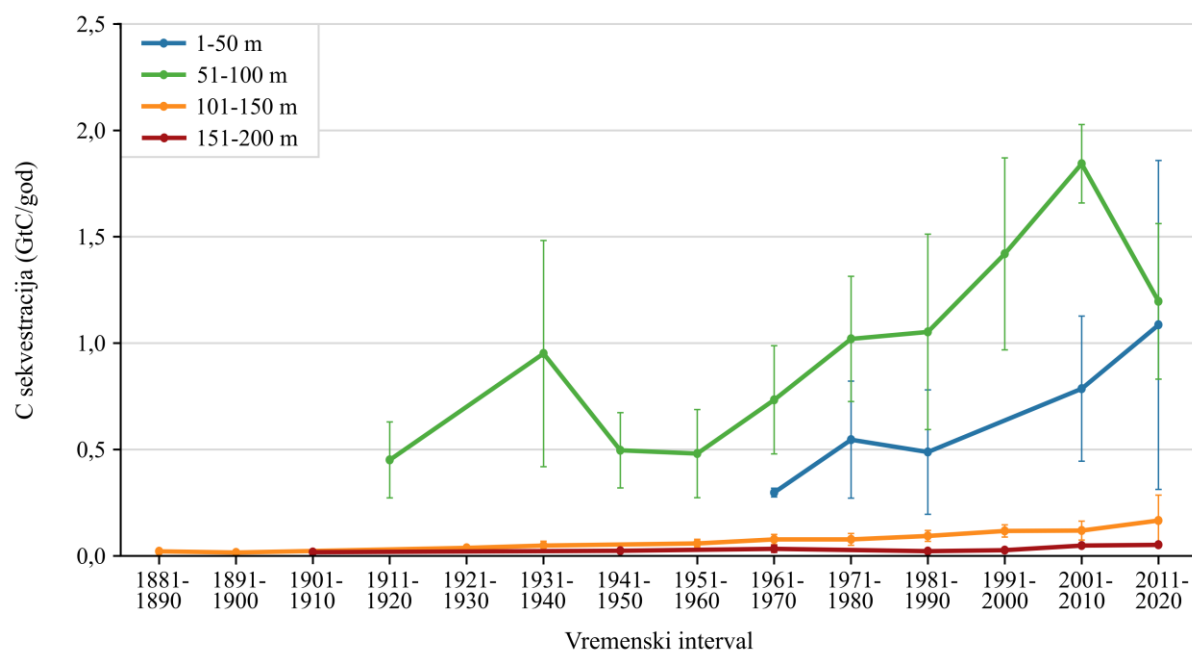
Iz GEBCO_2024 raspodjele dubina (GEBCO, 2024), dobivene su površine šelfa od: $1,25 \cdot 10^7$ km² na dubini oceana od 1-50 m, $8,66 \cdot 10^6$ km² na dubini od 51-100 m, $4,82 \cdot 10^6$ km² na dubini od 101-150 m i $3,08 \cdot 10^6$ km² na dubini od 151-200 m. Ukupna površina oceana dobivena za dubine od 1-200 m iznosi $2,91 \cdot 10^7$ km², što je usporedivo s površinom od $3,22 \cdot 10^7$ km² za cijeli šelf (Harris et al., 2014).

Iako se radi o puno većim površinama oceana u odnosu na Crno i Jadransko more, procijenjene brzine sekvestracije u oceanima prate iste trendove. Uzimajući prosječne sekvestracije u svim jezgrama, najveću sekvestraciju ima interval na dubini oceana od 51-100 m. Sekvestracija mu iznosi $1,066 \pm 0,504$ GtC/god (tablica 5), što dogovara $19,506 \pm 9,220$ % povećanja atmosferske koncentracije ugljika u 2023. godini i $9,565 \pm 4,521$ % ukupnog otpuštenog ugljika. Sukladno Crnom i Jadranskom moru, ukoliko se sekvestracija procjenjuje korištenjem površinskih intervala, dominira interval 1-50 m sa sekvestracijom od $1,965 \pm 0,831$ GtC/god (tablica 5). Ta vrijednost iznosi $35,939 \pm 15,202$ % povećanja atmosferske koncentracije ugljika te $17,622 \pm 7,454$ % otpuštanjima ugljika. Korištenje samo površinskih intervala ponovno daje povećane brzine sekvestracije za sve dubinske intervale.

Tablica 5. Procijenjena količina sekvestracije u oceanskim sedimentima koristeći prosječne i površinske sekvestracije ugljika analiziranih jezgara Crnog i Jadranskog mora, te usporedba vrijednosti s povećanjem atmosferske koncentracije ugljika 2023. godine i procijenjenom količinom otpuštenog ugljika iste godine.

	Dubina oceana	Sekvestracija C (GtC/god)	Usporedba s atm. konc. C (%)	Usporedba s otpuštenim C (%)
Prosječne vrijednosti	1-50 m	0,690 ± 0,478	12,621 ± 8,750	6,189 ± 4,291
	51-100 m	1,066 ± 0,504	19,506 ± 9,220	9,565 ± 4,521
	101-150 m	0,088 ± 0,059	1,601 ± 1,073	0,785 ± 0,526
	151-200 m	0,032 ± 0,014	0,592 ± 0,257	0,290 ± 0,126
Površinske vrijednosti	1-50 m	1,965 ± 0,831	35,939 ± 15,202	17,622 ± 7,454
	51-100 m	1,271 ± 0,443	23,251 ± 8,108	11,401 ± 3,976
	101-150 m	0,332 ± 0,161	6,072 ± 2,945	2,977 ± 1,444
	151-200 m	0,052 ± 0,004	0,950 ± 0,065	0,466 ± 0,032

Podijeljeno po godinama, trendovi sekvestracije su jednaki Crnom i Jadranskom moru, samo s većim brzinama (slika 56, prilog 11). Najveća sekvestracija je u intervalu na 51-100 m dubine oceana od 2001-2010. godine, kada je iznosila $1,843 \pm 0,184$ GtC/god. Najstariji vremenski interval na toj dubini ima sekvestraciju od $0,451 \pm 0,179$ GtC/god, a najmlađi $1,196 \pm 0,365$ GtC/god. Ovaj interval ima najveću površinu i stoga veće sekvestracije u odnosu na druge intervale, no porast sekvestracije je vidljiv i u intervalima s drugih dubina oceana. Najplići interval, 1-50 m, pokazuje porast od $0,298 \pm 0,021$ do $1,086 \pm 0,773$ GtC/god, interval 101-150 m pokazuje porast od 0,021 do $0,166 \pm 0,119$ GtC/god, a najdublji interval, 151-200 m pokazuje porast od $0,018 \pm 0,008$ do $0,052 \pm 0,004$ GtC/god. Budući da su za izračun sekvestracija pojedinih mora i oceana korištene iste sekvestracije dobivene za sedimente oba istražena mora, a samo s različitim površinama, sekvestracije oba mora i ukupnih oceana većinom pokazuju iste rastuće trendove.



Slika 56. Promjene količine sekvestracije CO₂ u oceanskim sedimentima po intervalima od deset godina.

7. Rasprava

7.1. Usporedba izmjerenih parametara jezgri

Jezgra C2, uzorkovana u Crnom moru na dubini od 102 m, definirana je najvećom izmjerenom starosti najdubljeg intervala (slika 24). Iako u tom intervalu ima skoro najmanju brzinu sedimentacije, u površinskom intervalu ima najveću brzinu sedimentacije izmjerene u svim jezgrama i time automatski i najveću promjenu između najdubljeg i najplićeg intervala. Jezgra C1, najplića je uzorkovana jezgra (24,5 m) i ponaša se u potpunosti jednako kao i jezgra C2, samo s manjom brzinom sedimentacije (slika 19).

Ukoliko se gledaju koncentracije ugljika (preračunate u g/god), situacija za crnomorske jezgre je suprotna. Jezgra C1 se nalazi pri vrhu koncentracija TC, IC i OC (slika 23), no jedino je na prvom mjestu za OC. Jezgra C2 konstanto ima niže koncentracije ugljika (slika 28) i nalazi se otprilike u sredini za TC i IC, ali također ima više koncentracije OC. Što se tiče izračunate sekvestracije ugljika i povećanja sekvestracije, obje crnomorske jezgre nalaze se u sredini, s malo većim sekvestracijama za jezgru C1 (prilog 4, 5). Može se zamijetiti da, unatoč tome što je razlika u dubini vode čak 77,5 metara, obje jezgre se ponašaju izrazito slično s obzirom na brzine sedimentacije, koncentracije i sekvestracije ugljika u usporedbi s jadranskim jezgrama.

Jezgra C1 se sastoji od pjeskovitog praha sa smanjenjem udjela pijeska prema površini (slika 20), dok se jezgra C2 većinom sastoji od jednolikog praha (slika 25). Mineralni sastav je isti u obje jezgre (slika 21, 26), očekivan za zapadni dio Crnog mora (Stoffers & Müller, 1972; Ross et al., 1978; Ruffine et al., 2021). Jedina značajnija promjena je smanjenje donosa pijeska na lokaciju jezgre C1, dok veličina čestica jezgre C2 i mineralni sastav obje jezgre ukazuju na relativno nepromijenjene uvjete taloženja.

Južnojadranske jezgre općenito imaju najniže brzine sedimentacije, sekvestracije i koncentracije TC, IC i OC. Plića jezgra JJ1 (123 m) ima najmanju brzinu sedimentacije u najdubljem i najplićem intervalu te najmanju promjenu u tim brzinama (slika 29). Jezgra JJ2 (172 m) ima nešto veću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu (slika 34) (čime se nalazi na četvrtom mjestu), ali za najplići interval i promjenu brzine se nalazi tik iznad JJ1.

Odnos tih dviju jezgri je obrnut ukoliko se promatraju koncentracije TC, IC i OC te sekvestracije ugljika i njezine promjene. Točnije, JJ1 i JJ2 imaju najmanje koncentracije i najmanju količinu sekvestracije od svih izmjerenih jezgri, ali u ovom slučaju jezgra JJ1 ima nešto veće vrijednosti za sve te parametre (slika 33, 38; prilog 6, 7).

Obje južnojadranske jezgre se sastoje od praha. Jedina razlika je što se u jezgri JJ1 zastupljenost gline ima mali konstantni pad (slika 30), dok u jezgri JJ2 zastupljenost svih triju analiziranih veličinskih frakcija ima samo manje promjene (slika 35). Mineralni sastav obje jezgre je jednak (slika 31, 36) te odgovara mineralima pronađenima uz obale Crne Gore i Albanije (Pikelj, 2010; Ilijanić et al., 2014; Pikelj et al., 2016; Ivanić et al., 2020). Nema značajnih promjena u veličini čestica ili mineralnom sastavu što ukazuje na relativno stabilne uvjete taloženja.

Srednjojadranske jezgre SJ1 (54,5 m), SJ2 (58,6 m) i SJ3 (83,3 m) imaju najveće brzine sedimentacije u najdubljem intervalu u usporedbi s istim vremenskim intervalom u ostalim jezgrama, ali u najplićem imaju manje brzine od crnomorskih jezgri (slika 39, 44, 49). Jezgra SJ1 ima najveće brzine sedimentacije i najveću promjenu od svih srednjojadranskih jezgri.

Jezgra SJ1 također ima najveće koncentracije TC i IC (slika 43), te najveću prosječnu sekvestraciju i promjenu sekvestracije (prilog 8), dok se jedino nalazi na drugom mjestu za količinu OC (iza jezgre C1). Jezgra SJ3 se nalazi odmah na sljedećem mjestu za IC (slika 53) i sekvestraciju ugljika (prilog 10), dok za TC i OC ima nešto manje koncentracije. SJ2 ima najmanje koncentracije u odnosu na druge srednjojadranske jezgre za sve parametre ugljika, osim OC kojeg ima malo više od SJ3 (slika 48). Tako da su jezgre SJ1 i SJ3 većinom pri vrhu po svim mjerenim parametrima, dok je SJ2 otprilike u sredini.

Veličina čestica im se donekle razlikuje. Jezgra SJ1 se sastoji od praha i pjeskovitog praha (slika 40), dok su jezgre SJ2 i SJ3 sastavljene isključivo od pjeskovitog praha (slika 45, 50). Jezgra SJ3 ima najveći udio pijeska. Veličina čestica svih srednjojadranskih jezgri ima trend povećanja udjela praha. Mineralni sastav je jednolik i stabilan u svim jezgrama (slika 41, 46, 51) i odgovara mineralima tipičnim za istočni dio Jadranskog mora (Pikelj, 2010; Ilijanić et al., 2014; Pikelj et al., 2016; Ivanić et al., 2020). Jednolik mineralni sastav ukazuje na mirni okoliš taloženja (Pikelj, 2010; Pikelj et al., 2016), dok veličina čestica ukazuje na polagano smanjivanje udjela pijeska i povećanje udjela praha.

7.1.1. Usporedba datiranja CRS modelom

Sve datirane jezgre pokazuju zaoštavanje nagiba krivulje CRS starosti prema površini. Većina jezgri ima povećanje brzine sedimentacije u dubljim dijelovima jezgre od najdubljeg intervala (starosti od otprilike 80 do 130 godina) do intervala na starosti 40 do 60 godina (1960-1980.). Brzina sedimentacije u tim intervalima je otprilike jednaka iznosu recentne brzine sedimentacije. To prethodno povećanje brzine sedimentacije odgovara eutrofikaciji oba mora prije uvođenja kontrola količine fosfora ispuštenog u okoliš. Nakon prvotnog povećanja brzine sedimentacije dolazi do smanjivanja brzine koje traje otprilike sljedećih 20 godina. Te promjene se podudaraju s biološkom produkcijom Crnog mora (Yunev et al., 2007). Na početku 21. stoljeća, brzina sedimentacije ponovno ima trend porasta. Jezgra C1 ima dodatni interval velike brzine sedimentacije na dubini od 6-7 cm (datiran na 13 ± 2 godine) (slika 19), koji se možda može pripisati erupciji islandskog vulkana Eyjafjallajökull 2010. godine, čije su se velike količine pepela i ostalih čestica proširile na dijelove sjeverne i zapadne Europe. No, nisu zamijećene značajne promjene u mineralnom sastavu ili veličini čestica u tom intervalu. Od prijašnje opisanih trendova jedino odskaču srednjojadranske jezgre, koje imaju otprilike konstantni porast brzine sedimentacije kroz cijelu jezgru, s malim ubrzanjem u površinskim intervalima.

Od najdublje do najpliće, jezgre su po dubini mora poredane: JJ2 (172,0 m), JJ1 (123,0 m), C2 (102,0 m), SJ3 (83,3 m), SJ2 (58,6 m), SJ1 (54,5 m) i C1 (24,5 m). Prema starostima jezgra dobivenim CRS modelom datiranja, skoro sve jezgre (osim jezgre SJ1) imaju maksimalnu starost iznad sto godina. Jezgre poredane od najstarije do najmlađe idu ovim redoslijedom:

1. C2 (132,73 god),
2. JJ1 (124 ± 19 god),
3. C1 (123 ± 17 god),
4. SJ2 (116 ± 30 god),
5. JJ2 (111 ± 16 god),
6. SJ3 (108 ± 16 god),
7. SJ1 (79 ± 15 god).

Najveću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu prema CRS modelu imaju srednjojadranske jezgre, a jezgre su poredane:

1. SJ1 ($0,14 \pm 0,08$ cm/god, $0,10 \pm 0,06$ g/cm²god),
2. SJ2 ($0,08 \pm 0,08$ cm/god, $0,07 \pm 0,07$ g/cm²god),
3. SJ3 ($0,07 \pm 0,05$ cm/god, $0,08 \pm 0,06$ g/cm²god),
4. JJ2 ($0,06 \pm 0,03$ cm/god, $0,04 \pm 0,02$ g/cm²god),
5. C2 ($0,06 \pm 0,01$ cm/god, $0,05 \pm 0,01$ g/cm²god),
6. C1 ($0,04 \pm 0,03$ cm/god, $0,05 \pm 0,04$ g/cm²god),
7. JJ1 ($0,02 \pm 0,01$ cm/god, $0,01 \pm 0,01$ g/cm²god).

Crnomorske jezgre imaju najveću brzinu sedimentacije u površinskom intervalu, a njih slijede srednjojadranske jezgre i zatim južnojadranske. Poredane su sljedećim redoslijedom:

1. C2 ($1,08 \pm 0,07$ cm/god, $0,83 \pm 0,05$ g/cm²god),
2. C1 ($0,77 \pm 0,33$ cm/god, $0,73 \pm 0,31$ g/cm²god),
3. SJ1 ($0,65 \pm 0,12$ cm/god, $0,23 \pm 0,04$ g/cm²god),
4. SJ3 ($0,31 \pm 0,06$ cm/god, $0,28 \pm 0,05$ g/cm²god),
5. SJ2 ($0,30 \pm 0,06$ cm/god, $0,17 \pm 0,03$ g/cm²god),
6. JJ2 ($0,26 \pm 0,02$ cm/god, $0,08 \pm 0,01$ g/cm²god),
7. JJ1 ($0,22 \pm 0,04$ cm/god, $0,05 \pm 0,01$ g/cm²god).

U otprilike sto godina, brzina sedimentacije se u prosjeku povećala za $946,5 \pm 712,2$ % ($0,445 \pm 0,324$ cm/god). Najveća razlika između brzina sedimentacije najdubljeg i površinskog intervala je ponovno za crnomorske jezgre, zatim za srednjojadranske, dok je najmanja za južnojadranske, točnije:

1. C2 ($1,02$ cm/god, $0,78$ g/cm²god),
2. C1 ($0,74$ cm/god, $0,68$ g/cm²god),
3. SJ1 ($0,51$ cm/god, $0,13$ g/cm²god),
4. SJ3 ($0,25$ cm/god, $0,20$ g/cm²god),
5. SJ2 ($0,22$ cm/god, $0,09$ g/cm²god),
6. JJ2 ($0,20$ cm/god, $0,03$ g/cm²god),
7. JJ1 ($0,19$ cm/god, $0,04$ g/cm²god).

7.1.2. Usporedba datiranja CIC modelom

Datiranje CIC modelom se izvrsno podudara s CRS modelom za jezgru C2 (slika 24), dok ima manje odskakanje u plićim dijelovima jezgre JJ2 (slika 34). Jezgra JJ1 ima manje razdvajanje oba modela u dubljim dijelovima, nakon otprilike 60 godina starosti (slika 29). Za jezgre SJ2 (slika 44) i SJ3 (slika 49), CRS i CIC model imaju otprilike iste trendove, no izravno se podudaraju samo u površinskim intervalima, dok u dubljima imaju sve veća razdvajanja, do otprilike 40 godina. Datiranje CIC modelom jezgre C1 (slika 19) i SJ1 (slika 39) daje nepravilnu krivulju i ukazuje da pretpostavke potrebne za CIC model vjerojatno nisu primjenjive na te dvije lokacije.

Prema CIC modelu, samo jezgre C2 (slika 24) i JJ2 (slika 34) imaju starost veću od sto godina. Oba modela se slažu da je jezgra C2 najstarija, dok su jezgre SJ3 (slika 49) i SJ1 (slika 39) najmlađe. Po starosti su jezgre prema CIC modelu poredane:

1. C2 (131,30 god),
2. JJ2 (106 ± 10 god),
3. JJ1 (97 ± 11 god),
4. C1 (79 ± 27 god),
5. SJ2 (78 ± 25 god),
6. SJ3 (70 ± 19 god),
7. SJ1 (59 ± 12 god).

Prema CIC modelu, najveću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu jezgre imaju srednjojadranske jezgre, a naizmjenično ih slijede južnojadranske i crnomorske jezgre. Poredane su sljedećim redoslijedom:

1. SJ1 ($0,60 \pm 0,98$ cm/god, $0,42 \pm 0,68$ g/cm²god),
2. SJ3 ($0,16 \pm 0,15$ cm/god, $0,19 \pm 0,18$ g/cm²god),
3. SJ2 ($0,13 \pm 0,08$ cm/god, $0,12 \pm 0,07$ g/cm²god),
4. JJ2 ($0,10 \pm 0,03$ cm/god, $0,07 \pm 0,02$ g/cm²god),
5. C1 ($0,10 \pm 0,07$ cm/god, $0,13 \pm 0,09$ g/cm²god),
6. JJ1 ($0,06 \pm 0,03$ cm/god, $0,03 \pm 0,02$ g/cm²god),
7. C2 ($0,01 \pm 0,002$ cm/god, $0,01 \pm 0,001$ g/cm²god).

Jezgra C2 koja je imala najmanju brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu, ima najveću brzinu od svih jezgara u površinskom intervalu (slika 24). Nju slijede sve srednjojadranske jezgre, zatim južnojadranske, dok jezgra C1 ima najmanju brzinu prema CIC modelu (slika 19):

1. C2 ($0,44 \pm 0,03$ cm/god, $0,42 \pm 0,68$ g/cm²god),
2. SJ3 ($0,42 \pm 0,26$ cm/god, $0,38 \pm 0,23$ g/cm²god),
3. SJ2 ($0,30 \pm 0,13$ cm/god, $0,17 \pm 0,07$ g/cm²god),
4. SJ1 ($0,29 \pm 0,11$ cm/god, $0,10 \pm 0,04$ g/cm²god),
5. JJ2 ($0,28 \pm 0,06$ cm/god, $0,08 \pm 0,02$ g/cm²god),
6. JJ1 ($0,21 \pm 0,04$ cm/god, $0,05 \pm 0,04$ g/cm²god),
7. C1 ($0,11 \pm 0,11$ cm/god, $0,11 \pm 0,10$ g/cm²god),

Iz toga se može zaključiti da jezgra C2 ima najveću razliku u brzinama sedimentacije između najdubljeg i površinskog intervala (slika 24). Iza nje slijedi naizmjenična kombinacija srednjojadranskih, južnojadranskih i zadnje crnomorske jezgre. Prema CIC modelu, jezgra SJ1 ima veću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu (slika 39). Razlike između površinskog i najdubljeg intervala su:

1. C2 (0,43 cm/god, 0,33 g/cm²god),
2. SJ3 (0,26 cm/god, 0,19 g/cm²god),
3. JJ2 (0,18 cm/god, 0,01 g/cm²god),
4. SJ2 (0,17 cm/god, 0,05 g/cm²god),
5. JJ1 (0,15 cm/god, 0,02 g/cm²god),
6. C1 (0,01 cm/god, -0,02 g/cm²god),
7. SJ1 (-0,31 cm/god, -0,32 g/cm²god).

7.1.3. Usporedba količine ugljika

Ukoliko se gleda postotak ukupnog ugljika izmjeren u intervalima svih jezgri, sve jezgre imaju porast količine ukupnog ugljika prema površini, osim jezgre SJ2. Najveći porast ima jezgra SJ3, a zatim je naizmjenično prate južnojadranske, crnomorske i ostale srednjojadranske jezgre. Ako se postotak ukupnog ugljika preračuna u njegov tok (g/god), sve jezgre imaju pozitivni porast prema površini. Najveći porast imaju srednjojadranske i crnomorske jezgre, a najmanji južnojadranske (tablica 6).

Tablica 6. Usporedba promjene ukupnog ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala, izmjerenog u jezgrama i preračunatog u g/god. Jezgre su poredane od najvećeg iznosa prema najmanjem, gledajući jednadžbu linearnog trenda. x = CRS starost (god).

	Ukupni ugljik (%)	Ukupni ugljik (g/god)
1. SJ3	$(46 \cdot 10^{-4} \cdot x + 8,1)$	SJ1 $(99 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,1)$
2. JJ1	$(25 \cdot 10^{-4} \cdot x + 3,1)$	C1 $(88 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,7)$
3. C2	$(22 \cdot 10^{-4} \cdot x + 4,6)$	SJ3 $(72 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,1)$
4. SJ1	$(7 \cdot 10^{-4} \cdot x + 6,3)$	SJ2 $(36 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,6)$
5. C1	$(6 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,2)$	C2 $(15 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,2)$
6. JJ2	$(4 \cdot 10^{-4} \cdot x + 3,2)$	JJ1 $(7 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,1)$
7. SJ2	$(-59 \cdot 10^{-4} \cdot x + 6,8)$	JJ2 $(5 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,1)$

Odnos između jezgri za izravno izmjerene postotak anorganskog ugljika u intervalima je skoro identičan onome za postotak ukupnog ugljika u intervalima. Razlika je što je pozitivan porast samo za prve tri jezgre, SJ3, JJ1 i C2, dok je za sve ostale negativan. No, kada se taj postotak preračuna u tok (g/god), svaka jezgra ima ponovno pozitivni porast, čiji je redoslijed između jezgri također skoro identičan onome ukupnog ugljika. Najveći porast imaju srednjojadranske jezgre, zatim crnomorske, a najmanji južnojadranske (tablica 7).

Tablica 7. Usporedba promjene anorganskog ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala izmjerenog u jezgrama i preračunatog u g/god. Jezgre su poredane od najvećeg iznosa prema najmanjem, gledajući jednadžbu linearnog trenda. x = CRS starost (god).

	Anorganski ugljik (%)	Anorganski ugljik (g/god)
1. SJ3	$(50 \cdot 10^{-4} \cdot x + 7,9)$	SJ1 $(92 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,1)$
2. JJ1	$(18 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,6)$	SJ3 $(71 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,1)$
3. C2	$(12 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,6)$	C1 $(65 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,5)$
4. SJ1	$(-1 \cdot 10^{-4} \cdot x + 5,8)$	SJ2 $(33 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,6)$
5. JJ2	$(-6 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,8)$	C2 $(8 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,1)$
6. C1	$(-32 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,8)$	JJ1 $(6 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,1)$
7. SJ2	$(-66 \cdot 10^{-4} \cdot x + 6,4)$	JJ2 $(4 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,1)$

Crnomorske jezgre imaju najveći postotak izmjerenog organskog ugljika u intervalima, a njih slijede naizmjenične južnojadranske i srednjojadranske jezgre. Negativna promjena postotka organskog ugljika prisutna je samo u jezgri SJ3. Kada su postoci preračunati u tok (g/god), sve jezgre imaju pozitivni porast. Crnomorske jezgre još uvijek imaju najveći porast, zatim srednjojadranske, dok južnojadranske ponovno imaju najmanje promjene (tablica 8).

Tablica 8. Usporedba promjene organskog ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala izmjerenog u jezgrama i preračunatog u g/god. Jezgre su poredane od najvećeg iznosa prema najmanjem, gledajući jednadžbu linearnog trenda. x = CRS starost (god).

	Organski ugljik (%)	Organski ugljik (g/god)
1. C1	$(37 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,5)$	C1 $(23 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,14)$
2. C2	$(10 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,0)$	SJ1 $(8 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,08)$
3. JJ2	$(9 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,4)$	C2 $(7 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,08)$
4. SJ1	$(8 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,5)$	SJ2 $(3 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,04)$
5. SJ2	$(8 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,5)$	SJ3 $(1 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,03)$
6. JJ1	$(7 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,4)$	JJ1 $(9 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,01)$
7. SJ3	$(-4 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,2)$	JJ2 $(8 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,01)$

7.1.4. Usporedba sekvestracije ugljika

Sve srednjojadranske jezgre imaju visoke prosječne izračunate količine sekvestriranog ugljika u sedimentu. Njih slijede crnomorske jezgre, dok najnižu prosječnu sekvestraciju ugljika imaju najdublje, južnojadranske jezgre. Ukoliko se gleda porast količine sekvestracije prema površini, jezgre su poredane istim redoslijedom, osim jezgri C1 i SJ2 koje su zamijenile mjesta u poretku (tablica 9). Količina ukupnog sekvestriranog ugljika se u prosjeku povećala za $598,9 \pm 402,9 \%$ ($0,00869 \pm 0,00656 \text{ g/cm}^2\text{god}$) u otprilike sto godina.

Tablica 9. Usporedba prosječne izračunate količine sekvestriranog ugljika i povećanje u sekvestraciji, idući prema površini. Jezgre su poredane od najvećeg iznosa prema najmanjem, gledajući prosječnu vrijednost i jednadžbu linearnog trenda. $x = \text{CRS starost (god)}$.

	Prosječna količina sekvestracije ($\text{g/cm}^2\text{god}$)		Povećanje u sekvestraciji ($\text{g/cm}^2\text{god}$)	
1.	SJ1	$(0,0141 \pm 0,0062)$	SJ1	$(2 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,020)$
2.	SJ3	$(0,0138 \pm 0,0054)$	SJ3	$(1 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,020)$
3.	SJ2	$(0,0077 \pm 0,0025)$	C1	$(1 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,008)$
4.	C1	$(0,0055 \pm 0,0038)$	SJ2	$(6 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,010)$
5.	C2	$(0,0022 \pm 0,0015)$	C2	$(3 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,003)$
6.	JJ1	$(0,0013 \pm 0,0006)$	JJ1	$(1 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,002)$
7.	JJ2	$(0,0010 \pm 0,0005)$	JJ2	$(8 \cdot 10^{-6} \cdot x + 0,001)$

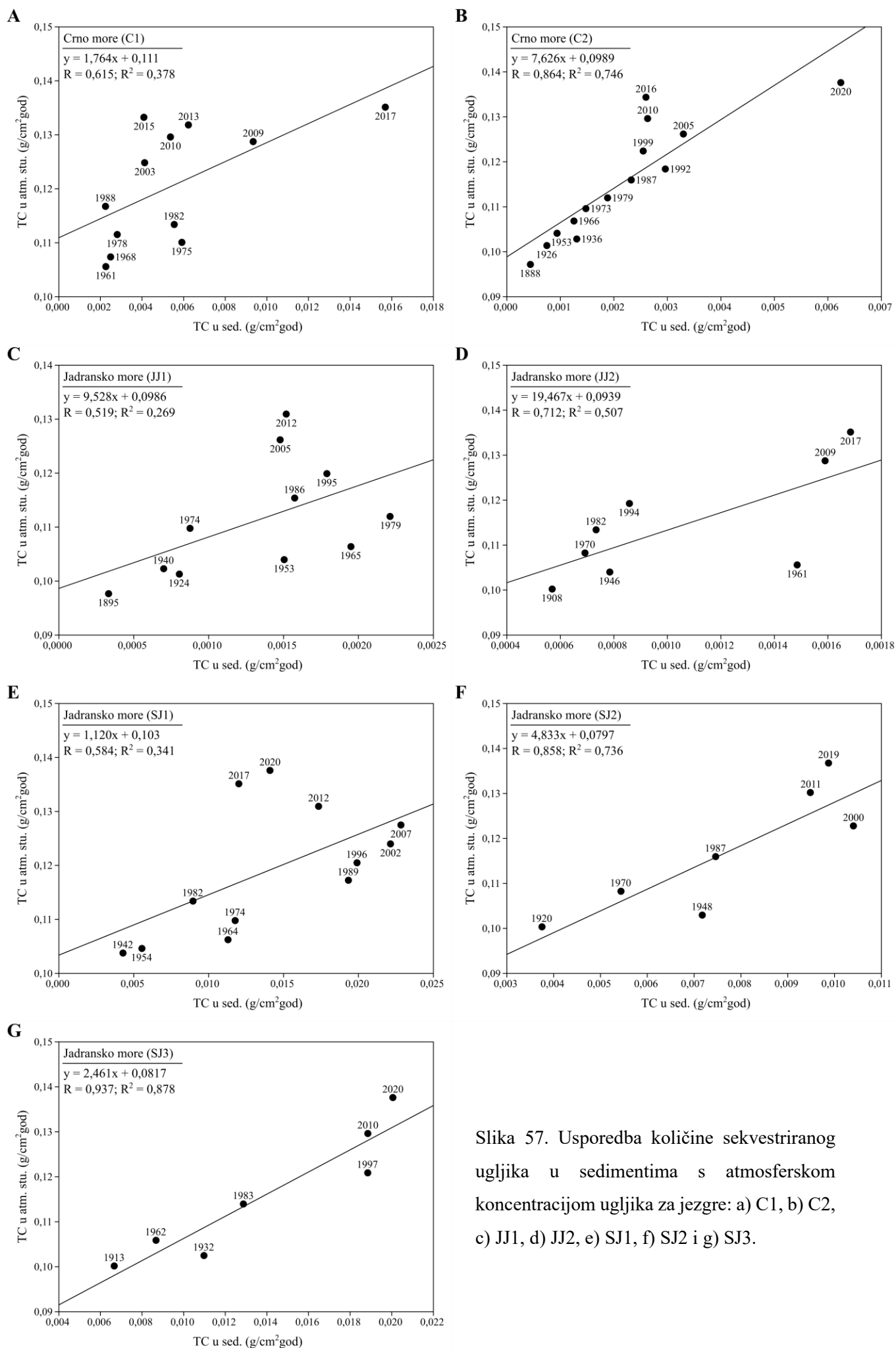
Kako bi se ispitalo ima li na ovo povećanje sekvestracije ugljika u sedimentu utjecaj povećanja atmosferske koncentracije CO_2 (takozvana fertilizacija mora ugljikom), uspoređene su količine sekvestriranog ugljika s količinama atmosferskog ugljika istih godina metodom linearne regresije. Slika 57. pokazuje da su linearni korelacijski koeficijenti vrlo visoki. Najbolje linearno podudaranje ima najdublja srednjojadranska jezgra SJ3. Nju slijede redom dubljevodna crnomorska jezgra C2, srednje duboka srednjojadranska jezgra SJ2 te dublja južnojadranska jezgra JJ2. Manje podudaranje sekvestriranog i atmosferskog ugljika imaju jezgre C1, SJ1 i JJ1. Dakle, gledajući linearne korelacijske koeficijente, jezgre su poredane sljedećim redoslijedom ($x = \text{količina sekvestriranog ugljika (g/cm}^2\text{god)}$):

1. SJ3 ($2,461x + 0,0817$, $R = 0,937$, $R^2 = 0,878$),
2. C2 ($7,626x + 0,0989$, $R = 0,864$, $R^2 = 0,746$),
3. SJ2 ($4,833x + 0,0797$, $R = 0,858$, $R^2 = 0,736$),
4. JJ2 ($19,467x + 0,0939$, $R = 0,712$, $R^2 = 0,507$),
5. C1 ($1,764x + 0,1110$, $R = 0,615$, $R^2 = 0,378$),
6. SJ1 ($1,120x + 0,1030$, $R = 0,584$, $R^2 = 0,341$),
7. JJ1 ($9,528x + 0,0986$, $R = 0,519$, $R^2 = 0,269$).

7.2. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika s objavljenim podacima

Direktno uspoređivanje izmjerenih brzina sedimentacije s onima iz literature je otežano iz razloga što velika većina objavljenih radova daje samo jednu, prosječnu brzinu za cijele jezgre. Detaljniji uvid u objavljene brzine sedimentacije može se pronaći u prilogima 2 i 3. Kao što se vidi iz ovog rada, izražavanje prosječne brzine sedimentacije može zamaskirati vremenske promjene i biti nereprezentativna za recentnu sedimentaciju. No, ukoliko se radi usporedbe gleda prosječna brzina sedimentacije i njezina standardna devijacija, izmjerene jezgre su poredane:

1. C1 ($0,335 \pm 0,263$ cm/god),
2. SJ1 ($0,325 \pm 0,136$ cm/god),
3. C2 ($0,315 \pm 0,220$ cm/god),
4. SJ2 ($0,142 \pm 0,071$ cm/god),
5. SJ3 ($0,136 \pm 0,064$ cm/god),
6. JJ2 ($0,130 \pm 0,068$ cm/god),
7. JJ1 ($0,113 \pm 0,054$ cm/god).



Slika 57. Usporedba količine sekvstriranog ugljika u sedimentima s atmosferskom koncentracijom ugljika za jezgre: a) C1, b) C2, c) JJ1, d) JJ2, e) SJ1, f) SJ2 i g) SJ3.

7.2.1. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika crnomorskih jezgri s objavljenim podacima

Prosječne brzine sedimentacija crnomorskih jezgri su relativno slične. Jezgra C1 ima brzinu od $0,335 \pm 0,263$ cm/god, dok C2 ima $0,315 \pm 0,220$ cm/god. Slične brzine sedimentacije dobivene su na nekim mjestima oko poluotoka Krim, točnije na 4 metra dubine u zaljevu Streletskaia ($0,35$ cm/god) (Egorov et al., 2013; Mirzoeva et al., 2018), 15 m u Sevastopoljskom zaljevu ($0,33$ cm/god) (Gulin et al., 2013, 2014; Egorov et al., 2018; Mirzoeva et al., 2018) te u otvorenom moru u blizini krimskog grada Sevastopolj na dubini od 112 m ($0,3$ cm/god) (EMODnet, 2023b). Ove prosječne brzine također odgovaraju nekim objavljenim brzinama izmjerenim u delti Dunava, poput $0,33$ cm/god na 23 m dubine (EMODnet, 2023b), $0,28$ cm/god izmjerenoj u recentnih 25 godina bušotinske jezgre (Winguth et al., 2000) i recentnim brzinama od $0,32$ cm/god u određenim jezerima delte Dunava (Giosan et al., 2013). Slična brzina je također izmjerena u blizini bugarskog grada Burgasa na dubini od 67 m ($0,38$ cm/god) (EMODnet, 2023b). U dubokomorskom dijelu Crnog mora je na dva mjesta također dobivena usporediva brzina, točnije $0,3$ cm/god na 1892 m dubine (EMODnet, 2023b) i $0,367 \pm 0,03$ cm/god na 2159 m (Yücel et al., 2012) (slika 58).

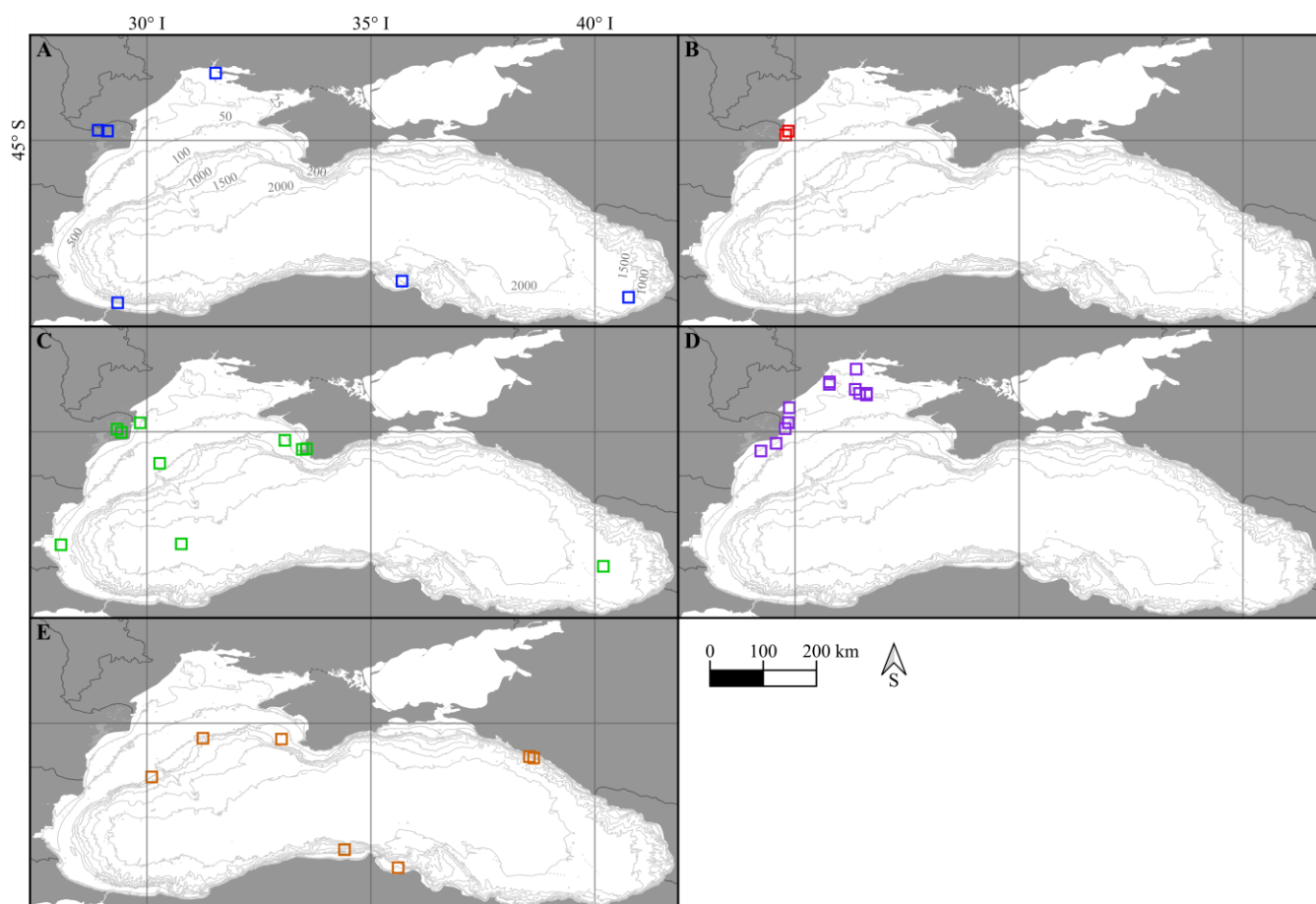
Ukoliko se isključivo gleda brzina sedimentacije dobivene u površinskom sloju jezgre C1 ($0,773 \pm 0,327$ cm/god), ona se najbolje podudara s brzinom dobivenom za interval 1963-2012. u blizini Bospora na dubini od 302 m ($0,78$ cm/god) (Sarı et al., 2018). Također ima izrazito dobro podudaranje s brzinama od $0,77$ cm/god (Anderson et al., 1994) i $0,8$ cm/god (Lyons & Kashgarian, 2005) dobivenim na dubini od 198 m u blizini turskog grada Samsun. Plitkovodna jezgra (7,2 m) u blizini ukrajinskog Nacionalnog parka prirode „Biloberezhia Sviatoslava“ daje brzinu od $0,75$ cm/god (Sibirchenko et al., 1987; EMODnet, 2023b) te pojedina jezera delte rijeke Dunav imaju izmjerene brzine sedimentacije od $0,8$ i $0,81$ cm/god (Dinescu & Dului, 2001). Sličnu brzinu sedimentacije također ima i dubokovodna jezgra s dubine od 1741 m ($0,74 \pm 0,03$ cm/god) (Yücel et al., 2012).

Površinski sloj jezgre C2, s brzinom sedimentacije od $1,075 \pm 0,067$ cm/god, ima manje sličnih objavljenih brzina sedimentacije u odnosu na brzinu sedimentacije površinskog sloja jezgre C1. Najsličnije brzine nalaze se na delti rijeke Dunav. To su $1,09$ cm/god dobivene pomoću ^{210}Pb (^{137}Cs je dao brzinu od $0,83$ cm/god) na 18,9 m dubine (Constantinescu et al., 2023) te $1,15$ cm/god na 26 m dubine (Gulin et al., 1997a; 1997b; Egorov et al., 1999).

Ako se umjesto brzine sedimentacije, uspoređuju slični okoliši i morske dubine kao od jezgre C1 (24,5 m), u literaturi su objavljene razne brzine sedimentacije. U blizini ukrajinskog grada Odese, na dubini od 20 m izmjerena je brzina od 0,013 cm/god, dok je 0,027 cm/god izmjerena na dubini od 20,5 m (Podoplelov et al., 1977; EMODnet, 2023b) te 0,41 cm/god na drugoj lokaciji od također 20 m dubine (Tereshchenko & Parkhomenko, 2021). Nedaleko od ukrajinskog nacionalnog parka Tuzlanske lagune, na 20,5 m dubine je izmjerena brzina sedimentacije od 0,02 cm/god (Podoplelov et al., 1977; EMODnet, 2023b). U delti rijeke Dunav, prijašnje spomenuta jezgra s dubine od 26 m ima izmjerenu brzinu od 1,15 cm/god (Gulin et al., 1997a; 1997b; Egorov et al., 1999). Recentne brzine od 0,67 (^{137}Cs) i 0,95 (^{210}Pb) cm/god izmjerene su na sedimentu s 24,6 m dubine, dok jezgra s 30 m dubine ima recentne brzine od 0,43 (^{137}Cs) i 0,54 (^{210}Pb) cm/god (Constantinescu et al., 2023). Jezgra iz delte s 20 m dubine ima brzinu od 0,71 cm/god, a s 23 m ima 0,33 cm/god (EMODnet, 2023b). Dodatne jezgre sa zapadnog šelfa su pokazale niske brzine sedimentacije, točnije 0,015 cm/god na 21 m dubine, 0,006 cm/god na 24,3 m dubine, 0,005 cm/god na 24,5 m dubine te 0,011 cm/god na 24,7 m dubine (Sibirchenko et al., 1983; EMODnet, 2023b). Od svih navedenih brzina sedimentacije, jezgra C1, s prosječnom brzinom sedimentacije od $0,335 \pm 0,263$ cm/god, daleko se najbolje podudara s jezgrom iz delte Dunava koja je s 23 m dubine pokazala brzinu od 0,33 cm/god (EMODnet, 2023b). Brzina sedimentacije u površinskom sloju jezgre C1 ($0,773 \pm 0,327$ cm/god) najbolje se podudara s drugom jezgrom iz delte koja je na 20 m dubine pokazala prosječnu brzinu sedimentacije od 0,71 cm/god (EMODnet, 2023b).

Jezgra C2 je uzorkovana na dubini od 102 m. U blizini turskog grada Samsun, jezgra s dubine od 97 m pokazala je brzine od 0,1 cm/god (Anderson & Fleisher, 1991; Cowie & Hedges, 1991) i $<0,09$ cm/god (Anderson et al., 1994), dok je iz druge jezgre s 110 m dubine dobivena brzina od $0,088 \pm 0,03$ cm/god (Yücel et al., 2012). U blizini ruskog grada Novorosijsk, izmjerene su brzine od 0,006 cm/god na 101 m dubine (Ivanova et al., 2007) i 0,008 cm/god na 99 m (Ivanova et al., 2015). Kod krimskog grada Sevastopolj, za jezgre na dubinama od 101-207 m procijenjeno je da brzina sedimentacije varira oko $0,1 \pm 0,05$ cm/god (Lichtschlag et al., 2015). Na zapadnom šelfu, jezgra s 100 m dubine pokazala je brzinu od 0,013 cm/god (Ivanov et al., 1990; EMODnet, 2023b), dok je u jezgri uzorkovanoj na sličnoj dubini od 110 m dobivena brzina od 0,004 cm/god (EMODnet, 2023b). Jezgra C2, koja ima prosječnu brzinu sedimentacije od $0,315 \pm 0,220$ cm/god i brzinu u površinskom sloju od $1,075 \pm 0,067$ cm/god, nema dobro podudaranje s ijednom od navedenih brzina sedimentacije iz literature sa sličnih dubina uzorkovanja, za što bi mogla biti zaslužna lokalna geomorfologija i

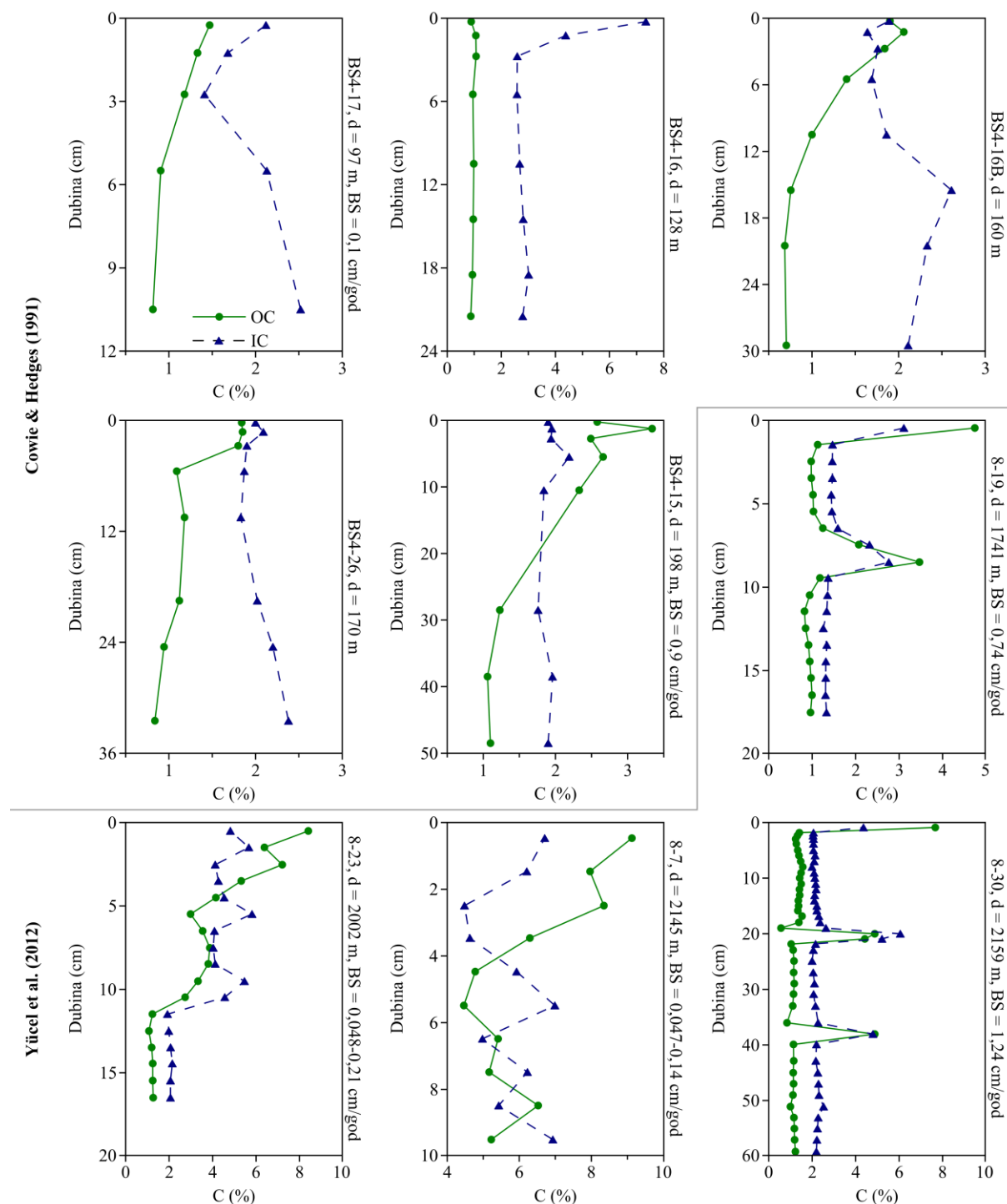
hidrodinamika ili razlike u metodama datiranja. Lokacije svih sličnih dubina uzorkovanja sedimenta i brzina sedimentacije u Crnom moru nalaze se na slici 58.



Slika 58. Lokacije uzoraka sa sličnom brzinama sedimentacije kao: a) površinska brzine jezgre C1, b) površinska brzina jezgre C2, c) prosječne brzine jezgri C1 i C2, te lokacije uzoraka sa sličnim dubinama uzorkovanja kao: d) dubina jezgre C1, e) dubina jezgre C2.

Ukoliko se u literaturi traže promjene organskog i anorganskog ugljika kroz jezgru, manji broj radova ima prikazane rezultate ugljika zajedno s procjenom brzine sedimentacije. Dodatno, dosta tih radova ne obrađuje recentne promjene, nego se bave promjenama u većim, metarskim intervalima jezgara poput Teodoru et al. (2007) ili Ilie et al. (2022). Za recentnije sedimente, Cowie & Hedges (1991) su analizirali jezgre u blizini turskog grada Samsun, dok su Yücel et al. (2012) proučavali uzorke iz dubokomorskog bazena Crnog mora (slika 59). U svih pet analiziranih jezgri, Cowie & Hedges (1991) su pronašli povišenje količine organskog ugljika idući prema površini, kao i to da dublje jezgre imaju veći porast OC. Postotak anorganskog ugljika u dubljim intervalima ili ima pad ili ostaje otprilike isti, dok u površinskim intervalima ima porast, koji je izraženiji u jezgrama BS4-16 i BS4-17. Yücel et al. (2012) su pronašli slične trendove OC i IC za dvije jezgre, s najdubljim dijelom bez većih promjena ili s

padom, a zatim porastom koncentracije u površinskom dijelu. Ostale dvije jezgre imaju relativno konstantne koncentracije OC i IC kroz cijelu jezgru, osim povećanja u površinskom i nekim dodatnim intervalima. Za povećanje koncentracije ugljika na sredini jezgre 8-19 su pretpostavili da je nastalo zbog različite kompaktacije datirane jezgre i one u kojoj je mjereno



Slika 59. Koncentracije OC i IC u crnomorskim jezgrama, objavljene u Cowie & Hedges (1991) i Yücel et al. (2012). S desne strane grafa napisani su naziv jezgre, dubina uzorkovanja (d) i procijenjena brzina sedimentacije (BS). Jezgre su poredane prema dubini uzorkovanja.

ugljik, dok se povećane koncentracije u jezgri 8-30 nalaze na dnu i vrhu 20-centimetarskog turbiditnog sloja (Yücel et al., 2012). Sve prikazane jezgre, osim jezgri 8-19 i 8-30, pokazuju relativno povećanje zastupljenosti ugljika u površinskim slojevima, kao što je također zamijećeno u jezgrama C1 i C2.

7.2.2. Usporedba brzina sedimentacije i koncentracija ugljika jadranskih jezgri s objavljenim podacima

Od svih jadranskih jezgri, prosječna brzina sedimentacije jezgre SJ1 ($0,325 \pm 0,136$ cm/god) najviše odstupa od prosječnih brzina ostalih jezgri. Slične brzine sedimentacije pronađene su na raznim lokacijama unutar Jadranskog mora. Kod otoka Jabuka zabilježena je brzina od 0,31 cm/god na dubini od 230,8 m (Petrinec et al., 2012; Ilijanić et al., 2012; 2014). U Kaštelanskom zaljevu je na 31, 45 i 50 m dubine pronađena brzina od $0,29 \pm 0,09$ cm/god (Lovrenčić Mikelić et al., 2017; 2022). U blizini naselja Seget Vranjica izmjerena je brzina sedimentacije od 0,36 cm/god (Crmaric et al., 1999). Brzina od 0,3 do 0,4 cm/god dobivena je na dvije lokacije u estuariju rijeke Krke, na dubinama od 23 i 40 m (Cukrov et al., 2007; 2009). Brzina od 0,29 cm/god zabilježena je kod sečovljanskih solana (Ogorelec et al., 1981), dok je jednaka brzina definirana i kod slovenskog grada Pirana na dubini od 22 m (Gallmetzer et al., 2019; Tomašových et al., 2019). U Tršćanskom zaljevu, na 12 m dubine izmjerena je brzina od 0,37 cm/god, a ta je ista brzina dobivena i u blizini talijanskog grada Lignano Sabbiadoro, na također 12 m dubine (Frignani et al., 2005a). Slične brzine se pojavljuju tri puta u Venecijanskom zaljevu, točnije 0,33 cm/god na 20 m dubine (Frignani et al., 1988, 2005a), 0,32 cm/god na 16 m i 0,27 cm/god na 17 m (Frignani et al., 2005a). U Venecijanskoj laguni izmjerene su brzine od 0,31 cm/god (Battiston et al., 1988), 0,28 i 0,3 cm/god na dubinama od 0,5 m (Frignani et al., 1997) i 0,27 cm/god (Frignani et al., 2003; 2005b). Brzine od 0,30-0,35 cm/god (Puškarić et al., 1990) i od 0,29 cm/god na 21 m (Palinkas & Nittrover, 2007) dobivene su iz delte rijeke Po. U laguni Pialassa della Baiona, izmjerena je brzina od 0,36 cm/god (Matteucci et al., 2001). Na raznim lokacijama u blizini talijanskih gradova je također zamijećena slična brzina sedimentacije. U blizini grada Ancone, izmjerena je brzina od 0,35 cm/god na 42 m i 0,34 cm/god na 20 m dubine (Bugli, 1989) te 0,27 cm/god na 55 m (Frignani et al., 2005a). Kod grada San Benedetto del Tronto, dobivena je brzina od 0,27 cm/god na 55 m dubine (Sorgente, 1999), dok su kod grada Peskare izračunate brzine od 0,34 cm/god na 88 m (Sorgente, 1999) i 0,37 cm/god na 80 m dubine (Frignani et al., 2005a). Jezgra uzorkovana na dubini od 86 m u blizini grada Vasto dala je brzinu od 0,36 cm/god (Giordani et al., 1999),

dok je iz jezgre s 80 m dubine kod grada Lesine dobivena brzina od 0,34 cm/god (Sorgente, 1999). U blizini grada Foce di Varano je izračunata brzina od 0,38 cm/god na dubini od 77 m (Cattaneo et al., 2003), a u okolici poluotoka Gargano je zamijećena brzina od 0,33 cm/god na 65 m (Cattaneo et al., 2003) (slika 60).

Ostale jadranske jezgre imaju relativno slične prosječne brzine, točnije: $0,142 \pm 0,071$ cm/god za SJ2, $0,136 \pm 0,064$ cm/god za SJ3, $0,130 \pm 0,068$ cm/god za JJ2 i $0,113 \pm 0,054$ cm/god za JJ1. Slične brzine su također objavljene za razne dijelove Jadranskog mora. Kod otoka Palagruže je iz jezgre uzorkovane na 169,8 m dubine dobivena brzina od 0,18 cm/god (Petrinec et al., 2012; Ilijanić et al., 2012; 2014). U Neretvanskom kanalu je izračunata brzina od 0,19-0,23 cm/god (Giglio et al., 2020), a u estuariju rijeke Krke je na jednoj lokaciji s dubinom od 29 m dobivena brzina od $<0,2$ cm/god (Cukrov et al., 2007). Hasan (2017) je u Karinskom moru na dubini od 13,8 m za 0-55 cm jezgre izmjerio 0,08 cm/god, a za 55-66 cm 0,15 cm/god. Kod otoka Veliki Brijun, na dubini od 44 m dobivena je brzina sedimentacije od 0,15 cm/god (Gallmetzer et al., 2019), dok je u Limskom zaljevu izračunata brzina od 0,12 cm/god na 27 m dubine (Paul, 1970). U okolici slovenskog grada Piran, izmjerena je brzina od 0,16 cm/god na dubini od 22,7 m (Gallmetzer et al., 2019; Tomašových et al., 2019). Jezgra uzorkovana na 25 m dubine u Tršćanskom zaljevu pokazala je brzinu od 0,18 cm/god (Covelli et al., 2006). U blizini talijanskog grada Grado, na 12 m dubine je dobivena brzina od 0,09 cm/god (Frignani et al., 2005a), dok su u obližnjim lagunama Marano i Grado izračunate brzine od 0,083, 0,11-0,13 i 0,12-0,13 cm/god na 2 m dubine (Covelli et al., 2012) te 0,13 cm/god u 0-7,5 cm intervalu jezgre (Petranich et al., 2020). Kod grada Lignano Sabbiadoro je dobivena brzina od 0,075 cm/god na dubini od 12 m (Frignani et al., 2005a). U Venecijanskom zaljevu izmjerene su brzine od: 0,07 cm/god (31 m dubine), 0,13 cm/god (28 m) (Hamilton et al., 1999), 0,12 cm/god (16 m) i 0,18 cm/god (16 m) (Frignani et al., 2005a). Delta rijeke Po također ima više usporedivih brzina: 0,12 cm/god (34, 35 i 36 m), 0,16 cm/god (32 m) (Hamilton et al., 1999), 0,09 cm/god (13 m), 0,11 cm/god (12 m), 0,12 cm/god (41 m), 0,19 cm/god (34 m) (Frignani et al., 2005a) te 0,15 cm/god (10 m) (Palinkas & Nitttrouer, 2007). U okolici grada Cervia, na dvije lokacije s dubinom od 10 m i 16 m pronađene su brzine od 0,12 cm/god (Giordani et al., 1992; Frignani et al., 2005a) i brzina od 0,07 cm/god na dubini na 38 m (Frignani et al., 2005a), a u okolici grada Pesaro dobivene su brzine od 0,09 cm/god na 27 m (Hamilton et al., 1999) i 0,16 cm/god na 20 m (Frignani et al., 2005a). Kod grada Senigallia taloženje je pokazalo brzinu od 0,15 cm/god na 68 m dubine (Hamilton et al., 1999) i 0,095 cm/god na 51 m (Frignani et al., 2005a), dok je kod grada Ancone izračunata brzina od 0,15

cm/god na 69 m (Bugli, 1989) i 0,19 cm/god na 54 m (Frignani et al., 2005a). U blizini grada Civitanova Marche je na 90 m izmjerena brzina od 0,085 cm/god (Frignani et al., 1989). Kod grada Peskare su ovakve brzine zabilježene na nešto većim dubinama: 0,123 cm/god (200 m) (Alvisi & Frignani, 1996), 0,08 cm/god (206 m), 0,09 cm/god (176 i 210 m), 0,11 cm/god (230 m), 0,13 cm/god (212 m), 0,14 cm/god (192 m) (Sorgente, 1999), 0,07 cm/god (211 m) i 0,08 cm/god (128 m) (Frignani et al., 2005a). U blizini grada Lesine zabilježene su brzine od 0,12 cm/god na 148 m dubine i 0,18 cm/god na 113 m (Sorgente, 1999), a u okolini grada Foce di Varano izračunate su brzine od 0,144 cm/god u 0-520 cm intervalu jezgre s 74 m dubine (Oldfield et al., 2003) i 0,08 cm/god na 19 m (Cattaneo et al., 2003). Usporedive brzine se pojavljuju i u Južnojadranskoj kotlini: 0,09 cm/god (1010 m) (Giordani et al., 1999), 0,076 cm/god (1200 m), 0,089 cm/god (987 m) (Frignani et al., 2005a), 0,18 cm/god (1041,4 m) (Petrinec et al., 2012; Ilijanić et al., 2014), 0,18 cm/god (1030 m) (Petrinec et al., 2012; Ilijanić et al., 2012; 2014) i 0,068-0,090 cm/god (1042 m) (Štok et al., 2013).

Površinski interval jezgre SJ1 ima brzinu sedimentacije od $0,653 \pm 0,116$ cm/god. Ta brzina se podudara s brzinom od 0,60 cm/god izmjerenoj u Neretvanskom kanalu (Jurina et al., 2013) i brzinama iz Kaštelanskog zaljeva, gdje su za intervale od 1963-2005. dobivene iste brzine na 20 m i 40 m dubine (Lovrenčić Mikelić et al., 2017; 2022). Ista brzina izmjerena je na jednoj lokaciji u Tršćanskom zaljevu na 15 m dubine (Covelli et al., 2006), a slične brzine dobivene su na više lokacija u Venecijanskom zaljevu: 0,60 cm/god (18 m) (Frignani et al., 1988; 2005a), 0,60 cm/god (16 m), 0,66 cm/god (16 m), 0,60 cm/god (20 m) (Frignani et al., 2005a), 0,50-0,63 cm/god (20 m) i 0,51-0,69 cm/god (20 m) (Alvisi et al., 2006). U Venecijanskoj laguni, slične brzine iznose 0,62 cm/god na 1,8 m dubine te 0,66 i 0,70 cm/god na 0,5 m (Frignani et al., 1997), dok u delti rijeke Po iznose 0,66 cm/god na 13 i 15 m dubine (Palinkas & Nittrouer, 2007). Dodatne slične brzine izmjerene su u blizini grada Peskare, s iznosom od 0,68 cm/god na 30 m dubine, i grada Lesine, s 0,60 cm/god na 29 m (Sorgente, 1999).

Brzine sedimentacije u površinskim intervalima ostalih jadranskih jezgri su sličnije, točnije: $0,313 \pm 0,060$ cm/god za jezgru SJ3, $0,295 \pm 0,056$ cm/god za jezgru SJ2, $0,260 \pm 0,018$ cm/god za jezgru JJ2 i $0,215 \pm 0,036$ cm/god za jezgru JJ1. Površinske brzine jezgri SJ2 i SJ3 su relativno slične prosječnoj brzini sedimentacije za jezgru SJ1, a time i prethodno nabrojenim brzinama iz literature. Brzine sedimentacije površinskog intervala južnojadranskih jezgri nalaze se između prosječne brzine sedimentacije jezgre SJ1 i prosječnih brzina ostalih jezgri. Slične brzine pronađene su u Kaštelanskom zaljevu, s brzinom od 0,2 cm/god na 12 m dubine (Bogner,

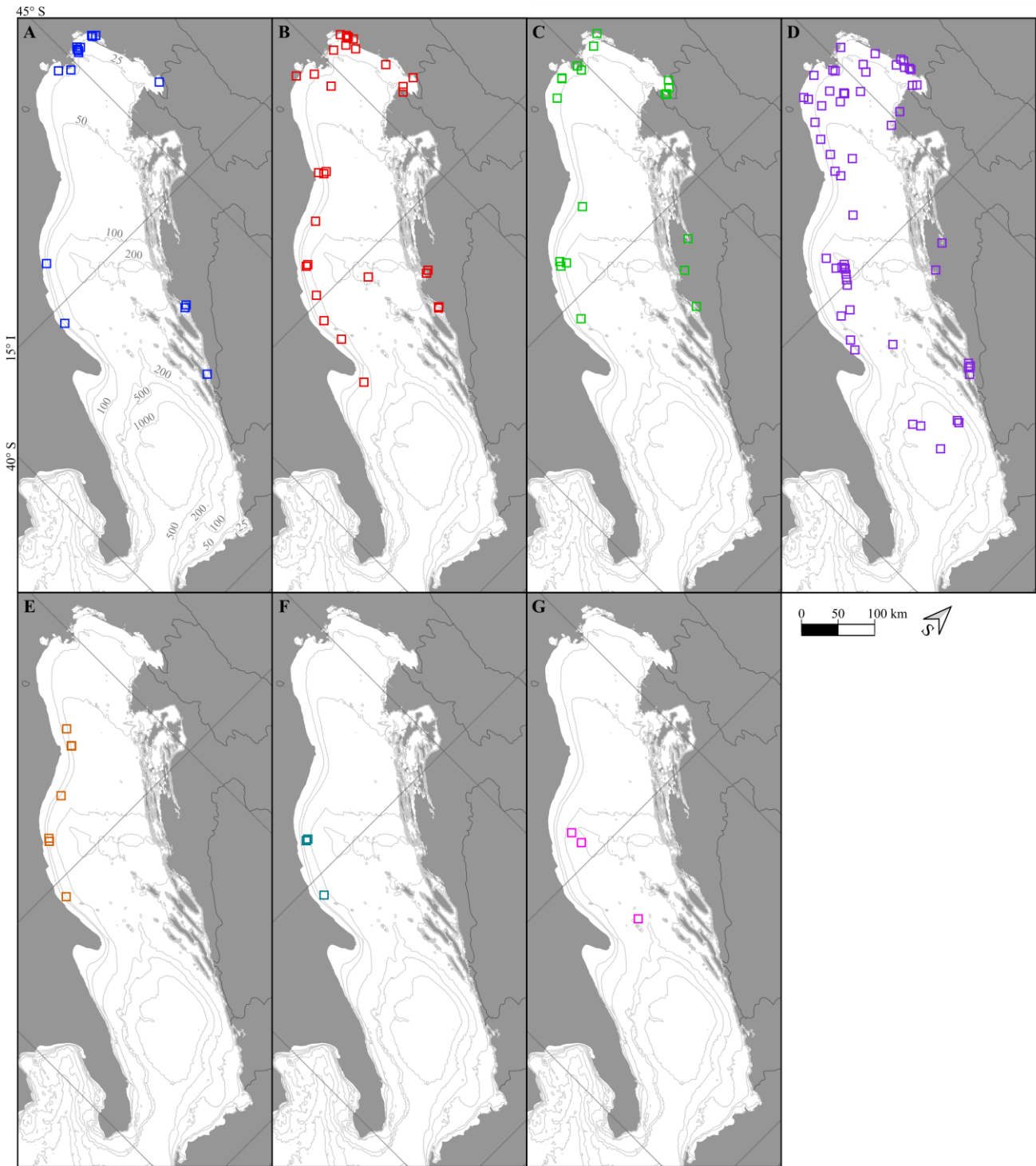
1996), a ista brzina izmjerena je i u estuariju rijeke Krke na dubini od 13 m (Cukrov et al., 2007; 2009), dok je brzina od 0,24 cm/god izračunata za 0-181 cm interval jezgre uzorkovane na 20,5 m dubine u Novigradskom moru (Hasan, 2017). U Koparskom zaljevu, brzina od 0,22 cm/god zamijećena je u sedimentu s 13 m dubine i u 0-21 m intervalu jezgre uzorkovane na 7 m, dok je brzina od 0,25 cm/god dobivena iz 0-22 m intervalima jezgara s 4,5 i 12 m (Ogorelec et al., 1997). Brzine od 0,23 cm/god na 23 m dubine (Covelli et al., 2006) i 0,2 cm/god u 0-30 cm intervalu jezgre s dubine od 11 m (Tomašových et al., 2017) dobivene su u Tršćanskom zaljevu. U Venecijanskom zaljevu, izmjerena je brzina od 0,25 cm/god na 18 m dubine (Frignani et al., 1988; 2005a), dok je u Venecijanskoj laguni izračunata brzina od 0,23 cm/god (Frignani et al., 2003; 2005b). Na četiri lokacije unutar delte rijeke Po su također dobivene slične brzine: 0,23 cm/god (Viel et al., 1991), 0,22 cm/god (17 m), 0,20 cm/god (23 m) (Frignani et al., 2005a) i 0,25 cm/god (12 m) (Palinkas & Nittrouer, 2007). Brzina od 0,24 cm/god na dubini od 23 m izmjerena je u blizini grada Cervia (Frignani et al., 2005a), dok je kod grada Civitanova Marche utvrđena brzina od 0,205 cm/god na 63 m dubine (Frignani et al., 1989). U okolici grada Peskare je na više mjesta zamijećena slična brzina: 0,218 cm/god (104 m), 0,223 cm/god (75 m) (Alvisi & Frignani, 1996) te 0,25 cm/god (82 m) (Frignani et al., 2005a), a kod grada Lesine izmjerena je brzina od 0,23 cm/god na 93 m dubine (Sorgente, 1999).

Jezgra SJ1 je uzorkovana na 54,5 m dubine, a jezgra SJ2 na 58,6 m. Ukoliko se uspoređuje s literaturom, slične dubine uzorkovanja u otvorenom moru javljaju se s talijanske strane. Kod grada Senigallia je na dubini od 51 m dobivena brzina sedimentacije od 0,095 cm/god, dok su u okolici grada Ancone izračunate brzine od 0,27 cm/god na dubini od 55 m i 0,19 cm/god na 54 m (Frignani et al., 2005a). U blizini grada San Benedetto del Tronto na dubini od 55 m zamijećena je brzina od 0,27 cm/god, a kod grada Peskare su dobivene brzine od 0,5 cm/god na 62 m dubine (Sorgente, 1999), 0,44 cm/god na 62 m i 0,55 cm/god na 57 m (Correggiari et al., 2001). Uzorkovana je i jezgra blizu grada Lesine na dubini od 51 m, koja je dala brzinu od 0,92 cm/god (Sorgente, 1999). Jezgri SJ1 (s prosječnom brzinom sedimentacije od $0,325 \pm 0,136$ cm/god i brzinom u površinskom sloju od $0,653 \pm 0,116$ cm/god), za prosječnu brzinu je najbliže brzini od 0,27 cm/god na dubini od 55 m kod gradova Ancone (Frignani et al., 2005a) i San Benedetto del Tronto (Sorgente, 1999), dok je za brzinu u površinskom sloju najbliža brzina od 0,55 cm/god na 57 m dubine kod grada Peskare (Sorgente, 1999). Jezgra SJ2 (koja ima prosječnu brzinu sedimentacije od $0,142 \pm 0,071$ cm/god i brzinu u površinskom sloju od $0,295 \pm 0,056$ cm/god) prosječnom brzinom je najbližija brzinama od 0,095 cm/god (51 m)

kod grada Senigallia i 0,19 cm/god (54 m) kod Ancone (Frignani et al., 2005a), dok je brzinom u površinskom sloju najbližiji istim jezgrama kao i prosječna brzina jezgre SJ1.

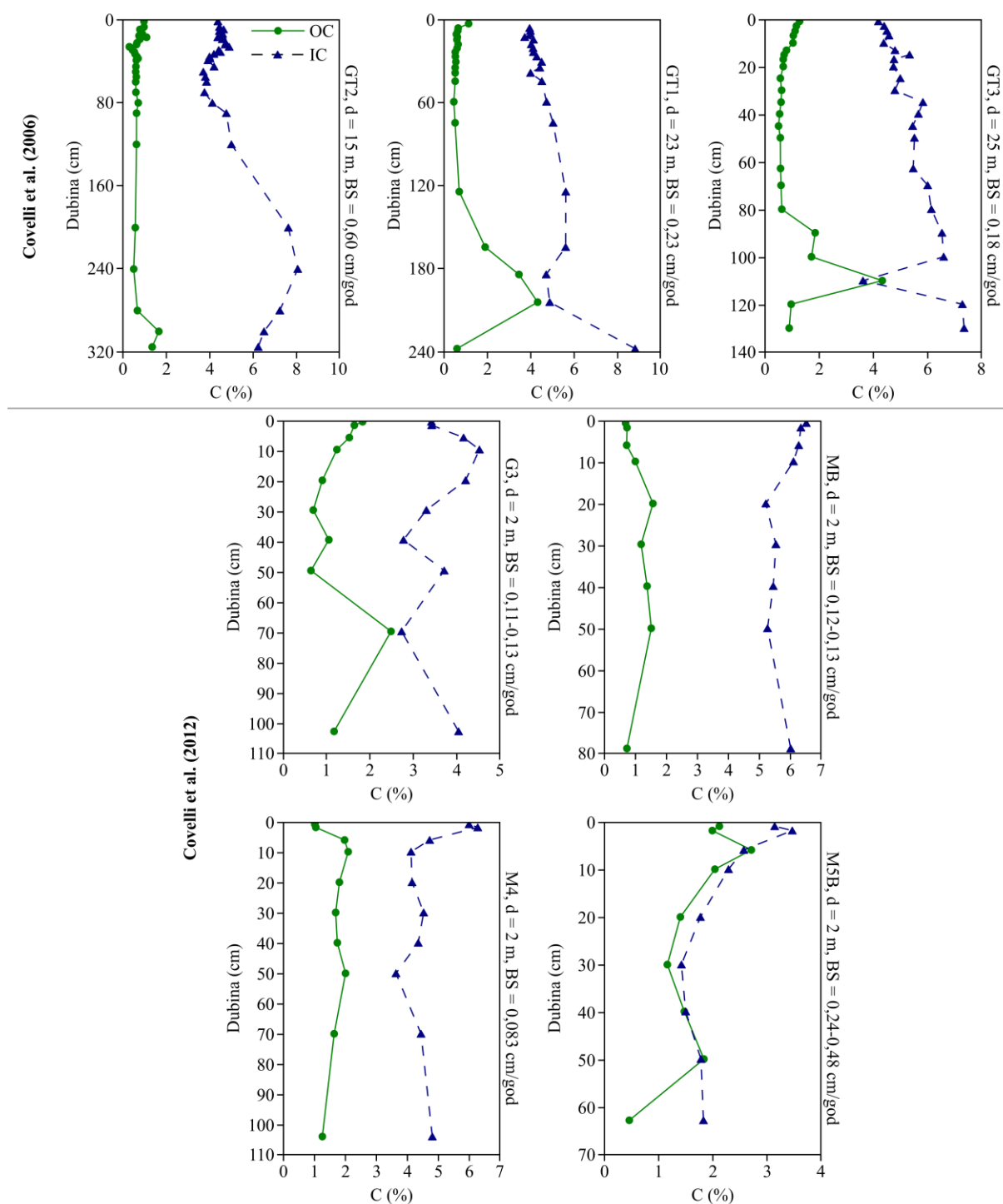
Najdublja srednjojadranska jezgra SJ3 je uzorkovana na dubini od 83,3 m. U literaturi su pronađene samo četiri jezgre sa sličnom dubinom u Jadranskom moru. Kod grada Peskare, uzorkovane su jezgre na 88 m dubine (0,34 cm/god) (Sorgente, 1999), 82 m (0,25 cm/god) i 80 m (0,37 cm/god) (Frignani et al., 2005a), dok je blizu grada Lesine uzorkovana jezgra na 80 m dubine (0,34 cm/god) (Sorgente, 1999). Jezgra SJ3 ima prosječnu brzinu sedimentacije od $0,136 \pm 0,064$ cm/god i nema izrazitog podudaranja s navedenim jezgrama. Brzinu u površinskom sloju jezgre SJ3 iznosi $0,313 \pm 0,060$ cm/god i dobro se podudara s brzinama od 0,34 cm/god uzorkovanih na 88 m dubine kod grada Peskare i 80 m kod grada Lesine (Sorgente, 1999).

Južnojadranske jezgre JJ1 i JJ2 uzorkovane su na 123 i 172 m dubine. Na sličnoj dubini kao jezgra JJ1 je jedino uzorkovan sediment blizu grada Peskara, na 128 m s dobivenom brzinom sedimentacije od 0,08 cm/god (Frignani et al., 2005a). Prosječna brzina sedimentacije jezgre JJ1 ($0,113 \pm 0,054$ cm/god) se relativno podudara s prethodno navedenom brzinom, dok brzina u površinskom intervalu ($0,215 \pm 0,036$ cm/god) nije usporediva. Sličnih dubina uzorkovanja kao jezgra JJ2 ima na dvije lokacije, točnije 169,8 m (0,18 cm/god) kod otoka Palagruže (Petrinec et al., 2012; Ilijanić et al., 2012; 2014) i 176 m (0,09 cm/god) blizu grada Peskare (Sorgente, 1999). Prosječna brzina sedimentacije jezgre JJ2 ($0,130 \pm 0,068$ cm/god) se nalazi skoro točno na polovici razlike između brzina tih dvaju jezgri. Jednako kao i za jezgru JJ1, brzina u površinskom sloju JJ2 ($0,260 \pm 0,018$ cm/god) je dosta veća i nije toliko usporediva. Lokacije svih sličnih dubina uzorkovanja sedimenta i brzina sedimentacije u Jadranskom moru nalaze se na slici 60.



Slika 60. Lokacije uzoraka sa sličnom brzinama sedimentacije kao: a) površinska brzina jezgre SJ1, b) prosječna brzina jezgre SJ1 i površinske brzine jezgri SJ2 i SJ3, c) površinske brzine jezgri JJ1 i JJ2, d) prosječne brzine jezgri SJ2, SJ3, JJ1 i JJ2, te lokacije uzoraka sa sličnim dubinama uzorkovanja kao: e) dubina jezgri SJ1 i SJ2, f) dubina jezgre SJ3, g) dubina jezgri JJ1 i JJ2.

Za Jadransko more su također objavljeni radovi s promjenama OC i IC kroz jezgre. Slično Crnom moru, u nekim radovima je teško vidjeti recentne promjene zbog metarskih dimenzija jezgri (npr. Hasan, 2017). Recentne promjene u koncentracijama ugljika zajedno s brzinom sedimentacije izmjerili su Covelli et al. (2006) u Tršćanskom zaljevu i Covelli et al. (2012) u talijanskim lagunama Marano i Grado (slika 61). Covelli et al. (2006) su pronašli prvotni pad koncentracije OC u metarskim dubinama jezgre, dok su zamijetili konstantni porast u najplićim intervalima. Jezgra GT2 ima prvotni porast IC, nakon čega ima otprilike konstantni pad do vrha jezgre. Jezgre GT1 i GT3 počinju s naglim padom koncentracije IC u jednom ili dva intervala, nakon čega koncentracija ima nagli porast, a zatim do vrha jezgre ima otprilike konstantni polagani pad. Jezgre objavljene u Covelli et al. (2012) za koje je izmjerena brzina sedimentacije su prikazane na slici 61, no mjerenja ugljika prisutna su za dodatnih deset jezgri. OC većinom ima porast u dubljim intervalima jezgre, nakon čega dolazi manji pad koncentracija, dok na vrhu jezgre dolazi do ponovnog porasta. Par jezgri (G2, GD, M4, M5B) ima pad OC u površinskom intervalu. IC se većinom ponaša suprotno od OC, tako da u većini jezgara ima recentni pad, a samo u par njih porast. U usporedbi s relativno konstantnim porastom OC i IC u jezgrama JJ1, JJ2, SJ1, SJ2 i SJ3, može se zamijetiti da ove jezgre iz literature uzorkovane na manjim dubinama nemaju takve trendove. Većinom imaju porast postotka organskog ugljika u intervalima bliže površini jezgre, ali i pad postotka anorganskog ugljika.



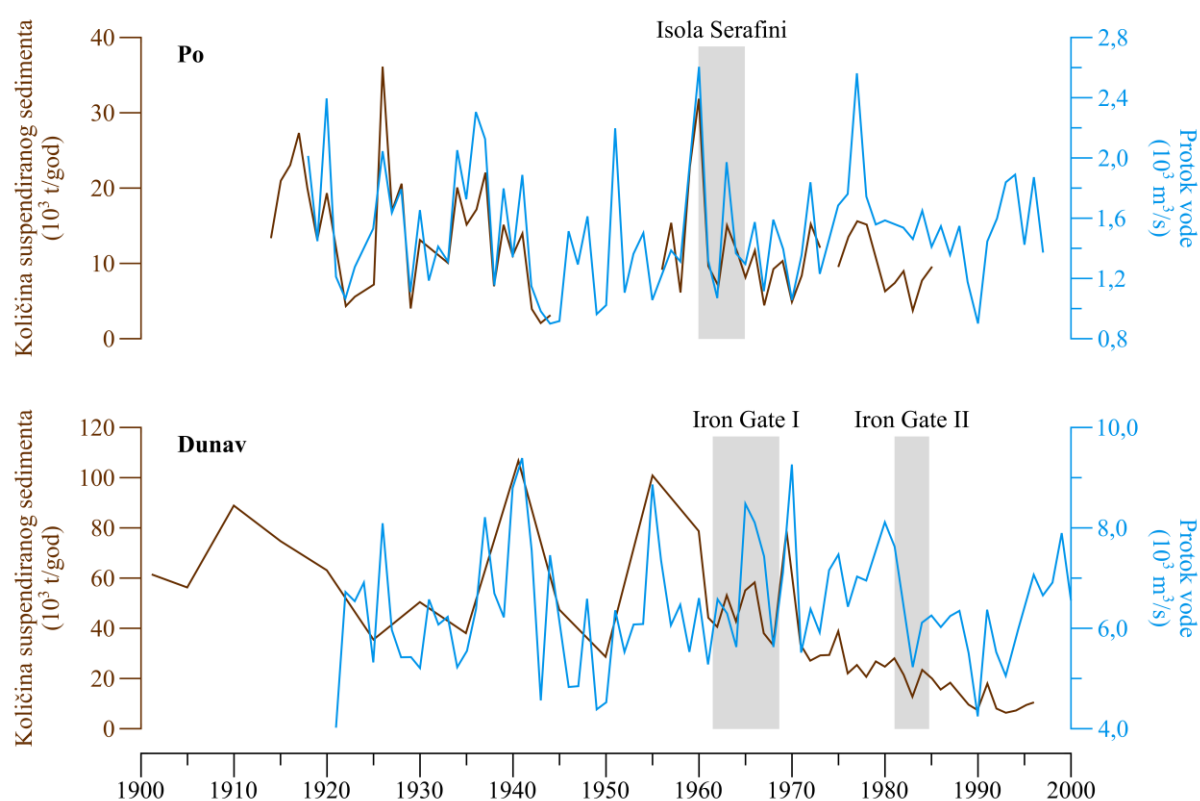
Slika 61. Koncentracije OC i IC u jadranskim jezgrama, objavljene u Covelli et al. (2006) i Covelli et al. (2012). S desne strane grafa napisani su naziv jezgre, dubina uzorkovanja (d) i procijenjena brzina sedimentacije (BS). Jezgre objavljene u Covelli et al. (2006) su poredane prema dubini uzorkovanja, dok su sve one objavljene u Covelli et al. (2012) na dva metra dubine.

7.3. Mogući uzroci povećanja brzine sedimentacije

Ubrzanje sedimentacije je već ranije zamijećeno u crnomorskim sedimentima. U početku je datiranje i izračun brzine sedimentacije proveden iz brojanja lamina ili ^{14}C podataka, dok se kasnije za te potrebe sve više počeo koristiti ^{210}Pb . Crusius & Anderson (1992) su usporedili brzinu sedimentacija dobivenu brojanjem lamina (92 i $107 \text{ g/m}^2\text{god}$) s brzinom dobivenom datiranjem uz pomoć ^{210}Pb (50 i $55 \text{ g/m}^2\text{god}$). Zaključili su da je metoda brojanja lamina neprecizna, jer ponekad nije prisutan cijeli kuplet lamina (svijetla i tamna lamina) i kupleti lamina nisu godišnji, budući da ovise o dodatnim događajima poput cvjetanja mora koji se ne moraju uvijek dogoditi. Fabry et al. (1993) iznose da se razlika između novog ^{210}Pb datiranja i prijašnjih ^{14}C datiranja može koristiti za interpretaciju promjena u okolišu u posljednjih 3000 godina, uključujući klimatske promjene i procese eutrofikacije. Buesseler & Benitez (1994) su usporedili svoje podatke dobivene brojanjem lamina i pomoću ^{210}Pb s podacima iz literature gdje je korišten ^{14}C . Brojanjem lamina su dobili brzinu sedimentacije od $160\text{--}190 \text{ g/m}^2\text{god}$, iz ^{210}Pb datiranja $69 \pm 3 \text{ g/m}^2\text{god}$, dok su korištenjem podataka o ^{14}C iz literature izračunali brzinu od $34 \pm 12 \text{ g/m}^2\text{god}$ za isti interval. Za lamine su također zaključili da su nepouzdana, dok su iz razlike između starijih ^{14}C i mlađih ^{210}Pb brzina zaključili da je došlo do ubrzanja prosječne brzine sedimentacije u posljednjem tisućljeću, najvjerojatnije utjecajem čovjeka. Razlike između manjih brzina sedimentacije dobivenih pomoću ^{14}C u sedimentima starih tisuću godina u odnosu na veće brzine dobivene pomoću ^{210}Pb u recentnijim sedimentima su se nastavile pojavljivati i u novijim radovima. ^{14}C brzine sedimentacija se kreću u rasponu od $30\text{--}40 \text{ g/m}^2\text{god}$, dok su ^{210}Pb brzine sedimentacija u rasponu od $50\text{--}100 \text{ g/m}^2\text{god}$ (Yücel et al., 2012). Iako je bilo poznato da su se dogodile promjene na tisućljetnoj skali, zapažanja o porastu brzine sedimentacije u različitim morima u zadnjih stotinjak godina pojavila su se tek nedavno, npr. za Crno more (Sarı et al., 2018; Vinković et al., 2022), Egejsko more (Sert, 2018; Tsabaris et al., 2024) i Jadransko more (Vinković et al., 2022). No, uzrok tog recentnog povećanja brzine sedimentacije još uvijek nije u potpunosti istražen.

Dodatni taložni materijal najvjerojatnije nije donesen rijekama. Poznato je da je donos materijala rijekama u razvijenim zemljama pao za otprilike polovicu u odnosu na vremena prije antropogenog utjecaja (Syvitski, 2008). Značajna prepreka za prirodni transport sedimenta rijekama su brane, pogotovo za krupnozrnati sediment. Poznato je da su neke brane, ovisno o vrsti, sposobne zaustaviti transport skoro svog materijala, barem dok se ne istaloži dovoljno materijala u njihovom retencijskom jezeru (Grabowski et al., 2022). Procjenjuje se da se količina sedimenta transportiranog rijekama u Sredozemno more smanjila za otprilike 35 %

tijekom zadnjeg stoljeća zbog izgradnje brana (Sadaoui et al., 2018). Također je procijenjeno da je postotak POC-a zadržanog branama otprilike jednak postotku zadržanog sedimenta. Sadaoui et al. (2018) su izračunali zadržavanje sedimenta od 20 % te zadržavanje POC-a od 22 % na 57 brana izgrađenih na rijekama jadranskog sliva. No, autori upozoravaju da su za izračun korišteni dostupni podaci o branama koje su često bile stariji. Budući da se stalno planiraju i grade nove brane, poput dodatnih 16 brana na rijeci Neretvi i njenim pritokama (Bern Convention, 2022), moguće je da je stvarna količina zadržanog sedimenta značajno veća. Situacija je slična u Crnom moru gdje dvije najveće brane na Dunavu zadržavaju oko 20 Mt/god sedimenta i time smanjuju količinu nizvodnog transporta sedimenta za 50-70 %. Unatoč tome, planira se izgradnja dodatnih 341 brana unutar dunavskog sliva (Constantinescu et al., 2023). Sommerwerk (2016) navodi da su brane i ostale antropogene modifikacije smanjile količinu suspendiranog sedimenta u donjem dijelu Dunava s otprilike 40 Mt/god na današnjih 7,3 Mt/god. Slika 62. prikazuje promjene u protoku vode i prijenosu sedimenta nastale izgradnjom brana za jadransku rijeku Po i crnomorsku rijeku Dunav.



Slika 62. Promjene u protoku vode i količini transportiranog suspendiranog sedimenta u rijekama Po i Dunav. Sivi kvadrati predstavljaju vremena izgradnje glavnih brana. Maksimumi protoka vode i suspendiranih čestica podudaraju se samo prije izgradnja brana. Uređeno prema Maselli & Trincardi (2013).

U literaturi je pronađeno jedno moguće objašnjenje povećanja brzine sedimentacije u Crnom moru i jedno u Egejskom moru, dok je u radu Vinković et al. (2022) navedena dodatna mogućnost koja je ovdje proširena. Fokus je stavljen na područja uzorkovanja crnomorskih (u blizini bugarskih gradova Varne i Burgasa) i jadranskih jezgri (u blizini crnogorskog grada Budve i hrvatskog grada Splita). Tri hipoteze su sljedeće:

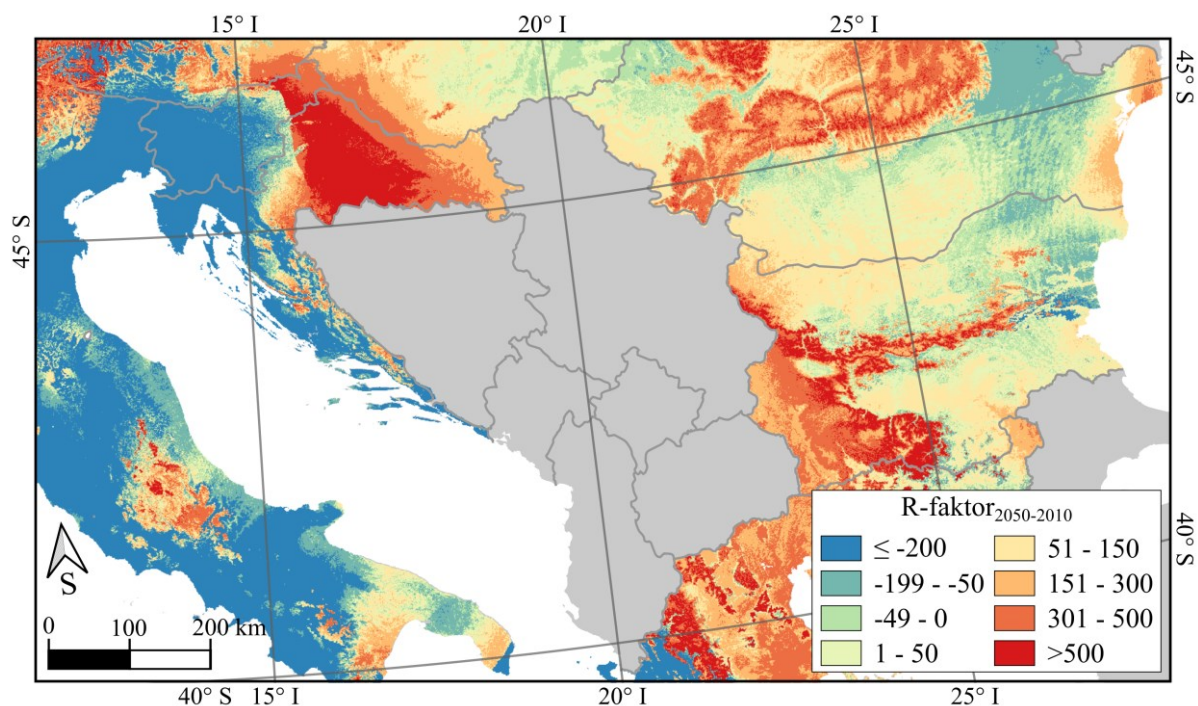
- 1) Antropogeni utjecaj; Sarı et al. (2018) spominju da je ubrzana sedimentacija u njihovim jezgrama, uzorkovanim u Crnom moru u blizini Bospora (98 m, 302 m i 350 m dubine), moguće uzrokovana povećanim tokom čestica organskog i antropogenog podrijetla te kao primjer navode radove koji govore o onečišćenju Crnog mora.
 - Crno more ima problema s onečišćenjem, ponajviše u sjeverozapadnom dijelu, odnosno u ušću Dunava (Zonn et al., 2008). Promatrajući biokemijsku potrošnju kisika (BPK, eng. *Biochemical Oxygen Demand*), 75 % organskog onečišćenja ulazi kroz Dunav, dok bugarske rijeke pridonose samo 1 % (Dineva, 2011). Ipak, donesena onečišćenja iz Dunava budu djelomična transportirana prema jugu uz zapadnu obalu, prateći morske struje (Pokazeev et al., 2021). U rasponu od 2008-2014. godine, u bugarskom dijelu Crnog mora izmjeren je mali trend povećanja ispuštanja BPK, veći trendovi povećanja ispuštanja dušika i krutih čestica, te smanjeni trend ispuštanja fosfora (BSC, 2019). Osim organskog onečišćenja, djelomično onečišćenje olovom, bakrom i niklom pronađeno je u površinskim sedimentima u blizini Varne i Burgasa, no nisu pronađene visoke razine onečišćenja teškim metalima (Doncheva et al., 2020).
 - Jadransko more ima manje problema s onečišćenjem, no ono je još uvijek prisutno. Andričević et al. (2013) iznose da je Budva slabija žarišna točka onečišćenja mora otpadnim vodama, dok je Split izraženija žarišna točka onečišćenja čvrstim otpadom, a poznato je da je 92 % morskog otpada u Jadranskom moru plastično (Funduk et al., 2021). Unatoč izvorima onečišćenja, sediment u relativnoj blizini Budve pokazuje izrazito malo onečišćenja s obzirom na teške metale (Perošević-Bajčeta et al., 2024). U blizini Splita, pronađena je malo povećana koncentracija kadmija, olova, bakra i cinka (Ujević et al., 1998), dok su sedimenti iz obližnjeg Bračkog kanala imali malu reakciju u različitim testova za bioaktivne onečišćivače (Blanco et al., 2018).
 - Ne postoje dostupni rezultati konstantnog praćenja različitih antropogenih parametara u morima, dok su neki od navedenih podataka već relativno stari. Bugarska, Hrvatska i Crna Gora su potpisnice raznih globalnih i regionalnih konvencija o zaštiti morskog okoliša, dok Bugarska i Hrvatska imaju dodatnu dužnost prema Europskoj Uniji pratiti

njezine direktive (Simeonova & Chuturkova, 2019; Funduk et al, 2021; REMPEC, 2024). Uz to, sva mjerenja su izvedena relativno blizu obale, izrazito bliže od lokacije uzorkovanja C, JJ i SJ jezgri. Udaljavanjem od obale, onečišćenja će biti raspršena na veću površinu (npr. James, 2002; Vikas & Dwarakish, 2015) i time će imati sve manji utjecaj na vodu i sediment. Stoga onečišćenja ne bi trebala imati izraziti utjecaj na jezgre uzorkovane na većim udaljenostima od obale. Dodatno, male promjene u veličini čestica i mineralnom sastavu ukazuju da nije dolazilo do većih promjena tijekom sedimentacije u otprilike proteklih sto godina.

- 2) Utjecaj kiša; Tsabaris et al. (2024) su proučili sedimentnu jezgru iz dubokomorskog bazena Egejskog mora u blizini otoka Limnos (1550 m dubine). Uzrok povećanja brzine sedimentacije u posljednjih dvadesetak godina su interpretirali kao povećani donos rijekama uzrokovan kišama. Spominju da su klimatske promjene dovele do povećanja broja ekstremnih vremenskih događaja i da pojačani intenzitet kiša u malom vremenskom rasponu dovodi do porasta broja čestica koje budu transportirane rijekama i akumulirane u morima i oceanima.
 - Ako se promatra prosječna godišnja količina padalina u okolini Sredozemnog mora za razdoblje od 1950-2018. vidljiv je smanjujući trend. Ukoliko se proučava mlađe razdoblje, od 1980., zamijećene su izrazite sezonske promjene. Modeliranje budućih promjena ukazuje na jednaku količinu prosječnih godišnjih padalina ili njihovo sveukupno malo smanjenje (ovisno o korištenom modelu), s veoma sušnim ljetnim razdobljima (sa smanjenjem precipitacije od 4-40 %) i kišnim zimskim razdobljima sa znatno jačim kišama (MedECC, 2020). U razdoblju od 1951-1995., doprinos jakih kiša količini ukupnih padalina na području Italije povisio se za otprilike 9 %, a vjeruje se da će se taj trend nastaviti (Alpert et al., 2002).
 - Za Jadransko more je zamijećen trenutni negativni trend relativne vlažnosti zraka iznad mora i pozitivni trend iznad kopna, uz izrazite sezonske promjene. U budućnosti (2070-2100.) očekuje se pozitivni trend na sjevernom dijelu Jadrana i većini priobalnih područja, dok se negativni trend očekuje na južnom dijelu Jadrana i u priobalnim područjima oko grada Rijeke (Tojčić et al., 2024).
 - U Bugarskoj je u razdoblju od 1961-2005. zamijećeno malo smanjenje količine padalina, ali i povećanje broja jakih kiša (Bocheva et al., 2009). Veće promjene u količini padalina pozicionirane su na sjevernom dijelu zapadne obale Crnog mora, dok južni dijelovi nisu statistički značajni. Mjerne lokacije pokazuju veliku prostoru varijabilnost u količini padalina, no u prosjeku zastupljenost jakih kiša pokazuje rastući

trend na većini lokacija (53,8-61,5 %) (Croitoru et al., 2013). U budućnosti se očekuje nastavak povećanja količine padalina tijekom jeseni i zime te pad tijekom proljeća i ljeta (Bağçacı et al., 2024).

- Sveukupno ne dolazi do promjene ukupne količine padalina ili dolazi samo do njihovog djelomičnog smanjenja, dok sezonski dolazi do sve intenzivnijih kiša tijekom hladnijeg dijela godine i izrazitih suša tijekom toplijeg dijela. Ako jače kiše izraženije erodiraju čestice i donose ih u rijeke, da bi te čestice došle do mora još uvijek moraju proći kroz veliki broj brana. No, kao što je prethodno opisano, brane blokiraju veliki dio transportiranih čestica te se one ne talože u morima. Obzirom da se gradi sve više brana, može se očekivati dodatno smanjenje u količini transportiranih čestica. Stoga, dodatna erozija kišama i doprinos čestica u rijekama (koje imaju izgrađene brane) ne bi trebao imati značajniji utjecaj na sedimentaciju u morima. Uz to, procijenjeno je da će se do 2050. erozivnost tla kišama smanjiti na većini obalnog područja Jadranskog mora te crnomorskoj obali Bugarske i dijela Rumunjske, što bi dovelo do dodatnog smanjivanja broja transportiranih čestica (Panagos et al., 2017) (slika 63). Doduše, dodatna erozija može se pojaviti na lokacijama pod antropogenim utjecajem, primjerice zbog izgradnje objekata uz obalu ili zahvata na uređenju obale (Pikelj et al., 2018).



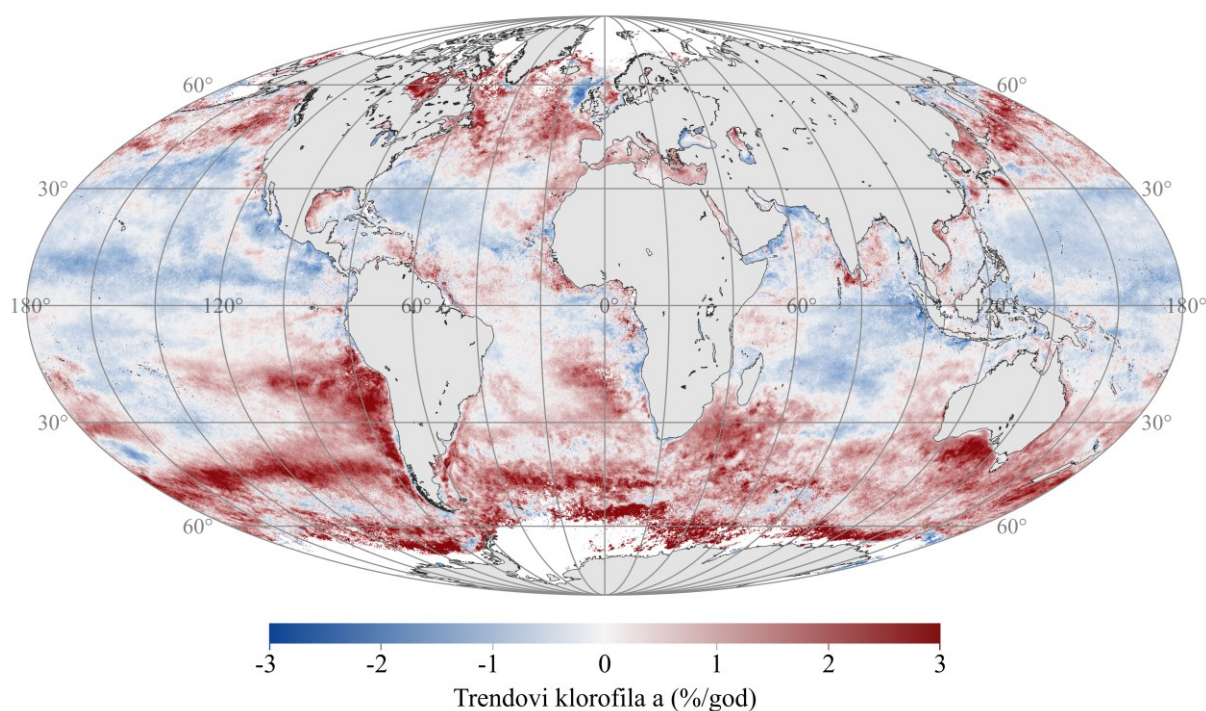
Slika 63. Razlika između procijenjene erozivnosti kiše (R-faktor) za 2050. godinu i podataka iz 2010. godine za države članice Europske Unije u okolici Crnog i Jadranskog mora (Panagos et al., 2017).

Podaci preuzeti iz ESDAC-JRC (2015).

3) Fertilizacija ugljikom; Budući da se porast brzine sedimentacije ne podudara s eutrofikacijom mora s obzirom na nutrijente poput fosfata (čije koncentracije u morima ostaju iste ili padaju (Yunev et al., 2007; Krstulović et al., 2012)) niti s donosom rijekama (kako je prethodno opisano), dodatni izvor čestica najvjerojatnije nastaje u samim morima. U radu Vinković et al. (2022) predložena je pretpostavka o mogućnosti povećanja produktivnosti unutar mora uslijed povećanja koncentracije ugljika.

- Poznato je da se brzina fotosinteze fitoplanktona povećava s temperaturom (npr. Tilzer et al., 1986). Prema dugotrajnim promjenama u režimu kisika, u Crnom moru je zamijećeno povećanje bioprodukcije i fotosinteze, ali njegova površinska temperatura je ostala stabilna od 1960-ih (Miladinova et al., 2017). Promjena režima kisika je zamjetna tijekom ljetnog perioda i pokazuje pozitivan trend na površini mora (fotosinteza fitoplanktona) te negativni trend ispod termokline (raspad organske tvari) (Yunev et al., 2007). Yunev et al. (2007) nemaju podatke za kisik poslije 2000-ih, ali ukazuju na visoku primarnu produkciju usprkos smanjivanju dostupnosti nutrijenata. Slični trendovi kisika su zamijećeni i u Jadranskom moru te ukazuju na povećanu primarnu produkciju u razdobljima od 1911-1984. (Justić et al., 1987) i 2009-2018. (Obhodaš et al., 2021), kada je zamijećen pad koncentracije fosfora.
- Moguće je da ta povećana primarna produkcija nije potaknuta povećanjem temperature ili nutrijentima, nego povećanom koncentracijom ugljika. Procijenjeno je da su kopnene biljke povećavale fotosintezom apsorbiranu količinu CO₂ u otprilike konstantnom odnosu s povećanjem atmosferske koncentracije CO₂ (Cernusak et al., 2019). Ukoliko se dodatno povisi koncentracija CO₂, utvrđeno je da će se biljke adaptirati pomoću poboljšane iskoristivost vode i svijetla te imati veću brzinu fotosinteze (Drake et al., 1997). Prema nekim istraživanjima, pronađeno je da su optimalne koncentracije atmosferskog CO₂ za određene biljke čak veće od 1000 ppm (Zheng et al., 2018). No, reakcija biljaka ovisi o vrsti biljke i tipu fotosinteze, a zamijećeno je da C₃ biljke imaju moguću prednost nad C₄ biljkama radi uspješnijih iskorištavanja izvora amonijaka i dušika (Wang et al., 2020). Za marinske organizme se smatra da je C₃ fotosinteza dominantna, ali je za neke pronađeno da rade i C₄ fotosintezu, poput zelenih algi (Xu et al., 2012), kokolitoforida (Tsuji et al., 2009) i dijatomeja (Roberts et al., 2007) i time će se možda lakše prilagoditi na povećanje CO₂ u odnosu na neke kopnene biljke.
- Korištenjem satelita, zamijećene su promjene u boji oceana i time u koncentraciji fitoplanktona u blizini površine. U razdoblju od 1997-2021. izračunata je promjena

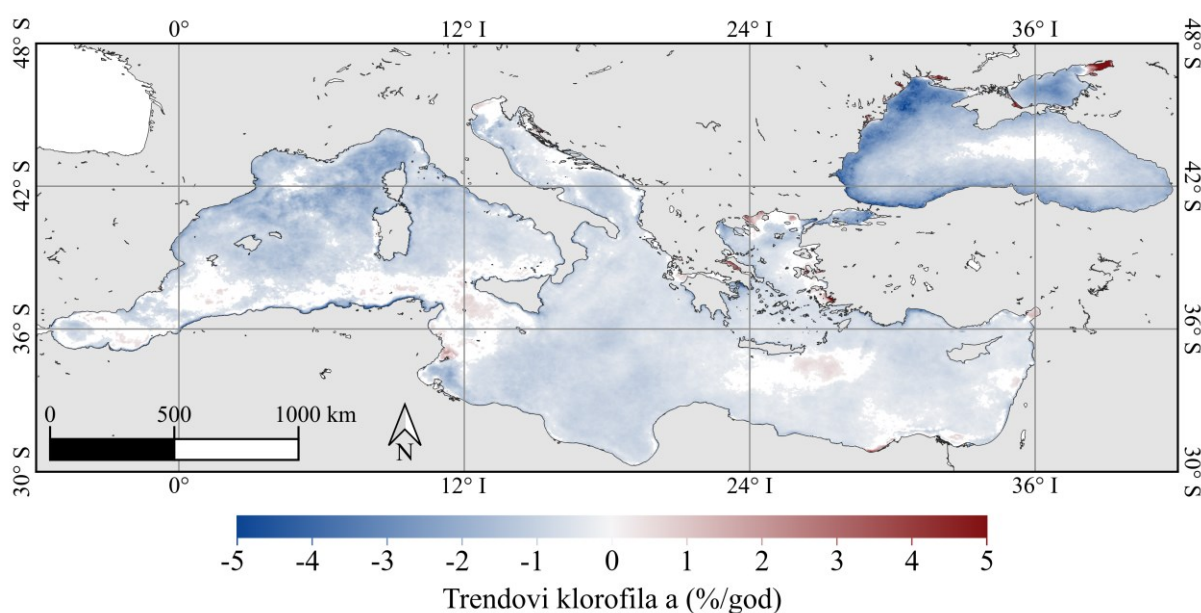
koncentracije klorofila a u rasponu od -6,1 do 25 %/god, s prosjekom od 0,51 %/god (Sathyendranath et al., 2019; Copernicus, 2022) (slika 64). Veći pozitivni trendovi su bili prisutni u visokim zemljopisnim širinama. Iako se na slici 64 vidi da je Sredozemno more imalo pozitivan trend u razdoblju od 1997-2021., drugim računicama za razdoblje od 1997-2023. ono pokazuje blagi negativni trend, s prosjekom od -0,83 %/god (Basterretxea et al., 2018; Copernicus, 2023) (slika 65). Prema toj računici, Jadransko more ima većinom blaži negativni trend i velikim dijelom neutralni uz svoju istočnu obalu, dok Crno more ima izraženiji negativan trend. Pozitivni trendovi su većinom locirani u zaljevima i uz ušća rijeka.



Slika 64. Trendovi klorofila a u oceanima u razdoblju od 1997-2021. dobiveni obradom satelitskih snimki. Podaci preuzeti iz Copernicus (2022).

- Schippers et al. (2004) su pomoću matematičkog modela i laboratorijskog eksperimenta pokazali da uslijed dvostrukog povećanja atmosferske koncentracije CO₂ može doći do dvostrukog povećanja marinske produktivnosti ili barem povećanja od 40 % za vrste s malim afinitetom prema bikarbonatu. Schulz et al. (2017) zamjećuju pozitivni utjecaj povećane koncentracije CO₂ na cijanobakteriju *Synechococcus* i pikoeukariote (prasinofite) te negativni utjecaj na kokolitoforid *Gephyrocapsa huxleyi* (*Emiliana huxleyi*). Uz to, prikazuju tablicu utjecaja CO₂ na različite vrste fitoplanktona prethodno objavljenih u literaturi. Zamjetno je da CO₂ većinom nema vidljiv utjecaj na sveukupnu

čestičnu organsku tvar, a kada ima vidljiv utjecaj, u jednakom broju radova utjecaj je pozitivan kao i negativan. Slična situacija je za dijatomeje i cijanobakteriju *Synechococcus*, dok haptofiti imaju izraženi negativni utjecaj, a pikoeukarioti izraženi pozitivni. Dodatno treba paziti da se povećanje $p\text{CO}_2$ ne događa u izolaciji, nego se odvija s ostalim promjenama, poput povišene temperature i smanjenja pH morske vode. Povišena temperatura može dovesti do ubrzavanja fotosinteze i respiracije kod planktonskih foraminifera (Lombard et al., 2009) ili do učestalijeg cvjetanja mora (Dai et al., 2023). Promjene uvjeta također mogu dovesti do izmjena unutar zajednice. Keys et al. (2018) su pronašli da bi se današnja zajednica dominirana dinoflagelatama iz kanala La Manche u uvjetima predviđenima za 2100. godinu (+4,5 °C, 800 $\mu\text{atm } p\text{CO}_2$) promijenila u zajednicu dominiranu nanofitoplanktonom (prvenstveno s *Phaeocystis* spp.). Zaključuju da iako su ove izmjene zajednice značajne, one neće dovesti do veće promjene u produkciji fitoplanktona.



Slika 65. Trendovi klorofila a u Sredozemnom moru u razdoblju od 1997-2023. dobiveni obradom satelitskih snimki. Podaci preuzeti iz Copernicus (2023).

- Vogel & Uthicke (2012) su istražili promjene kod bentičkih foraminifera sa simbiontima dijatomeja (*Amphistegina radiata* i *Heterostegina depressa*) i dinoflagelata (*Marginopora vertebralis*) u povećanim uvjetima $p\text{CO}_2$. Rezultati su pokazali da sve istražene foraminifere mogu preživjeti u tim uvjetima, dok je *M. vertebralis* dodatno imala značajni porast stope rasta. No, Sinutok et al. (2014) su dodatno proučili kombinirani utjecaj temperature, pH i $p\text{CO}_2$ na *M. vertebralis* te zaključili da povišena

temperatura i smanjeni pH imaju veću ulogu i mogu dovesti do smanjenja kalcifikacije i fotosinteze. Uthicke & Fabricius (2012) su dodatno zamijetili da u uvjetima sniženog pH i povećanog $p\text{CO}_2$, *M. vertebralis* ima povećanu stopu fotosinteze, ali smanjenu stopu kalcifikacije. Zaključili su da povećana koncentracija DIC-a izrazito pomaže endosimbiontima, ali da je kalcifikacija foraminifere moguće otežana zbog izraženije kompeticije za DIC-om između nje i njenih produktivnijih simbionta.

- Vidljivo je da trenutno nisu dovoljno istraženi utjecaji povećanog $p\text{CO}_2$ na fotosintetske planktonske i bentičke organizme te je teško predviđati buduće promjene, osim da će najvjerojatnije doći do promjene zajednice. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se moglo pouzdano zaključiti promjene u proizvodnji i kalcifikaciji u povećanim koncentracijama CO_2 .

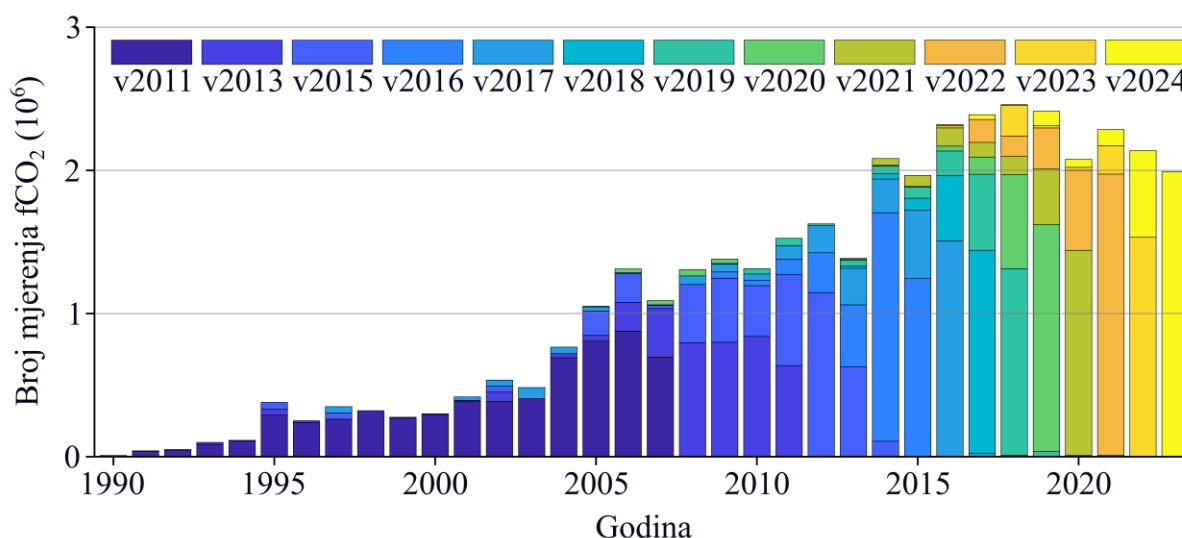
Za sekvestraciju ugljika u marinskim sedimentima, bilo bi najznačajnije da je treća hipoteza ispravna. U tom slučaju bi se mogao izračunati relativno izravni odnos između atmosferske koncentracije ugljike, količine otopljenog ugljika u morima i količine sekvestriranog ugljika u sedimentima te bi se mogla zaključiti važnost sedimenta u ciklusu i sekvestraciji ugljika. U slučaju prve i druge hipoteze, taj izračun ne bi bio toliko precizan, no svejedno bi bilo vidljivo da sediment ima značajnu ulogu u sve izraženijem skladištenju ugljika te da ima mogućnost skladištiti antropogeni ugljik u budućnosti.

Ukoliko se pretpostavi da je treća hipoteza ispravna i da količina ugljika sekvestriranog u sedimentu ovisi o atmosferskog koncentraciji CO_2 te da su dobivene brzine sedimentacije reprezentativne za pojedine intervale dubina mora, moguće je procijeniti količinu sekvestracije ugljika u morima i oceanima u ovisnosti s vremenskim intervalima (odnosno tokom ugljika iz atmosfere u sediment). Iz te procjene vidljiv je značajan porast sekvestracije u oba mora i općenito porast sekvestracije u oceanima. Na temelju dobivenih podataka u ovom radu najizraženiji porast sekvestracije (od najstarijeg do najmlađeg intervala) je imao interval na 1-50 m dubine mora, od 364,7 %. Interval na 101-150 m je imao porast od 215,5 %, na 51-100 m od 163,1 %, a na 151-200 m od 154,7 %. Ovom računicom, u prosjeku je sekvestracija narasla od 1880-tih do danas za $224,5 \pm 97,3$ % u istraženim sedimentima Crnog i Jadranskog mora.

7.4. Problemi s procjenama koncentracije ugljika u oceanima i sedimentima

Oceanska sekvestracija ugljika se odnosi na procjenu količine DOC, DIC, POC i PIC oblika ugljika u vodenom stupcu. Povećanje koncentracije ugljika u morskoj vodi se najčešće prikazuje kao povećanje parcijalnog tlaka CO_2 (pCO_2) ili fugaciteta CO_2 (fCO_2), čime se proučava utjecaj otopljenog CO_2 . Time se mjeri samo jedan dio cijelog oceanskog skladišta, točnije DIC. No, DIC se sastoji od otopljenog CO_2 , ali i od bikarbonatnih (HCO_3^-) i karbonatnih (CO_3^{2-}) iona. Otprilike samo jedna od dvadeset molekula CO_2 otopljenih u vodi ostane kao dioksid, dok ostale disociraju na bikarbonatne i karbonatne ione (Carlson et al., 2008). Uz to, mjerenja DOC, POC i PIC se često mjere odvojeno i time se rijetko stvara potpuna slika oceanskog ugljika.

Različiti parametri oceanskog ugljika se u novije vrijeme često procjenjuju i iz satelitskih snimki (Brewin et al., 2023). Gordon et al. (1983) su bili prvi koji su pomoću satelitskih snimki i atmosferskih korekcija pokazali mogućnost procjene koncentracije pigmenata u morima, uključujući i klorofil a. Stramski et al. (1999) su pomoću satelitskih snimki prvi procijenili količinu POC-a, a Gordon et al. (2001) količinu PIC-a. Iako su procjene pomoću satelita sve učestalije, iz satelitskih snimki se koncentracija ugljika računa koristeći algoritme na raznim proksijima, odnosno parametrima slika poput boje mora. Trenutno ne postoji satelit koji može direktno mjeriti koncentraciju oceanskog ugljika (Sooknanan & Hosein, 2022). Iako sateliti imaju veću prostornu i vremensku pokrivenost, ne mogu prikazati razlike unutar stupca vode pa se kvaliteta njihovih podataka smatra lošijom od one dobivene *in-situ* mjerenjima (Su et al., 2024). Interpretacija satelitskih snimaka se temelji na podacima dobivenim direktnim *in-situ* mjerenjima (Shutler et al., 2024), no količina direktnih mjerenja pojedinih parametara oceanskog ugljika (npr. fCO_2) se zadnjih par godina smanjila i pala na vrijednosti kao prije otprilike jednog desetljeća (Bakker et al., 2016; 2024) (slika 66). Pad broja mjerenja je bio otprilike 35 % od 2017. do 2021., što je dovelo do povećanja standardne devijacije u procjenama toka CO_2 na površini ocean-atmosfera za oko 65 % za računice koje koriste ove podatke (Dong et al., 2024). Trend smanjenja broja mjerenja se nastavlja, što će vjerojatno dovesti do još većih nesigurnosti u procjenama koje koriste ova direktna mjerenja u procjenama pomoću satelitskih snimki.



Slika 66. Broj mjerenja fCO₂ s procijenjenom točnošću od <5 µatm za svaku godinu prema verzijama SOCAT atlasa CO₂ u površinskom oceanu. Uređeno prema Bakker et al. (2024).

Dok je donekle moguće procjenjivati razne parametre ugljika u morskoj vodi, za proučavanje sedimenta je potrebno direktno uzorkovanje koje je puno kompleksnije i ne provodi se dovoljno često. Stoga se i mjerenja ugljika u sedimentu i izračun njegove sekvestracije radi puno rjeđe nego za morsku vodu. Kao procjene količine sekvestriranog ugljika u sedimenta još uvijek se koriste stare vrijednosti: $150 \cdot 10^{15}$ gC (<10 cm dubine unutar sedimenta u otvorenom moru, <20 cm dubine na kontinentskom rubu) (Emerson & Hedges, 1988) za organski, $1600 \cdot 10^{15}$ gC (<10 cm dubine) (Archer, 1996) ili $1770 \cdot 10^{15}$ gC (<10 cm dubine) (Archer et al., 1998) za anorganski, te 10^{23} gC (≥ 10 cm dubine) (Solomon et al, 1985) ili $1750 \cdot 10^{15}$ gC (zbroy količine organskog i anorganskog) za ukupni ugljik. Ukoliko su te procjene tada bile ispravne, u međuvremenu se od 1991. do 2020. godine, prema ovdje prikazanim procjenama, količina ugljika u oceanskim sedimentima povećala za $73,491 \cdot 10^{15} \pm 26,101 \cdot 10^{15}$ gC. Potrebno je provesti preciznija istraživanja koja bi omogućila proučavanja stvarnog utjecaja sedimenta u ciklusu ugljika. Dodatno, u početku se objavljivala jedna koncentracije ugljika za cijeli sediment, a tek se u novije vrijeme teži prema proučavanju promjena koncentracija kroz intervale jezgre, što dodatno omogućuje interpretaciju promjena u sekvestraciji. Ukoliko se podaci o koncentraciji ugljika u sedimentu kombiniraju s podacima o brzini sedimentacije, moguće je proučavati količine sekvestracija po godinama. No, kao što se vidi u prilogima 2 i 3, brzine sedimentacije se također poprilično često prikazuju kao jedinstvena vrijednost, čime ne prate promjene po godinama i nisu direktno usporedive s promjenama u sekvestraciji. Dodatni otežavajući faktor kod proučavanja podataka dobivenih iz sedimenata je što su najčešće sedimenti uzorkovani uz obalu na manjim dubinama (prilozi 2 i

3). Radi procjene stvarnog stanja koncentracije ugljika u sedimentima i procjene sadašnje i buduće sekvencije ugljika u sedimentima, potrebno je uzorkovati sedimente na raznim lokacijama, okolišima i dubinama. Pomoću velikog broja uzoraka, bilo bi moguće napraviti puno precizniju procjenu sadašnjeg i budućeg stanja sekvencije ugljika u morskom sedimentu.

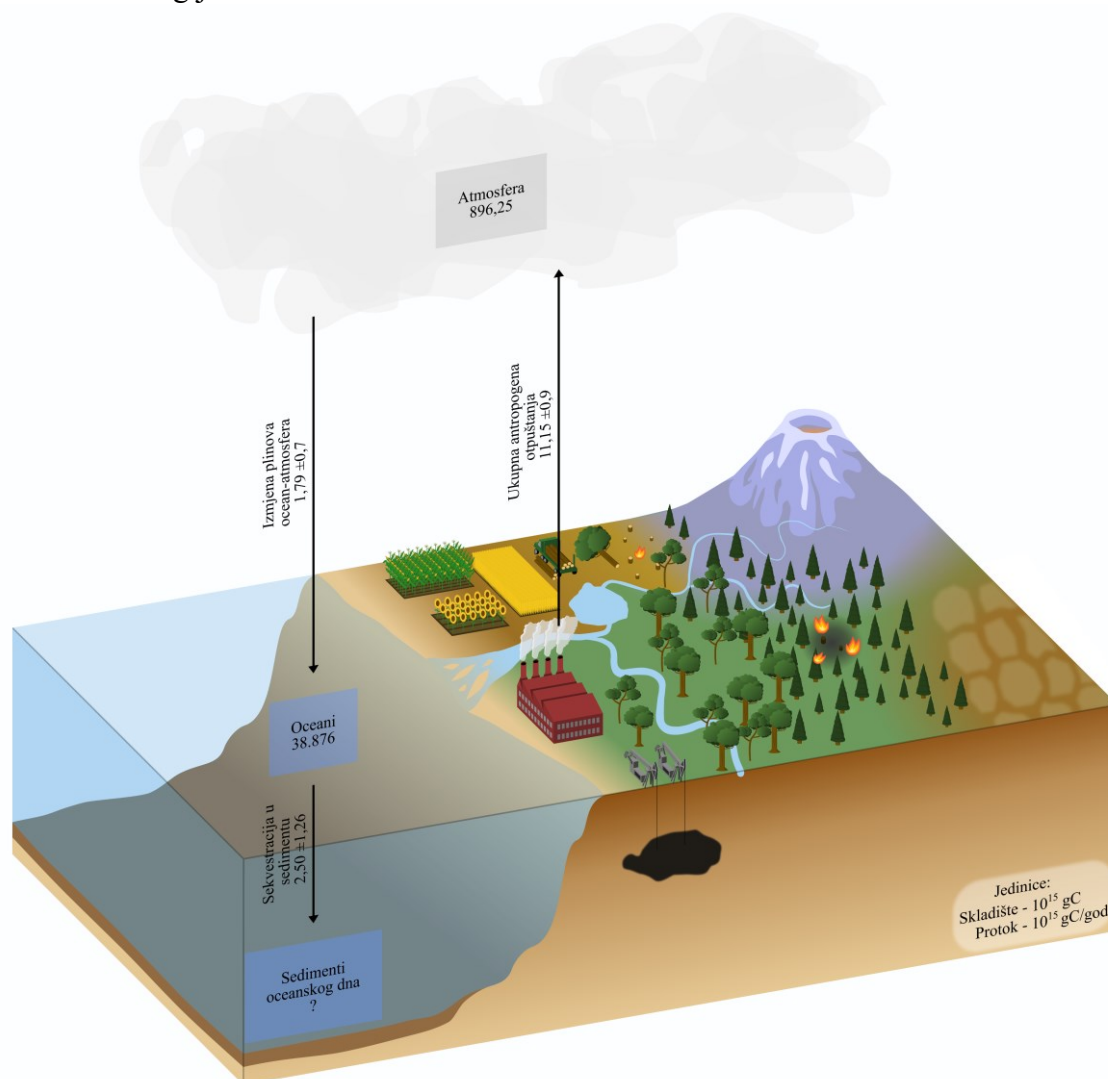
8. Zaključak

Kako bi se proučila recentna sekvestracija ugljika u marinskim sedimentima, istražene su dvije crnomorske i pet jadranskih sedimentnih jezgri. Sedimentu u jezgrama podijeljenim na centimetarsku i polucentimetarsku rezoluciju su izmjerene starost i količine ugljika te im je određena veličina čestica i mineralni sastav. Unatoč različitim klimatskim i maritimnim karakteristikama Crnog i Jadranskog mora, sve jezgre su pokazale relativno konstantno povećanje brzine sedimentacije i količine ugljika idući od dubljih dijelova jezgara prema vršinama. Usporedbom najdubljih i najplićih intervala jezgri, dobiveno je da se brzina sedimentacije prema CRS modelu u prosjeku uvećala za $946,5 \pm 712,2$ % ($0,445 \pm 0,324$ cm/god) u otprilike proteklih sto godina, a količina ukupnog ugljika za $598,9 \pm 402,9$ % ($0,00869 \pm 0,00656$ g/cm²god). Veći porast su imale crnomorske jezgre. Veličina čestica je u svim jezgrama pokazala relativno male promjene prema povećanom udjelu praha, dok je mineralni sastav ostao jednak.

Uz pretpostavku da je za ova povećanja zaslužno povećanje atmosferske koncentracije CO₂ i da su ove jezgre reprezentativne za svoje dubine, procijenjena je sekvestracija u sedimentima za Crno i Jadransko more te globalne oceane. Za sedimente do dubine mora od 200 m u razdoblju od 2011-2020. procijenjeno je da su crnomorski sedimenti sekvestrirali $0,011 \pm 0,005$ GtC/god, a jadranski $0,009 \pm 0,004$ GtC/god. Koristeći podatke dobivene za oba mora procijenjeno je da je u svim oceanskim sedimentima sekvestrirano $2,500 \pm 1,261$ GtC/god (slika 67). U usporedbi s procijenjenim antropogenim otpuštanjima ugljika 2023. godine (Friedlingstein et al., 2023), crnomorski sedimenti su godišnje sekvestrirali $0,100 \pm 0,049$ % od količine emisija, jadranski $0,078 \pm 0,037$ %, a svi oceani $22,426 \pm 11,313$ %. Otpuštanja ugljika u atmosferu su od 1959. do 2023. narasla 246,4 % (Friedlingstein et al., 2023), dok je sekvestracija u oceanskim sedimentima slične starosti (interval 1961-1970.) do recentnog razdoblja (interval 2011-2020.) narasla 218,9 %. Porast sekvestracije ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala je u prosjeku $224,5 \pm 97,3$ %.

U ovom doktorskom radu provedena je preliminarna procjena sekvestracije ugljika u marinskim sedimentima. Iako se smatra da oko 50 % ugljika bude sekvestrirano u morima, a ostatak na kopnu (Watson et al., 2020), iz ove procjene je vidljivo da marinski sedimenti igraju veliku ulogu u sekvestraciji ugljika. Moguće je da se dio sekvestriranog ugljika koji je prvotno pripisan kopnu ipak skladišti u morskom sedimentu što je do sada bilo previđeno. Kako bi ovdje prikazana procjena bila preciznija, potrebno je napraviti dodatna uzorkovanja sedimenta na što

više lokacija, uključujući i ostala europska i svjetska mora. Koristeći promjene u količini ugljika i brzine sedimentacije na mnogo lokacija, bilo bi moguće proizvesti preciznu procjenu promjena u sekvestraciji ugljika unutar marinskog sedimenta u prošlih stotinjak godina i time omogućiti bolju procjenu budućih iznosa sekvestracije i utjecaja marinskog sedimenta na globalni ciklus ugljika.



Slika 67. Pojednostavljeni prikaz određenih dijelova ciklusa ugljika koji značajno utječu na povećanje sekvestracije unutar marinskog sedimenta. Brojevi prikazuju količinu ugljika u pojedinim skladištima (10^{15} gC) i godišnje tokove ugljika (10^{15} gC/god). Vrijednosti za antropogena otpuštanja (Friedlingstein et al., 2023) i atmosfersku koncentraciju (NOAA-GML, 2024) prikazane su za 2023. godinu. Količina izmjene plinova između atmosfere i oceana dobivena je iz Fay et al. (2024). Količina ugljika u oceanskom skladištu dobivena je zbrajanjem količina ugljika unutar marinske biote ($3 \cdot 10^{15}$ gC), površinskog oceana ($900 \cdot 10^{15}$ gC) i srednjeg i dubokog oceana ($37.273 \cdot 10^{15}$ gC) te količine otopljenog organskog ugljika ($700 \cdot 10^{15}$ gC) za razdoblje od 2010-2019. (IPCC, 2021). Godišnja sekvestracija ugljika u oceanskom sedimentu dobivena je u ovom radu izračunom prosječne sekvestracije za razdoblje od 2011-2020.

9. Prošireni sažetak

Industrijska revolucija je pokrenula izraziti tehnološki napredak čovječanstva, ali je također donijela i neke negativne posljedice. Zbog sve izraženijeg korištenja fosilnih goriva, atmosferska koncentracija ugljikovog dioksida (CO₂) je narasla s 280 ppm prije početka industrijske revolucije 1760. godine na 417,1 ppm u 2022. godini i nastavlja rasti. Istraživanje utjecaja CO₂ te načini smanjivanja njegovog otpuštanja i povećanja skladištenja su izrazito istraživane teme. U njima se često spominje pojam sekvestracija ugljika (eng. *carbon sequestration*) koji se koristi za opisivanje prirodnih i antropogenih procesa kojima se CO₂ uklanja iz atmosfere ili preusmjerava od njegovih izvora i pohranjuje u oceanima, kopnu i geološkim formacijama.

Ciklus ugljika obuhvaća više prirodnih skladišta: atmosfera, kopno, oceani, geosfera i vulkanska aktivnost. Unutar tih skladišta i tijekom njihovih protoka, ugljik je prisutan u tri oblika: organski, anorganski i elementarni. Organski ugljik (eng. *organic carbon*; OC) obuhvaća sve od svježe organske tvari do visoko razgrađenih oblika poput humusa. Anorganski ugljik (eng. *inorganic carbon*; IC) potječe iz geoloških ili osnovnih izvora tla ili sedimenta i od skeleta organizama. Najčešće je prisutan u obliku karbonata, od kojih su najčešći kalcit i aragonit (CaCO₃) te dolomit (CaMg(CO₃)₂). Elementarni ugljik (eng. *elemental carbon*; EC) je većinom produkt izgaranja, a uključuje čađu, grafit, prirodni i drveni ugljen. Zbroj svih oblika ugljika se naziva ukupni ugljik (eng. *total carbon*; TC). U oceanima se smatra da nema EC, pa se TC izražava kao zbroj OC i IC. Dok je oceanski ciklus ugljika relativno detaljno istražen, malo pažnje je dano oceanskim sedimentima. Iz tog razloga nema novije procjene količine sekvestriranog ugljika. Vrijednosti koje se još uvijek spominju za ukupnu količinu ugljika u oceanskom sedimentu u literaturi izračunate su 1980-tih i 90-tih i iznose: $150 \cdot 10^{15}$ gC za OC, $1600 \cdot 10^{15}$ ili $1770 \cdot 10^{15}$ gC za IC i $1750 \cdot 10^{15}$ ili 10^{23} gC za TC. Međutim, ne postoje moderne procjene za godišnju sekvestraciju ugljika u oceanskim sedimentima.

Radi pokušaja moderniziranja znanja o sekvestraciji ugljika unutar marinskih sedimenata, uzorkovane su dvije sedimentne jezgre unutar Crnog mora i pet jezgri unutar Jadranskog mora. Crnomorske jezgre (C1 i C2) uzorkovane su pomoću hidrauličkog korera unutar bugarskog teritorijalnog mora. Jezgra C1 uzorkovana je u blizini grada Varne na 24,5 m dubine, a jezgra C2 u blizini grada Burgasa na 102,0 m dubine. Pomoću gravitacijskog korera uzorkovane su dvije jezgre u južnom Jadranskom moru, točnije unutar crnogorskog teritorijalnog mora (JJ1 i JJ2), te tri jezgre u srednjem dijelu Jadranskog mora, odnosno unutar

hrvatskog teritorijalnog mora (SJ1, SJ2 i SJ3). Jezgre JJ1 i JJ2 uzorkovane su u blizini grada Budve na 123,0 m i 172,0 m dubine, a jezgre SJ1, SJ2 i SJ3 u blizini grada Splita na 54,5 m, 58,6 m i 83,3 m dubine. Jezgre su izrezane na centimetarske ili polucimetarske intervale, datirane pomoću ^{210}Pb , ^{137}Cs i ^{241}Am , te im je analizirana veličina čestica, mineralni sastav i koncentracija ugljika. Naposljetku je izračunata sekvestracija ugljika u jezgrama i procijenjena sekvestracija u crnomorskim, jadranskim te oceanskim sedimentima u intervalima od 50 m morske dubine (1-50 m, 51-100 m, 101-150 m i 151-200 m) i vremenskim intervalima od 10 godina (od 1881-1890. do 2011-2020.).

Prema modelu konstantne stope zalihe nepoduprtog ^{210}Pb (eng. *Constant Rate of unsupported ^{210}Pb Supply*; CRS), prema maksimalnoj starosti jezgre su poredane: C2 (132,73 god), JJ1 (124 ± 19 god), C1 (123 ± 17 god), SJ2 (116 ± 30 god), JJ2 (111 ± 16 god), SJ3 (108 ± 16 god) i SJ1 (79 ± 15 god). Srednjojadranske jezgre imaju najveću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu, dok u površinskom intervalu dominiraju crnomorske jezgre, iza kojih slijede srednjojadranske i zatim južnojadranske. Ukoliko se koristi model konstantne početne koncentracije ^{210}Pb (eng. *Constant Initial ^{210}Pb Concentration*; CIC), jezgre su poredane: C2 (131,30 god), JJ2 (106 ± 10 god), JJ1 (97 ± 11 god), C1 (79 ± 27 god), SJ2 (78 ± 25 god), SJ3 (70 ± 19 god) i SJ1 (59 ± 12 god). Prema CIC modelu, srednjojadranske jezgre također imaju najveću brzinu sedimentacije u najdubljem intervalu, dok u najplićem intervalu najveću brzinu ima jezgra C2, koju slijede srednjojadranske jezgre. Jezgra C2 također ima i najveću razliku u brzini između najdubljeg i najplićeg intervala.

Jezgra C1 se sastoji od pjeskovitog praha sa smanjenjem udjela pijeska prema površini, dok se jezgra C2 većinom sastoji od jednolikog praha. Mineralni sastav je isti u obje jezgre, očekivan za zapadni dio Crnog mora. Obje južnojadranske jezgre se sastoje od praha. Zastupljenost gline u jezgri JJ1 ima manji konstantni pad, dok u jezgri JJ2 zastupljenost svih triju komponenti ima samo manje promjene. Mineralni sastav obje južnojadranske jezgre je jednak te odgovara mineralima pronađenima uz obale Crne Gore i Albanije. Srednjojadranska jezgra SJ1 sastoji se od praha i pjeskovitog praha, dok su jezgre SJ2 i SJ3 sastavljene isključivo od pjeskovitog praha. Jezgra SJ3 ima najveći udio pijeska. Veličina čestica svih srednjojadranskih jezgri ima trend povećanja udjela praha. Mineralni sastav je jednolik i stabilan u svim srednjojadranskim jezgrama i odgovara mineralima tipičnim za istočni dio Jadranskog mora.

U svim jezgrama zamjetan je porast koncentracije TC, IC i OC prema površini jezgre. Ukoliko se proučava porast TC preračunatog u g/god, od najveće promjene količine TC prema

najmanjoj jezgre su poredane: SJ1, C1, SJ3, SJ2, C2, JJ1 i JJ2. Porast IC daje redoslijed: SJ1, SJ3, C1, SJ2, C2, JJ1 i JJ2, a porast OC: C1, SJ1, C2, SJ2, SJ3, JJ1 i JJ2. Izračunate prosječne količine sekvestracije su: SJ1 ($0,0141 \pm 0,0062 \text{ g/cm}^2\text{god}$), SJ3 ($0,0138 \pm 0,0054 \text{ g/cm}^2\text{god}$), SJ2 ($0,0077 \pm 0,0025 \text{ g/cm}^2\text{god}$), C1 ($0,0055 \pm 0,0038 \text{ g/cm}^2\text{god}$), C2 ($0,0022 \pm 0,0015 \text{ g/cm}^2\text{god}$), JJ1 ($0,0013 \pm 0,0006 \text{ g/cm}^2\text{god}$) i JJ2 ($0,0010 \pm 0,0005 \text{ g/cm}^2\text{god}$). Kako bi se ispitalo je li za ovo povećanje sekvestracije ugljika u sedimentu zaslužno povećanje atmosferske koncentracije CO₂ (takozvana fertilizacija mora ugljikom) uspoređene su količine sekvestriranog ugljika s količinama atmosferskog ugljika istih godina metodom linearne regresije. Linearni korelacijski koeficijenti su vrlo visoki: SJ3 ($R = 0,937$, $R^2 = 0,878$), C2 ($R = 0,864$, $R^2 = 0,746$), SJ2 ($R = 0,858$, $R^2 = 0,736$), JJ2 ($R = 0,712$, $R^2 = 0,507$), C1 ($R = 0,615$, $R^2 = 0,378$), SJ1 ($R = 0,584$, $R^2 = 0,341$) i JJ1 ($R = 0,519$, $R^2 = 0,269$).

Ukoliko se koriste prosječne brzine sekvestracija svih jezgara, interval na 51-100 m dubine mora ima najveću brzinu sekvestracije, dok koristeći samo površinske brzine sedimentacije, najbrži je interval 1-50 m. Prosječne sekvestracije jezgri na 51-100 m dubine mora daju sekvestracije od $0,00534 \pm 0,00252 \text{ GtC/god}$ u crnomorskom sedimentu s iste dubine mora, $0,00408 \pm 0,00193 \text{ GtC/god}$ u jadranskom i $1,066 \pm 0,504 \text{ GtC/god}$ u oceanskom sedimentu. Površinske sekvestracije za najbrži interval 1-50 m su nešto veće, točnije: $0,00852 \pm 0,00361 \text{ GtC/god}$ u Crnom moru, $0,00555 \pm 0,00235 \text{ GtC/god}$ u Jadranskom moru i $1,965 \pm 0,831 \text{ GtC/god}$ u oceanima. Ukoliko se sekvestracija dodatno podjeli na intervale od 10 godina, zamijećen je skoro konstantan porast količine sekvestracije. Najveću sekvestraciju ima interval na 51-100 m dubine mora u razdoblju od 2001-2010. kada mu sekvestracije iznosi: $0,00923 \pm 0,00092 \text{ GtC/god}$ u Crnom moru, $0,00705 \pm 0,00071 \text{ GtC/god}$ u Jadranskom i $1,843 \pm 0,184 \text{ GtC/god}$ u oceanima. Recentne brzine sekvestracije (2011-2020.) za dubine mora od 1-200 m su: $0,01112 \pm 0,00544 \text{ GtC/god}$ u crnomorskim, $0,00864 \pm 0,00418 \text{ GtC/god}$ u jadranskim i $2,500 \pm 1,261 \text{ GtC/god}$ u sveukupnim oceanskim sedimentima.

Količina procijenjene recentne sekvestracije u oceanskim sedimentima odgovara $22,4 \pm 11,3 \%$ ukupnom antropogenom otpuštanju ugljika 2023. godine. Otpuštanja ugljika su od 1959. do 2023. narasla 246,4 %, dok je sekvestracija u oceanskim sedimentima slične starosti (interval 1961-1970.) do recentnog razdoblja (interval 2011-2020.) narasla 218,9 %. Porast sekvestracije ugljika između najdubljeg i najplićeg intervala je u prosjeku $224,5 \pm 97,3 \%$ (u prosjeku zadnjih 100 godina). Potrebno je provesti istraživanja na sedimentima uzorkovanim na dodatnim lokacijama kako bi ova preliminarna procjena sekvestracije postala preciznija.

10. Extended abstract

The Industrial Revolution has driven significant technological progress for humanity, but it has also brought some negative consequences. Due to the increasing use of fossil fuels, atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentrations have increased from 280 ppm before the start of the Industrial Revolution in 1760 to 417.1 ppm in 2022 and are continuing to rise. Research into the impacts of CO₂ and ways to reduce its release and increase its storage are highly researched topics. They often mention the term carbon sequestration, which is used to describe natural and anthropogenic processes by which CO₂ is removed from the atmosphere or diverted from its sources and stored in the oceans, land, and geological formations.

The carbon cycle encompasses several natural reservoirs: the atmosphere, land, oceans, geosphere, and volcanic activity. Within these reservoirs and during their flows, carbon is present in three forms: organic, inorganic, and elemental. Organic carbon (OC) encompasses everything from fresh organic matter to highly decomposed forms such as humus. Inorganic carbon (IC) originates from geological or parent sources of soil or sediment and the skeletons of organisms. It is most often present in the form of carbonates, the most common of which are calcite and aragonite (CaCO₃) and dolomite (CaMg(CO₃)₂). Elemental carbon (EC) is mostly a product of combustion and includes soot, graphite, natural coal, and charcoal. The sum of all forms of carbon is called total carbon (TC). EC is considered to be absent in the oceans, so TC is expressed as the sum of OC and IC. While the oceanic carbon cycle has been studied in relatively great detail, little attention has been paid to the ocean sediments. For this reason, there are no recent estimates of the amount of sequestered carbon. The values still mentioned for the total amount of carbon in ocean sediment in the literature were calculated in the 1980s and 90s and are: $150 \cdot 10^{15}$ gC for OC, $1600 \cdot 10^{15}$ or $1770 \cdot 10^{15}$ gC for IC, and $1750 \cdot 10^{15}$ or 10^{23} gC for TC. However, there are no modern estimates for annual carbon sequestration in the marine sediments.

In an attempt to update the knowledge on carbon sequestration within marine sediments, two sediment cores were sampled within the Black Sea and five cores within the Adriatic Sea. The Black Sea cores (C1 and C2) were sampled using a hydraulic corer within the Bulgarian territorial waters. Core C1 was sampled near the city of Varna at 24.5 m depth, and core C2 near the city of Burgas at 102.0 m depth. Using a gravity corer, two cores were sampled in the Southern Adriatic Sea, within the Montenegrin territorial waters (JJ1 and JJ2), and three cores in the central part of the Adriatic Sea, within the Croatian territorial waters (SJ1, SJ2, and SJ3).

Cores JJ1 and JJ2 were sampled near the city of Budva at 123.0 m and 172.0 m depth, and cores SJ1, SJ2, and SJ3 near the city of Split at 54.5 m, 58.6 m and 83.3 m depth. The cores were cut into centimeter or half-centimeter intervals, dated using ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{241}Am , and analyzed for particle size, mineralogical composition, and carbon concentration. Finally, carbon sequestration in the cores was calculated and sequestration in Black Sea, Adriatic, and oceanic sediments was estimated at 50 m depth intervals (1-50 m, 51-100 m, 101-150 m, and 151-200 m) and 10-year time intervals (from 1881-1890. to 2011-2020.).

According to the Constant Rate of unsupported ^{210}Pb Supply (CRS) model, the cores are ranked according to maximum age: C2 (132.73 yr), JJ1 (124 ± 19 yr), C1 (123 ± 17 yr), SJ2 (116 ± 30 yr), JJ2 (111 ± 16 yr), SJ3 (108 ± 16 yr) and SJ1 (79 ± 15 yr). The Central Adriatic cores have the highest sedimentation rate in the deepest interval, while the surface interval is dominated by the Black Sea cores, followed by the Central Adriatic and then the Southern Adriatic. If the Constant Initial ^{210}Pb Concentration (CIC) model is used, the cores are ordered: C2 (131.30 yr), JJ2 (106 ± 10 yr), JJ1 (97 ± 11 yr), C1 (79 ± 27 yr), SJ2 (78 ± 25 yr), SJ3 (70 ± 19 yr) and SJ1 (59 ± 12 yr). According to the CIC model, the Central Adriatic cores also have the highest sedimentation rate in the deepest interval, while in the shallowest interval, the highest rate is in core C2, followed by the Central Adriatic cores. Core C2 also has the largest difference in rate between the deepest and shallowest intervals.

Core C1 consists of sandy silt with a decreasing proportion of sand towards the surface, while core C2 consists mostly of uniform silt. The mineral composition is the same in both cores, as expected for the western Black Sea. Both South Adriatic cores consist of silt. The clay content in core JJ1 has a small constant decrease, while in core JJ2 the content of all three components has only minor changes. The mineral composition of both South Adriatic cores is the same and corresponds to the minerals found along the coasts of Montenegro and Albania. The Central Adriatic core SJ1 consists of silt and sandy silt, while cores SJ2 and SJ3 are composed exclusively of sandy silt. Core SJ3 has the highest sand content. The particle size of all Central Adriatic cores has a trend of increasing silt content. The mineral composition is uniform and stable in all Central Adriatic cores and corresponds to minerals typical for the eastern part of the Adriatic Sea.

An increase in TC, IC, and OC concentrations is noticeable in all cores toward their surface. If the increase in TC calculated in g/yr is studied, the cores are ordered from the largest increase in TC to the smallest: SJ1, C1, SJ3, SJ2, C2, JJ1, and JJ2. The increase in IC gives the order: SJ1, SJ3, C1, SJ2, C2, JJ1, and JJ2, and the increase in OC: C1, SJ1, C2, SJ2, SJ3, JJ1,

and JJ2. The calculated average sequestration amounts are: SJ1 ($0.0141 \pm 0.0062 \text{ g/cm}^2\text{yr}$), SJ3 ($0.0138 \pm 0.0054 \text{ g/cm}^2\text{yr}$), SJ2 ($0.0077 \pm 0.0025 \text{ g/cm}^2\text{yr}$), C1 ($0.0055 \pm 0.0038 \text{ g/cm}^2\text{yr}$), C2 ($0.0022 \pm 0.0015 \text{ g/cm}^2\text{yr}$), JJ1 ($0.0013 \pm 0.0006 \text{ g/cm}^2\text{yr}$) and JJ2 ($0.0010 \pm 0.0005 \text{ g/cm}^2\text{yr}$). To examine whether this increase in carbon sequestration in the sediment is due to an increase in the atmospheric concentration of CO_2 (the so-called carbon fertilization of the sea), the amounts of sequestered carbon were compared with the amounts of atmospheric carbon in the same years using the linear regression method. The linear correlation coefficients of the regression are quite high: SJ3 ($R = 0.937$, $R^2 = 0.878$), C2 ($R = 0.864$, $R^2 = 0.746$), SJ2 ($R = 0.858$, $R^2 = 0.736$), JJ2 ($R = 0.712$, $R^2 = 0.507$), C1 ($R = 0.615$, $R^2 = 0.378$), SJ1 ($R = 0.584$, $R^2 = 0.341$), and JJ1 ($R = 0.519$, $R^2 = 0.269$).

If the average values of the sequestration rates of all cores in a certain depth interval are used, the interval 51-100 m has the highest sequestration rate, while using only surface values, the fastest is the interval 1-50 m. The average values of the interval 51-100 m give values of $0.00534 \pm 0.00252 \text{ GtC/yr}$ in the Black Sea sediments from the same depth, $0.00408 \pm 0.00193 \text{ GtC/yr}$ in the Adriatic, and $1.066 \pm 0.504 \text{ GtC/yr}$ in the oceanic sediments. Surface values for the fastest interval of 1-50 m are somewhat higher, more precisely: $0.00852 \pm 0.00361 \text{ GtC/yr}$ in the Black Sea, $0.00555 \pm 0.00235 \text{ GtC/yr}$ in the Adriatic Sea, and $1.965 \pm 0.831 \text{ GtC/yr}$ in the oceans. If the sequestration is further divided into 10-year intervals, an almost constant increase in the amount of sequestration is observed. The highest value is in the interval at 51-100 m depth in the period from 2001-2010. when its sequestration is: $0.00923 \pm 0.00092 \text{ GtC/yr}$ in the Black Sea, $0.00705 \pm 0.00071 \text{ GtC/yr}$ in the Adriatic Sea, and $1.843 \pm 0.184 \text{ GtC/yr}$ in the oceans. Recent sequestration values (2011-2020.) for depths of 1-200 m are: $0.01112 \pm 0.00544 \text{ GtC/yr}$ in the Black Sea, $0.00864 \pm 0.00418 \text{ GtC/yr}$ in the Adriatic, and $2.500 \pm 1.261 \text{ GtC/yr}$ in the ocean sediments.

The calculated recent sequestration in ocean sediments corresponds to $22.4 \pm 11.3\%$ of the total anthropogenic carbon release in 2023. Carbon releases increased by 246.4% from 1959. to 2023., while the sequestration in ocean sediments of similar age (interval 1961-1970.) to the recent period (interval 2011-2020.) grew by 218.9%. The increase in carbon sequestration between the deepest and the shallowest interval is $224.5 \pm 97.3\%$ on average (the last 100 years on average). It is necessary to research sediments sampled at additional locations to make this preliminary sequestration estimate more precise.

11. Literatura

Albano, P.G., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Tomašových, A., Stachowitsch, M. & Zuschin, M. (2018): Historical ecology of a biological invasion: the interplay of eutrophication and pollution determines time lags in establishment and detection. *Biological Invasions* 20, 1417-1430. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1634-7>

Albertazzi, S., Bopp, R.F., Frignani, M., Hieke Merlin, O., Menegazzo Vitturi, L., Ravaoli, M., Simpson, H.J., Tassi Pelati, L. & Triulzi, C. (1984): Cs-137 as a tracer for processes of marine sedimentation in the vicinity of the Po River delta (Northern Adriatic Sea). *Memorie della Società geologica italiana* 27, 447-459.

Alexander, L.T. & Byers, H.G. (1932): A critical laboratory review of methods of determining organic matter and carbonates in soil. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., SAD, 1-26.

Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., Michaelides, S. & Manes, A. (2002): The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters* 29, 31-1-31-4. <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>

Alves, E.Q., Macario, K., Ascough, P. & Ramsey, C.B. (2018): The Worldwide Marine Radiocarbon Reservoir Effect: Definitions, Mechanisms, and Prospects. *Reviews of Geophysics* 56, 278-305. <https://doi.org/10.1002/2017RG000588>

Alvisi, F. & Frignani, M. (1996): ^{210}Pb -derived sediment accumulation rates for the central Adriatic Sea and crater lakes Albano and Nemi (central Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia* 55, 303-320.

Alvisi, F., Frignani, M. & Ravaoli, M. (2002): Seasonal and pluri-annual variability of sediment accumulation and organic matter fluxes in the Northwestern Adriatic shelf and its relationship with the frontal system. *Chemistry and Ecology* 18, 143-154. <https://doi.org/10.1080/02757540212684>

Alvisi, F., Frignani, M., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Albertazzi, S. & Ravaoli, M. (2006): Climate vs. anthropogenic changes in North Adriatic shelf sediments influenced by freshwater runoff. *Climate Research* 31, 167-179. <https://doi.org/10.3354/cr031167>

- Amos, A. (1905): A Method for the Determination of Carbonates in Soils. *The Journal of Agricultural Science* 1, 322-326. <https://doi.org/10.1017/S0021859600000344>
- Anderson, E.C., Libby, W.F., Weinhouse, S., Reid, A.F., Kirshenbaum, A.D. & Grosse, A.V. (1947): Radiocarbon From Cosmic Radiation. *Science* 105, 576-577. <https://doi.org/10.1126/science.105.2735.576>
- Anderson, R.F. & Fleisher, M.Q. (1991): Uranium Precipitation in Black Sea Sediments. U: İzdar, E., Murray, J.W. (ur.): *Black Sea Oceanography*. Springer Dordrecht, Dordrecht, Nizozemska, 443-458. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2608-3_26
- Anderson, R.F., Lyons, T.W. & Cowie, G.L. (1994): Sedimentary record of a shoaling of the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Marine Geology* 116, 373-384. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90052-3)
- Andričević, R., Meliadou, A., Miletić, M. & Kišević, M. (2013): Adriatic Sea Environment Program: Rapid Assessment of Pollution Hotspots for the Adriatic Sea, Final Report. The World Bank, Washington, D.C., SAD, 1-42.
- Appleby, P.G. & Oldfield, F. (1978): The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *CATENA* 5, 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(78\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(78)80002-2)
- Appleby, P.G., Nolan, P.J., Gifford, D.W., Godfrey, M.J., Oldfield, F., Anderson, N.J. & Battarbee, R.W. (1986): ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia* 141, 21-27. <https://doi.org/10.1007/BF00026640>
- Appleby, P.G., Richardson, N. & Nolan, P.J. (1991): ^{241}Am dating of lake sediments. *Hydrobiologia* 214, 35-42. <https://doi.org/10.1007/BF00050929>
- Appleby, P.G., Richardson, N. & Nolan, P.J. (1992): Self-absorption corrections for well-type germanium detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 71, 228-233. [https://doi.org/10.1016/0168-583X\(92\)95328-O](https://doi.org/10.1016/0168-583X(92)95328-O)
- Archer, D.E. (1996): An atlas of the distribution of calcium carbonate in sediments of the deep sea. *Global Biogeochemical Cycles* 10, 159-174. <https://doi.org/10.1029/95GB03016>
- Archer, D., Kheshgi, H. & Maier-Reimer, E. (1997): Multiple timescales for neutralization of fossil fuel CO_2 . *Geophysical Research Letters* 24, 405-408. <https://doi.org/10.1029/97GL00168>

- Archer, D., Kheshgi, H. & Maier-Reimer, E. (1998): Dynamics of fossil fuel CO₂ neutralization by marine CaCO₃. *Global Biogeochemical Cycles* 12, 259-276. <https://doi.org/10.1029/98GB00744>
- Archer, D. & Brovkin, V. (2008): The millennial atmospheric lifetime of anthropogenic CO₂. *Climatic Change* 90, 283-297. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9413-1>
- Arnold, J.R. & Libby, W.F. (1949): Age Determinations by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age. *Science* 110, 678-680. <https://doi.org/10.1126/science.110.2869.678>
- Arrhenius, S. (1896): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 41, 237-276. <https://doi.org/10.1080/14786449608620846>
- Arthur, M.A. & Dean, W.E. (1998): Organic-matter production and preservation and evolution of anoxia in the Holocene Black Sea. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 13, 395-411. <https://doi.org/10.1029/98PA01161>
- Arthur, M.A., Dean, W.E., Neff, E.D., Hay, B.J., King, J. & Jones, G. (1994): Varve calibrated records of carbonate and organic carbon accumulation over the last 2000 years in the Black Sea. *Global Biogeochemical Cycles* 8, 195-217. <https://doi.org/10.1029/94GB00297>
- Aston, F.W. (1919): The Constitution of the Elements. *Nature* 104, 393. <https://doi.org/10.1038/104393b0>
- Avrametz, V.M., Kakaranza, S.D., Sibirchenko, M.G., Mokrjak, I.M., Shvez, L.K., Makovetskaja, I.M. & Ju Eremina, L. (2007): Zvit z provedennja geologichnoi ziomky masshtabu 1:200,000 pivnichno-zakhidnoi chastyny shelfu Chornogo moria v mezhakh arkushiv L-36-XIII, L-36-XIV, L-36-XV. PrichernomorGRGP, Odesa, Ukrajina.
- Ayçık, G.A., Çetaku, D., Erten, H.N. & Salihoğlu, İ. (2004): Dating of Black Sea sediments from Romanian coast using natural ²¹⁰Pb and fallout ¹³⁷Cs. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 259, 177-180. <https://doi.org/10.1023/B:JRNC.0000015825.67418.18>
- Bağcaci, S.Ç., Yücel, I., Yilmaz, M.T., Sen, O.L. & Ludwig, P. (2024): High-Resolution Climate Simulations Over the Eastern Mediterranean Black Sea Region Using the Pseudo-Global Warming Method With a CMIP6 Ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 129, e2023JD040145. <https://doi.org/10.1029/2023JD040145>

Bakker, D.C.E., Pfeil, B. Landa, C.S., Metzl, N., O'Brien, K.M., Olsen, A., Smith, K., Cosca, C., Harasawa, S., Jones, S.D., Nakaoka, S., Nojiri, Y., Schuster, U., Steinhoff, T., Sweeney, C., Takahashi, T., Tilbrook, B., Wada, C., Wanninkhof, R., Alin, S.R., Balestrini, C.F., Barbero, L., Bates, N.R., Bianchi, A.A., Bonou, F., Boutin, J., Bozec, Y., Burger, E.F., Cai, W.J., Castle, R.D., Chen, L., Chierici, M., Currie, K., Evans, W., Featherstone, C., Feely, R.A., Fransson, A., Goyet, C., Greenwood, N., Gregor, L., Hankin, S., Hardman-Mountford, N.J., Harlay, J., Hauck, J., Hoppema, M., Humphreys, M.P., Hunt, C.W., Huss, B., Ibáñez, J.S.P., Johannessen, T., Keeling, R., Kitidis, V., Körtzinger, A., Kozyr, A., Krasakopoulou, E., Kuwata, A., Landschützer, P., Lauvset, S.K., Lefèvre, N., Lo Monaco, C., Manke, A., Mathis, J.T., Merlivat, L., Millero, F.J., Monteiro, P.M.S., Munro, D.R., Murata, A., Newberger, T., Omar, A.M., Ono, T., Paterson, K., Pearce, D., Pierrot, D., Robbins, L.L., Saito, S., Salisbury, J., Schlitzer, R., Schneider, B., Schweitzer, R., Sieger, R., Skjelvan, I., Sullivan, K.F., Sutherland, S.C., Sutton, A.J., Tadokoro, K., Telszewski, M., Tuma, M., Van Heuven, S.M.A.C., Vandemark, D., Ward, B., Watson, A.J. & Xu, S. (2016): A multi-decade record of high quality $f\text{CO}_2$ data in version 3 of the Surface Ocean CO_2 Atlas (SOCAT). *Earth System Science Data* 8, 383-413. <https://doi.org/10.5194/essd-8-383-2016>.

Bakker, D.C.E., Alin, S.R., Bates, N.R., Becker, M., Gkritzalis, T., Jones, S.D., Kozyr, A., Lauvset, S.K., Metzl, N., Nakaoka, S.I., O'Brien, K., Olsen, A., Pierrot, D., Steinhoff, T., Sutton, A., Takao, S., Tilbrook, B., Wada, C., Wanninkhof, R. & >100 SOCAT suradnika (2024): SOCAT version 2024: Ocean CO_2 observing effort down to levels of a decade ago. *Surface Ocean CO_2 Atlas.*, 19. lipanj 2024.

Baldi, A., Delfanti, R., Fiore, V., Galli, C., Lavarello, O., Papucci, C., Pentassuglia, C., Ventura, G.C., Giacomelli, R., De Guarrini, F. & Matassi, G. (1990): Distribution of artificial radionuclides in North Adriatic coastal sediments. II Yugoslav-Italian Symposium, Radiation Protection: Advances in Yugoslavia and Italy, 22-24. lipnja 1988., Udine, Italija.

Ballantyne, A.P., Alden, C.B., Miller, J.B., Tans, P.P. & White, J.W.C. (2012): Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and ocean during the past 50 years. *Nature* 488, 70-72. <https://doi.org/10.1038/nature11299>

Banzon, F.P.V., DeMaster, D.L. & Hopkins, T.S. (1999): An evaluation of sedimentary processes in the Northern Adriatic Sea: can particle mixing be ignored? U: Hopkins, T.S., Artegiani, A., Cawet, G., Degobbis, D., Malej, A. (ur.): Ecosystems research report No 32 - The Adriatic sea: proceedings of the workshop "Physical and biogeochemical processes in the

Adriatic sea", Portonovo (Ancona), Italy, 23 to 27 April 1996. European Commission, Luxembourg, Luksemburg, 479-495.

Barbanti, A., Bergamini, M.C., Frascari, F., Miserocchi, S., Ratta, M. & Rosso, G. (1995): Diagenetic processes and nutrient fluxes at the sediment-water interface, northern Adriatic Sea, Italy. *Marine and Freshwater Research* 46, 55-67. <https://doi.org/10.1071/MF9950055>

Barišić, D., Kniewald, G., Vertačnik, A. & Lulić, S. (1999): Preliminarni rezultati radiometrijskih istraživanja recentnih sedimenata u Plominskom zaljevu. U: Gereš, D. (ur.): Zbornik radova 2. hrvatske konferencije o vodama, Dubrovnik 19-22 svibnja 1999. Hrvatske Vode, Zagreb, Hrvatska, 405-411.

Barnes, C.E. & Cochran, J.K. (1991): Geochemistry of uranium in Black Sea sediments. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 38, S1237-S1254. [https://doi.org/10.1016/S0198-0149\(10\)80032-9](https://doi.org/10.1016/S0198-0149(10)80032-9)

Barrett, J. (2005): Greenhouse Molecules, Their Spectra and Function in the Atmosphere. *Energy & Environment* 16, 1037-1045. <https://doi.org/10.1260/095830505775221542>

Barton, D. & Schnitzer, M. (1963): A New Experimental Approach to the Humic Acid Problem. *Nature* 198, 217-218. <https://doi.org/10.1038/198217a0>

Basterretxea, G., Font-Muñoz, J.S., Salgado-Hernanz, P.M., Arrieta, J. & Hernández-Carrasco, I. (2018): Patterns of chlorophyll interannual variability in Mediterranean biogeographical regions. *Remote Sensing of Environment* 215, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.027>

Bates, N.R., Best, M.H.P., Neely, K., Garley, R., Dickson, A.G. & Johnson, R.J. (2012): Detecting anthropogenic carbon dioxide uptake and ocean acidification in the North Atlantic Ocean. *Biogeosciences* 9, 2509-2522. <https://doi.org/10.5194/bg-9-2509-2012>

Battiston, G.A., Degetto, S., Gerbasi, R., Sbrignadello, G. & Tositti, L. (1988): The use of ^{210}Pb and ^{137}Cs in the study of sediment pollution in the Lagoon of Venice. *Science of The Total Environment* 77, 15-23. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90310-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90310-5)

Battiston, G.A., Degetto, S., Gerbasi, R. & Sbrignadello, G. (1989): Determination of sediment composition and chronology as a tool for environmental impact investigations. *Marine Chemistry* 26, 91-100. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(89\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0304-4203(89)90054-6)

Beckman Coulter (2011): LS 13 320 Laser Diffraction Particle Size Analyzer – Instruction for use. Beckman Coulter, Inc., Brea, SAD, 1-246.

- Begy, R.C., Dumitru, O.A., Simon, H. & Steopoaie, I. (2015a): An improved procedure for the determination of ^{210}Po by alpha spectrometry in sediments samples from Danube Delta. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 303, 2553-2557. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3703-z>
- Begy, R.C., Simon, H., Kelemen, S., Reizer, E. & Preoteasa, L. (2015b): Determination of sedimentation rates of a northern Danube Delta lake by ^{210}Pb method. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 10, 191-194.
- Begy, R.C., Preoteasa, L., Timar-Gabor, A., Mihăiescu, R., Tănăselia, C., Kelemen, S. & Simon, H. (2016): Sediment dynamics and heavy metal pollution history of the Cruhlig Lake (Danube Delta, Romania). *Journal of Environmental Radioactivity* 153, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.12.020>
- Begy, R.C., Simon, H., Kelemen, S. & Preoteasa, L. (2018a): Investigation of sedimentation rates and sediment dynamics in Danube Delta lake system (Romania) by ^{210}Pb dating method. *Journal of Environmental Radioactivity* 192, 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.06.010>
- Begy, R.C., Kelemen, S., Simon, H. & Tănăselia, C. (2018b): The history of the sedimentation processes and heavy metal pollution in the Central Danube Delta (Romania). *Geochronometria* 45, 97-106. <https://doi.org/10.1515/geochr-2015-0090>
- Bellucci, L.G., Frignani, M., Cochran, J.K., Albertazzi, S., Zaggia, L., Cecconi, G. & Hopkins, H. (2007): ^{210}Pb and ^{137}Cs as chronometers for salt marsh accretion in the Venice Lagoon - links to flooding frequency and climate change. *Journal of environmental radioactivity* 97, 85-102. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.03.005>
- Benac, Č. & Arbanas, Ž. (1990): Sedimentacija u području ušća Rječine. *Pomorski zbornik* 28, 593-609.
- Benac, Č., Arbanas, Ž. & Pavlovec, E. (1991): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. *Pomorski zbornik* 29, 475-492.
- Bengtsson, L. & Enell, M. (1986): Chemical analysis. U: Berglund, B.E. (ur.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley, Chichester, Ujedinjeno Kraljevstvo, 423-445.

Bereiter, B., Eggleston, S., Schmitt, J., Nehrbass-Ahles, C., Stocker, T.F., Fischer, H., Kipfstuhl, S. & Chappellaz, J. (2015): Revision of the EPICA Dome C CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. *Geophysical Research Letters* 42, 542-549. <https://doi.org/10.1002/2014GL061957>

Bern Convention (2022): Possible File no. 2020/9: Possible negative impact of hydro-power plant development on the Neretva River (Bosnia and Herzegovina). Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Strasbourg, Francuska, T-PVS/Files(2022)72.

Bernard, A. (1887): Calcimètre simplifié. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 104, 1525-1528.

Berner, R.A. (1989): Biogeochemical cycles of carbon and sulfur and their effect on atmospheric oxygen over phanerozoic time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 75, 97-122. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(89\)90186-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(89)90186-7)

Blair, T.A. (1942): *Climatology, general and regional*. New York: Prentice-Hall, New York, SAD, 1-484.

Blanco, M., Pérez-Albaladejo, E., Piña, B., Kušpilić, G., Milun, V., Lille-Langøy, R., Karlsen, O.A., Goksøyr, A. & Porte, C. (2018): Assessing the environmental quality of sediments from Split coastal area (Croatia) with a battery of cell-based bioassays. *Science of The Total Environment* 624, 1640-1648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.055>

Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P. & Gospodinov, I. (2009): Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005). *Atmospheric Research* 93, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.025>

Bogner, D. (1996): Površinski sedimenti i utjecaj njihovih fizičko-kemijskih svojstava na raspodjelu teških kovina u Kaštelanskom zaljevu. Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 1-131.

Bogner, D., Juracic, M., Ujevic, I., Kljakovic Gaspic, Z. & Baric, A. (2001): Lead content in a sediment core off Rab island (Croatia). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 36, 112.

- Boldrin, A., Bortoluzzi, G., Frascari, F., Guerzoni, S. & Rabitti, S. (1988): Recent deposits and suspended sediment off the Po della Pila (Po River, main mouth), Italy. *Marine Geology* 79, 159-170. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(88\)90037-0](https://doi.org/10.1016/0025-3227(88)90037-0)
- Bolin, B., Degens, E., Kempe, S. & Ketner, P. (1979): *The Global Carbon Cycle*, SCOPE Report 13. John Wiley and Sons, New York, SAD, 1-491.
- Bopp, L., Legendre L. & Monfray, P. (2002): La pompe à carbone va-t-elle se gripper. *La Recherche* 355, 48-50.
- Bouloubassi, I., Aloisi, G., Pancost, R.D., Hopmans, E., Pierre, C. & Sinninghe Damsté, J.S. (2006): Archaeal and bacterial lipids in authigenic carbonate crusts from eastern Mediterranean mud volcanoes. *Organic Geochemistry* 37, 484-500. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2005.11.005>
- Bowers, S.A. & Hanks, R.J. (1965): Reflection of Radiant Energy from Soils. *Soil Science* 100, 130-138. <https://doi.org/10.1097/00010694-196508000-00009>
- Bracewell, J.M. (1971): Characterization of soils by pyrolysis combined with mass spectrometry. *Geoderma* 6, 163-168. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(71\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(71)90003-6)
- Bragg, W.L. (1913): The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 17, 43-57.
- Brewin, R.J.W., Sathyendranath, S., Kulk, G., Rio, M.H., Concha, J.A., Bell, T.G., Bracher, A., Fichot, C., Frölicher, T.L., Galí, M., Hansell, D.A., Kostadinov, T.S., Mitchell, C., Neeley, A.R., Organelli, E., Richardson, K., Rousseaux, C., Shen, F., Stramski, D., Tzortziou, M., Watson, A.J., Addey, C.I., Bellacicco, M., Bouman, H., Carroll, D., Cetinić, I., Dall’Olmo, G., Frouin, R., Hauck, J., Hieronymi, M., Hu, C., Ibello, V., Jönsson, B., Kong, C.E., Kovač, Ž., Laine, M., Lauderdale, J., Lavender, S., Livanou, E., Llort, J., Lorinczi, L., Nowicki, M., Pradisty, N.A., Psarra, S., Raitsos, D.E., Ruescas, A.B., Russell, J.L., Salisbury, J., Sanders, R., Shutler, J.D., Sun, X., Taboada, F.G., Tilstone, G.H., Wei, X. & Woolf, D.K. (2023): Ocean carbon from space: Current status and priorities for the next decade. *Earth-Science Reviews* 240, 104386. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104386>
- Bricklemyer, R.S., Brown, D.J., Barefield, J.E. & Clegg, S.M. (2011): Intact Soil Core Total, Inorganic, and Organic Carbon Measurement Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* 75, 1006-1018. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0244>

Broecker, W.S. & Peng, T.H. (1982): Tracers in the Sea. Eldigio Press, New York, SAD, 1-690.

Broecker, W.S. & Peng, T.H. (1986): Carbon cycle: 1985 – Glacial to interglacial changes in the operation of the global carbon cycle. Radiocarbon 28, 309-327. <https://doi.org/10.1017/S0033822200007414>

Bronić, I.K., Obelić, B., Horvatinčić, N., Barešić, J., Sironić, A. & Minichreiter, K. (2010): Radiocarbon application in environmental science and archaeology in Croatia. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 619, 491-496. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.11.032>

Brown, H.T. & Escombe, F. (1900): Static Diffusion of Gases and Liquids in Relation to the Assimilation of Carbon and Translocation in Plants. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Containing Papers of a Biological Character 193, 223-291. <https://doi.org/10.2307/91924>

BSC (2007): Marine litter in the Black Sea Region: A review of the problem. Black Sea Commission, Istanbul, Turska, 1-148.

BSC (2019): Black Sea, State of Environment Report, 2009-2014/5. Black Sea Commission, Istanbul, Turska, 1-813.

Buddrus, J., Burba, P., Herzog, H. & Lambert, J. (1989): Quantitation of partial structures of aquatic humic substances by one- and two-dimensional solution ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy. Analytical Chemistry 61, 628-631. <https://doi.org/10.1021/ac00181a027>

Buesseler, K.O. & Benitez, C.R. (1994): Determination of mass accumulation rates and sediment radionuclide inventories in the deep Black Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 41, 1605-1615. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)90064-7)

Bugli, R. (1989): Uso dei radionuclidi nella determinazione nel tasso di accumulo di sedimenti pelitici di piattaforma. Area: Adriatico centro-settertrionale. Dottorski rad, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija.

- Burton, M.R., Sawyer, G.M. & Granieri, D. (2013): Deep Carbon Emissions from Volcanoes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 75, 323-354. <https://doi.org/10.2138/rmg.2013.75.11>
- Calanchi, N., Dinelli, E., Lucchini, F. & Mordenti, A. (1996): Chemostratigraphy of late Quaternary sediments from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project). *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 55, 247-263.
- Calel, R. (2011): Climate change and carbon markets: a panoramic history. GRI Working Papers 52, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-26.
- Callendar, G. S. (1938): The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 64, 223-240. <https://doi.org/10.1002/qj.49706427503>
- Calvert, S.E. & Karlin, R.E. (1998): Organic carbon accumulation in the Holocene sapropel of the Black Sea. *Geology* 26, 107-110. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1998\)026<0107:OCAITH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1998)026<0107:OCAITH>2.3.CO;2)
- Calvert, S.E., Vogel, J.S. & Southon, J.R. (1987): Carbon accumulation rates and the origin of the Holocene sapropel in the Black Sea. *Geology* 15, 918-921. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1987\)15<918:CARATO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1987)15<918:CARATO>2.0.CO;2)
- Calvert, S.E., Karlin, R.E., Toolin, L.J., Donahue, D.J., Southon, J.R. & Vogel, J.S. (1991): Low organic carbon accumulation rates in Black Sea sediments. *Nature* 350, 692-695. <https://doi.org/10.1038/350692a0>
- Canals, M., Danovaro, R., Heussner, S., Lykousis, V., Puig, P., Trincardi, F., Calafat, A.M., Durrieu de Madron, X., Palanques, A. & Sánchez-Vidal, A. (2015): Cascades in Mediterranean Submarine Grand Canyons. *Oceanography* 22, 26-43. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.03>
- Canfield, D.E. (1989): Sulfate reduction and oxic respiration in marine sediments: implications for organic carbon preservation in euxinic environments. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 36, 121-138. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(89\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0198-0149(89)90022-8)
- Carlson, C.A. (2002): Production and Removal Processes. U: Hansell, D., Carlson, C.A. (ur.): *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*. Academic Press, San Diego, SAD, 91-152.

- Carlson, C.A., Bates, N.R., Hansell, D.A. & Steinberg, D.K. (2008): Carbon Cycle. U: Steele, J.H., Thorpe, S.A., Turekian, K.K. (ur.): Encyclopedia of Ocean Sciences, 2nd Edition, Volume 1: A - C. Elsevier Inc., London, Ujedinjeno Kraljevstvo, 477-486. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00272-1>
- Cattaneo, A., Correggiari, A., Langone, L. & Trincardi, F. (2003): The late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: sediment pathways and supply fluctuations. *Marine Geology* 193, 61-91. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00614-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00614-X)
- Cernusak, L.A., Haverd, V., Brendel, O., Thiec, D.L., Guehl, J.M. & Cuntz, M. (2019): Robust Response of Terrestrial Plants to Rising CO₂. *Trends in Plant Science* 24, 578-586. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.003>
- Chau, T.T.T., Gehlen, M., Metzl, N. & Chevallier, F. (2024): CMEMS-LSCE: a global, 0.25°, monthly reconstruction of the surface ocean carbonate system. *Earth System Science Data* 16, 121-160. <https://doi.org/10.5194/essd-16-121-2024>
- Choi, S.G., Park, S.S., Wu, S. & Chu, J. (2017): Methods for Calcium Carbonate Content Measurement of Biocemented Soils. *Journal of Materials in Civil Engineering* 29, 06017015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002064](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002064)
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R., Piao, S. & Thornton, P. (2013): Carbon and other biogeochemical cycles. U: Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. (ur.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 465-570.
- Ciavola, P., Organo, C., León Vintó, L. & Mitchell, P.I. (2002): Sedimentation Processes on Intertidal Areas of the Lagoon of Venice: Identification of Exceptional Flood Events (*Acqua Alta*) Using Radionuclides. *Journal of Coastal Research* 36, 139-147. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.139>
- Clapeyron, E. (1834): Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur. *Journal de l'École Polytechnique* 14, 153-190.

- Cochran, J.K., Frignani, M., Salamanca, M., Bellucci, L.G. & Guerzoni, S. (1998): Lead-210 as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice Lagoon. *Marine Chemistry* 62, 15-29. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(98\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(98)00017-6)
- Comstock, J.P., Sherpa, S.R., Ferguson, R., Bailey, S., Beem-Miller, J.P., Lin, F., Lehmann, J. & Wolfe, D.W. (2019): Carbonate determination in soils by mid-IR spectroscopy with regional and continental scale models. *PLoS One* 14, e0210235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210235>
- Constantinescu, A.M., Tyler, A.N., Stanica, A., Spyarakos, E., Hunter, P.D., Catianis, I. & Panin, N. (2023): A century of human interventions on sediment flux variations in the Danube-Black Sea transition zone. *Frontiers in Marine Science* 10, 1068065. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1068065>
- Copernicus (2022): Global Ocean Chlorophyll-a trend map from Observations Reprocessing. Copernicus Marine Service. https://data.marine.copernicus.eu/product/OMI_HEALTH_CHL_GLOBAL_OCEANCOLOUR_trend/description. Pristupljeno 15. svibnja 2024.
- Copernicus (2023): Mediterranean Sea Chlorophyll-a trend map from Observations Reprocessing. Copernicus Marine Service. https://data.marine.copernicus.eu/product/OMI_HEALTH_CHL_MEDSEA_OCEANCOLOUR_trend/description. Pristupljeno 16. svibnja 2024.
- Coppenrath, E., Hasenbäumer, J. & König, J. (1907): Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Bodens und der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen. *Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen* 66, 401-461.
- Correggiari, A., Trincardi, F., Langone, L. & Roveri, M. (2001): Styles of Failure in Late Holocene Highstand Prodelta Wedges on the Adriatic Shelf. *Journal of Sedimentary Research* 71, 218-236. <https://doi.org/10.1306/042800710218>
- Covelli, S., Faganeli, J., Horvat, M. & Brambati, A. (2001): Mercury contamination of coastal sediments as the result of long-term cinnabar mining activity (Gulf of Trieste, northern Adriatic sea). *Applied Geochemistry* 16, 541-558. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00042-1)
- Covelli, S., Fontolan, G., Faganeli, J. & Ogrinc, N. (2006): Anthropogenic markers in the Holocene stratigraphic sequence of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Marine Geology* 230, 29-51. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.03.013>

- Covelli, S., Langone, L., Acquavit, A., Piani, R. & Emili, A. (2012): Historical flux of mercury associated with mining and industrial sources in the Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 113, 7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.12.038>
- Covelli, S., Petranich, E., Langone, L., Emili, A. & Acquavita, A. (2017): Historical sedimentary trends of mercury and other trace elements from two saltmarshes of the Marano and Grado lagoon (northern Adriatic Sea). *Journal of Soils and Sediments* 17, 1972-1985. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1618-8>
- Cowie, G.L. & Hedges, J.I. (1991): Organic carbon and nitrogen geochemistry of Black Sea surface sediments from stations spanning the oxic:anoxic boundary. U: İzdar, E., Murray, J.W. (ur.): *Black Sea Oceanography*. Springer Dordrecht, Dordrecht, Nizozemska, 343-359. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2608-3_21
- Craig, H. (1953): The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 3, 53-92. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(53\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(53)90001-5)
- Cremers, D.A., Ebinger, M.H., Breshears, D.D., Unkefer, P.J., Kammerdiener, S.A., Ferris, M.J., Catlett, K.M. & Brown, J.R. (2001): Measuring total soil carbon with laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). *Journal of environmental quality* 30, 2202-2206. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2202>
- Crmarčić, R., Bogner, D. & Juračić, M. (1999): Holocenski sedimenti i sedimentacija u Kaštelanskom zaljevu. U: Hodžić, M. (ur.): *Zbornik Kaštela kolijevka Hrvatske: radovi sa simpozija u Kaštel Starom*, 30. rujna - 3. listopada 1998. godine. Matica hrvatska Kaštela, Kaštela, Hrvatska, 178-182.
- Croitoru, A.E., Chitoroiu, B.C., Todorova, V.I. & Torică, V. (2013): Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast. *Global and Planetary Change* 102, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.01.004>
- Crusius, J. & Anderson, R.F. (1991): Immobility of ^{210}Pb in Black Sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55, 327-333. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90421-Z](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90421-Z)
- Crusius, J. & Anderson, R.F. (1992): Inconsistencies in Accumulation Rates of Black Sea Sediments Inferred from Records of Laminae and ^{210}Pb . *Paleoceanography* 7, 215-227. <https://doi.org/10.1029/92PA00279>

- Cukrov, N., Barišić, D., Branica, M. & Kwokal, Ž. (2003): Preliminary results of Uranium and Radium content in Krka River Estuary. U: Vlahović, I. (ur.): 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija, 2003, Abstracts Book. Hrvatski geološki institut, Zagreb, Hrvatska, 36.
- Cukrov, N., Barišić, D. & Juračić, M. (2007): Calculated sedimentation rate in the Krka River Estuary using vertical distribution of ^{137}Cs . *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 38, 81.
- Cukrov, N., Mlakar, M., Cuculić, V. & Barišić, D. (2009): Origin and transport of ^{238}U and ^{226}Ra in riverine, estuarine and marine sediments of the Krka River, Croatia. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 497-504. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.03.012>
- Cukrov, N., Frančišković-Bilinski, S., Hlača, B. & Barišić, D. (2011): A recent history of metal accumulation in the sediments of Rijeka harbor, Adriatic Sea, Croatia. *Marine Pollution Bulletin* 62, 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.020>
- Curtis, W.R. & Broadway, J.A. (1992): Preliminary Caesium Data From A Cooperative US/USSR Monitoring Survey for Chernobyl Radioactivity in the Black Sea. *Chemistry and Ecology* 7, 161-172. <https://doi.org/10.1080/02757549208055439>
- Çagatay, M.N., Güngör, E., Güngör, N., Yilmaz, Y.Z., Sari, E., Köksal, G., Göktepe, G. & Yasar, S. (2001): Sediment, organic carbon and carbonate mass accumulation rates on the western continental margin of the Black Sea. *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 36, 114.
- Dai, G., Zhu, E., Liu, Z., Wang, Y., Zhu, S., Wang, S., Ma, T., Jia, J., Wang, X., Hou, S., Fu, P., Peterse, F. & Feng, X. (2019): Compositional Characteristics of Fluvial Particulate Organic Matter Exported From the World's Largest Alpine Wetland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 124, 2709-2727. <https://doi.org/10.1029/2019JG005231>
- Dai, Y., Yang, S., Zhao, D., Hu, C., Xu, W., Anderson, D.M., Li, Y., Song, X.P., Boyce, D.G., Gibson, L., Zheng, C. & Feng, L. (2023): Coastal phytoplankton blooms expand and intensify in the 21st century. *Nature* 615, 280-284. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05760-y>
- Danovaro, R. & Boero, F. (2019): Italian Seas. U: Sheppard, C. (ur.): *World Seas: An Environmental Evaluation*, Volume I: Europe, the Americas and West Africa, Second Edition. Elsevier Ltd, London, Ujedinjeno Kraljevstvo, 283-306. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00060-7>

- Dean, W.E. (1974): Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research* 44, 242-248. <https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Degens, E.T. & Ross, D.A. (1972): Chronology of the Black Sea over the last 25,000 years. *Chemical Geology* 10, 1-16. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(72\)90073-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(72)90073-3)
- Degens, E.T., Paluska, A. & Eriksson, E. (1976): Rates of Soil Erosion. *Ecological Bulletins* 22, 185-191.
- Degens, E.T., Stoffers, P., Golubic, S. & Dickman, M.D. (1978): Varve Chronology: Estimated Rates of Sedimentation in the Black Sea Deep Basin. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 42-2, 499-508. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.42-2.114.1978>
- Degens, E.T., Michaelis, W., Garrasi, C., Mopper, K., Kempe, S. & Ittekkot, V.A. (1980): Warven-Chronologie und fröhdiagenetische Umsetzungen organischer Substanzen holozäner Sedimente des Schwarzen Meeres. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Monatshefte* - Jg. 1980, 65-86. <https://doi.org/10.1127/njgpm/1980/1980/65>
- Dennison, D.M. & Johnston, M. (1935): The Interaction Between Vibration and Rotation for Symmetrical Molecules. *Physical Review* 47, 93-94. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.93.2>
- DeVries, T., Yamamoto, K., Wanninkhof, R., Gruber, N., Hauck, J., Müller, J.D., Bopp, L., Carroll, D., Carter, B., Chau, T.T.T., Doney, S.C., Gehlen, M., Gloege, L., Gregor, L., Henson, S., Kim, J.H., Iida, Y., Ilyina, T., Landschützer, P., Le Quéré, C., Munro, D., Nissen, C., Patara, L., Pérez, F.F., Resplandy, L., Rodgers, K.B., Schwinger, J., Séférian, R., Sicardi, V., Terhaar, J., Triñanes, J., Tsujino, H., Watson, A., Yasunaka, S. & Zeng, J. (2023): Magnitude, Trends, and Variability of the Global Ocean Carbon Sink From 1985 to 2018. *Global Biogeochemical Cycles* 37, e2023GB007780. <https://doi.org/10.1029/2023GB007780>
- Dickson, A.G. (2011): The carbon dioxide system in seawater: equilibrium chemistry and measurements. U: Riebesell, U., Fabry, V.J., Hansson, L., Gattuso, J.P. (ur.): Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting. European Commission, Luxembourg, Luksemburg, 17-40.
- Dinescu, L.C. & Dului, O.G. (2001): Heavy metal pollution of some Danube Delta lacustrine sediments studied by neutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes* 54, 853-859. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00332-8](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00332-8)

Dinescu, L.C., Dului, O.G., Steinnes, E., Ciorte, C., Fluerașu, D., Haralambie, M. & Stoica, P. (2005): Investigation of the radioactive and heavy metal pollution of the Danube Delta lacustrine sediments and soil. U: Comsan, M.N.H., Hussein, A.Z. (ur.): Proceedings of the Environmental Physics Conference, 24-28 Feb. 2004, Minya, Egypt. Egyptian Nuclear Physics Association, Kairo, Egipt, 81-91.

Dineva, S.I. (2011): Water Discharges into the Bulgarian Black Sea. International Symposium on Outfall Systems, 15-18. svibnja 2011., Mar del Plata, Argentina.

Dinnebier, R.E. & Billinge, S.J.L. (2008): Powder Diffraction, Theory and Practice. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-604.
<https://doi.org/10.1039/9781847558237>

Dijkstra, N., Kraal, P., Séguet, M.J.M., Flores, M.R., Gonzalez, S., Rijkenberg, M.J.A. & Slomp, C.P. (2018): Phosphorus dynamics in and below the redoxcline in the Black Sea and implications for phosphorus burial. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 222, 685-703.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.11.016>

Dlugokencky, E.J., Steele, L.P., Lang, P.M. & Masarie, K.A. (1994): The growth rate and distribution of atmospheric methane. *Journal of Geophysical Research* 99, 17021-17043.
<https://doi.org/10.1029/94JD01245>

Domanov, M.M., Kontar', E.A., Kosyan, R.D., Sapozhnikov, D.A. & Shimkus, K.M. (1996): Cs-137 and Co-60 isotopes and sedimentation rates in Late Holocene sediments from the Northwestern Black Sea. *PANGAEA*. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.759687>

Donazzolo, R., Orio, A.A. & Pavoni, B. (1982): Radiometric dating and pollutant profiles in a sediment core from the lagoon of Venice. *Oceanologica Acta Special issue*, 101-106.

Doncheva, V.G., Hristova, O.D., Dzhurova, B.S. & Slavova, K.R. (2020): Metal Pollution Assessment in Sediments of the Bulgarian Black Sea Coastal Zone. *Ecologia Balkanica* 12, 179-189.

Dong, Y., Bakker, D.C.E. & Landschützer, P. (2024): Accuracy of Ocean CO₂ Uptake Estimates at a Risk by a Reduction in the Data Collection. *Geophysical Research Letters* 51, e2024GL108502. <https://doi.org/10.1029/2024GL108502>

Dore, J.E., Lukas, R., Sadler, D.W., Church, M.J. & Karl, D.M. (2009): Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *Proceedings of*

the National Academy of Sciences of the United States of America 106, 12235-12240. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906044106>

Downing, J.P. & Cataldo, D.A. (1992): Natural Sinks of CO₂: Technical Synthesis from the Palmas Del Mar Workshop. U: Wisniewski, J., Lugo, A.E. (ur.): Natural Sinks of CO₂. Springer, Dordrecht, Nizozemska, 439-453. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2793-6_24

Drake, B.G., Gonzalez-Meler, M.A. & Long, S.P. (1997): MORE EFFICIENT PLANTS: A Consequence of Rising Atmospheric CO₂? Annual review of plant physiology and plant molecular biology 48, 609-639. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.609>

Druffel, E.R.M., Williams, P.M., Bauer, J.E. & Ertel, J.R. (1992): Cycling of dissolved and particulate organic matter in the open ocean. Journal of Geophysical Research 97, 15639-15659. <https://doi.org/10.1029/92JC01511>

Duliu, O.G., Dinescu, L.C., Dinescu, M.C., Dorcioman, R.D., Mihăilescu, N.G. & Vanghelie, I.S. (1996): Some considerations concerning ¹³⁷Cs vertical profile in the Danube Delta: Matita Lake core. Science of The Total Environment 188, 9-14. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(96\)05130-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(96)05130-3)

Duliu, O.G., Oaie, G. & Preoteasa, F. (2013): Time series analysis of recent (1 kyr) euxinic sediments of the Black Sea: a case study. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen 270, 171-179. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2013/0363>

Duman, M. (1994): Late Quaternary chronology of the southern Black Sea basin. Geo-Marine Letters 14, 272-278. <https://doi.org/10.1007/BF01274063>

Dumas, J.B.A. (1831): Procèdes de l'analyse Organic. Annales de Chimie et de Physique 247, 198-213.

Dumas, J.B. & Stas, J.S. (1840): Recherches sur les Véritable Poids Atomique du Carbone. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 11, 991-1008.

Dumas, J.B. & Stas, J.S. (1841): Recherches sur les Véritable Poids Atomique du Carbone. Annales de chimie et de physique 1, 5-59.

Duplančić Leder, T., Ujević, T. & Čala, M. (2004): Coastline lengths and areas of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale of 1 : 25000. Geoadria 9, 5-32. <https://doi.org/10.15291/geoadria.127>

- Dymond, J. & Lyle, M. (1985): Flux comparisons between sediments and sediment traps in the eastern tropical Pacific: Implications for atmospheric CO₂ variations during the Pleistocene. *Limnology and Oceanography* 30, 699-712. <https://doi.org/10.4319/lo.1985.30.4.069>
- Eckert, S. (2014): The past and present trace metal budget of the Black Sea – A comparison of the Holocene and Eemian marine ingression. Doktorski rad, Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Njemačka, 1-119.
- Eckert, S., Schnetger, B. & Brumsack, H.J. (2009): Trace metal patterns in Black Sea sapropels as a chemostratigraphic tool. *Geophysical Research Abstracts* 11, EGU2009-9371.
- Egorov, V.N., Povinec, P.P., Polikarpov, G.G., Stokozov, N.A., Gulin, S.B., Kulebakina, L.G. & Osvath, I. (1999): ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications. *Journal of Environmental Radioactivity* 43, 137-155. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(98\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(98)00088-5)
- Egorov, V., Gulin, S., Polikarpov, G. & Osvath, I. (2010): Black Sea: Radionuclides. U: Atwood, D.A. (ur.): *Radionuclides in the environment*. John Wiley & Sons, Chichester, Ujedinjeno Kraljevstvo, 437-452. <https://doi.org/10.1002/0470862106.ia761>
- Egorov, V.N., Gulin, S.B., Popovichev, V.N., Mirzoyeva, N.Y., Tereshenko, N.N., Lazorenko, G.E., Malakhova, L.V., Plotitsina, O.V., Malakhova, T.V., Proskurnin, V.Y., Sidorov, I.G., Gulina, L.V., Stetsyuk, A.P. & Marchenko, Y.G. (2013): Biogeokhimicheskiye mekhanizmy formirovaniya kriticheskikh zon v Chornom more v otnoshenii zagryaznyayushchikh veshchestv. *Morskoy ekologicheskiy zhurnal* 12, 5-26.
- Egorov, V.N., Gulin, S.B., Malakhova, L.V., Mirzoyeva, N.Y., Popovichev, V.N., Tereshchenko, N.N., Lazorenko, G.E., Plotitsyna, O.V., Malakhova, T.V., Proskurnin, V.Y., Sidorov, I.G., Stetsyuk, A.P., Gulina, L.V. & Marchenko, Y.G. (2018): Biogeokhimicheskiye Kharakteristiki Sedimentatsionnogo Samoochishcheniya Sevastopol'skoy Bukhty ot Radionuklidov, Rtuti i Khlororganicheskikh Zagryazniteley. *Morskoy biologicheskiy zhurnal* 3, 40-52. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.03>
- Egorov, V.N., Mirzoyeva, N.Y., Artemov, Y.G., Proskurnin, V.Y., Stetsiuk, A.P., Marchenko, Y.G., Evtushenko, D.B., Moseichenko, I.N. & Chuzhikova-Proskurnina, O.D. (2023): The possibility of implementation of the sustainable development concept for the recreational coastline of Yalta city regarding biogenic elements, radionuclides, heavy metals, and

organochlorine compounds (Crimea, Black Sea). *Marine Biological Journal* 8, 12-32.
<https://doi.org/10.21072/mbj.2023.08.3.02>

Einsele, G. (1992): *Sedimentary Basins, Evolution, Facies, and Sediment Budget*. Springer-Verlag, Berlin, Njemačka, 1-628. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04029-4>

Einsele, G. & Hinderer, M. (1997): Terrestrial sediment yield and the lifetimes of reservoirs, lakes, and larger basins. *Geologische Rundschau* 86, 288-310.
<https://doi.org/10.1007/s005310050141>

Elfaki, J., Gafei, M.A., Sulieman, M. & Ali, M.E. (2016): Assessment of Calcimetric and Titrimetric Methods for Calcium Carbonate Estimation of Five Soil Types in Central Sudan. *Journal of Geoscience and Environment Protection* 4, 120-127.
<https://doi.org/10.4236/gep.2016.41014>

Elmqvist, M., Gustafsson, O. & Andersson, P. (2004): Quantification of Sedimentary Black Carbon Using the Chemothermal Oxidation Method: An Evaluation of Ex Situ Pretreatments and Standard Additions Approaches. *Limnology and Oceanography: Methods* 2, 417-427.
<https://doi.org/10.4319/lom.2004.2.417>

Emerson, S. & Hedges, J.I. (1988): Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography* 3, 621-634. <https://doi.org/10.1029/PA003i005p00621>

EMODnet (2022): EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2022). European Marine Observation and Data Network.
<https://emodnet.ec.europa.eu/geonetwork/emodnet/eng/catalog.search#/metadata/ff3aff8a-cff1-44a3-a2c8-1910bf109f85>. Pristupljeno 1. ožujka 2024.

EMODnet (2023a): Seabed Substrates. European Marine Observation and Data Network.
<https://emodnet.ec.europa.eu/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/6eaf4c6bf28815e973b9c60aab5734e3ef9cd9c4>. Pristupljeno 5. ožujka 2024.

EMODnet (2023b): Sedimentation Rates. European Marine Observation and Data Network.
<https://emodnet.ec.europa.eu/geonetwork/emodnet/eng/catalog.search#/metadata/cd0ae8d1ea0ed39546c9ba66b1bf5d3fefda2c7b>. Pristupljeno 16. srpnja 2024.

ESDAC-JRC (2015): Rainfall Erosivity in the EU and Switzerland (R-factor). European Soil Data Centre, Joint Research Centre. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/rainfall-erosivity-european-union-and-switzerland>. Pristupljeno 11. studenog 2024.

- Esteva Jr., C. (1938): A Comparison Of Methods Of Determining Carbon In Soils. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 22, 123-136. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v22i2.12906>
- EODG (2024): Atmospheric Infrared Spectrum Atlas. Earth Observation Data Group. <https://eodg.atm.ox.ac.uk/ATLAS/>. Pristupljeno 27. veljače 2024.
- Fabry, V., Fröhlich, K. & Osvath, I. (1993): Environmental pollution of the Black Sea: A search for answers. *IAEA Bulletin* 35, 20-24.
- Faganeli, J., Planinc, R., Pezdič, J., Smodiš, B., Stegnar, P. & Ogorelec, B. (1991): Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Geochemical aspects. *Marine Geology* 99, 93-108. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90085-I](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90085-I)
- Fanelli, M., Illuminati, S., Annibaldi, A., De Marco, R., Cerotti, C., Girolametti, F., Ajdini, B., Truzzi, C., Frapiccini, E., Gallerani, A., Tramontana, M., Baldelli, G. & Spagnoli, F. (2025): Mercury historical signature in the Central and Southern Adriatic Sea sediment cores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 314, 109144. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109144>
- Favero, V. & Stefanon, A. (1981): Würmian to present sedimentary sequence in the Lagoon of Venice from Uniboom records and boreholes. *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 27, 137-138.
- Fay, A.R., Munro, D.R., McKinley, G.A., Pierrot, D., Sutherland, S.C., Sweeney, C. & Wanninkhof, R. (2024): Updated climatological mean $\Delta f\text{CO}_2$ and net sea-air CO_2 flux over the global open ocean regions. *Earth System Science Data* 16, 2123-2139. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2123-2024>
- Feller, C. & Bernoux, M. (2008): Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration. *Waste Management* 28, 734-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.022>
- Fenchel, T. (2008): The microbial loop – 25 years later. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366, 99-103. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.013>
- Fermi, E. (1931): Über den Ramaneffekt des Kohlendioxyds. *Zeitschrift für Physik* 71, 250-259. <https://doi.org/10.1007/BF01341712>
- Fiket, Ž. (2014): Geokemijske značajke sedimenata područja Novigradskog mora. Doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 1-309.

- Fleming, J.R. (1999): Joseph Fourier, the 'greenhouse effect', and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures. *Endeavour* 23, 72-75. [https://doi.org/10.1016/S0160-9327\(99\)01210-7](https://doi.org/10.1016/S0160-9327(99)01210-7)
- Florea, N., Cristache, C., Oaie, G. & Dului, O.G. (2011): Concordant ^{210}Pb and ^{137}Cs Ages of Black Sea anoxic unconsolidated sediments. *Geochronometria* 38, 101-106. <https://doi.org/10.2478/s13386-011-0022-9>
- Folk, R.L. (1954): The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *Journal of Geology* 62, 344-359. <https://doi.org/10.1086/626171>
- Folk, R.L. (1980): *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, SAD, 1-184.
- Fontugne, M.R., Paterne, M., Calvert, S.E., Murat, A., Guichard, F. & Arnold, M. (1989): Adriatic deep water formation during the Holocene: implication for the reoxygenation of the deep eastern Mediterranean Sea. *Paleoceanography* 4, 199-206. <https://doi.org/10.1029/PA004i002p00199>
- Forster, P.M., Smith, C.J., Walsh, T., Lamb, W.F., Lamboll, R., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N., Palmer, M.D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Seneviratne, S.I., Trewin, B., Zhang, X., Allen, M., Andrew, R., Birt, A., Borger, A., Boyer, T., Broersma, J.A., Cheng, L., Dentener, F., Friedlingstein, P., Gutiérrez, J.M., Gütschow, J., Hall, B., Ishii, M., Jenkins, S., Lan, X., Lee, J.Y., Morice, C., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R., Minx, J.C., Naik, V., Peters, G.P., Pirani, A., Pongratz, J., Schleussner, C.F., Szopa, S., Thorne, P., Rohde, R., Rojas Corradi, M., Schumacher, D., Vose, R., Zickfeld, K., Masson-Delmotte, V. & Zhai, P. (2023): Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data* 15, 2295-2327. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>
- Foster, G., Royer, D. & Lunt, D. (2017): Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years. *Nature Communications* 8, 14845. <https://doi.org/10.1038/ncomms14845>
- Fourier, J. (1824): Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, *Annales de Chimie et de Physique* 27, 136-167.

Fourier, J. (1827): *Mémoire sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires*, Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France 7, 569-604.

Frangipane, G., Pistolato, M., Molinaroli, E., Guerzoni, S. & Tagliapietra, D. (2009): Comparison of loss on ignition and thermal analysis stepwise methods for determination of sedimentary organic matter. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19, 24-33. <https://doi.org/10.1002/aqc.970>

Frankignoulle, M., Canon, C. & Gattuso, J.P. (1994): Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO₂. *Limnology and Oceanography* 39, 458-462. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.2.0458>

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Luijkx, I.T., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Alin, S.R., Anthoni, P., Barbero, L., Bates, N.R., Becker, M., Bellouin, N., Decharme, B., Bopp, L., Bagus Mandhara, Brasika, I., Cadule, P., Chamberlain, M.A., Chandra, N., Chau, T.T.T., Chevallier, F., Chini, L.P., Cronin, M., Dou, X., Enyo, K., Evans, W., Falk, S., Feely, R.A., Feng, L., Ford, D.J., Gasser, T., Ghattas, J., Gkritzalis, T., Grassi, G., Gregor, L., Gruber, N., Gürses, Ö., Harris, I., Hefner, M., Heinke, J., Houghton, R.A., Hurtt, G.C., Iida, Y., Ilyina, T., Jacobson, A.R., Jain, A., Jarníková, T., Jersild, A., Jiang, F., Jin, Z., Joos, F., Kato, E., Keeling, R.F., Kennedy, D., Klein Goldewijk, K., Knauer, J., Ivar Korsbakken, J., Körtzinger, A., Lan, X., Lefèvre, N., Li, H., Liu, J., Liu, Z., Ma, L., Marland, G., Mayot, N., McGuire, P.C., McKinley, G.A., Meyer, G., Morgan, E.J., Munro, D.R., Nakaoka, S.I., Niwa, Y., O'Brien, K.M., Olsen, A., Omar, A.M., Ono, T., Paulsen, M., Pierrot, D., Pocock, K., Poulter, B., Powis, C.M., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Rosan, T.M., Schwinger, J., Séférian, R., Smallman, T.L., Smith, S.M., Sospedra-Alfonso, R., Sun, Q., Sutton, A.J., Sweeney, C., Takao, S., Tans, P.P., Tian, H., Tilbrook, B., Tsujino, H., Tubiello, F., van der Werf, G.R., van Ooijen, E., Wanninkhof, R., Watanabe, M., Wimart-Rousseau, C., Yang, D., Yang, X., Yuan, W., Yue, X., Zaehle, S., Zeng, J. & Zheng, B. (2023): Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data* 15, 5301-5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>

Frignani, M. & Langone, L. (1991): Accumulation rates and ¹³⁷Cs distribution in sediments off the Po River delta and the Emilia-Romagna coast (northwestern Adriatic Sea, Italy). *Continental Shelf Research* 11, 525-542. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(91\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0278-4343(91)90009-U)

Frignani, M., Langone, L. & Ravaioli, M. (1988): Radionuclide activity-depth profiles in sediments of the Gulf of Venice (Italy). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 31, 311.

Frignani, M., Langone, L. & Ravaioli, M. (1989): Interpretation of radionuclide activity-depth profiles in three sediment cores from the Middle Adriatic. *Giornale di Geologia* 51, 131-142.

Frignani, M., Langone, L., Ravaioli, M. & Cadonna, A. (1990): Sediment fluxes on a 100yr time scale in different environments of the Adriatic Sea (Italy). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 32, 284.

Frignani, M., Bellucci, L.G., Langone, L. & Muntau, H. (1997): Metal fluxes to the sediments of the northern Venice Lagoon. *Marine Chemistry* 58, 275-292. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00055-8)

Frignani, M., Bellucci, L.G., Carraro, C. & Favotto, M. (2001): Accumulation of Polychlorinated Dibenzo-*p*-Dioxins and Dibenzofurans in Sediments of the Venice Lagoon and the Industrial Area of Porto Marghera. *Marine Pollution Bulletin* 42, 544-553. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00197-1)

Frignani, M., Bellucci, L.G., Favotto, M. & Albertazzi, S. (2003): Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Venice Lagoon. *Hydrobiologia* 494, 283-290. <https://doi.org/10.1023/A:1025451307225>

Frignani, M., Sorgente, D., Langone, L., Albertazzi, S. & Ravaioli, M. (2004): Behavior of Chernobyl radiocesium in sediments of the Adriatic Sea off the Po River delta and the Emilia-Romagna coast. *Journal of Environmental Radioactivity* 71, 299-312. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(03\)00175-9](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(03)00175-9)

Frignani, M., Langone, L., Ravaioli, M., Sorgente, D., Alvisi, F. & Albertazzi, S. (2005a): Fine-sediment mass balance in the western Adriatic continental shelf over a century time scale. *Marine Geology* 222-223, 113-133. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.016>

Frignani, M., Bellucci, L.G., Favotto, M. & Albertazzi, S. (2005b): Pollution historical trends as recorded by sediments at selected sites of the Venice Lagoon. *Environment International* 31, 1011-1022. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.011>

- Fry, B., Jannasch, H.W., Molyneaux, S.J., Wirsén, C.O., Muramoto, J.A. & King, S. (1991): Stable isotope studies of the carbon, nitrogen and sulfur cycles in the Black Sea and the Cariaco Trench. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 38, S1003-S1019. [https://doi.org/10.1016/S0198-0149\(10\)80021-4](https://doi.org/10.1016/S0198-0149(10)80021-4)
- Fulga, C. (2011): Mineralogy of the bottom sediments in the central area of the Black Sea shelf. *Geo-eco-marina* 17, 251-260. <https://doi.org/10.5281/zenodo.56941>
- Funduk, M., Tutman, P., Farkaš, A., Tišma, S. & Boromisa, A.M. (2021): Marine Litter in Croatian Adriatic: Sources, Quantities and Stakeholders' Perspectives. *Sustainability* 13, 4691. <https://doi.org/10.3390/su13094691>
- Fütterer, D. & Paul, J. (1976): Recent and Pleistocene sediments of the Istrian coast (Northern Adriatic, Yugoslavia). *Senckenbergiana Maritima* 8, 1-21.
- Gallmetzer, I., Haselmair, A., Tomašových, A., Mautner, A.K., Schnedl, S.M., Cassin, D., Zonta, R. & Zuschin, M. (2019): Tracing Origin and Collapse of Holocene Benthic Baseline Communities in the Northern Adriatic Sea. *Palaios* 34, 121-145. <https://doi.org/10.2110/palo.2018.068>
- GEBCO (2024): Gridded Bathymetry Data. The General Bathymetric Chart of the Oceans. https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/. Pristupljeno 26. rujna 2024.
- Gehl, R.J. & Rice, C.W. (2007): Emerging technologies for *in situ* measurement of soil carbon. *Climatic Change* 80, 43-54. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9150-2>
- Geiss, E. (1987): A New Compilation Method of Crustal Thickness Data for the Mediterranean Area. *Annales Geophysicae* 6, 623-630.
- Giglio, F., Romano, S., Albertazzi, S., Chiarini, F., Ravaioli, M., Ligi, M. & Capotondi, L. (2020): Sediment Dynamics of the Neretva Channel (Croatia Coast) Inferred by Chemical and Physical Proxies. *Applied Sciences* 10, 807. <https://doi.org/10.3390/app10030807>
- Giordani, P., Hammond, D.E., Berelson, W.M., Montanari, G., Poletti, R., Milandri, A., Frignani, M., Langone, L., Ravaioli, M., Rovatti, G. & Rabbi, E. (1992): Benthic fluxes and nutrient budgets for sediments in the Northern Adriatic Sea: burial and recycling efficiencies. U: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., Viviani, R. (ur.): *Marine Coastal Eutrophication, The Response of Marine Transitional Systems to Human Impact: Problems and Perspectives for*

Restoration, Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy, 21-24 March 1990. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Nizozemska, 251-275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89990-3.50025-0>

Giordani, P., Hammond, D.E., Balboni, V., Miserocchi, S., Malaguti, A. & Poletti, R. (1999): Benthic-pelagic coupling in the Adriatic Sea: studies of carbon and nutrient cycling in the EUROMARGE-AS. U: Hopkins, T.S., Artegiani, A., Cauvet, G., Degobbis, D., Malej, A. (ur.): Ecosystems research report No 32 - The Adriatic sea: Proceedings of the workshop "Physical and biogeochemical processes in the Adriatic sea", Portonovo (Ancona), Italy, 23 to 27 April 1996. European Commission, Luxembourg, Luksemburg, 555-568.

Giordani, P., Helder, W., Koning, E., Miserocchi, S., Danovaro, R. & Malaguti, A. (2002): Gradients of benthic-pelagic coupling and carbon budgets in the Adriatic and Northern Ionian Sea. *Journal of Marine Systems* 33-34, 365-387. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00067-2)

Giosan, L., Constantinescu, S., Filip, F. & Deng, B. (2013): Maintenance of large deltas through channelization: Nature vs. humans in the Danube delta. *Anthropocene* 1, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.09.001>

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. & Zech, W. (1998): Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. *Organic Geochemistry* 29, 811-819. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(98\)00194-6](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(98)00194-6)

Glenn, C.R. & Arthur, M.A. (1985): Sedimentary and geochemical indicators of productivity and oxygen contents in modern and ancient basins: The Holocene Black Sea as the "type" anoxic basin. *Chemical Geology* 48, 325-354. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90057-9)

Godwin, H. (1962a): Radiocarbon Dating: Fifth International Conference. *Nature* 195, 943-945. <https://doi.org/10.1038/195943a0>

Godwin, H. (1962b): Half-life of Radiocarbon. *Nature* 195, 984. <https://doi.org/10.1038/195984a0>

Goldberg, E.D. (1963): Geochronology with ^{210}Pb . U: Radioactive dating: proceedings of the Symposium on Radioactive Dating held by the International Atomic Energy Agency in co-operation with the Joint Commission on Applied Radioactivity (ICSU) in Athens, 19-23 November 1962. Međunarodna Agencija za Atomsku Energiju, Beč, Austrija, 121-131.

- Goldberg, E.D. (1975): Marine pollution. U: Riley, J.P., Skirrow, G. (ur.): Chemical oceanography, Volume 3, Second Edition. Academic Press, Orlando, SAD, 39-87.
- Goldberg, E.D. (1985): Black Carbon in the Environment: Properties and distribution. Wiley, New York, SAD, 1-198.
- González-Dávila, M., Santana-Casiano, J.M., Rueda, M.J. & Llinás, O. (2010): The water column distribution of carbonate system variables at the ESTOC site from 1995 to 2004. *Biogeosciences* 7, 3067-3081. <https://doi.org/10.5194/bgd-7-1995-2010>
- Gordon, H.R., Clark, D.K., Brown, J.W., Brown, O.B., Evans, R.H. & Broenkow, W.W. (1983): Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Applied Optics* 22, 20-36. <https://doi.org/10.1364/AO.22.000020>
- Gordon, H.R., Boynton, G.C., Balch, W.M., Groom, S.B., Harbour, D.S. & Smyth, T.J. (2001): Retrieval of coccolithophore calcite concentration from SeaWiFS Imagery. *Geophysical Research Letters* 28, 1587-1590. <https://doi.org/10.1029/2000GL012025>
- Grabowski, R.C., Vercruysse, K., Holman, I., Azhoni, A., Bala, B., Shankar, V., Beale, J., Mukate, S., Poddar, A., Peng, J. & Meersmans, J. (2022): The land–river interface: a conceptual framework of environmental process interactions to support sustainable development. *Sustainability Science* 17, 1677-1693. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01150-x>
- Gross, M.G. (1967): Organic Carbon in Surface Sediment from the Northeast Pacific Ocean. *International Journal of Oceanology and Limnology* 1, 46-54.
- Guerzoni, S., Ravaioli, M., Rovatti, G. & Suman, O.D. (1984): Comparison of ^{210}Pb , trace metals (Hg, Pb, Cu, Cr) profiles and river discharge in a core off Po della Pila river mouth (Italy). VII Journées Études Pollutions, Lucerne, CIESM, Monaco, Monaco, 303-307.
- Gulin, S.B. (2000): Recent changes of biogenic carbonate deposition in anoxic sediments of the Black Sea: sedimentary record and climatic implication. *Marine Environmental Research* 49, 319-328. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(99\)00074-4](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(99)00074-4)
- Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Zherko, N.V. & Stokozov, N.A. (1995a): Rekonstruktsiya khronologii postupleniya ^{137}Cs i khlororganicheskikh zagryazneniy v glubokovodnyye donnyye otlozheniya zapadnoy chasti Chernogo morya (1940—1990 gg.). *Dopovidi NAN Ukraini*, 93-96.

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Zherko, N.V. & Stokozov, N.A. (1995b): Chronological study of ^{137}Cs , PCBs and some pesticides fluxes into the Western Black Sea deep sediments. U: Cigna, A., Delfanti, R., Serro, R. (ur.): Radiation Protection 70, The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Mediterranean Sea, Proceedings of a seminar held in Rome at the European Nuclear Energy Agency headquarters from 17 to 19 May 1994. European Commission, Luxembourg, Luksemburg, 487-500.

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N. & Stokozov, N.A. (1996): Ispol'zovaniye prirodnykh i iskusstvennykh radiotrasserov dlya izucheniya biogeokhimicheskikh protsessov perenosa i deponirovaniya radioaktivnykh i khimicheskikh zagryazneniy v usloviyakh okislitel'no-vosstanovitel'noy vodnoy tolshchi Chornogo morya. Radioekologiya: uspekhi i perspektivy : materialy mezhdunar. seminar. Sevastopolj, Ukrajina, 326-342.

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Aarkrog, A., Egorov, V.N., Nilsen, S. & Stokozov, N.A. (1997a): Geokhronologicheskoye issledovaniye postupleniya ^{137}Cs v donnyye otlozheniya severo-zapadnogo shel'fa, kontinental'nogo sklona i glubokovodnoy chasti Chernogo morya. Doklady Natsional'noy akademii nauk Ukrainy, 133-139.

Gulin, S.B., Aarkrog, A., Polikarpov, G.G., Nielsen, S.P. & Egorov, V.N. (1997b): Chronological study of ^{137}Cs input to the Black Sea deep and shelf sediments. Radioprotection 32, 257-262.

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N. & Korotkov A.A. (2000): Geokhronologicheskaya otsenkaradioaktivnogo zagryazneniya Chornogo morya. U: Chteniya pamyati N. V. Timofeyeva-Resovskogo : 100-letiyu so dnya rozhdeniya Nikolaya Vladimirovicha Timofeyeva-Resovskogo posvyashchayetsya. EKOSI-Gidrofizika, Sevastopolj, Ukrajina, 88-99.

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Martin, J.M., Korotkov, A.A. & Stokozov, N.A. (2002): Radioactive Contamination of the North-western Black Sea Sediments. Estuarine, Coastal and Shelf Science 54, 541-549. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0663>

Gulin, S.B., Polikarpov, G.G. & Martin, J.M. (2003): Geochronological reconstruction of ^{137}Cs transport from the Coruh river to the SE Black Sea: comparative assessment of radionuclide retention in the mountainous catchment area. Continental Shelf Research 23, 1811-1819. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2003.06.005>

Gulin, S.B., Egorov, V.N., Stokozov, N.A. & Mirzoeva, N.Y. (2008): *Opredeleniye Vozrasta Donnykh Otlozheniy i Otsenka Skorosti Osadkonakopleniya v Pribrezhnykh i Glubokovodnykh Akvatoriakh Chernogo Morya s Ispolyovaniyem Prirodnnykh i Antropogennykh Radionuklidov*. U: Polikarpov, G.G., Egorov, V.N. (ur.): *Radioekologicheskiy otklik Chernogo morya na chernobyl'skuyu aviariyu*. EKOSI-Gidrofizika, Sevastopolj, Ukrajina, 499-518.

Gulin, S.B., Sidorov, I.G. & Gulina, L.V. (2013): *Biogennaya sedimentatsiya v Chornom more: radiotrassernoye issledovaniye*. *Morskoy biologicheskiy zhurnal* 12, 19-25.

Gulin, S.B., Gulina, L.V., Sidorov, I.G., Proskurnin, V.Y., Duka, M.S., Moseichenko, I.N. & Rodina, E.A. (2014): ^{40}K in the Black Sea: a proxy to estimate biogenic sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity* 134, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.02.011>

Gulin, S.B., Proskurnin, V.Y. & Sidorov, I.G. (2019a): Recent multi-tracer dating of the Black Sea sediments: Recovery of the late post-Chernobyl trends of radioactive contamination. *Journal of Environmental Radioactivity* 203, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.03.016>

Gulin, S.B., Sidorov, I.G. & Popovichev, V.N. (2019b): The Seasonal Dynamics of Biosedimentation and Primary Production in Sevastopol Bay: Assessment of the Relationship Using ^{234}Th and ^{40}K . *Russian Journal of Marine Biology* 45, 185-190. <https://doi.org/10.1134/S1063074019030040>

Gulina, L.V. & Gulin, S.B. (2011): *Prirodnnyye i tekhnogennyye radionuklidy v ekosisteme solonogo ozera Koyashskoye (yugo-vostochnyy Krym)*. *Morskoy ekologicheskiy zhurnal* 10, 19-25.

Gustafsson, Ö., Haghseta, F., Chan, C., MacFarlane, J. & Gschwend, P.M. (1997): Quantification of the Dilute Sedimentary Soot Phase: Implications for PAH Speciation and Bioavailability. *Environmental Science & Technology* 31, 203-209. <https://doi.org/10.1021/es960317s>

Hall, A.D. & Russell, E.J. (1902): X. - A method for determining small quantities of carbonates. *Journal of the Chemical Society, Transactions* 81, 81-85. <https://doi.org/10.1039/CT9028100081>

Hamidatou, L., Slamene, H., Akhal, T. & Zouranen, B. (2013): *Concepts, Instrumentation and Techniques of Neutron Activation Analysis*. U: Kharfi, F. (ur.): *Imaging and Radioanalytical*

Techniques in Interdisciplinary Research - Fundamentals and Cutting Edge Applications. InTech, Rijeka, Hrvatska, 141-178. <https://doi.org/10.5772/53686>

Hamilton, T.F., Fowler, S.W., Miquel, J.C. & La Rosa, J. (1999): ^{210}Pb dating of sediments from the middle and Northern Adriatic Sea: deposition and preservation of sedimentary organic carbon. U: Hopkins, T.S., Artegiani, A., Cawet, G., Degobbis, D., Malej, A. (ur.): The Adriatic Sea, Ecosystem Research Report No. 32, EUR 18834. European Commission, Bruxelles, Belgija, 525-536.

Han, Y., Cao, J., An, Z., Chow, J.C., Watson, J.G., Jin, Z., Fung, K. & Liu, S. (2007): Evaluation of the thermal/optical reflectance method for quantification of elemental carbon in sediments. *Chemosphere* 69, 526-533. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.035>

Harrington, K.J., Henderson, G.M. & Hilton, R.G. (2024): Current rates of CO_2 removal due to rock weathering in the UK. *Science of The Total Environment* 957, 177458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177458>

Harris, P.T., Macmillan-Lawler, M., Rupp, J. & Baker, E.K. (2014): Geomorphology of the oceans. *Marine Geology* 352, 4-24. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>

Hasan, O. (2017): Paleookolišna rekonstrukcija slivova Karinskoga mora, Novigradskoga mora i Velebitskoga kanala tijekom holocena. Doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 1-564.

Hasan, O., Iljanić, N., Miko, S., Shulz, H., Brunović, D. & Šparica Miko, M. (2021): Pleistocene and Holocene environmental changes in the eastern part of the mid Adriatic deep influenced by sea-level rise and shoreline retreat. 6th Regional Scientific Meeting on Quaternary Geology: Seas, Lakes and Rivers, 27-29. rujna 2021., Ljubljana, Slovenija.

Hay, B.J. (1987): Particle Flux in the Western Black Sea in the Present and over the Last 5,000 Years: Temporal Variability, Sources, Transport Mechanisms. Doktorski rad, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD, 1-201.

Hay, B.J. (1988): Sediment accumulation in the central western Black Sea over the past 5100 years. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 3, 491-508. <https://doi.org/10.1029/PA003i004p00491>

Hay, B.J., Arthur, M.A., Dean, W.E., Neff, E.D. & Honjo, S. (1991): Sediment deposition in the Late Holocene abyssal Black Sea with climatic and chronological implications. *Deep Sea*

Research Part A. Oceanographic Research Papers 38, S1211-S1235.
[https://doi.org/10.1016/S0198-0149\(10\)80031-7](https://doi.org/10.1016/S0198-0149(10)80031-7)

Hayatsu, R., Scott, R.G. & Winans, R.E. (1982): Chapter IV - Oxidation of Coal. U: Trahanovsky, W.S. (ur.): Organic Chemistry, Volume 5, Part D - Oxidation in Organic Chemistry. Academic Press, New York, SAD, 279-354. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-697253-5.50009-2>

Hays, G.C., Richardson, A.J. & Robinson, C. (2005): Climate change and marine plankton. Trends in Ecology & Evolution 20, 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004>

Hedges, J., Ertel, J.R., Quay, P.D., Grootes, P.M., Richey, J.E., Devol, A.H., Farwell, G.W., Schmidt, F.W. & Salati, E. (1986): Organic Carbon-14 in the Amazon River System. Science 231, 1129-1131. <https://doi.org/10.1126/science.231.4742.1129>

Heinze, C., Maier-Reimer, E. & Winn, K. (1991): Glacial pCO₂ Reduction by the World Ocean: Experiments With the Hamburg Carbon Cycle Model. Paleoceanography and Paleoclimatology 6, 395-430. <https://doi.org/10.1029/91PA00489>

Heiri, O., Lotter, A. & Lemcke, G. (2001): Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25, 101-110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>

Hendricks, S.B. & Fry, W.H. (1930): The Results of X-Ray and Microscopical Examinations of Soil Colloids. Soil Science Society of America Journal B11, 194-195. <https://doi.org/10.2136/sssaj1930.036159950B1120010036x>

Herndl, G.J., Faganeli, J., Fanuko, N., Peduzzi, P. & Turk, V. (1987): Role of Bacteria in the Carbon and Nitrogen Flow between Water-Column and Sediment in a Shallow Marine Bay (Bay of Piran, Northern Adriatic Sea). Marine Ecology 8, 221-236. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1987.tb00185.x>

Hiscott, R.N., Aksu, A.E., Mudie, P.J., Marret, F., Abrajano, T., Kaminski, M.A., Evans, J., Çakiroğlu, A.İ. & Yaşar, D. (2007): A gradual drowning of the southwestern Black Sea shelf: Evidence for a progressive rather than abrupt Holocene reconnection with the eastern Mediterranean Sea through the Marmara Sea Gateway. Quaternary International 167-168, 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.11.007>

Hunt, L. (2002): An X-Radiographic Study of the October 2000 Po River Flood Deposit, Italy. Diplomski rad, Državno sveučilište u Oregonu, Corvallis, SAD, 1-72.

Husain, L., Khan, A.J., Ahmed, T., Swami, K., Bari, A., Webber, J.S. & Li, J. (2008): Trends in atmospheric elemental carbon concentrations from 1835 to 2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113, D13102. <https://doi.org/10.1029/2007JD009398>

ICAO (1993): Manual of the ICAO Standard Atmosphere, Extended to 80 Kilometres (262 500 feet), Third Edition. International Civil Aviation Organization, Doc 7488/3, 1-304.

Ilie, M., Sava, T., Vespremeanu-Stroe, A., Duliu, O.G., Cristea, G., Ion, G., Olteanu, D., Haliuc, A., Mănăilescu, C. & Sava, G. (2022): A detailed chronology of the sedimentation in the Danube abyssal fan records the major episodes of the late-Holocene Black Sea evolution. *Quaternary Geochronology* 70, 101279. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101279>

Ilijanić, N., Miko, S., Petrinc, B. & Franić, Z. (2012): Anthropogenic trace elements in bottom sediments from the Middle and South Adriatic Sea. 9th International Symposium on Environmental Geochemistry, 15-22. srpnja 2012., Aveiro, Portugal.

Ilijanić, N., Miko, S., Petrinc, B. & Franić, Z. (2014): Metal deposition in deep sediments from the Central and South Adriatic Sea. *Geologia Croatica* 67, 185-205. <https://doi.org/10.4154/GC.2014.16>

Ingen-Housz, J. (1794): Essay on the food of plants and the renovation of soils. *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts* 2, 460.

IPCC (1994): Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, Reports of Working Groups I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, forming part of the IPCC Special Report to the first session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-339.

IPCC (1995): Climate change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-549.

IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguera, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-881.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., Midgley, P.M. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-1535. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-2391. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Lee, H., Romero, J. (ur.). Međuvladin panel o klimatskim promjenama, Ženeva, Švicarska, 1-184. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

ISO (2009): ISO 14050:2009, Environmental management - Vocabulary. International Organization for Standardization, Ženeva, Švicarska, 1-169.

Ivanić, M., Durn, G., Škapin, S.D. & Sondi, I. (2020): Size-related mineralogical and surface physicochemical properties of the mineral particles from the recent sediments of the Eastern Adriatic Sea. *Chemosphere* 249, 126531. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126531>

Ivanov, V.G. et al. (1990): Otchet o regional'nykh geologo-geofizicheskikh issledovaniyakh m-ba 1:500 000 kontinental'nogo sklona i glubokovodnoy vpadiny Chernogo morya v predelakh listov L-36-XXXI (yu. p.), -XXXII, -XXXIII, -XXXIV (yu. p.), K-36-I, -II, -III, -IV, -VII. *Krymgeologiya*, Odesa, Ukrajina.

Ivanova, E.V., Murdmaa, I.O., Chepalyga, A.L., Cronin, T.M., Pasechnik, I.V., Levchenko, O.V., Howe, S.S., Manushkina, A.V. & Platonova, E.A. (2007): Holocene sea-level oscillations

and environmental changes on the Eastern Black Sea shelf. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 246, 228-259. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.014>

Ivanova, E., Schornikov, E., Marret, F., Murdmaa, I., Zenina, M., Aliev, R., Bradley, L., Chepalyga, A., Wright, L., Kremenetsky, V. & Kravtsov, V. (2014): Environmental changes on the inner northeastern Black Sea shelf, off the town of Gelendzhik, over the last 140 years. *Quaternary International* 328-329, 338-348. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.09.044>

Ivanova, E.V., Marret, F., Zenina, M.A., Murdmaa, I.O., Chepalyga, A.L., Bradley, L.R., Schornikov, E.I., Levchenko, O.V. & Zyryanova, M.I. (2015): The Holocene Black Sea reconnection to the Mediterranean Sea: New insights from the northeastern Caucasian shelf. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 427, 41-61. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.03.027>

Jain, P.C. (1993): Greenhouse effect and climate change: scientific basis and overview. *Renewable Energy* 3, 403-420. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(93\)90108-S](https://doi.org/10.1016/0960-1481(93)90108-S)

James, I.D. (2002): Modelling pollution dispersion, the ecosystem and water quality in coastal waters: a review. *Environmental Modelling & Software* 17, 363-385. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00080-9)

Jardas, I. (1996): *Jadranska ihtiofauna*. Školska knjiga, Zagreb, Hrvatska, 1-533.

Jenkins, F.A. & Ornstein, L.S. (1932): On the relative abundance of the carbon Isotope, C^{13} . *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 35, 1212-1219.

Jiang, L.Q., Carter, B.R., Feely, R.A., Lauvset, S.K. & Olsen, A. (2019): Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future. *Scientific Reports* 9, 18624. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55039-4>

Johnson, C. (2010): Temperature Sensitivity of a Basic Climate Model. *Kungliga Tekniska högskolan*, 1-6.

Jones, G.A. & Gagnon, A.R. (1994): Radiocarbon chronology of Black Sea sediments. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 41, 531-557. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)90094-9)

Juračić, M. & Prohić, E. (1991): Mineralogy, Sources of Particles, and Sedimentation in the Krka River Estuary (Croatia). *Geološki vjesnik* 44, 195-200.

- Jurina, I., Ivanić, M., Troškot-Čorbić, T., Barišić, D., Vdović, N. & Sondi, I. (2013): Activity concentrations and distribution of radionuclides in surface and core sediments of the Neretva Channel (Adriatic Sea, Croatia). *Geologia Croatica* 66, 143-150. <https://doi.org/10.4154/GC.2013.11>
- Justić, D., Legović, T. & Rottini-Sandrini, L. (1987): Trends in oxygen content 1911–1984 and occurrence of benthic mortality in the northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 25, 435-445. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(87\)90035-7](https://doi.org/10.1016/0272-7714(87)90035-7)
- Kaskela, A.M., Kotilainen, A.T., Alanen, U., Cooper, R., Green, S., Guinan, J., van Heteren, S., Kihlman, S., Van Lancker, V., Stevenson, A. & the EMODnet Geology Partners (2019): Picking Up the Pieces – Harmonising and Collating Seabed Substrate Data for European Maritime Areas. *Geosciences* 9, 84. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020084>
- Keeling, C.D. (1960): The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere. *Tellus* 12, 200-203. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v12i2.9366>
- Keeling, C.D., Piper, S.C., Bacastow, R.B., Wahlen, M., Whorf, T.P., Heimann, M. & Meijer, H.A. (2005): Atmospheric CO₂ and ¹³CO₂ exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications. U: Ehleringer, J.R., Cerling, T.E., Dearing, M.D. (ur.): *A history of atmospheric CO₂ and its effects on plants, animals, and ecosystems*. Springer Verlag, New York, SAD, 83-113. https://doi.org/10.1007/0-387-27048-5_5
- Keeling, R.F. & Keeling, C.D. (2017): Scripps CO₂ Program Data. UC San Diego Library Digital Collections. <https://doi.org/10.6075/J0542KSG>. Pristupljeno 19. veljače 2024.
- Keenan, T.F., Prentice, I.C., Canadell, J.G., Williams, C.A., Wang, H., Raupach, M. & Collatz, G.J. (2016): Recent pause in the growth rate of atmospheric CO₂ due to enhanced terrestrial carbon uptake. *Nature Communications* 7, 13428. <https://doi.org/10.1038/ncomms13428>
- Keys, M., Tilstone, G., Findlay, H.S., Widdicombe, C.E. & Lawson, T. (2018): Effects of elevated CO₂ and temperature on phytoplankton community biomass, species composition and photosynthesis during an experimentally induced autumn bloom in the western English Channel. *Biogeosciences* 15, 3203-3222. <https://doi.org/10.5194/bg-15-3203-2018>
- King, A.S. & Birge, R.T. (1929): An Isotope of Carbon, Mass 13. *Physical Review* 34, 376. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.34.376>

- King, A.S. & Birge, R.T. (1930): Evidence from Band Spectra of the Existence of a Carbon Isotope of Mass 13. *Astrophysical Journal* 72, 19-40. <https://doi.org/10.1086/143257>
- Koide, M., Soutar, A. & Goldberg, E.D. (1972): Marine geochronology with ^{210}Pb . *Earth and Planetary Science Letters* 14, 442-446. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(72\)90146-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(72)90146-X)
- Kosaka, J., Honda, C. & Iseki, A. (1959): A new rapid and accurate method for the determination of carbon in soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 5, 77-83. <https://doi.org/10.1080/00380768.1959.10430898>
- König, J., Hasenbäumer, J. & Großmann, H. (1908): Das Verhalten der organischen Substanz des Bodens und der osmotische Druck desselben. *Die Landwirthschaftlichen Versuchstationen* 69, 1-91.
- Kramer, R.W., Kujawinski, E.B. & Hatcher, P.G. (2004): Identification of Black Carbon Derived Structures in a Volcanic Ash Soil Humic Acid by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. *Environmental Science and Technology* 38, 3387-3395. <https://doi.org/10.1021/es030124m>
- Kremenchutskii, D. & Gurov, K.I. (2021a): Raspredeleniye ^{137}Cs i ^{40}K v donnykh otlozheniyakh Balaklavskoy bukhty (Chernoye more). *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal* 37, 207-221. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-2-207-221>
- Kremenchutskii, D. & Gurov, K.I. (2021b): Distribution of ^{137}Cs and ^{40}K in the Bottom Sediments of the Balaklava Bay (the Black Sea). *Physical Oceanography* 28, 191-204. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2021-2-191-204>
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J.M. & Meybeck, M. (1971): Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 11, 407-414. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(71\)90202-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(71)90202-0)
- Krstulović, N., Antolić, B., Bogner, D., Dadić, V., Dulčić, J., Čikeš Keč, V., Grbec, B., Grubelić, I., Kušpilić, G., Kršinić, F., Marasović, I., Matijević, S., Milun, V., Nikolić, V., Ninčević, Ž., Skejić, S., Šolić, M., Tičina, V., Vrgoč, N., Zorica, B., Žuljević, A., Precali, R., Mikac, N., Vojvodić, V. & Furdek, M. (2012): Početna procjena stanja i opterećenja morskog okoliša hrvatskog dijela Jadrana. *Institut za Oceanografiju i Ribarstvo, Split, Hrvatska*, 1-396.

- Krvavica, N., Gržić, M.M., Innocenti, S. & Matte, P. (2025): Impact of storm surge and power peaking on tidal-fluvial processes in microtidal Neretva River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 318, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109227>
- Kudzin, Z.H. & Waśkowski, B. (2004): Outline of CHN Elementary and CN Environmental Analysis. *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Chimica* 13, 27-133.
- Kukla, G.J., Matthews, R.K. & Mitchell, J.M. (1972): Guest editorial: The end of the present interglacial. *Quaternary Research* 2, 261-269. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(72\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0033-5894(72)90046-4)
- Kurie, F.N.D. (1934): A New Mode of Disintegration Induced by Neutrons. *Physical Review* 45, 904-906. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.45.904>
- Lamy, F., Arz, H.W., Bond, G.C., Bahr, A. & Pätzold, J. (2006): Multicentennial-scale hydrological changes in the Black Sea and northern Red Sea during the Holocene and the Arctic/North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 21, PA1008. <https://doi.org/10.1029/2005PA001184>
- Lan, X., Thoning, K.W. & Dlugokencky, E.J. (2022): Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2024-02. <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>. Pristupljeno 26. veljače 2024.
- Langone, L., Asioli, A., Correggiari, A. & Trincardi, F. (1996): Age-depth modelling through the late Quaternary deposits of the central Adriatic basin. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 55, 177-196.
- Laptev, G. & Smith, J.T. (2019): Acceleration of Sedimentation Rate in the Black Sea Revealed in Radiometrically Dated by ²¹⁰Pb Sediment Cores. 11th International SedNet Conference, 3-5. travnja 2019., Dubrovnik, Hrvatska.
- Laptev, G.V. & Voitsekhovich, O.V. (2009): Perspektivy Radiometricheskogo Datirovaniya Kak Bazovogo Instrumenta Morskoy Litodinamiki. *Litodinamika donnoy kontaktnoy zony okeana : materialy Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. V. Longinova*, 14-17. rujna 2009., Moskva, Rusija, 151-156.
- Laptev, G.V., Votsekhovitch, O.V., Kostezh, A.B. & Osvath, I. (2002): Reading records of artificial radionuclide fluxes in abyssal sediment of the Black Sea using Pb-210 dating chronology. *International Conference on Radioactivity in the Environment*, 1-5. rujna 2002., Monaco, Monako.

Laptev, G.V., Votsekhovitch, O.V., Kostezh, A.B. & Osvath, I. (2004): Mass accumulation rates and fallout radionuclides ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{241}Am inventories determined in radiometrically dated abyssal sediments of the Black Sea. *Isotopes in environmental studies - Aquatic Forum* 2004, 25-29. listopada 2004., Monaco, Monako.

Laptyev, G.V., Voitsekhovitch, O.V., Kostezh, A.B. & Osvath, I. (2004): Mass accumulation rates and fallout radionuclides ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{241}Am inventories determined in radiometrically dated abyssal sediments of the Black Sea. U: *Isotopes in Environmental Studies, Aquatic Forum* 2004, Proceedings of an international conference held in Monaco, 25-29 October 2004. Međunarodna agencija za atomsku energiju, Beč, Austrija, 281-282.

LECO (1996): *CNS-2000 Elemental Analyzer - Instruction Manual, Version 4.0*. LECO Corporation, St. Joseph, SAD, 1-25.

LECO (2007): *Carbon and Sulfur Determination - LECO Induction Furnace Instruments*. LECO Corporation, St. Joseph, SAD, 1-48.

Lee, C., Wakeham, S. & Arnosti, C. (2004): Particulate organic matter in the sea: the composition conundrum. *Ambio* 33, 565-575. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-33.8.565>

Lee, C.T.A., Jiang, H., Dasgupta, R. & Torres, M. (2020): A Framework for Understanding Whole-Earth Carbon Cycling. U: Orcutt, B.N., Daniel, I., Dasgupta, R. (ur.): *Deep Carbon, Past to Present*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 313-357. <https://doi.org/10.1017/9781108677950>

Leventhal, J.S. (1983): An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 133-137. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90097-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90097-2)

Liang, H., Lunstrum, A.M., Dong, S., Berelson, W.M. & John, S.G. (2023): Constraining CaCO_3 Export and Dissolution With an Ocean Alkalinity Inverse Model. *Global Biogeochemical Cycles* 37, e2022GB007535. <https://doi.org/10.1029/2022GB007535>

Libby, W.F. (1946): Atmospheric Helium Three and Radiocarbon from Cosmic Radiation. *Physical Review* 69, 671-672. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.69.671.2>

Libby, W.F. (1952): *Radiocarbon dating*. University of Chicago Press, Chicago, SAD, 1-124.

Libby, W.F. (1955): *Radiocarbon dating, Second Edition*. University of Chicago Press, Chicago, SAD, 1-184.

- Libby, W.F., Anderson, E.C. & Arnold, J.R. (1949): Age Determination by Radiocarbon Content: World-Wide Assay of Natural Radiocarbon. *Science* 109, 227-228. <https://doi.org/10.1126/science.109.2827.227>
- Lichtschlag, A., Donis, D., Janssen, F., Jessen, G.L., Holtappels, M., Wenzhöfer, F., Mazlumyan, S., Sergeeva, N., Waldmann, C. & Boetius, A. (2015): Effects of fluctuating hypoxia on benthic oxygen consumption in the Black Sea (Crimean shelf). *Biogeosciences* 12, 5075-5092. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5075-2015>
- Liu, J. & Algeo, T.J. (2020): Beyond redox: Control of trace-metal enrichment in anoxic marine facies by watermass chemistry and sedimentation rate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 287, 296-317. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.02.037>
- Lo Giudice Cappelli, E. (2010): Processi diagenetici e seppellimento di carbonio organico nei sedimenti dell'Adriatico Meridionale. *Diplomski rad*, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija, 1-77.
- Lombard, F., Erez, J., Michel, E. & Labeyrie, L. (2009): Temperature effect on respiration and photosynthesis of the symbiont-bearing planktonic foraminifera *Globigerinoides ruber*, *Orbulina universa*, and *Globigerinella siphonifera*. *Limnology and Oceanography* 54, 210-218. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.1.0210>
- Lovrenčić Mikelić, I., Oreščanin, V. & Škaro, K. (2017): Variation of sedimentation rate in the semi-enclosed bay determined by ^{137}Cs distribution in sediment (Kaštela Bay, Croatia). *Journal of environmental radioactivity* 166, 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.027>
- Lovrenčić Mikelić, I., Cukrov, N., Oreščanin, V., Škaro, K. & Barišić, D. (2022): ^{137}Cs Sediment Profiles as a Tracer of Marine Sedimentation Processes in a Semi-Enclosed Bay Affected by Anthropogenic Releases - Example of Kaštela Bay (Adriatic Sea, Croatia). *Water* 14, 2655. <https://doi.org/10.3390/w14172655>
- Lüschen, H. (2004): Vergleichende anorganisch-geochemische Untersuchungen an phanerozoischen C org-reichen Sedimenten: ein Beitrag zur Charakterisierung ihrer Fazies. *Doktorski rad*, Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Njemačka, 1-186.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K. & Stocker, T.F. (2008): High-resolution carbon dioxide

concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature* 453, 379-382.
<https://doi.org/10.1038/nature06949>

Lyons, T.W. & Kashgarian, M. (2005): Paradigm Lost, Paradigm Found: The Black Sea-Black Shale Connection as Viewed from the Anoxic Basin Margin. *Oceanography* 18, 86-99.
<https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.44>

Mackenzie, F.T. (1981): Global carbon cycle: Some minor sinks for CO₂. U: Likens, G.E., Mackenzie, F.T., Richey, J.E., Sedwell, J.R., Turekian, K.K. (ur.): Flux of Organic Carbon from the Major Rivers of the World to the Ocean. U.S. Department of Energy, Washington, D.C., SAD, 360-384.

Major, C., Ryan, W., Lericolais, G. & Hajdas, I. (2002): Constraints on Black Sea outflow to the Sea of Marmara during the last glacial-interglacial transition. *Marine Geology* 190, 19-34.
[https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00340-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00340-7)

Malvić, T., Velić, J., Cvetković, M., Vekić, M. & Šapina, M. (2015): Definition of new Pliocene, Pleistocene and Holocene lithostratigraphic units in the Croatian part of the Adriatic Sea (shallow offshore). *Geoadria* 20, 85-108. <https://doi.org/10.15291/geoadria.2>

Mann, W.B., Marlow, W.F. & Hughes, E.E. (1961): The Half-Life of Carbon-14. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes* 11, 57-67.
[https://doi.org/10.1016/0020-708X\(61\)90132-6](https://doi.org/10.1016/0020-708X(61)90132-6)

Marocco, R. (1989): Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli Venezia Giulia). *Il Quaternario* 2, 125-137.

Marocco, R. (1991): Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste). *Il Quaternario* 4, 223-232.

Marocco, R., Melis, R., Montenegro, M.E., Pugliese, N., Vio, E. & Lenardon, G. (1996): Holocene Evolution of the Caorle Barrier-Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 102, 385-396. <https://doi.org/10.13130/2039-4942/5273>

Maroni, P. (2005): Bond- and mode-specific reactivity of methane on Ni(100). Doktorski rad, Švicarski federalni institut za tehnologiju u Lausanni, Lausanne, Švicarska, 1-182.
<https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-3335>

- Martin, J.H., Knauer, G.A., Karl, D.M. & Broenkow, W.W. (1987): VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. *Deep Sea Research Part A* 34, 267-285. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(87\)90086-0](https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90086-0)
- Martin, M.Z., Mayes, M.A., Heal, K.R., Brice, D.J. & Wulfschleger, S.D. (2013): Investigation of laser-induced breakdown spectroscopy and multivariate analysis for differentiating inorganic and organic C in a variety of soils. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 87, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2013.05.026>
- Martínez-Rosa, J.E. (2010): Method Validation, Qualification, and Performance Verification for Total Organic Carbon Analyzers. U: Chan, C.C., Lam, H., Zhang, X.M. (ur.): *Practical Approaches to Method Validation and Essential Instrument Qualification*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, SAD, 299-325. <https://doi.org/10.1002/9780470630716.ch13>
- Maselli, V. & Trincardi, F. (2013): Man made deltas. *Scientific Reports* 3, 1926. <https://doi.org/10.1038/srep01926>
- Maslin, M.A. & Swann, G.E.A. (2006): Isotopes in marine sediments. U: Leng, M.J. (ur.): *Isotopes in Palaeoenvironmental Research*. Springer, Dordrecht, Nizozemska. 227-290. https://doi.org/10.1007/1-4020-2504-1_06
- Matteucci, G., Rossini, P., Arcangeli, A., De Falco, G., Fonti, P. & Guerzoni, S. (2001): Organic pollution in a Ramsar site (Piallassa Baiona, northern Adriatic Sea). *Annali di Chimica* 91, 445-457.
- McCave, I.N. (1995): Sedimentary processes and the creation of the stratigraphic record in the Late Quaternary North Atlantic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences* 348, 229-241. <https://doi.org/10.1098/rstb.1995.0065>
- McCorkle, D.C., Keigwin, L.D., Corliss, B.H., & Emerson, S.R. (1990): The influence of microhabitats on the carbon isotopic composition of deep-sea benthic foraminifera. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 5, 161-185. <https://doi.org/10.1029/PA005I002P00161>
- McGraw-Hill (2005): *McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science & Technology*. Licker, M.D., Geller, E., Weil, J., Blumel, D., Rappaport, A., Wagner, C., Taylor, R. (ur.). McGraw-Hill Professional, Blacklick, SAD, 1-2651.

- McIntyre, C.P., Wacker, L., Haghypour, N., Blattmann, T.M., Fahrni, S., Usman, M., Eglinton, T. I. & Synal, H.A. (2017): Online ^{13}C and ^{14}C gas measurements by EA-IRMS-AMS at ETH Zürich. *Radiocarbon* 59, 893-903. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.68>
- McKinney, C.R., McCrea, J.M., Epstein, S., Allen, H.A. & Urey, H.C. (1950): Improvements in Mass Spectrometers for the Measurement of Small Differences in Isotope Abundance Ratios. *Review of Scientific Instruments* 21, 724-730. <https://doi.org/10.1063/1.1745698>
- McQuarrie, D.A. & Simon, J.D. (1997): *Physical Chemistry: A Molecular Approach*. University Science Books, Sausalito, SAD, 1-1360.
- MedECC (2020): Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future, First Mediterranean Assessment Report. Mediterranean Experts on Climate and environmental Change, Marseille, Francuska, 1-632. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7224821>
- Medinets, V.I., Soloviev, V.G., Cherkez, Y.A., Fetisov, L.P., Medinets, S.V., Svitlichniy, S.V. & Botnar, M.G. (2017): Assessment of bottom sediments accumulation intensity in the Kuyalnyk estuary. *Man and Environment, Issues of Neoecology* 3-4, 40-49. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-04>
- Medinets, V.I., Cherkez, E.A., Medinets, S.V., Kozlova, T.V., Soltys, I.E., Soloviev, V.G. & Fetisov, L.P. (2020): Using of Caesium-137 for Bottom Sediments' Accumulation Rates Assessment in the Kuyalnyk Estuary. XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 10-13. studenog 2020., Kijev, Ukrajina. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056023>
- Mehrabanian, M. (2013): Molecular geochemistry of soil organic matter by pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) technique: A review. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 4, 11-16. <https://doi.org/10.5897/JSSEM12.33>
- Mertens, K.N., Ribeiro, S., Bouimetarhan, I., Caner, H., Combourieu Nebout, N., Dale, B., De Vernal, A., Ellegaard, M., Filipova, M., Godhe, A., Goubert, E., Grøsfjeld, K., Holzwarth, U., Kotthoff, U., Leroy, S.A.G., Londeix, L., Marret, F., Matsuoka, K., Mudie, P.J. Naudts, L., Peña-Manjarrez, J.L., Persson, A., Popescu, S.M., Pospelova, V., Sangiorgi, F., van der Meer, M.T.J., Vink, A., Zonneveld, K.A.F., Vercauteren, D., Vlassenbroeck, J. & Louwye, S. (2009): Process length variation in cysts of a dinoflagellate, *Lingulodinium machaerophorum*, in

surface sediments: Investigating its potential as salinity proxy. *Marine Micropaleontology* 70, 54-69. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2008.10.004>

Mertens, K.N., Bradley, L.R., Takano, Y., Mudie, P.J., Marret, F., Aksu, A.E., Hiscott, R.N., Verleye, T.J., Mousing, E.A., Smyrnova, L.L., Bagheri, S., Mansor, M., Pospelova, V. & Matsuoka, K. (2012): Quantitative estimation of Holocene surface salinity variation in the Black Sea using dinoflagellate cyst process length. *Quaternary Science Reviews* 39, 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.026>

Mihelčić, G., Šurija, B., Juračić, M., Barišić, D. & Branica, M. (1996): History of the accumulation of trace metals in sediments of the saline Rogoznica Lake (Croatia). *Science of The Total Environment* 182, 105-115. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)05058-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)05058-2)

Mihelčić, G., Lojen, S., Dolenec, T. & Kniewald, G. (2006): Trace Metals Conservation in Morinje Bay Sediment: Historical Record of Anthropogenic Imissions into a Shallow Adriatic Bay. *Croatica Chemica Acta* 79, 161-167.

Mikac, N., Foucher, D., Kwokal, Ž. & Barišić, D. (2006): Mercury and Radionuclides in Sediments of the Kaštela Bay (Croatia) – Evaluation of the Sediment Pollution History. *Croatica Chemica Acta* 79, 85-93.

Mikac, N., Sondi, I., Vdović, N., Pikelj, K., Ivanić, M., Lučić, M., Bačić, N., Furdek Turk, M., Škapin, D.S. & Krivokapić, S. (2022): Origin and history of trace elements accumulation in recent Mediterranean sediments under heavy human impact. A case study of the Boka Kotorska Bay (Southeast Adriatic Sea). *Marine Pollution Bulletin* 179, 113702. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113702>

Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K. & Burkhardt, T. (2020): Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 7, 2897-2913. [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))

Miladinova, S., Stips, A., Garcia-Gorriz, E. & Marcias Moy, D. (2017): Black Sea thermohaline properties: long-term trends and variations. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122, 5624-5644. <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>

Mirzoeva, N.Y. (2018): Otsenka skorosti osadkonakopleniya i sedimentatsii v akvatorii «Mys Mart'yan» (Chernoye more, Krym) na primere datirovki donnykh otlozheniy ozera Krasnogo (Krym, Perekopskaya gruppa). *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* 14, 75-82. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-75-82>

- Mirzoeva, N.Y., Gulin, S.B., Sidorov, I.G. & Gulina, L.V. (2018): Otsenka skorosti sedimentatsii i osadkonakopleniya v pribrezhnykh i glubokovodnykh akvatoriyakh Chernogo morya s ispol'zovaniyem prirodnykh i antropogennykh (Chernobyl'skikh) radionuklidov. U: Lisitsyn, A.P. (ur.): Sistema Chernogo morya. Moskva : Nauchnyy mir, Moskva, Rusija, 659-670. <https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018.659>
- Mirzoeva, N.Y., Arkhipova, S.I., Moseychenko, I.N., Miroshnichenko, O.N., Proskurnin, V.Y., Tereshchenko, N.N. & Stetsyuk, A.P. (2021): Ispol'zovaniye Metoda Yadernoy Geokhronologii Dlya Opredeleniya Skorostey Sedimentatsii i Osadkonakopleniya v Ekosistemakh Solenyykh Ozer Kryma. U: Fiziko-khimicheskiye metody v mezhdistsiplinarnykh ekologicheskikh issledovaniyakh, Vserossiyskiy simpozium i shkola-konferentsiya molodykh uchenykh, 27 oktyabrya – 3 noyabrya 2021, Sevastopol, Rossiya, Sbornik trudov simpoziuma. Granitsa, Moskva, Rusija, 93-94.
- Mirzoeva, N., Shadrin, N., Proskurnin, V., Arkhipova, S., Moseychenko, I. & Anufrieva, E. (2022): The Sedimentation Rate in the Crimean Hypersaline Lake Aktashskoye Estimated Using the Post-Chernobyl Artificial Radionuclide ^{90}Sr as a Radiotracer. *Water* 14, 2506. <https://doi.org/10.3390/w14162506>
- Mirzoyeva, N., Gulina, L., Gulin, S., Plotitsina, O., Stetsuk, A., Arkhipova, S., Korkishko, N. & Eremin, O. (2015): Radionuclides and mercury in the salt lakes of the Crimea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 33, 1413-1425. <https://doi.org/10.1007/s00343-015-4374-5>
- Miserocchi, S., Langone, L. & Guerzoni, S. (1993): The Fate of Hg Contaminated Sediments of the Ravenna Lagoon (Italy): Final Burial or Potential Remobilization. *Water Science & Technology* 28, 349-358. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0633>
- Miserocchi, S., Frignani, M., Langone, L. & Albertazzi, S. (2003): ^{210}Pb transport by sinking particles at a selected site of the Southern Adriatic Sea. *Journal de Physique IV* 107, 879-882. <https://doi.org/10.1051/jp4:20030438>
- Mitchell, J.F.B. (1989): The “Greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics* 27, 115-139. <https://doi.org/10.1029/RG027i001p00115>
- Molducci, M. (1997): Sedimentazione recente e modificazioni antropiche nell'area di prodelta dei fiumi Adige e Brenta. Doktorski rad, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija.

- Moore, W.S. & O'Neill, D.J. (1991): Radionuclide Distributions in Recent Black Sea Sediments. U: İzdar, E., Murray, J.W. (ur.): Black Sea Oceanography. Springer Dordrecht, Dordrecht, Nizozemska, 257-270. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2608-3_15
- Morris, G.F. & Schnitzer, M. (1967): Rapid Determination Of Carbon In Soil Organic Matter Extracts By Dry-Combustion. Canadian Journal of Soil Science 47, 143-144. <https://doi.org/10.4141/cjss67-025>
- Neukom, R., Steiger, N., Gómez-Navarro, J.J., Wang, J. & Werner, J.P. (2019): No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. Nature 571, 550-554. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2>
- Nguyen, T.T., Janik, L.J. & Raupach, M. (1991): Diffuse reflectance infrared fourier transform (DRIFT) spectroscopy in soil studies. Australian Journal of Soil Research 29, 49-67. <https://doi.org/10.1071/SR9910049>
- Nier, A.O.C. & Gulbransen, E.A. (1939): Variations in the Relative Abundance of the Carbon Isotopes. Journal of the American Chemical Society 61, 697-698. <https://doi.org/10.1021/ja01872a047>
- Nier, A.O.C. (1946): The mass spectrometer and its application to isotope abundance measurements in tracer isotope experiments. U: Wilson, D.W., Nier, A.O.C., Riemann, S.P. (ur.): Preparation and measurement of isotopic tracers: a symposium prepared for the Isotope Research Group. JW Edwards, Ann Arbor, SAD, 11-30.
- Niino, H., Emery, K.O. & Kim, C.M. (1969): Organic Carbon in Sediments of Japan Sea. Journal of Sedimentary Petrology 39, 1390-1398.
- Nikishin, A., Ziegler, P., Bolotov, S. & Fokin, P. (2012): Late Palaeozoic to Cenozoic Evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe Region: A View from the Russian Platform. Turkish Journal of Earth Sciences 21, 571-634. <https://doi.org/10.3906/yer-1005-22>
- Nitttrouer, C., Miserocchi, S. & Trincardi, F. (2004): The PASTA Project: Investigation of Po and Apennine sediment transport and accumulation. Oceanography 17, 46-57. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2004.03>
- NOAA-GML (2024): Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (CO₂). Global Monitoring Laboratory. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/data.html> Pristupljeno 21. veljače 2024.

- NOAA-NCEI (2022): Global CO₂ Time-Series and Moorings Project. Ocean Carbon and Acidification Data System (OCADS). https://www.ncei.noaa.gov/access/ocean-carbon-acidification-data-system/oceans/time_series_moorings.html. Pristupljeno 19. veljače 2024.
- NOAA-WDS (2023): Paleoclimatology - EPICA Dome C - 800KYr CO₂ Data. World Data Service. <https://doi.org/10.25921/xgzs-gd10>. Pristupljeno 27. veljače 2024.
- Norman, A.G. & Werkman, C.H. (1943): The Use of the Nitrogen Isotope N¹⁵ in Determining Nitrogen Recovery from Plant Materials Decomposing in Soil. *Agronomy Journal* 35, 1023-1025. <https://doi.org/10.2134/agronj1943.00021962003500120004x>
- Oaie, G. & Secieru, D. (2004): Black Sea basin: Sediment types and distribution, sedimentation processes. *Geo-eco-marina* 9-10, 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.57470>
- Obhodas, J., Sudac, D., Matjacic, L. & Valkovic, V. (2012): Analysis of carbon soil content by using tagged neutron activation. U: Southern, S.O., Kolk, A.H.J., Montgomery, K.N., Taylor, C.W., Kumar, B.V.K.V., Prabhakar, S., Ross, A.A. (ur.): *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 8371, Sensing Technologies for Global Health, Military Medicine, Disaster Response, and Environmental Monitoring II; and Biometric Technology for Human Identification IX. SPIE, Bellingham, SAD, 83711B. <https://doi.org/10.1117/12.918316>
- Obhodas, J., Tinivella, U., Giustiniani, M., Durn, T., Vinkovic, A., Radic, S., Soprun, F. & Sudac, D. (2020): Past and present potential of the Adriatic deep sea sediments to produce methane hydrates. *Journal of Soils and Sediments* 20, 2724-2732. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02497-y>
- Obhodaš, J., Kutle, M., Kutle, A., Barši, P., Vinković, A., Bužan, T., Legović, T. & Valković, V. (2021): Changes in trends of the seawater column parameters and sediment elements' concentrations from 2009 to 2018 in the marina located in the Northern Adriatic Sea. U: Joksimović, D., Đurović, M., Zonn, I.S., Kostianoy, A.G., Semenov, A.V. (ur.): *The Montenegrin Adriatic Coast, Marine Chemistry Pollution*. Springer Nature, Cham, Švicarska, 353-372. https://doi.org/10.1007/698_2020_713
- OCP (2016): The Interactions Between Ocean and Climate. *Ocean & Climate Platform*, 1-12.
- Ogorelec, B., Mišič, M., Šercelj, A., Cimerman, F., Faganeli, J. & Stegnar, P. (1981): Sediment sečoveljske soline. *Geologija* 24, 179-216.

- Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J., Šerclj, A., Cimerman, F., Dolenc, T. & Pezdich, J. (1984): Kvarterni sediment vrtine V-3 v Koprskem zalivu. Slovensko morje in zaledje 7, 165-186.
- Ogorelec, B., Mišič, M. & Faganeli, J. (1991): Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Sedimentological aspects. *Marine Geology* 99, 79-92. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90084-H](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90084-H)
- Ogorelec, B., Faganeli, J., Mišič, M. & Čermelj, B. (1997): Reconstruction of paleoenvironment in the Bay of Koper (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Annales, Series historia naturalis* 7, 187-200.
- Oldfield, F., Asioli, A., Accorsi, C.A., Mercuri, A.M., Juggins, S., Langone, L., Rolph, T., Trincardi, F., Wolff, G., Gibbs, Z., Vigliotti, L., Frignani, M., van der Post, K. & Branch, N. (2003): A high resolution late Holocene palaeo environmental record from the central Adriatic Sea. *Quaternary Science Reviews* 22, 319-342. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(02\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(02)00088-4)
- Olsson, I.U., Karlén, I., Turnbull, A.H. & Prosser, N.J.D. (1962): A determination of the half-life of ^{14}C with a proportional counter. *Arkiv för fysik* 22, 237-255.
- ORNL (1990): Glossary: Carbon dioxide and climate. ORNL/CDIAC-39. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, SAD. <https://doi.org/10.2172/10155911>
- Özsoy, E. & Unluata, U. (1997): Oceanography of the Black Sea: a review of some recent results. *Earth-Science Reviews* 42, 231-272. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(97\)81859-4](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(97)81859-4)
- Palinkas, C.M. & Nittrouer, C.A. (2007): Modern sediment accumulation on the Po shelf, Adriatic Sea. *Continental Shelf Research* 27, 489-505. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.11.006>
- Palinkas, C.M., Nittrouer, C.A., Wheatcroft, R.A. & Langone, L. (2005): The use of ^7Be to identify event and seasonal sedimentation near the Po River delta, Adriatic Sea. *Marine Geology* 222-223, 95-112. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.011>
- Panagos, P., Ballabio, C., Meusburger, K., Spinoni, J., Alewell, C. & Borrelli, P. (2017): Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on REDES and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology* 548, 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.006>
- PANanalytical (2004): X'Pert HighScore Plus, Version 2.1. Almelo, Nizozemska.

- Panin, N. & Jipa, D.C. (2002): Danube River Sediment Input and its Interaction with the North-western Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, 551-562. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0664>
- Parsons, T., Takahashi, M. & Hargrave, B. (1984): *Biological Oceanographic Processes*, Third Edition. Pergamon, New York, SAD, 1-330.
- Paul, J. (1970): Sedimentologische Untersuchungen eines küstennahen mediterranen Schlammbodens (Limski kanal, nördliche Adria). *Geologische Rundschau* 60, 205-222. <https://doi.org/10.1007/BF01820939>
- Pavoni, B., Donazzolo, R., Marcomini, A., Degobbis, D. & Orio, A.A. (1987): Historical development of the Venice lagoon contamination as recorded in radiodated sediment cores. *Marine Pollution Bulletin* 18, 18-24. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(87\)90651-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(87)90651-5)
- Pennington, W., Cambray, R.S., Eakins, J.D. & Harkness, D.D. (1976): Radionuclide dating of the recent sediments of Blelham Tarn. *Freshwater Biology* 6, 317-331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1976.tb01617.x>
- Perošević-Bajčeta, A., Martinović, R., Joksimović, D., Huter, A. & Bošković, N. (2024): Metal pollution in sediments along the Montenegrin coast, Adriatic Sea: a risk analysis. *Journal of Soils and Sediments* 24, 3796-3813. <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03899-3>
- Peterson, P.P. (1911): Effect of heat and oxidation on the phosphorus of the soil. Wisconsin Agricultural Experiment Station, Research Bulletin 19, 16.
- Petranich, E., Terribili, L., Acquavita, A., Pavoni, E., Langone, L. & Covelli, S. (2020): The Role of a Tidal Flat–Saltmarsh System as a Source–Sink of Mercury in a Contaminated Coastal Lagoon Environment (Northern Adriatic Sea). *Aquatic Geochemistry* 26, 245-267. <https://doi.org/10.1007/s10498-020-09373-z>
- Petrinec, B., Franić, Z., Ilijanić, N., Miko, S., Štrok, M. & Smodiš, B. (2012): Estimation of sedimentation rate in the Middle and South Adriatic Sea using ^{137}Cs . *Radiation Protection Dosimetry* 151, 102-11. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr449>
- Pikelj, K. (2010): Sastav i porijeklo površinskih sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora. Doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 1-239.

- Pikelj, K., Jakšić, L., Aščić, Š. & Juračić, M. (2016): Characterization of the fine-grained fraction in the surface sediment of the eastern Adriatic channel areas. *Acta Adriatica* 57, 195-208.
- Pikelj, K., Ružić, I., Ilić, S., James, M.R. & Kordić, B. (2018): Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia. *Ocean & Coastal Management* 156, 223-238. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.019>
- Pilskaln, C.H. & Pike, J. (2001): Formation of Holocene sedimentary laminae in the Black Sea and the role of the benthic flocculent layer. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 16, 1-19. <https://doi.org/10.1029/1999PA000469>
- Piva, A. (2007): High-resolution stratigraphy of Central and Southern Adriatic Quaternary deposits: impact of sub-Milankovian climate change on Mediterranean circulation. Doktorski rad, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija, 1-250. <https://doi.org/10.6092/unibo/amsdottorato/456>
- Plass, G.N. (1956): The influence of the 15μ carbon-dioxide band on the atmospheric infra-red cooling rate. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 82, 310-324. <https://doi.org/10.1002/QJ.49708235307>
- Platt, T. & Harrison, W.G. (1985): Biogenic fluxes of carbon and oxygen in the ocean. *Nature* 318, 55-58. <https://doi.org/10.1038/318055a0>
- Podoplelov, O.N., Karpov, V.A. et al. (1977): Otchet po izucheniyu litologicheskogo sostava otlozheniy shel'fa Chernogo morya s tsel'yu sostavleniya geologo-litologicheskoy karty m-ba 1:200 000 v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya v predelakh listov: L-36-XIII, -XIV, -XV, -XVI, -XIX, L-35- XXIV. Krymmorgeologiya, Odesa, Ukrajina.
- Pokazeev, K., Sovga, E. & Chaplina, T. (2021): Pollution in the Black Sea, Observations about the Ocean's Pollution. Springer Nature, Cham, Švicarska, 1-213. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61895-7>
- Poppe, L.J., Paskevich, V.F., Hathaway, J.C. & Blackwood, D.S. (2001): A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041. U. S. Geological Survey, Woods Hole, SAD. <https://doi.org/10.3133/ofr0141>

- Pregl, F. (1912): Die quantitative Mikroelementaranalyse organischer Substanzen. U: Abderhalden, E. (ur.): Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden, Fünfter Band, Zweiter Teil. Urban & Schwarzenberg, Berlin, Njemačka, 1307-1356.
- Pregl, F. (1916): Die quantitative organische Mikroanalyse. Julius Springer, Berlin, Njemačka, 1-189.
- Prohaska, T., Irrgeher, J., Benefield, J., Böhlke, J.K., Chesson, L.A., Coplen, T.B., Ding, T., Dunn, P.J.H., Gröning, M., Holden, N.E., Meijer, H.A.J., Moossen, H., Possolo, A., Takahashi, Y., Vogl, J., Walczyk, T., Wang, J., Wieser, M.E., Yoneda, S., Zhu, X.K. & Meija, J. (2022): Standard atomic weights of the elements 2021 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry 94, 573-600. <https://doi.org/10.1515/pac-2019-0603>
- Puškarić, S., Berger, G.W. & Jorissen, F.J. (1990): Successive appearance of subfossil phytoplankton species in holocene sediments of the northern adriatic and its relation to the increased eutrophication pressure. Estuarine, Coastal and Shelf Science 31, 177-187. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(90\)90045-S](https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90045-S)
- Raicich, F. (1996): On the fresh water balance of the Adriatic coast. Journal of Marine Systems 9, 305-319. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(96\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00042-5)
- Ranke, U. (1976): The sediments of the Gulf of Piran (Northern Adriatic Sea). Senckenbergiana Maritima 8, 23-60.
- Rashid, M.A. (1985): Geochemistry of Marine Humic Compounds. Springer, New York, SAD, 1-300. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7098-1>
- Rather, J.B. (1918): An Accurate Loss-on-Ignition Method for the Determination of Organic Matter in Soils. Journal of Industrial & Engineering Chemistry 10, 439-442. <https://doi.org/10.1021/ie50102a016>
- Raven, J.A. & Falkowski, P.G. (1999): Oceanic sinks for atmospheric CO₂. Plant, Cell & Environment 22, 741-755. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00419.x>
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. & Richards, F.A. (1963): The influence of organisms on the composition of sea-water. U: Hill, M.N. (ur.): The composition of seawater: Comparative and descriptive oceanography. The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas, 2. Interscience Publishers, New York, SAD, 26-77.

- Reichle, D.E. (2020): The Global Carbon Cycle and Climate Change, Scaling Ecological Energetics from Organism to the Biosphere. Elsevier, Amsterdam, Nizozemska, 1-360. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01382-9>
- REMPEC (2024): Montenegro, Country Profile. The Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea. https://www.rempec.org/en/knowledge-centre/country-profiles/montenegro/conventions_view. Pristupljeno 14. studenog 2024.
- Revelle, R. & Suess, H.E. (1957): Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. *Tellus* 9, 18-27. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x>
- Révész, K., Qi, H. & Coplen, T.B. (2012): Determination of the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of Total Nitrogen and Carbon in Solids; RSIL Lab Code 1832. U: Révész, K., Coplen, T.B. (ur.): Methods of the Reston Stable Isotope Laboratory: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. U.S. Geological Survey, Reston, SAD, 1-31.
- Roberts, K., Granum, E., Leegood, R.C. & Raven, J.A. (2007): C₃ and C₄ Pathways of Photosynthetic Carbon Assimilation in Marine Diatoms Are under Genetic, Not Environmental, Control. *Plant Physiology* 145, 230-235. <https://doi.org/10.1104/pp.107.102616>
- Robb, A., Nicolas, E.S. & Williams, G. (1998): Integrated structural, sequence stratigraphic and geodynamic modeling of the Western Black Sea: early Mesozoic to recent. 3rd International Conference on the Petroleum Geology and Hydrocarbon Potential of the Black and Caspian Seas Area, 13-15. rujna 1998., Neptun, Constanta, Bukurešt, Rumunjska, 59-63.
- Robbins, J.A. (1978): Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. U: Nriagu, J.O. (ur.): Biogeochemistry of Lead in the Environment. Elsevier Scientific, Amsterdam, Nizozemska, 285-393.
- Robinson, G.W. (1922): Note on the mechanical analysis of humus soils. *Journal of Agricultural Science* 12, 287-291. <https://doi.org/10.1017/S0021859600005347>
- Rogers, R.E. & Rogers, W.B. (1848): New Method of Determining the Carbon in Native and Artificial Graphites. *The American Journal of Science and Arts* 2, 352-359.
- Rolph, T.C., Oldfield, F. & van der Post, K.D. (1996): Palaeomagnetism and rock-magnetism results from Lake Albano and the central Adriatic Sea (Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia* 55, 265-283.

- Rosenthal, J.E. (1934): Vibrations of Tetrahedral Pentatomic Molecules. Part I. Potential Energy. Part II. Kinetic Energy and Normal Frequencies of Vibration. *Physical Review* 45, 538-544. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.45.538>
- Ross, D.A. (1977): The Black Sea and the Sea of Azov. U: Nairn, A.E.M., Kanes, W.H., Stehli, F.G. (ur.): The Ocean Basins and Margins, Volume 4A The Eastern Mediterranean. Plenum Press, New York, SAD, 445-481. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-3036-3_11
- Ross, D.A. & Degens, E.T. (1974): Recent sediments of The Black Sea. U: Degens, E.T., Ross, D.A. (ur.): The Black Sea - geology, chemistry, and biology. American Association of Petroleum Geologists Memoir 20, Tulsa, SAD, 183-199. <https://doi.org/10.1306/M20377C21>
- Ross, D.A., Degens, E.T. & MacIlvaine, J. (1970): Black Sea: Recent Sedimentary History. *Science* 170, 163-165. <https://doi.org/10.1126/science.170.3954.163>
- Ross, D.A., Stoffers, P. & Trimonis, E.S. (1978): Black Sea Sedimentary Framework. Deep Sea Drilling Project Initial Reports 42, 359-372. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.42-2.106.1978>
- Rowell, D.L. (1994): Soil Science: Methods and Applications. Longman Scientific & Technical, Longman Group UK Ltd, Harlow, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-368.
- Ruben, S. & Kamen, M.D. (1940): Radioactive Carbon of Long Half-Life. *Physical Review* 57, 549. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.57.549>
- Ruffine, L., Deusner, C., Haeckel, M., Kossel, E., Toucanne, S., Chéron, S., Boissier, A., Schmidt, M., Donval, J.P., Scholz, F., Guyader, V., Ker, S. & Riboulot, V. (2021): Effects of postglacial seawater intrusion on sediment geochemical characteristics in the Romanian sector of the Black Sea. *Marine and Petroleum Geology* 123, 104746. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104746>
- Rumpel, C., Janik, L.J., Skjemstad, J.O. & Kögel-Knabner, I. (2001): Quantification of carbon derived from lignite in soils using mid-infrared spectroscopy and partial least squares. *Organic Geochemistry* 32, 831-839. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(01\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(01)00029-8)
- Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F. & Romero, E. (2018): The impact of reservoir construction on riverine sediment and carbon fluxes to the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography* 163, 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.08.003>

Sarı, E., Çağatay, M.N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., Tutay, A., Kurt, M.A. & Sezer, N. (2018): Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere* 205, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.096>

Sarretta, A., Pillon, S., Molinaroli, E., Guerzoni, S. & Fontolan, G. (2010): Sediment budget in the Lagoon of Venice, Italy. *Continental Shelf Research* 30, 934-949. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.07.002>

Sathyendranath, S., Brewin, R.J.W., Brockmann, C., Brotas, V., Calton, B., Chuprin, A., Cipollini, P., Couto, A.B., Dingle, J., Doerffer, R., Donlon, C., Dowell, M., Farman, A., Grant, M., Groom, S., Horseman, A., Jackson, T., Krasemann, H., Lavender, S., Martinez-Vicente, V., Mazeran, C., Mélin, F., Moore, T.S., Müller, D., Regner, P., Roy, S., Steele, C.J., Steinmetz, F., Swinton, J., Taberner, M., Thompson, A., Valente, A., Zühlke, M., Brando, V.E., Feng, H., Feldman, G., Franz, B.A., Frouin, R., Gould, R.W., Hooker, S.B., Kahru, M., Kratzer, S., Mitchell, B.G., Muller-Karger, F., Sosik, H.M., Voss, K.J., Werdell, J. & Platt, T. (2019): An Ocean-Colour Time Series for Use in Climate Studies: The Experience of the Ocean-Colour Climate Change Initiative (OC-CCI). *Sensors* 19, 4285. <https://doi.org/10.3390/s19194285>

Scheibler, C. (1862): Anleitung zum Gebrauche des Apparates zur Bestimmung der kohlensauren Kalkerde in der Knochenkohle, sowie zur volumetrisch-quantitativen Analyse der kohlensauren Salze. Feister, Berlin, Njemačka, 1-27.

Schreiber, B., Tassi Pelati, L., Mezzadri, M.G. & Motta, G. (1968): Gross beta radioactivity in sediments of the North Adriatic Sea: a possibility of evaluating the sedimentation rate. *Archivio di Oceanografia e Limnologia* 16, 45-62.

Schippers, P., Lüring, M. & Scheffer, M. (2004): Increase of atmospheric CO₂ promotes phytoplankton productivity. *Ecology Letters* 7, 446-451. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00597.x>

Schlitzer, R. (2000): Applying the adjoint method for biogeochemical modeling: export of particulate organic matter in the world ocean. U: Kasibhatla, P., Heimann, M., Rayner, P., Mahowald, N., Prinn, R. G., Hartley, D. E. (ur.): *Inverse Methods in Global Biogeochemical Cycles*. American Geophysical Union, Washington, D.C., SAD, 107-124. <https://doi.org/10.1029/GM114>

- Schmidt, G.A., Ruedy, R.A., Miller, R.L. & Lacis, A.A. (2010): Attribution of the present-day total greenhouse effect. *Journal of Geophysical Research* 115, D20106, 1-6. <https://doi.org/10.1029/2010JD014287>
- Schulz, K.G., Bach, L.T., Bellerby, R.G.J., Bermúdez, R., Büdenbender, J., Boxhammer, T., Czerny, J., Engel, A., Ludwig, A., Meyerhöfer, M., Larsen, A., Paul, A.J., Sswat, M. & Riebesell, U. (2017): Phytoplankton Blooms at Increasing Levels of Atmospheric Carbon Dioxide: Experimental Evidence for Negative Effects on Prymnesiophytes and Positive on Small Picoeukaryotes. *Frontiers in Marine Science* 4, 64. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00064>
- Schumacher, B.A. (2002): Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., SAD, 1-23.
- Selli, R., Frignani, M. & Giordani, P. (1977): Inquinamento dei sedimenti marini. Atti del convegno "Aspetti scientifici dell'inquinamento dei mari italiani" 31, 169-192.
- Serandrei-Barbero, R., Albani, A., Donnici, S. & Rizzetto, F. (2006): Past and recent sedimentation rates in the Lagoon of Venice (Northern Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69, 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.04.018>
- Sert, I. (2018): Temporal evolution of lead isotope ratios and metal concentrations in sediments of the north Aegean Sea, in Turkish coast. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 317, 825-840. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5947-5>
- Shimkus, K.M., Grebmeier, J.M. & Cooper, L.W. (1998): Radionuclides and heavy metals in sediments as tracers of the Eastern Black Sea contamination history. International symposium on marine pollution, 5-9. listopada 1998., Monaco, Monako.
- Shutler, J.D., Gruber, N., Findlay, H.S., Land, P.E., Gregor, L., Holding, T., Sims, R.P., Green, H., Piolle, J.F., Chapron, B., Sathyendranath, S., Rousseaux, C.S., Donlon, C.J., Cooley, S., Turner, J., Valauri-Orton, A., Lowder, K., Widdicombe, S., Newton, J., Sabia, R., Rio, M.H. & Gaultier, L. (2024): The increasing importance of satellite observations to assess the ocean carbon sink and ocean acidification. *Earth-Science Reviews* 250, 104682. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104682>
- Sibirchenko, M.G., Karpov, V.A., Ivanov, V.G. et al. (1983): Otchet po izucheniyu litologicheskogo sostava donnykh otlozheniy shel-fa Chernogo morya s tsel-yu sostavleniya

geologo-litologicheskoy karty v predelakh listov L-36-XX, -XXV, -XXVI, -XXXI, -XXXII; L-35-XXX. Krymgeologiya, Odesa, Ukrajina.

Sibirchenko, M.G., Tatarovskiy, V.V. et al. (1987): Otchet po kompleksnoy geologo gidrogeologicheskoy s"yemke shel'fa Chernogo morya m-ba 1:50 000, severo-zapadnaya chast' shel'fa Chernogo morya (Dneprovsko-Bugskiy liman, Tendrovskiy i Yagorlykskiy zalivy) listy L-36-52-A, -B, -C, -D. Krymgeologiya, Odesa, Ukrajina.

Siebielec, G., McCarty, G.W., Stuczynski, T.I. & Reeves III, J.B. (2004): Near- and Mid-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Measuring Soil Metal Content. *Journal of Environmental Quality* 33, 2056-2069. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2056>

Simeonova, A. & Chuturkova, R. (2019): Marine litter accumulation along the Bulgarian Black Sea coast: Categories and predominance. *Waste Management* 84, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.001>

Simon, H., Kelemen, S. & Begy, R.C. (2017): Anthropic influences on the sedimentation rates of lakes situated in different geographic areas. *Journal of Environmental Radioactivity* 173, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.09.001>

Simpson, A.J., Kingery, W.L. & Hatcher, P.G. (2003): The identification of plant derived structures in humic materials using three-dimensional NMR spectroscopy. *Environmental science & technology* 37, 337-342. <https://doi.org/10.1021/es025956j>

Sinutok, S., Hill, R., Köhl, M., Doblin, M.A. & Ralph, P.J. (2014): Ocean acidification and warming alter photosynthesis and calcification of the symbiont-bearing foraminifera *Marginopora vertebralis*. *Marine Biology* 161, 2143-2154. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2494-7>

Solomon, A.M., Trabalka, J.R., Reichle, D.E. & Voorhees, L.D. (1985): The global cycle of carbon. U: Trabalka, J.R. (ur.): Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle. DOE/ER-0239, Office of Technical and Scientific Information, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., SAD, 1-14.

Sommerwerk, N. (2016): Patterns, determinants, and management of freshwater biodiversity in Europe. Doktorski rad, Freie Universität Berlin, Berlin, Njemačka, 1-204. <http://doi.org/10.17169/refubium-16030>

- Sooknanan, A. & Hosein, P. (2022): Estimating the carbon content of oceans using satellite sensor data. *Journal of Big Data* 9, 93. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00647-7>
- Sorgente, D. (1999): Studio della sedimentazione attuale e recente nel medio Adriatico attraverso l'uso di traccianti radioattivi. Dottorski rad, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija, 1-178.
- Sorgente, D., Frignani, M., Langone, L., Ravaioli, M. & Cochran, J.K. (1998): Sediment accumulation rates in the central Adriatic Sea: A multitracer approach. Technical Report, IAEA-SM-354, 20-21.
- Sprengel, C. (1826): Über Pflanzenhumus, Humussäure und humussaure Salze. *Archiv für die Gesamte Naturlehre* 8, 145-220.
- Starkey, H.C., Blackmon, P.D. & Hauff, P.L. (1984): The routine mineralogical analysis of clay-bearing samples. U.S. Geological Survey bulletin 1563. United States Government Printing Office, Washington, D.C., SAD, 1-32. <https://doi.org/10.3133/b1563>
- Sticchi, A. (1990): Velocità di accumulo derivate da misure radiometriche in sedimenti marini costieri del Nord Adriatico. Dottorski rad, Sveučilište u Bologni, Bologna, Italija, 1-188.
- Stoffers, P. & Müller, G. (1972): Clay Mineralogy of Black Sea Sediments. *Sedimentology* 18, 113-121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1972.tb00006.x>
- Stramski, D., Reynolds, R.A., Kahru, M. & Mitchell, B.G. (1999): Estimation of particulate organic carbon in the ocean from satellite remote sensing. *Science* 285, 239-242. <https://doi.org/10.1126/science.285.5425.239>
- Su, W., Wang, B., Chen, H., Zhu, L., Zheng, X. & Chen, S.X. (2024): A new global carbon flux estimation methodology by assimilation of both in situ and satellite CO₂ observations. *npj Climate and Atmospheric Science* 7, 287. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00824-w>
- Suess, H.E. (1955): Radiocarbon Concentration in Modern Wood. *Science* 122, 415-417. <https://doi.org/10.1126/science.122.3166.415.a>
- Sulpis, O., Boudreau, B.P., Mucci, A., Jenkins, C., Trossman, D.S., Arbic, B.K. & Key, R.M. (2018): Current CaCO₃ dissolution at the seafloor caused by anthropogenic CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115, 11700-11705. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804250115>

- Sundquist, E.T., Burruss, R.C., Faulkner, S.P., Gleason, R.A., Harden, J.W., Kharaka, Y.K., Tieszen, L.L. & Waldrop, M.P. (2008): Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. U.S. Geological Survey, Fact Sheet 2008-3097, Reston, SAD, 1-4. <https://doi.org/10.3133/fs20083097>
- Sutton, A.J., Feely, R.A., Maenner-Jones, S., Musielwicz, S., Osborne, J., Dietrich, C., Monacci, N., Cross, J., Bott, R., Kozyr, A., Andersson, A.J., Bates, N.R., Cai, W.J., Cronin, M.F., De Carlo, E.H., Hales, B., Howden, S.D., Lee, C.M., Manzello, D.P., McPhaden, M.J., Meléndez, M., Mickett, J.B., Newton, J.A., Noakes, S.E., Noh, J.H., Olafsdottir, S.R., Salisbury, J.E., Send, U., Trull, T.W., Vandemark, D.C. & Weller, R.A. (2019): Autonomous seawater pCO₂ and pH time series from 40 surface buoys and the emergence of anthropogenic trends. *Earth System Science Data* 11, 421-439. <https://doi.org/10.5194/essd-11-421-2019>
- Syvitski, J.P.M. (2008): Deltas at risk. *Sustainability Science* 3, 23-32. <https://doi.org/10.1007/s11625-008-0043-3>
- Štrok, M., Smodiš, B., Petrincec, B. & Franić, Z. (2013): Correcting for potential ²²²Rn loss in ²¹⁰Pb dating of sediments from the South Adriatic Pit. *Quaternary Geochronology* 18, 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2013.06.002>
- Teodoru, C.R., Friedl, G., Friedrich, J., Roehl, U., Sturm, M. & Wehrli, B. (2007): Spatial distribution and recent changes in carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in sediments of the Black Sea. *Marine Chemistry* 105, 52-69. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.12.013>
- Tereshchenko, N.N. & Parkhomenkoa, A.V. (2021): Features of Formation of the Sedimentation and Mass Accumulation Rate in Western Black Sea Bottom Sediments. *Oceanology* 61, 499-510. <https://doi.org/10.1134/S0001437021040147>
- Tilzer, M.M., Elbrächter, M., Gieskes, W.W. & Beese, B. (1986): Light-temperature interactions in the control of photosynthesis in Antarctic phytoplankton. *Polar Biology* 5, 105-111. <https://doi.org/10.1007/BF00443382>
- Tisserand, D., Daval, D., Truche, L., Fernandez-Martinez, A., Sarret, G., Spadini, L. & Némery, J. (2024): Recommendations and good practices for dissolved organic carbon (DOC) analyses at low concentrations. *MethodsX* 12, 102663. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102663>

- Tjiputra, J.F., Couespel, D. & Sanders, R. (2025): Marine ecosystem role in setting up preindustrial and future climate. *Nature Communications* 16, 2206. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57371-y>
- Tojčić, I., Denamiel, C. & Vilibić, I. (2024): Kilometer-scale trends, variability, and extremes of the Adriatic far-future climate (RCP 8.5, 2070–2100). *Frontiers in Marine Science* 11, 1329020. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1329020>
- Tomašových, A., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Kaufman, D.S., Vidović, J. & Zuschin, M. (2017): Stratigraphic unmixing reveals repeated hypoxia events over the past 500 yr in the northern Adriatic Sea. *Geology* 45, 363-366. <https://doi.org/10.1130/G38676.1>
- Tomašových, A., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Kaufman, D.S., Kralj, M., Cassin, D., Zonta, R. & Zuschin, M. (2018): Tracing the effects of eutrophication on molluscan communities in sediment cores: outbreaks of an opportunistic species coincide with reduced bioturbation and high frequency of hypoxia in the Adriatic Sea. *Paleobiology* 44, 575-602. <https://doi.org/10.1017/pab.2018.22>
- Tomašových, A., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Kaufman, D.S., Mavrič, B. & Zuschin, M. (2019): A decline in molluscan carbonate production driven by the loss of vegetated habitats encoded in the Holocene sedimentary record of the Gulf of Trieste. *Sedimentology* 66, 781-807. <https://doi.org/10.1111/sed.12516>
- Trask, P.D. (1932): Origin and environment of source sediments of petroleum. The Gulf Publishing Company, Houston, SAD, 1-323.
- Treibs, A. (1934): Chlorophyll- und Häminderivate in bituminösen Gesteinen, Erdölen, Erdwachsen und Asphalten. Ein Beitrag zur Entstehung des Erdöls. *Justus Liebigs Annalen der Chemie* 510, 42-62. <https://doi.org/10.1002/jlac.19345100103>
- Trenberth, K.E. & Smith, L. (2005): The Mass of the Atmosphere: A Constraint on Global Analyses. *Journal of Climate* 18, 864-875. <https://doi.org/10.1175/JCLI-3299.1>
- Trenberth, K.E., Fasullo, J.T. & Kiehl, J. (2009): Earth's Global Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society* 90, 311-324. <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2634.1>
- Tsabaris, C., Kousidou, G., Androulakaki, E.G. Patiris, D.L., Pappa, F.K., Marmara, D. & Krasakopoulou, E. (2024): Reconstruction of radioactivity and microplastic particles studying

sedimentation/accumulation in the deep Lemnos basin, North Aegean Sea, Greece. *Journal of Soils and Sediments* 24, 3938-3952. <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03907-6>

Tsuji, Y., Suzuki, I. & Shiraiwa, Y. (2009): Photosynthetic Carbon Assimilation in the Coccolithophorid *Emiliana huxleyi* (Haptophyta): Evidence for the Predominant Operation of the C₃ Cycle and the Contribution of β -Carboxylases to the Active Anaplerotic Reaction. *Plant and Cell Physiology* 50, 318-329. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn200>

Turnewitsch, R., Springer, B.M., Kiriakoulakis, K., Vilas, J.C., Arístegui, J., Wolff, G., Peine, F., Werk, S., Graf, G., & Waniek, J.J. (2007): Determination of particulate organic carbon (POC) in seawater: The relative methodological importance of artificial gains and losses in two glass-fiber-filter-based techniques. *Marine Chemistry* 105, 208-228, <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.01.017>

Tyndall, J. (1861): On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radiation, absorption, and conduction. – The bakerian lecture. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 22, 169-194. <https://doi.org/10.1080/14786446108643138>

Ujević, I., Bogner, D., Zvonarić, T. & Barić, A. (1998): Trace metal distribution in a coastal sediment from Adriatic Sea. *Fresenius environmental bulletin* 7, 701-708.

Uthicke, S. & Fabricius, K.E. (2012): Productivity gains do not compensate for reduced calcification under near-future ocean acidification in the photosynthetic benthic foraminifer species *Marginopora vertebralis*. *Global Change Biology* 18, 2781-2791. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02715.x>

Van Bemmelen, J.M. (1890): Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u. s. w. im Ackerboden. *Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen* 37, 279-290.

van Straaten, L.M.J.U. (1970): Holocene and late-Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea. *Geologische Rundschau* 60, 106-131. <https://doi.org/10.1007/BF01820934>

van Wijngaarden, W.A. & Happer, W. (2023): Atmosphere and Greenhouse Gas Primer. arXiv, 2303.00808v1, 1-32. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.00808>

Velić, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Hrvatska, 1-342.

Verigo, A.A. (1888): Issledovanie celebnoj Grjazi iz Melkovod'ja Balaklavskoj Buhty. U: Otchet o Dejatel'nosti Odesskogo Bal'neologicheskogo Obshestva s 1883 po 1887 gg. Odesskogo Bal'neologicheskogo Obshestva, Odesa, Ukrajina, 22-26.

Viel, M., Barbanti, A., Langone, L., Buffoni, G., Paltrinieri, D. & Rosso, G. (1991): Nutrient profiles in the pore water of a deltaic lagoon: Methodological considerations and evaluation of benthic fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 33, 361-382. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(91\)90063-H](https://doi.org/10.1016/0272-7714(91)90063-H)

Vigliotti, L., Verosub, K.L., Cattaneo, A., Trincardi, F., Asioli, A. & Piva, A. (2008): Palaeomagnetic and rock magnetic analysis of Holocene deposits from the Adriatic Sea: detecting and dating short-term fluctuations in sediment supply. *The Holocene* 18, 141-152. <https://doi.org/10.1177/0959683607085605>

Vikas, M. & Dwarakish, G.S. (2015): Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia* 4, 381-388. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>

Vinković, A., Laptyev, G., Yaprak, G., Slavova, K., Joksimović, D., Troškot-Čorbić, T., Frontasyeva, M., Duliu, O.G., Bylyku, E., Shyti, M., Humbatov, F., Nuhanović, M., Smječanin, N., Nonova, T., Dobrev, L., Pashalidis, I., Melikadze, G., Ioannidou, A., Tsabaris, C., Aidarkhanova, A., David, D., Zinicovscaia, I., Kamnev, A., Horvat, M., Nečemer, M., Jaćimović, R., Yücel, H., Kalayci, Y., Dirican, A., Sert, I., Plotsen, M., Korychenskyi, K., Khatir, S.M.A., Sander, S.G., Deufrains, K., Fajković, H., Klanjšček, T., Vdović, N., Legović, T. & Obhodaš, J. (2022): Could atmospheric carbon be driving sedimentation? *Journal of Soils and Sediments* 22, 2912-2928. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03282-0>

Vogel, N. & Uthicke, S. (2012): Calcification and photobiology in symbiont-bearing benthic foraminifera and responses to a high CO₂ environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 424-425, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.05.008>

Volk, T. & Hoffert, M. I. (1985): Ocean carbon pumps: Analysis of relative strengths and efficiencies in ocean-driven atmospheric CO₂ changes. U: Sundquist, E. T., Broecker, W. S. (ur.): *The carbon cycle and atmospheric CO₂: Natural variations Archean to present*. American Geophysical Union, Washington, D.C., SAD, 99-110.

von Grosse, A. (1934): An Unknown Radioactivity. *Journal of the American Chemical Society* 56, 1922-1924. <https://doi.org/10.1021/ja01324a503>

von Liebig, J. (1831): Ueber einen neuen Apparat zur Analyse organischer Körper und über die Zusammensetzung einiger organischen Substanzen. *Annalen der Physik und Chemie* 21, 1-43.

Vrdoljak, Lj., Režić, M. & Petričević, I. (2021): Bathymetric and Geological Properties of the Adriatic Sea. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 36, 93-107. <https://doi.org/10.17794/rgn.2021.2.9>

Waksman, S.A. (1936): Humus: origin, chemical composition, and importance in nature. The Williams & Wilkins Company, Baltimore, SAD, 1-494.

Walkley, A. & Black, I.A. (1934): An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* 37, 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wang, L. & Yu, J. (2023): Chapter 1 - Principles of photocatalysis. U: Yu, J., Zhang, L., Wang, L., Zhu, B. (ur.): *S-scheme Heterojunction Photocatalysts, Fundamentals and Applications*. Elsevier, London, UK, 1-52. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18786-5.00002-0>

Wang, F., Gao, J., Yong, J.W.H., Wang, Q., Ma, J. & He, X. (2020): Higher Atmospheric CO₂ Levels Favor C₃ Plants Over C₄ Plants in Utilizing Ammonium as a Nitrogen Source. *Frontiers in Plant Science* 11, 537443. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.537443>

Warrington, R. & Peake, W.A. (1880): LIII On the determination of carbon in soils. *Journal of the Chemical Society-Transactions* 37, 617-625. <https://doi.org/10.1039/CT8803700617>

Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Waple, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N. & Wolfe, A.P. (2016): The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351, aad2622. <https://doi.org/10.1126/science.aad2622>

Watson, A.J., Schuster, U., Shutler, J.D., Holding, T., Ashton, I.G.C., Landschützer, P., Woolf, D.K. & Goddijn-Murphy, L. (2020): Revised estimates of ocean-atmosphere CO₂ flux are consistent with ocean carbon inventory. *Nature Communications* 11, 4422. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18203-3>

- Watt, D.E., Ramsden, D. & Wilson, H.W. (1961): The Half-Life of Carbon-14. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes 11, 68-74. [https://doi.org/10.1016/0020-708X\(61\)90133-8](https://doi.org/10.1016/0020-708X(61)90133-8)
- Wehmiller, J.F. (1993): Applications of Organic Geochemistry for Quaternary Research. U: Engel, M.H., Macko, S.A. (ur.): Organic Geochemistry, Topics in Geobiology, Volume 11. Springer, Boston, SAD, 755-783. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2890-6_36
- West, S.S. (1945): The Relative Abundance of the Carbon Isotopes in Petroleum. Geophysics 10, 329-433. <https://doi.org/10.1190/1.1437185>
- White, J.W. & Holben, F.J. (1925): Perfection of Chromic Acid Method for Determining Organic Carbon. Industrial & Engineering Chemistry 17, 83-85. <https://doi.org/10.1021/ie50181a041>
- Wiedemeier, D.B., Hilf, M.D., Smittenberg, R.H., Haberle, S.G. & Schmidt, M.W. (2013): Improved assessment of pyrogenic carbon quantity and quality in environmental samples by high-performance liquid chromatography. Journal of Chromatography A 1304, 246-250. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.06.012>
- Wiedemeier, D.B., Lang, S.Q., Gierga, M., Abiven, S., Bernasconi, S.M., Früh-Green, G.L., Hajdas, I., Hanke, U.M., Hilf, M.D., McIntyre, C.P., Scheider, M.P., Smittenberg, R.H., Wacker, L., Wiesenberg, G.L. & Schmidt, M.W. (2016): Characterization, Quantification and Compound-specific Isotopic Analysis of Pyrogenic Carbon Using Benzene Polycarboxylic Acids (BPCA). Journal of visualized experiments 111, e53922. <https://doi.org/10.3791/53922>
- Wielopolski, L., Orion, I., Hendrey, G. & Roger, H. (2000): Soil carbon measurements using inelastic neutron scattering. IEEE Transactions on Nuclear Science 47, 914-917. <https://doi.org/10.1109/23.856717>
- Wigley, T.M.L. & Schimel, D.S. (2000): The Carbon Cycle. Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo, 1-292. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511573095>
- Wijsman, J.W.M., Herman, P.M.J. & Gomoiu, M.T. (1999): Spatial distribution in sediment characteristics and benthic activity on the northwestern Black Sea shelf. Marine Ecology Progress Series 181, 25-39. <https://doi.org/10.3354/meps181025>
- Winguth, C., Wong, H.K., Panin, N., Dinu, C., Georgescu, P., Ungureanu, G., Krugliakov, V.V. & Podshuveit, V. (2000): Upper Quaternary water level history and sedimentation in the

northwestern Black Sea. *Marine Geology* 167, 127-146. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00024-4)

Winkels, H.J., Kroonenberg, S.B., Lychagin, M.Y., Marin, G., Rusakov, G.V. & Kasimov, N.S. (1998): Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhine delta. *Applied Geochemistry* 13, 581-591. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(98\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(98)00002-X)

Xu, J., Fan, X., Zhang, X., Xu, D., Mou, S., Cao, S., Zheng, Z., Miao, J. & Ye, N. (2012): Evidence of Coexistence of C₃ and C₄ Photosynthetic Pathways in a Green-Tide-Forming Alga, *Ulva prolifera*. *PLOS ONE* 7, e37438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037438>

Yanko-Hombach, V., Schnyukov, E., Pasyukov, A., Sorokin, V., Kuprin, P., Maslakov, N., Motnenko, I. & Smyntyna, O. (2017): Geological and Geomorphological Factors and Marine Conditions of the Azov-Black Sea Basin and Coastal Characteristics as They Determine Prospecting for Seabed Prehistoric Sites on the Continental Shelf. U: Flemming, N.C., Harff, J., Moura, D., Burgess, A., Bailey, G.N. (ur.): *Submerged Landscapes of the European Continental Shelf*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, SAD, 431-478. <https://doi.org/10.1002/9781118927823.ch16>

You, Y., Tian, H., Pan, S., Shi, H., Lu, C., Batchelor, W.D., Cheng, B., Hui, D., Kicklighter, D., Liang, X.Z., Li, X., Melillo, J., Pan, N., Prior, S.A. & Reilly, J. (2024): Net greenhouse gas balance in U.S. croplands: How can soils be part of the climate solution? *Global Change Biology* 30, e17109. <https://doi.org/10.1111/gcb.17109>

Young, J.L. & Lindbeck, M.R. (1964): Carbon Determination in Soils and Organic Materials with A High-Frequency Induction Furnace. *Soil Science Society of America Journal* 28, 377-381. <https://doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800030023x>

Yücel, M., Moore, W.S., Butler, I.B., Boyce, A. & Luther III, G.W. (2012): Recent sedimentation in the Black Sea: New insights from radionuclide distributions and sulfur isotopes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 66, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.04.007>

Yücel, H., Güven, R. & Demirel, I. (2020): Determination of radioactive contaminants in sediment and sand samples from the Black Sea by HPGe Gamma-ray spectrometry. *Radioprotection* 55, 141-145. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2020002>

- Yunev, A.O., Carstensen, J., Moncheva, S., Khaliulin, A., Ertebjerg, G. & Nixon, S. (2007): Nutrient and phytoplankton trends on the western Black Sea shelf in response to cultural eutrophication and climate changes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.03.030>
- Zalasiewicz, J. & Williams, M. (2021): *Climate change through Earth history*. U: Letcher, T.M. (ur.): *Climate Change, Observed Impacts on Planet Earth*, Third Edition. Elsevier, Amsterdam, Nizozemska, 49-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00003-7>
- Zeebe, R.E. & Wolf-Gladrow, D. (2001): *CO₂ in Seawater: Equilibrium, Kinetics, Isotopes*. Elsevier Oceanography Book Series 65, Amsterdam, Nizozemska, 1-346.
- Zhan, C., Han, Y., Cao, J., Wei, C., Zhang, J. & An, Z. (2013): Validation and application of a thermal-optical reflectance (TOR) method for measuring black carbon in loess sediments. *Chemosphere* 91, 1462-1470. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.011>
- Zhang, M., Xu, S. & Sano, Y. (2024): Deep carbon recycling viewed from global plate tectonics. *National Science Review* 11, nwae089. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae089>
- Zheng, Y., Li, F., Hao, L., Ali Sheday, A., Guo, L., Ma, C., Huang, B. & Xu, M. (2018): The optimal CO₂ concentrations for the growth of three perennial grass species. *BMC Plant Biology* 18, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1243-3>
- Zonn, I.S., Fashchuk, D.Y. & Ryabinin, A.I. (2008): *Environmental Issues of the Black Sea*. U: Kostianoy, A.G., Kosarev, A.N. (ur.): *The Black Sea Environment*. Springer-Verlag Berlin, Berlin, Njemačka, 407-421. https://doi.org/10.1007/698_5_076

12. Prilozi

Prilog 1. Metode određivanje ugljika u sedimentu

1) Metode određivanja ukupne količine ugljika (TC):

a) Destruktivne metode:

- Gubitak žarenjem (eng. *loss-on-ignition*; LOI) je jedina semi kvantitativna metoda za određivanje količine organske tvari i karbonata razaranjem spojeva pomoću zagrijavanja uzorka. Za određivanje organske tvari, lončić se zagrijava na temperaturi od 350 do 550 °C u trajanju od četiri sata do preko noći (Frangipane et al., 2009). Nakon prvog zagrijavanja, moguće je napraviti i drugo kako bi se ispario anorganski ugljik i to grijanjem uzorka na temperaturi od 900 do 1000 °C dva sata (Heiri et al., 2001). Postotak organske tvari dobije se razlikom između početne mase i one nakon grijanja puta 100 %, a postotak karbonata se dobije razlikom između mase nakon prvog grijanja i mase nakon grijanja na 900-1000 °C puta 100 %. Postotak organske tvari ili karbonata se mora podijeliti s konverzijskim faktorom kako bi se dobila količina organskog ili anorganskog ugljika.
 - i. Waksman (1936) tvrdi da se prvo spominjanje LOI metode može pripisati Ingen-Housz (1794). Prema Alexander & Byers (1932), prvo razdvajanje mjerenja organskog i anorganskog ugljika koristeći LOI metodu je objavljeno u radu Rather (1918). LOI metodu je popularizirao Dean (1974) i on se najčešće citira kao tvorac moderne metode. Obično se Van Bemmelen (1890) citira kao izvor originalnog konverzijskog faktora za organski ugljik (1,724, tj. 0,58 % ugljika u organskoj tvari), no ta pretpostavka je objavljena puno ranije u radu Sprengel (1826). Uobičajeni konverzijski faktor za karbonate (1,36) su najvjerojatnije postavili Bengtsson & Enell (1986).
- TOC analizatori ili analizatori ukupnog organskog ugljika (eng. *total organic carbon*) su uređaji koji izračunaju organski ugljik tako da izmjere anorganski i ukupni ugljik. Za ukupni ugljik nema predtretmana, dok se za organski ugljik uzorak prvo otapa kiselinom. Uzorak se zagrijava na 680 °C nakon čega se detektira nastali CO₂. Količina anorganskog ugljika se dobije iz razlike izmjerenih frakcija ugljika (Martínez-Rosa, 2010). TOC analizator je detaljnije opisan u poglavlju 5.5.
 - i. Prvo korištenje TOC analizatora radi istraživanja ugljika u tlu su najvjerojatnije proveli Young & Lindbeck (1964).

- CHNS/O analizatori ili elementni analizatori (eng. *elemental analyzer*) su uređaji koji mjere ugljik, vodik, dušik i sumpor koristeći Pregl-Dumas metodu te kisik koristeći Unterzacher metodu. Pregl-Dumas metoda obuhvaća zagrijavanje uzorka na otprilike 1000 °C kako bi se otpustili plinovi, koji budu očišćeni i zatim se detektiraju i kvantificiraju pomoću plinske kromatografije, detektora toplinske vodljivosti i infracrvenih ćelija, ovisno koji se elementi mjere (Kudzin & Waśkowski, 2004).
 - i. Dumas je svoju metodu opisao 1831. godine (Dumas, 1831), dok ju je Pregl nadogradio 1912. (Pregl, 1912). Elementni analizatori su se počeli pojavljivati u 60-ima, a pregled literature je pokazao da je prvi rad koji je njih koristio kako bi analizirao ugljik u tlu moguće bio Morris & Schnitzer (1967).
 - Laserski inducirana rastavljajuća spektroskopija (eng. *laser-induced breakdown spectroscopy*; LIBS) je metoda atomske emisijske spektroskopije kod koje se visokoenergetski laserski impuls fokusira na površinu uzorka, čime se pobuđuju atomi i ioni te oni otpuštaju zračenja prepoznatljivih valnih duljina za pojedine elemente. Za ugljik se mogu proučavati dvije emisijske linije, na 247,8 i 193 nm. Linija na 247,8 nm ima interferenciju sa željezovom linijom, pa je linija na 193 nm jednostavnija za korištenje (Martin et al., 2013). Neki znanstvenici su uspjeli dodatno razlikovati organski od anorganskog ugljika u neobrađenom uzorku (Brickley et al., 2011).
 - i. Cremers et al. (2001) su najvjerojatnije prvi koji su mjerili ugljik u tlu korištenjem LIBS metode.
- b) Nedestruktivne metode:
- Neelastično neutronske raspršenje (eng. *inelastic neutron scattering*; INS) se temelji na raspršenju 14 MeV neutrona s atoma tla ili sedimenta. Brzi neutroni bivaju uhvaćeni u jezgri atoma i ponovno izbačeni sa sniženom energijom uz emisiju karakterističnih gama zraka za pojedinu jezgru. Da se dobije koncentracija ugljika, maksimum emisije na 4,44 MeV se uspoređuje s kalibracijskim pravcem (Gehl & Rice, 2007).
 - i. INS metoda je prvi put korištena za analizu ugljika u tlu u radu Wielopolski et al. (2000).
 - Neutronska aktivacijska analiza (eng. *neutron activation analysis*; NAA) je metoda u kojoj se uzorak bombardira neutronima. Jezgre elemenata hvataju te slobodne neutrone te postaju veće i nestabilne zbog čega počinje njihov raspad. Ti raspad

mogu biti svih vrsta (α , β i γ), ali svaki element ima poznate putove raspada. Mjeri se gama zračenje koje može biti otpušteno odmah tijekom bombardiranja (brza gama NAA; eng. *prompt gamma NAA*; PGNAA) ili kasnije tijekom radioaktivnog raspada (kasna gama NAA; eng. *delayed gamma NAA*; DGNAA). Za ugljik se mjeri ista energija karakterističnog gama zračenja (4,44 MeV) kao i za INS (Hamidatou, 2013).

- i. NAA metoda je najvjerojatnije prvi put korištena za analizu ugljika u tlu u radu Obhodas et al. (2012).

2) Metode određivanja količine organskog ugljika (OC):

a) Semi kvantitativna metoda:

- Metoda digestije vodikovim peroksidom (H_2O_2) zahtjeva dodavanje koncentriranog vodikovog peroksida (30 ili 50 %) radi oksidiranja organske tvari u uzorku. Udio organske tvari se određuje gravimetrijski računanjem razlike između početne i konačne mase uzorka podijeljene s početnom masom puta 100 %. Ova metoda, kao i LOI metoda, zahtjeva korištenje korekcijskog faktora kako bi se dobiveni rezultat za organsku tvar pretvorio u organski ugljik (Schumacher, 2002).
- i. Utjecaj vodikovog peroksida na organsku tvar u tlu su prvo istraživali Coppenrath et al. (1907), dok su König et al. (1908) pokazali da vodikov peroksid pretvori većinu ukupnog ugljika u tlu u CO_2 . Peterson (1911) je prvi odredio gubitak mase uzorka zbog razaranja organske tvari vodikovim peroksidom. Robinson (1922) osniva metodu digestije vodikovim peroksidom kao predtretman radi uklanjanja organske tvari. Obično se Van Bemmelen (1890) citira kao izvor originalnog konverzijskog faktora za organski ugljik (1,724, tj. 0,58 % ugljika u organskoj tvari), no ta pretpostavka je objavljena puno ranije u radu Sprengel (1826).

b) Kvantitativne metode:

- Metode mokre kemije se mogu podijeliti u dvije faze, ekstrakcija uzorka i kvantifikacija uzorka. Standardna metoda ekstrakcije uzorka za potrebe mokre kemije je brza oksidacija organske tvari uz pomoć dikromata, a najpoznatiji je Walkley-Black postupak u kojem se uzorku dodaju kalijev dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) i koncentrirana sumporna kiselina (H_2SO_4). Zbog te nekompletne oksidacije ovog procesa, koristi se konverzijski faktor kako bi se konačni rezultati prikazali s iskoristivosti od 100 %. Kvantifikacija se može izvesti pomoću različitih metoda:

ručnom titracijom, potenciometrijskom (automatskom) titracijom, kolorimetrijskim, gravimetrijskim ili volumetrijskim/manometrijskim mjerenjima (Schumacher, 2002).

- i. Rogers & Rogers (1848) su prvi smislili metodu mokre oksidacije radi određivanja ugljika u grafitima. Određivanje ugljika u tlu pomoću te metode su prvi proveli Warrington & Peake (1880). Metoda se nastavila nadograđivati i prva generalno prihvaćena metoda za određivanje organskog ugljika je bila objavljena u radu White & Holben (1925). Kasnije su Walkley & Black (1934) objavili najpoznatiji postupak kojim su mjerili organsku tvar u tlu. Danas postoje mnogo verzije ove metode, ali se često uspoređuju s osnovnom Walkley & Black metodom. Detaljniji pregled početnog razvoja metode može se pronaći u Esteve Jr. (1938) i Kosaka et al. (1959). Obično se Van Bemmelen (1890) citira kao izvor originalnog konverzijskog faktora za organski ugljik (1,724, tj. 0,58 % ugljika u organskoj tvari), no ta pretpostavka je objavljena puno ranije u radu Sprengel (1826).
- Metode suhe kemije se također mogu podijeliti u dvije faze, metode izgaranja i metode kvantifikacije. Metode izgaranja obuhvaćaju zagrijavanje uzorka na povišenim temperaturama u otpornoj ili indukcijskoj peći u toku čistog kisika. Temperature izgaranja ovise o tipu peći i često prelaze 1000 °C. Karbonate treba ukloniti prije izgaranja, budući da će zagrijavanje uzorka na vrlo visokim temperaturama potpuno razoriti i anorganski ugljik. Kvantifikacija se može izvesti pomoću različitih metoda: titracijom, gravimetrijom, manometrijom, spektrofotometrijom ili metodom plinske kromatografije (Schumacher, 2002).
- i. Metoda suhog izgaranja radi mjerenja ugljika u tlu osnovana je u 19. stoljeću radom von Liebig (1831). Metodu su znatno unaprijedili Dumas & Stas (1840; 1841), a dodatno ju je popularizirao Pregl (1916). Kao i za metode mokre kemije, danas se koristi mnogo različitih metoda. Detaljniji povijesni pregled razvoja metode nakon Pregl (1916) može se pronaći u Kosaka et al. (1959).

3) Metode određivanja količine anorganskog ugljika (IC):

- Metoda kalcimetra po Bernardu ili Scheibleru. Karbonati prisutni u uzorku se pretvaraju u CO₂ dodavanjem razrijeđenog HCl-a. Zbog povećanja tlaka nastalog otpuštanjem CO₂, voda u bireti se podiže. Promjena razine vode je pokazatelj količine otpuštenog CO₂, iz koje se može izračunati količina karbonata. Često se ta

količina karbonata izjednačava s količinom kalcijevog karbonata (Elfaki et al., 2016).

- i. Scheibler je svoju metodu razvio 1862. (Scheibler, 1862), a Bernard 1887. (Bernard, 1887). Rad koji je najvjerojatnije prvi iskoristio kalcimetar na uzorku tla je Hall & Russell (1902).
- Metoda otapanja kalcijevog karbonata klorovodičnom kiselinom popraćena titracijom. U toj metodi se uzorku dodaje poznata količina HCl-a čime se otapa CaCO_3 i nastaje kalcijev klorid (CaCl_2), H_2O i CO_2 . Količina preostale kiseline se mjeri titracijom pomoću natrijevog hidroksida (NaOH) čime nastaje natrijev klorid (NaCl) i H_2O . Dodavanjem fenolftalein indikatora otopina postaje ružičasta kada je sva kiselina izreagirala (Rowell, 1994).
- i. Amos (1905) je najvjerojatnije prvi koji je iskoristio prijašnje razvijenu metodu titrimetrije (Brown & Escombe, 1900) za određivanja karbonata u tlu.

4) Metode određivanja količine elementarnog ugljika (EC):

- Kemotermalna oksidacija (eng. *chemo-thermal oxidation*; CTO) je metoda u kojoj se uklanjanju OC i IC i zatim mjeri isključivo EC. Uzorak biva podvrgnut 18-satnoj toplinskoj oksidaciji na 375°C kako bi se uklonila organska tvar i mikroacidifikaciji u Ag kapsulama radi uklanjanja karbonata. Naposljetku se kvantifikacija preostalog ugljika, to jest elementarnog ugljika, provodi pomoću elementne analize (Elmquist et al., 2004).
- i. CTO metoda je razvijena i prvi put primijenjena na oceanske sedimente u radu Gustafsson et al. (1997).
- Analiza benzen-polikarboksilnih kiselina (eng. *benzene polycarboxylic acids*; BPCA) cilja temeljni sastav crnog ugljika, policiklične kondenzirane strukture koje nastaju tijekom izgaranja (Wiedemeier et al., 2016). Uzorak se prvo otapa u dušičnoj kiselini, filtrira, čisti pomoću ionske smole i liofilizira kako bi se uklonila kiselina. Osušeni ostatak se otapa u smjesi metanola i vode, ispire preko uloška za ekstrakciju u čvrstoj fazi i suši. Tako pripremljen uzorak dalje ide na dodatne pripreme za plinsku ili tekuću kromatografiju (Wiedemeier et al., 2013).
- i. Iako su benzen-polikarboksilne kiseline iz elementarnog ugljika bile poznate i ranije (Hayatsu et al., 1982), BPCA metoda za procjenu elementarnog ugljika u tlu je prvi put iskorištena u radu Glaser et al. (1998).

- Termalno-optička refleksija (eng. *thermal–optical reflectance*; TOR) je metoda koja koristi sposobnost crnog ugljika da se ne pretvara u plin u inertnoj atmosferi sve do oko 700 °C, a uz kisik počinje oksidirati tek na 340 °C. Priprema uzorka počinje uklanjanjem karbonata i nekih drugih minerala pomoću raznih kiselina. Uzorak se dodatno stepeničasto zagrijava prvo u inertnoj (He) atmosferi kako bi se uklonio organski ugljik, a zatim u O : He (2 % : 98 %) atmosferi kako bi se uklonio crni ugljik. Nastali plinovi se pretvaraju u CO₂, koji se pretvara u CH₄ i mjeri. Organske frakcije se mjere na 140, 280, 480 i 580 °C, a EC na 580, 740 i 840 °C (Zhan et al., 2013).
 - i. Han et al. (2007) su prvi upotrijebili TOR metodu za analizu elementarnog ugljika u tlima i morskim sedimentima.

5) Metode fazne analize ugljika:

- Metoda rendgenske difrakcije (eng. *X-ray diffraction*; XRD) se temelji na sposobnosti određenih kristala da difraktiraju rendgenske zrake na specifični način čime omogućuju temeljito proučavanje strukture prisutnih kristalnih faza. Fotoni rendgenskih zraka bivaju raspršeni u svim smjerovima, no zbog prirode kristalne strukture, doći će do konstruktivnih ili destruktivnih interakcija između raspršenih zraka i time do karakterističnog difrakcijskog fenomena koji može otkriti točni mineralni sastav uzorka. Iz dobivenog difraktograma mogu se identificirati faze anorganskog ugljika (Choi et al., 2017). XRD metoda je detaljnije opisana u poglavlju 5.4.
 - i. Hendricks & Fry (1930) su prvi put iskoristili XRD metodu kako bi proučili strukturu minerala u tlu.
- Metoda spektrometrije masa (eng. *mass spectrometry*; MS) ima više varijacija, ali u svima se uzorak ionizira čime nastaju molekularni ioni (originalne molekule) i fragmentirani dijelovi molekula. Svaki ion ima svoj signal iz kojeg se može prepoznati te se oni razdvajaju po masi ili naboju i detektiraju. Iz dobivenih signala može se zaključiti koje molekule su bile prisutne u uzorku. Ako se koriste MS metode s odličnom rezolucijom, poput spektrometrije masa ionsko-ciklotronske rezonancije uz Fourierovu transformaciju (eng. *Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry*; FT-ICR MS) moguće je razlučiti skoro sve signale i time odrediti sastav elementarnog ugljika (Kramer et al., 2004).

- i. MS metoda je prvi put upotrijebljena za analizu tla radi mjerenja dušika u radu Norman & Werkman (1943), dok je najvjerojatnije prvi put iskorištena za mjerenje ugljika u tlu 1945. godine (West, 1945), a u sedimentu 1953. godine (Craig, 1953).
- Nuklearna magnetska rezonancija (eng. *nuclear magnetic resonance*; NMR) je analitička metoda koja funkcionira na principu mjerenja karakteristične energije koja biva apsorbirana i ponovno emitirana ili raspršena iz atomskih jezgara koje su postavljene u statično magnetsko polje i zatim podvrgnute oscilacijskom magnetnom polju poznate radiofrekvencije. Ova metoda može razlikovati faze i podrijetlo organskog i elementarnog ugljika (Rumpel et al., 2001).
 - i. NMR metoda je prvi put primijenjena za analizu organske tvari u tlu u radu Barton & Schnitzer (1963). Prva 2D NMR metoda na uzorcima tla je izvedena 1989. (Buddrus et al., 1989), a prva 3D NMR 2003. godine (Simpson et al., 2003).
- Metode infracrvene spektroskopije (eng. *infrared spectroscopy*; IRS) mogu identificirati faze organskog i anorganskog ugljika. Uzorak se zrači infracrvenim zračenjem zbog čega se njegove molekulske veze rastežu ili deformiraju s određenom frekvencijom. Budući da svaki tip kemijske veze između ugljika, kisika ili dušika s vodikom ima posebnu sposobnost apsorpcije, može se jednostavno identificirati koji su spojevi prisutni u uzorku (Nguyen et al., 1991). Za tlo i sedimente se obično koriste metode bliske infracrvene spektroskopije (eng. *near-infrared spectroscopy*; NIRS; valna duljina: 0,7 - 1,4 μm) (Siebielec et al., 2004) i srednje infracrvene spektroskopije (eng. *mid-infrared spectroscopy*; MIR; valna duljina: 3 - 8 μm) (Comstock et al., 2019).
 - i. Rad koji je najvjerojatnije prvi iskoristio infracrvenu spektroskopiju za istraživanje organske tvari u tlu je Bowers & Hanks (1965).
- Piroliza (eng. *pyrolysis*) je metoda koja koristi termalnu degradaciju kako bi raskinula kemijske veze unutar organskih makromolekula. Kad je toplinska energija veća od energije pojedine veze, kemijska veza će disocirati na predvidljiv način. Nastale manje molekule se mjere i pružaju informaciju o prijašnjem sastavu organske tvari. Jedna metoda mjerenja je pirolizna plinska kromatografija - masena spektrometrija (eng. *pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry*; Py-GC/MS) u kojoj se fragmenti nastali pirolizom provode kroz klasični GC/MS sustav radi identifikacije (Mehrabanian, 2013).

- i. Metoda pirolize je prvi put upotrijebljena na cjelokupni uzorak tla radi analize organske tvari u radu Bracewell (1971).

6) Metode mjerenja izotopa ugljika:

- Stabilni izotopi se mjeri metodama spektrometrije masa. Spektrometrijska metoda određivanja omjera masa izotopa (eng. *isotope-ratio mass spectrometry*; IRMS) je modificirana metoda spektrometrije masa koja se danas najčešće koristi za identificiranje stabilnih izotopa ugljika. Osnovna teorija iza njegovog funkcioniranja je prethodno opisana za MS. Radi dobivanja uzorka u plinovitom stanju, IRMS se povezuje na elementni analizator, tekuću ili plinsku kromatografiju (Révész et al., 2012). Dodatna MS metoda koja se sve više koristi za mjerenje stabilnih izotopa je akceleratorska masena spektrometrija (eng. *accelerator mass spectrometry*; AMS). Ona uključuje dodatno ubrzavanje korištenjem elektrostatičkog tandem akceleratora ili ciklotrona i zato može jednostavnije razdvojiti izotope i izobara te lakše mjeriti izotope ugljika, uključujući i nestabilni ^{14}C izotop (Mcintyre, 2017).
 - i. Stabilni izotopi ugljika u tlu su najvjerojatnije prvi put izmjereni 1945. godine (West, 1945), a u sedimentu 1953. godine (Craig, 1953).
- Nestabilni izotop ugljika se mjeri pomoću različitih brojača ili AMS metodom. U početku se mjerenje ^{14}C izotopa provodilo koristeći Geigerov brojač. Budući da je to bilo preskupo, razvile su se metode plinskog proporcionalnog brojača (eng. *gas proportional counter*; GPC) i tekućinskog scintilacijskog brojača (eng. *liquid scintillation counter*; LSC). Ove tri metode su radiometrijske metode koje mjere β -čestice (e^-) nastale β -raspadom ^{14}C . GPC metoda prvo pretvara uzorak u plin, kako bi nastao CO_2 . β -čestice iz nastalog plina ioniziraju molekule plina u brojaču i iza sebe ostavljaju katione i elektrone. Elektroni putuju prema anodi brojača, na putu rade dodatne parove ion-elektron i na anodi se broje. LSC metoda pretvara uzorak u tekućinu i dodaje mu scintilator koji proizvodi pulseve svjetlosnih fotona kada ima interakciju s β -česticom. Svakom interakcijom s β -česticom, scintilator proizvodi foton, tako da je broj emitiranih fotona proporcionalan energiji ionizacije. Fotokatoda pretvara fotone u elektrone, fotomultiplikator ih ubrzava i umnožava i dobije se električni impuls koji je proporcionalan amplitudi svjetla, odnosno energiji upadne čestice (Bronić et al, 2010).

- i. Prvo mjerenje nestabilnog izotopa ugljika sedimentu, točnije u ljušturama školjkaša iz morskog sedimenta, proveo je osnivač ^{14}C datiranja, Willard Frank Libby, 1949. godine (Libby et al., 1949).

Prilog 2. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Bospor, Turska							
Moore & O'Neill (1991)	1988	85	box korer	21	0,13*	²¹⁰ Pb, ³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS 4-3
Hiscott et al. (2007)	2002	69	gravitacijski i klipni korer	950	0,125	¹⁴ C	M02-45
Mertens et al. (2012)	–	10	gravitacijski korer	–	1,00	¹⁴ C	MAR02-45TWC
Yücel et al. (2012)	2003	87	hidraulički korer	15	0,21	¹³⁷ Cs (1986)	9–2
Sarı et al. (2018)	2012	304	gravitacijski korer	122	1986-2012. - 1,00 1963-2012. - 0,78	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	KD12-07
grad Akçakoca, Turska							
Mertens et al. (2012)	–	75	gravitacijski korer	–	0,032	¹⁴ C	M05-4G
grad Türkeli, Turska							
Arthur et al. (1994)	1988	411	gravitacijski korer	422	0,0097- 0,0140*	lamine	GC71
	1988	707	gravitacijski korer	369	0,0080- 0,0153*	lamine	GC79
Arthur & Dean (1998)	1988	411	gravitacijski korer	422	0,0214-0,0250	¹⁴ C, lamine	GC71
	1988	707	gravitacijski korer	369	0,0159-0,0250	¹⁴ C, lamine	GC79
Yücel et al. (2012)	2003	110	gravitacijski korer	11	0,088	¹³⁷ Cs (1986)	8–29

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Sinopski zaljev, Turska							
Cowie & Hedges (1991), Anderson & Fleisher (1991)	1998	198	box korer	55	0,90	²¹⁰ Pb	BS4-15
	1998	97	box korer	25	0,10	²¹⁰ Pb	BS4-17
Moore & O'Neill (1991)	1988	198	box korer	55	0,20*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS 4-15
	1988	97	box korer	25	0,35*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS 4-17
Calvert et al. (1991)	1998	198	box korer	55	0,017	¹⁴ C	BS4-15BC
Anderson et al. (1994)	1988	198	box korer	21	0,77	²¹⁰ Pb	15
	1988	129	box korer	25,5	<0,06	²¹⁰ Pb	16
	1988	160	box korer	28,5	0,10-0,12	²¹⁰ Pb	16B
	1988	97	box korer	25	<0,09	²¹⁰ Pb	17
	1988	170	box korer	33,5	0,23	²¹⁰ Pb	26
	1988	198	box korer	55	0,80	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴ C	Station 15
turska obala							
Ross et al. (1970)	1969	–	gravitacijski, klipni, box korer	≤1150	>0,03	¹⁴ C	–
ušće rijeke Çoruh, Gruzija							
Gulin et al. (2003)	2000	70	hidraulički korer	39	0,70	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	–
Gulin et al. (2008), Gulin et al. (2013), Egorov et al. (2013), Gulin et al. (2014), Mirzoeva et al. (2018)	2000	70	hidraulički korer	–	0,53	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	1, Устье р. Чорух, Coruh River mouth front

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
grad Dzhubga, Rusija							
Ivanova et al. (2007)	2001	101	gravitacijski korer	200	0,006	¹⁴ C	Ak 521
	2001	93	gravitacijski korer	230	0,028	¹⁴ C	Ak 522
Ivanova et al. (2015)	2007	99	gravitacijski korer	186	0,008	¹⁴ C	Ak-2575
grad Novorosijsk, Rusija							
Shimkus et al. (1998)	1993	66	gravitacijski korer	100	0,40-0,43	²¹⁰ Pb (CF), ¹³⁷ Cs	R-796-3
Ivanova et al. (2007)	2001	55	gravitacijski korer	203	0,030	¹⁴ C	Ak 497
	2001	71	gravitacijski korer	214	0,042	¹⁴ C	Ak 500
Ivanova et al. (2014)	2009	31	gravitacijski korer	28	0,19-0,21	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	Ash-2009-08
Kerčka vrata, Rusija-Krim							
Gulin et al. (2019a)	2013	270	hidraulički korer	–	0,17	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	3
Kojaško jezero, Krim							
Gulina & Gulin (2011), Mirzoyeva et al. (2015)	2009	0,15	ručni korer	20	0,109-0,117	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	–
jezero Aqtas, Krim							
Mirzoeva et al. (2022)	2017	2	ručni korer	50	1971-2017. - 0,50 1954-1971. - 1,00-1,50	⁹⁰ Sr	–
jezero Krasne, Krim							
Mirzoeva (2018)	2016-2018	–	ručni korer	<13	2,50	¹³⁷ Cs	–

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
jezera poluotoka Krim, Krim							
Mirzoeva et al. (2021)	–	–	–	<40	0,17-2,50	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr, ²³⁸ Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	–
grad Kaihador/Ordzhonikidze, Krim							
Egorov et al. (2013), Mirzoeva et al. (2018)	2003-2012	45	hidraulički korer	–	0,55	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Ct. 1
	2003-2012	545	hidraulički korer	–	0,41	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Ct. 4
grad Jalta, Krim							
Mirzoeva (2018)	2017	–	ručni korer	<13	0,50-0,83	¹³⁷ Cs	–
Egorov et al. (2023)	2019	41	gravitacijski korer	23	0, 2860-0,3036	¹³⁷ Cs (1963, 1986), ⁹⁰ Sr	5
	2020	58	gravitacijski korer	20	0,263	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	6
zaljev Balaklava, Krim							
Egorov et al. (2013), Mirzoeva et al. (2018)	2003-2012	7,7	hidraulički korer	–	0,52	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Ct. 1
	2003-2012	12	hidraulički korer	–	0,55	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Ct. 2
	2003-2012	27	hidraulički korer	–	0,53	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Ct. 3
Kremenchutskii & Gurov (2021a, 2021b)	2015	6-9	gravitacijski korer	18	0,55	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	Column 1
	2015	13	gravitacijski korer	15,5	0,55	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	Column 2
	2019	6-9	gravitacijski korer	19	0,45	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	Column 3
	2019	6-9	gravitacijski korer	14,5	0,45	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	Column 4
	2019	6-9	gravitacijski korer	16,5	0,52	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	Column 5

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
zaljev Streletsкая, Krim							
Egorov et al. (2013)	2003-2012	25	hidraulički korer	–	0,23	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Внешний рейд
Egorov et al. (2013), Mirzoeva et al. (2018)	2003-2012	4	hidraulički korer	–	0,35	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	Стрелецкая бухта
grad Sevastopolj, Krim							
Yücel et al. (2012)	2003	90	hidraulički korer	19	0,21	¹³⁷ Cs (1986)	8–3
Sevastopoljski zaljev, Krim							
Gulin et al. (2008)	1998	15	hidraulički korer	–	0,24	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	2
Egorov et al. (2013)	2003-2012	13	hidraulički korer	–	0,46	¹³⁷ Cs, ⁹⁰ Sr	–
Gulin et al. (2013), Gulin et al. (2014), Egorov et al. (2018), Mirzoeva et al. (2018)	2001-2011	4	hidraulički korer	–	0,93	¹³⁷ Cs, ⁴⁰ K	Inkerman, Black River estuary
	2001-2011	15	hidraulički korer	–	0,33	¹³⁷ Cs, ⁴⁰ K	Gollandiya, Mid-Bay area
	2001-2011	22	hidraulički korer	–	0,23	¹³⁷ Cs, ⁴⁰ K	Vneshnyaya akvatoriya, Sevastopol outer roadstead
Gulin et al. (2019b)	–	–	hidraulički korer	–	0,50*	²³⁴ Th	–
Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2007	15	hidraulički korer, box korer	7-32	0,25	²³⁸ Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	11
Karkinitski zaljev, Krim							
EMODnet (2023b)	2006	21	hidraulički korer	–	0,23	²¹⁰ Pb	C1

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
NPP „Biloberezhia Sviatoslava“, Ukrajina							
Sibirchenko et al. (1987), EMODnet (2023b)	1987	17,5	klipni korer	–	0,041	¹⁴ C	3088/pc/129/30/210
	1987	16,7	klipni korer	–	0,018	¹⁴ C	3088/pc/129/33/155
	1987	7,8	klipni korer	–	0,071	¹⁴ C	3088/pc/132/18/120
	1987	7,2	klipni korer	–	0,75	¹⁴ C	3088/pc/133/15/170
	1987	5,5	klipni korer	–	0,85	¹⁴ C	3088/pc/134/15/170
	1987	13	klipni korer	–	0,049	¹⁴ C	3088/pc/134/20/145
	1987	14	klipni korer	–	0,043	¹⁴ C	3088/pc/134/21/300
	1987	15,6	klipni korer	–	0,061	¹⁴ C	3088/pc/134/35/140
	1987	15,7	klipni korer	–	0,046	¹⁴ C	3088/pc/136/22/350
	1987	11	klipni korer	–	0,033	¹⁴ C	3088/pc/137/16/55
	1987	12,7	klipni korer	–	0,015	¹⁴ C	3088/pc/138/22/45
	1987	10,5	klipni korer	–	0,065	¹⁴ C	3088/pc/139/11/160
	1987	13	klipni korer	–	0,012	¹⁴ C	3088/pc/140/38/65
	1987	5,2	klipni korer	–	0,071	¹⁴ C	3088/pc/163/4/120
Gulin et al. (2000), Gulin et al. (2002), Gulin et al. (2008), Gulin et al. (2013), Egorov et al. (2013), Gulin et al. (2014), Mirzoeva et al. (2018)	1997	13	box korer	30	0,92	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	B, 1, Dnieper-Bug estuary front
Laptev & Voitsekhovich (2009)	1997	13	hidraulički korer	–	0,367*	²¹⁰ Pb	DN-97
Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2013	20	hidraulički korer, box korer	7-32	0,41	²³⁸ Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	12

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Dnjeparsko-buški liman, Ukrajina							
Podoplelov et al. (1977), EMODnet (2023b)	1977	5,6	klipni korer	–	0,027	¹⁴ C	2165/pc//645/200
	1987	4,8	klipni korer	–	0,10	¹⁴ C	3088/pc/144/5/300
Sibirchenko et al. (1987), EMODnet (2023b)	1987	5,2	klipni korer	–	0,054	¹⁴ C	3088/pc/158/3a/190
	1986	2	bušotina	–	0,071	¹⁴ C	3088/cd//239/210
Berezanski liman, Ukrajina							
EMODnet (2023b)	2011	5	bušotina	–	0,167	¹⁴ C	OSU1/cd//2/10
estuarij Kuialnyk, Ukrajina							
Medinets et al. (2017), Medinets et al. (2020)	2016	0,10-0,15	ručni korer	60	0,11- 0,25	¹³⁷ Cs (1962, 1986), ⁴⁰ K	D1
	2016	0,35-0,40	ručni korer	60	0,07- 0,21	¹³⁷ Cs (1962, 1986)	D2
grad Odesa, Ukrajina							
Podoplelov et al. (1977), EMODnet (2023b)	1977	20	klipni korer	–	0,013	¹⁴ C	2165/pc//40/125
	1977	20,5	klipni korer	–	0,027	¹⁴ C	2165/pc//125/230
EMODnet (2023b)	2006	13	hidraulički korer	–	0,64	²¹⁰ Pb	D1

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
delta rijeke Dunav, Ukrajina-Rumunjska							
Podoplelov et al. (1977), EMODnet (2023b)	1977	20,5	klipni korer	–	0,02	¹⁴ C	2165/pc//168/140
	1977	13	klipni korer	–	0,019	¹⁴ C	2165/pc//212/130
Curtis & Broadway (1992)	1990	27	box korer	50	<1,00	¹³⁷ Cs	4
Gulin et al. (1997a, 1997b)	1994	26	box korer	–	0,70-1,10	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	5237
Egorov et al. (1999), Gulin et al. (2000), Gulin et al. (2002), Gulin et al. (2008), Gulin et al. (2013), Egorov et al. (2013), Gulin et al. (2014), Mirzoeva et al. (2018)	1994	26	box korer	30	1,15	¹³⁷ Cs	1, A, 2, Danube delta front
Wijsman et al. (1999)	1990	27	box korer	50	0,70	¹³⁷ Cs	–
Winguth et al. (2000)	1992-1994	–	bušotina	–	0-25 god - 0,280 25-75 god - 0,188 75-190 god - 0,129	seizmička stratigrafija	Danube Fan
	1992-1994	–	bušotina	–	0-25 god - 0,464 25-75 god - 0,048 75-190 god - 0,150	seizmička stratigrafija	Dniepr Fan
Laptev & Voitsekhovich (2009), Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2003	38	hidraulički korer	–	2,10	²¹⁰ Pb	37SG035, 2
	1998	47	hidraulički korer	–	0,90	²¹⁰ Pb	BS98-3, 3
	2003	52	hidraulički korer	–	0,40	²¹⁰ Pb	36SG045, 4
Constantinescu et al. (2023)	2015	2	hidraulički korer	119	>1986. - 2,44-2,47 <1986. - 1,20-1,70	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	DNMU15
	2015	1	hidraulički korer	59	>1986. - 1,27-2,24 <1986. - 0,40-0,89	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	DNSN15
	2015	1	hidraulički korer	99	>1986. - 0,15-2,00 <1986. - 0,26-1,85	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	DNSC15

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Constantinescu et al. (2023)	2016	18,9	hidraulički korer	35	>1986. - 0,83-1,09 <1986. - 0,13	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1986)	S007
	2016	24,6	hidraulički korer	39	>1986. - 0,67-0,95 <1986. - 0,25-0,66	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	S002
	2016	33,7	hidraulički korer	18	>1986. - 0,08-0,095 <1986. - 0,10-0,61	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	S008
	2016	44,8	hidraulički korer	27	>1986. - 0,098-0,12 <1986. - 0,118-0,35	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	S003
	2016	30	gravitacijski korer	100	>1986. - 0,43-0,54 <1986. - 0,30-0,48	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	S001
EMODnet (2023b)	2006	23	hidraulički korer	–	0,33	²¹⁰ Pb	E1
	2006	20	hidraulički korer	–	0,71	²¹⁰ Pb	E3
	2006	42	hidraulički korer	–	0,52	²¹⁰ Pb	F2
jezera i kanali delte rijeke Dunav, Rumunjska							
Duliu et al. (1996)	1994	2,5	klipni korer	38	0,15*	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	–
Winkels et al. (1998)	1994	–	otvoreno svrdlo	60	1,00	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	b, c
	1994	–	otvoreno svrdlo	60	5,00-10,00	¹³⁷ Cs (1986)	d
	1994	–	otvoreno svrdlo	60	5,00	¹³⁷ Cs (1986)	e
	1994	–	otvoreno svrdlo	60	5,00	¹³⁷ Cs (1986)	e
Dinescu & Duliu (2001)	1996	–	ručni korer	50	0,81	¹³⁷ Cs (1986)	Furtuna (core # 4)
	1996	–	ručni korer	60	0,80	¹³⁷ Cs (1986)	Mesteru (core # 6)
	1996	–	ručni korer	100	0,60	¹³⁷ Cs (1986)	Lung (core # 7)
Dinescu et al. (2005)	1996	–	–	–	0,42	¹³⁷ Cs (1963)	Furtuna - Eastern
	1996	–	–	–	0,81	¹³⁷ Cs (1963)	Furtuna - Western
	1996	–	–	–	0,09	¹³⁷ Cs (1963)	Matita - Middle
	1996	–	–	–	0,50	¹¹³⁷ Cs (1963)	Mesteru - Middle
	1996	–	–	–	0,60	¹³⁷ Cs (1963)	Lung - Middle

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Giosan et al. (2013)	–	–	klipni korer	–	1986. - 0,32 1954. - 0,43	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	G1
	–	–	klipni korer	–	1986. - 0,32 1963. - 0,60 1954. - 0,94	¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	E1
	–	–	klipni korer	–	1954. - 0,13	¹³⁷ Cs (1954)	B1
Begy et al. (2015a)	2013	1,9	gravitacijski korer	60	0,04-5,15	²¹⁰ Pb	IA3
	2013	2	gravitacijski korer	69	0,05-1,48	²¹⁰ Pb	IA4
Begy et al. (2015b)	–	1,9	gravitacijski korer	58	0,09-1,83	²¹⁰ Pb	ME15
	–	1,8	gravitacijski korer	66	0,06-0,43	²¹⁰ Pb	ME16
Begy et al. (2016), Begy et al. (2018a)	–	4	–	73	1989-2013. - 0,259* 1972-1989. - 0,074* 1940-1972. - 0,103*	²¹⁰ Pb (CRS)	CR1
	–	4	–	74	1989-2013. - 0,097* 1972-1989. - 0,243* 1940-1972. - 0,097*	²¹⁰ Pb (CRS)	CR2
	–	3,8	–	38	1989-2013. - 0,497* 1972-1989. - 0,115* 1940-1972. - 0,445*	²¹⁰ Pb (CRS)	CR11
	–	3,8	–	36	1989-2013. - 0,335* 1972-1989. - 0,138* 1940-1972. - 0,283*	²¹⁰ Pb (CRS)	CR12
	–	3,5	–	44	1989-2013. - 0,348* 1972-1989. - 0,111* 1940-1972. - 0,264*	²¹⁰ Pb (CRS)	CR13
	–	1,7-1,8	gravitacijski korer	40-70	1989-2013. - 1,38* 1972-1989. - 0,57* 1940-1972. - 0,21*	²¹⁰ Pb (CRS)	MA18, MA20, MA117

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Begy et al. (2018a)	–	3,5-4,2	gravitacijski korer	60-78	1989-2013. - 1,00* 1972-1989. - 0,27* 1940-1972. - 0,26*	²¹⁰ Pb (CRS)	UZII7, UZ8, UZ10
	–	2,5-2,7	gravitacijski korer	80	1989-2013. - 0,68* 1972-1989. - 0,38* 1940-1972. - 0,19*	²¹⁰ Pb (CRS)	CU7, CUII11
Begy et al. (2018a)	–	1,7-1,9	gravitacijski korer	58-81	1989-2013. - 1,14* 1972-1989. - 0,43* 1940-1972. - 0,25*	²¹⁰ Pb (CRS)	MEII19, MEII20, MEII21
Begy et al. (2018a, 2018b)	2013, 2014	3-3,2	gravitacijski korer	40-55	1989-2013. - 0,72* 1972-1989. - 0,27* 1940-1972. - 0,45*	²¹⁰ Pb (CRS)	ISII9, ISII10, IS11, IS12
Begy et al. (2018a, 2018b)	2013, 2014	2-2,2	gravitacijski korer	35-70	1989-2013. - 0,68* 1972-1989. - 0,21* 1940-1972. - 0,42*	²¹⁰ Pb (CRS)	IA3, IA4, IAI15, IAI16
Constantinescu et al. (2023)	2016	2	hidraulički korer	65,5	>1986. - 0,35-0,37 <1986. - 0,14-0,24	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	DNMA15
	2016	2,3	hidraulički korer	55	>1986. - 0,50 <1986. - 0,20-0,28	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1961, 1986)	DNRO15
	2016	2,1	hidraulički korer	60	>1986. - 1,31-1,77 <1986. - 0,71	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1986)	DNGT15
	2016	1,4	hidraulički korer	46,5	>1986. - 1,65 <1986. - 0,32	²¹⁰ Pb (CRS)	DNCC15
grad Constanța, Rumunjska							
Laptev & Voitsekhovich (2009), Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2000	60	hidraulički korer, box korer	–	0,032*	²¹⁰ Pb	10
EMODnet (2023b)	2003	46	hidraulički korer	–	0,09	²¹⁰ Pb	25CT045

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
grad Burgas, Bugarska							
Laptev & Voitsekhovich (2009)	–	–	hidraulički korer, box korer	–	0,085*	²¹⁰ Pb	–
EMODnet (2023b)	2003	67	hidraulički korer	–	0,38	²¹⁰ Pb	13BG065
dubokomorski istočni bazen							
Degens & Ross (1972)	1969	2117	klipni korer	1200	0-70 cm - 0,01 70-330 cm - 0,04 330-580 cm - 0,07 580-1120 cm - 0,09	¹⁴ C	1474
Glenn & Arthur (1985)	1969	960	gravitacijski korer	217	0,0393-0,0400	¹⁴ C	Core 1470
Calvert et al. (1987)	1969	906	gravitacijski korer	205	0,0215-0,0380	¹⁴ C	Core 1470
Hay et al. (1991)	1988	2164	box korer	41	0,00702*	lamine	BC55
Barnes & Cochran (1991), Crusius & Anderson (1991)	–	2150	box korer	–	0,015	²¹⁰ Pb	BS4-18A
Anderson & Fleisher (1991)	1988	2149	box korer	–	0,02	²¹⁰ Pb	18A
Moore & O'Neill (1991)	1988	1765	box korer	40	0,13*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS4-19
Crusius & Anderson (1992)	1988	2150	box korer	21,35	0,005*	²¹⁰ Pb (CRS)	18A
Arthur et al. (1994)	1998	2164	box korer	50	0,0076*	lamine	BC55
	1998	600	box korer	457	0,0094*	lamine	GC59
Duman (1994)	1987-1990	–	–	–	0,03	lamine	–
Arthur & Dean (1998)	1988	600	gravitacijski korer	457	0,0202-0,0280	geomagnetske varijacije	GC59
Shimkus et al. (1998)	1993	>1200	gravitacijski korer	100	0,57	¹³⁷ Cs	R-807-3
Laptev et al. (2002), Laptev et al. (2004)	2000	2147	hidraulički korer	–	0,11	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-4
	2000	1880	hidraulički korer	–	0,30	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-11
	2000	2167	hidraulički korer	–	0,18	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-23

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Laptyev et al. (2004)	2000	2147	hidraulički korer	–	0,0035*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-4
	2000	1892	hidraulički korer	–	0,0083*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-11
	2000	2168	hidraulički korer	–	0,0041*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-23
Teodoru et al. (2007)	1998	2121	gravitacijski korer	20-80	0,02	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	BLS.98-6
Laptev & Voitsekhovich (2009)	2000	1880	hidraulički korer	–	0,0075*	²¹⁰ Pb	BS2K-11
Mertens et al. (2009), Mertens et al. (2012)	1988	2154	box korer	33	0,017	¹⁴ C	BC53 core
Mertens et al. (2012)	–	842	gravitacijski korer	–	0,03125	¹⁴ C	Core 22-MUC-1
	–	418	gravitacijski korer	–	0,03125	¹⁴ C	Core 25-MUC-2
Yücel et al. (2012)	2003	2145	hidraulički korer	10	0,047-0,140	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1986)	8–7
	2003	1741	hidraulički korer	18	0,74	¹³⁷ Cs (1986)	8–19
	2003	2002	hidraulički korer	12	0,048-0,210	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1986)	8–23
	2003	2073	hidraulički korer	16	0,047-0,210	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1986)	8–28
Eckert (2014)	2007	847,9	gravitacijski korer	957	0,0076	prosjeck starosti slojeva iz literature	22-GC-7
Laptev & Smith (2019)	–	–	hidraulički korer	–	0,004-0,015*	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	–
zapadni šelf i padina							
Degens et al. (1976), Degens et al. (1978), Degens et al. (1980)	1975	470	gravitacijski korer	116	0,07	lamine	Core 35, Kern 35
Podoplelov et al. (1977), EMODnet (2023b)	1977	36	klipni korer	–	0,058	¹⁴ C	2165/pc//373/180
	1977	44,1	klipni korer	–	0,073	¹⁴ C	2165/pc//378/130
	1977	40,6	klipni korer	–	0,132	¹⁴ C	2165/pc//383/75
Degens et al. (1978)	–	470	–	–	0,067	lamine	35
Sibirchenko et al. (1983), EMODnet (2023b)	1983	39,5	klipni korer	–	0,007	¹⁴ C	3029/pc//711/25
	1983	24,5	klipni korer	–	0,005	¹⁴ C	3029/pc//775/30
	1983	24,3	klipni korer	–	0,006	¹⁴ C	3029/pc//776/15
	1983	24,7	klipni korer	–	0,011	¹⁴ C	3029/pc//788/95

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Sibirchenko et al. (1983), EMODnet (2023b)	1983	21	klipni korer	–	0,015	¹⁴ C	3029/pc//805/130
	1983	45,3	klipni korer	–	0,008	¹⁴ C	3029/pc//830/80
	1983	41,6	klipni korer	–	0,013	¹⁴ C	3029/pc//868/125
	1983	120	klipni korer	–	0,008	¹⁴ C	3029/pc//1517/50
Ivanov et al. (1990), EMODnet (2023b)	1990	115	klipni korer	–	0,003	¹⁴ C	3129/pc//2113/20
	1990	130	klipni korer	–	0,013	¹⁴ C	3129/pc//2662/105
	1990	120	klipni korer	–	0,014	¹⁴ C	3129/pc//2678/65
	1990	74	klipni korer	–	0,021	¹⁴ C	3129/pc//2016/40
	1990	100	klipni korer	–	0,013	¹⁴ C	3129/pc//2026/50
	1990	87,5	klipni korer	–	0,008	¹⁴ C	3129/pc//2065/30
	1990	1485	klipni korer	–	0,007	¹⁴ C	3129/pc//2226/35
	1990	560	klipni korer	–	0,009	¹⁴ C	3129/pc//2328/50
	1990	1580	klipni korer	–	0,011	¹⁴ C	3129/pc//2346/50
	1990	610	klipni korer	–	0,017	¹⁴ C	3129/pc//2391/105
	1990	1965	klipni korer	–	0,021	¹⁴ C	3129/pc//2612/20
	1990	500	klipni korer	–	0,008	¹⁴ C	3129/pc//2056/30
	1990	1340	klipni korer	–	0,006	¹⁴ C	3129/pc//2085/25
	1990	1500	klipni korer	–	0,006	¹⁴ C	3129/pc//2087/15
	1990	1650	klipni korer	–	0,005	¹⁴ C	3129/pc//2089/20
	1990	1710	klipni korer	–	0,006	¹⁴ C	3129/pc//2130/15
	1990	1105	klipni korer	–	0,018	¹⁴ C	3129/pc//2222/65
	1990	1410	klipni korer	–	0,007	¹⁴ C	3129/pc//2225/35
	1990	1560	klipni korer	–	0,009	¹⁴ C	3129/pc//2337/55
	1990	954	klipni korer	–	0,016	¹⁴ C	3129/pc//2355/50
	1990	515	klipni korer	–	0,009	¹⁴ C	3129/pc//2370/85
	1990	1520	klipni korer	–	0,009	¹⁴ C	3129/pc//2402/50
	1990	1415	klipni korer	–	0,004	¹⁴ C	3129/pc//2490/10
	1990	1155	klipni korer	–	0,003	¹⁴ C	3129/pc//2520/15

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Ivanov et al. (1990), EMODnet (2023b)	1990	1595	klipni korer	–	0,009	¹⁴ C	3129/pc//2528/50
	1990	800	klipni korer	–	0,021	¹⁴ C	3129/pc//2512/20
	1990	1550	klipni korer	–	0,011	¹⁴ C	3129/pc//2646/50
	1990	1565	klipni korer	–	0,017	¹⁴ C	3129/pc//2691/105
	1990	195	klipni korer	–	0,007	¹⁴ C	3129/pc//2873/20
Barnes & Cochran (1991)	1988	235	box korer	–	0,62	²¹⁰ Pb	BS4-5
Curtis & Broadway (1992)	1990	105	box korer	50	<1,00	¹³⁷ Cs	5
	1990	114	box korer	50	<1,00	¹³⁷ Cs	7
Arthur et al. (1994)	1988	549	gravitacijski korer	379	0,0074-0,0202*	lamine	GC01
	1988	1259	gravitacijski korer	283	0,003*	lamine	GC09
Jones & Gagnon (1994)	1988	1259	gravitacijski korer	283	0,02	¹⁴ C	KNR134-08 GGC09
Domanov et al. (1996)	–	68	gravitacijski korer	–	0,0133	¹³⁷ Cs	Akvan-01
	–	58	gravitacijski korer	–	0,0083	¹³⁷ Cs	Akvan-02
	–	50	gravitacijski korer	–	0,0083	¹³⁷ Cs	Akvan-03
	–	50	gravitacijski korer	–	0,0073	¹³⁷ Cs	Akvan-03a
	–	46	gravitacijski korer	–	0,0073	¹³⁷ Cs	Akvan-04
	–	42	gravitacijski korer	–	0,0057	¹³⁷ Cs	Akvan-05
	–	76	gravitacijski korer	–	0,0240	¹³⁷ Cs	Akvan-06
	–	104	gravitacijski korer	–	0,0100	¹³⁷ Cs	Akvan-07
	–	98	gravitacijski korer	–	0,0133	¹³⁷ Cs	Akvan-08
	–	104	gravitacijski korer	–	0,0083	¹³⁷ Cs	Akvan-10
	–	90	gravitacijski korer	–	0,0200	¹³⁷ Cs	Akvan-11
	–	144	gravitacijski korer	–	0,0003	¹³⁷ Cs	Akvan-13
	–	680	gravitacijski korer	–	0,0143	¹³⁷ Cs	Akvan-15
	–	940	gravitacijski korer	–	0,0233	¹³⁷ Cs	Akvan-16
	–	1090	gravitacijski korer	–	0,0003	¹³⁷ Cs	Akvan-17
	–	1590	gravitacijski korer	–	0,0253	¹³⁷ Cs	Akvan-18

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Gulin et al. (1997a, 1997b), Egorov et al. (1999), Gulin et al. (2000), Gulin et al. (2002), Gulin et al. (2008), Gulin et al. (2013), Egorov et al. (2013), Gulin et al. (2014), Mirzoeva et al. (2018)	1994	607	box korer	–	0,219-0,226	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	D, 4, NW continental slope
Arthur & Dean (1998)	1988	549	gravitacijski korer	379	0,0162- 0,0330	¹⁴ C, lamine	GC01
	1988	1259	gravitacijski korer	283	0,0078- 0,0105	¹⁴ C, lamine	GC09
Calvert & Karlin (1998)	1969	549	box korer	–	0,0069-0,0197	¹⁴ C	AII-1443
Çagatay et al. (2001)	1998	600	hidraulički korer	–	0,0250-0,0720	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	BS-9
	1998	1319	hidraulički korer	–	0,0163-0,0240	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	BS-15
Laptev et al. (2002), Laptev et al. (2004)	1998	1375	hidraulički korer	–	0,004-0,009*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS98-15
Major et al. (2002)	1998	378	klipni korer	759	0,0048	¹⁴ C	BLKS9810
Ayçik et al. (2004)	1994	–	gravitacijski korer	28	0,15-0,20	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1964, 1986)	–
Laptyev et al. (2004), Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	1998	1375	hidraulički korer	–	0,0041*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS98-15, 17
Lüschen (2004), Liu & Algeo (2020)	1997	380	klipni korer	850	0,014-0,030	¹⁴ C	Stationen 6, Station 6
	1997	1176	klipni korer	622	0,018-0,032	¹⁴ C	Stationen 7, Station 7
Lyons & Kashgarian (2005)	1988	235	box korer	–	0,67	²¹⁰ Pb	Station 5
Lamy et al. (2006), Eckert (2014)	2001	1305	gravitacijski, klipni korer	–	0,0706-0,1170	¹⁴ C	GeoB 7622-2
	2001	1242	gravitacijski, klipni korer	–	0,0706-0,1170	¹⁴ C	GeoB 7625-2

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Avrametz et al. (2007), EMODnet (2023b)	1997	16	klipni korer	–	0,014	¹⁴ C	127/pc/231/9/95
Teodoru et al. (2007)	1995	1536	box korer	20-80	0,03	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	BLS.95-2
	1995	134	box korer	20-80	0,17	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	BLS.95-3
Laptev & Voitsekhovich (2009)	1998	76	hidraulički korer	–	0,08	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS98-10
	1998	1319	hidraulički korer	–	0,10	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS98-15
	2004	49	hidraulički korer	–	0,20	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS04-8
	2004	112	box korer	–	0,30	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS04-9
	–	–	hidraulički korer	–	0,15*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	–
	2003	445	hidraulički korer	–	0,0125*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	61SU450
	2000	100	hidraulički korer	–	0,0115*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	–
	2004	600	hidraulički korer	50	0,042-0,049	²¹⁰ Pb (CIC), ¹³⁷ Cs (1986)	BS 600
Florea et al. (2011)	2001	500	box korer	21	0,039	²¹⁰ Pb	B1C2
Yücel et al. (2012)	2001	957	box korer	34	0,038	²¹⁰ Pb	B1C4
Egorov et al. (2013), Mirzoeva et al. (2018)	2003-2012	290	hidraulički korer	–	0,56	⁹⁰ Sr	Cape Chersonesos
Lichtschlag et al. (2015)	2010	105	hidraulički korer	23	0,10	²¹⁰ Pb (CRS)	MSM15/1_462-1
	2010	136	hidraulički korer	19	0,10	²¹⁰ Pb (CRS)	MSM15/1_487-1
	2010	207	hidraulički korer	27	0,10	²¹⁰ Pb (CRS)	MSM15/1_448-1
Sarı et al. (2018)	2012	350	gravitacijski korer	114	0,65-0,83	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954)	KD12-04
Gulin et al. (2019a)	2013	1681	hidraulički korer	–	0,13	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	2
Ilie et al. (2022)	2018	658	hidraulički korer	52	0,01900-0,06667	¹⁴ C	MN183-3
EMODnet (2023b)	1998	603	klipni korer	–	0,13	²¹⁰ Pb	BS98-9
	2003	165	klipni korer	–	3,11	²¹⁰ Pb	29CT165
	2004	69	klipni korer	–	0,03	²¹⁰ Pb	BS04-1
	2006	141	klipni korer	–	0,21	²¹⁰ Pb	A5
	2006	30,8	bušotina	–	0,010	¹⁴ C	T423/cd//342/90
	2011	110	klipni korer	–	0,004	¹⁴ C	OSU1/pc//45/25

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
dubokomorski zapadni bazen							
Ross et al. (1970)	1969	–	gravitacijski, klipni, box korer	≤1150	≤0,01	¹⁴ C	–
Ross & Degens (1974)	–	–	–	–	0,01	¹⁴ C	–
Degens et al. (1976)	1975	–	gravitacijski korer	–	0,05	¹⁴ C, lamine	–
Degens et al. (1978)	–	>2000	–	347	0,60	lamine	380A 4/1-3
	–	>2000	–	269	0,18	lamine	380A 8/3-5
Glenn & Arthur (1985)	1969	2248	gravitacijski korer	115	0,022	¹⁴ C	Core 1432
	1969	2179	gravitacijski korer	295	0,030	¹⁴ C	Core 1462
Calvert et al. (1987)	1969	2238	gravitacijski korer	100	0,025	¹⁴ C	Core 1432
Hay (1987), Hay (1988)	1975	2050	gravitacijski korer	–	0,0254	lamine	5
	1975	2160	gravitacijski korer	–	0,0089-0,0274	lamine	18
Ivanov et al. (1990), EMODnet (2023b)	1990	2140	klipni korer	–	0,013	¹⁴ C	3129/pc//2868/85
	1990	1810	klipni korer	–	0,004	¹⁴ C	3129/pc//2495/10
	1990	1970	klipni korer	–	0,003	¹⁴ C	3129/pc//2048/15
	1990	2160	klipni korer	–	0,016	¹⁴ C	3129/pc//2097/15
	1990	2180	klipni korer	–	0,017	¹⁴ C	3129/pc//2140/55
	1990	2170	klipni korer	–	0,004	¹⁴ C	3129/pc//2185/15
	1990	1830	klipni korer	–	0,006	¹⁴ C	3129/pc//2497/20
	1990	2140	klipni korer	–	0,017	¹⁴ C	3129/pc//2863/85
	1990	2170	klipni korer	–	0,008	¹⁴ C	3129/pc//2991/50
Hay et al. (1991)	1988	2092	box korer	60	0,00852*	lamine	BC21
Barnes & Cochran (1991)	1988	2094	box korer	–	0,04	²¹⁰ Pb	BS4-9
	1988	2218	box korer	–	0,05	²¹⁰ Pb	BS4-14

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Calvert et al. (1991)	1988	2087	box korer	–	0,0159	¹⁴ C	BS4-9BC
	1988	2218	box korer	–	0,0158	¹⁴ C	BS4-14BC
Moore & O'Neill (1991)	1988	2126	box korer	40	0,02*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS4-8
	1988	2094	box korer	–	0,085*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS4-9
	1988	2218	box korer	40	0,075*	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce	BS4-14
Crusius & Anderson (1992)	1988	2094	box korer	22	0,0055-0,0107*	²¹⁰ Pb (CRS), lamine	9
Arthur et al. (1994)	1988	2092	box korer	60	0,0089*	lamine	BC21
	1988	2190	gravitacijski korer	522	0,0037*	lamine	GC66
Buesseler & Benitez (1994)	1988	2095	box korer	50	0,0069*	²¹⁰ Pb	BS4-9
Duman (1994)	1987-1990	–	gravitacijski, box korer	–	<0,03	lamine	–
Gulin et al. (1995a, 1995b), Gulin et al. (1996), Egorov et al. (1999), Gulin et al. (2000), Gulin et al. (2002), Gulin et al. (2008), Egorov et al. (2010), Gulin et al. (2013), Egorov et al. (2013), Gulin et al. (2014), Mirzoeva et al. (2018)	1993	1983	klipni korer	–	0,042	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	E, 5, Western part
Arthur & Dean (1998)	1988	2190	gravitacijski korer	522	0,0045-0,0081	¹⁴ C, lamine	GC66
Calvert & Karlin (1998)	1988	2094	box korer	–	0,0038-0,0141	¹⁴ C	BS4-9BC
	1988	2218	box korer	–	0,0089-0,0171	¹⁴ C	BS4-14BC

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Gulin (2000)	1993	1971	klipni korer	–	0,3 cm - 0,041	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1963, 1986)	–
					0,5 cm - 0,033		
					0,7 cm - 0,039		
					0,9 cm - 0,035		
					1,1 cm - 0,038		
					1,3 cm - 0,044		
					1,5 cm - 0,049		
					1,8 cm - 0,046		
					2,1 cm - 0,040		
					2,4 cm - 0,029		
Pilskaln & Pike (2001)	1998	–	box korer	50	0,028	lamine	–
Laptev et al. (2002), Laptev et al. (2004)	2000	2010	hidraulički korer	–	0,004-0,009*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-37
Laptyev et al. (2004), Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2000	2010	hidraulički korer	–	0,0045*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-37, 22
Teodoru et al. (2007)	1998	2172	gravitacijski korer	20-80	0,01	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	BLS.98-5
Laptev & Voitsekhovich (2009), Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	1988	2095	box korer	50	0,01	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS88-9, 23
	2000	2008	hidraulički korer	–	0,18	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BS2K-37, 24
	1993	1971	klipni korer	–	0,02	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	BSG-93, 25
Eckert et al. (2009)	2001, 2007	–	gravitacijski, klipni korer	–	0,02-0,15	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	–
Yücel et al. (2012)	2001	2159	box korer	25	0,025	²¹⁰ Pb	B1C1
	2001	2159	box korer	36	0,367	¹³⁷ Cs (1986)	B1C5
	2003	2197	hidraulički korer	15	0,21	¹³⁷ Cs (1986)	8–5
	2003	2159	hidraulički korer	60	1,24	¹³⁷ Cs (1986)	8–30
Eckert (2014)	–	–	gravitacijski korer	–	0,0065-0,0155	prosjeck starosti slojeva iz literature	CGCL
Laptev & Smith (2019)	–	–	hidraulički korer	–	0,004-0,015*	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs, ²⁴¹ Am	–
Gulin et al. (2019a)	2013	2030	hidraulički korer	–	0,056-0,080	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1950e, 1963, 1986)	1
Tereshchenko & Parkhomenko (2021)	2013	2030	hidraulički korer, box korer	7-32	0,08	²³⁸ Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	28

Tablica 10. Objavljene brzine sedimentacije u Crnom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
prosjeck cijelog mora							
Einsele (1992), Einsele & Hinderer (1997)	–	–	–	–	0,022-0,030	starost i debljina sloja	–

Prilog 3. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Drimski zaljev, Albanija							
Petrinec et al. (2012), Ilijanić et al. (2014)	2007	59	box korer	30	0,40	¹³⁷ Cs (1962-64, 1986)	Albania (ST.7)
zaljev Boka kotorska, Crna Gora							
Mikac et al. (2022)	–	40	gravitacijski korer	37	0,35	¹³⁷ Cs	HN
	–	35	gravitacijski korer	43	0,45	¹³⁷ Cs	KO
	–	40	gravitacijski korer	45	0,50	¹³⁷ Cs	TI
otok Palagruža, Hrvatska							
Petrinec et al. (2012), Ilijanić et al. (2012), Ilijanić et al. (2014)	2007	169,8	box korer	30	0,18	¹³⁷ Cs (1962-64, 1986)	Palagruža
Neretvanski kanal, Hrvatska							
Jurina et al. (2013)	2009-2010	–	gravitacijski korer	–	0,60	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K1
	2009-2010	–	gravitacijski korer	–	0,40	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K2, K3
Giglio et al. (2020)	2006	–	box korer	20	0,19	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1960e)	06BC
	2006	–	box korer	20	0,19-0,23	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1960e)	05BC, 10BC, 14BC
	2006	–	box korer	20	0,40-0,85	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1960e)	01BC-03BC, 09BC, 13BC, 15BC, 17BC
	2006	–	box korer	20	0,85	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1960e)	04BC
	2006	–	box korer	20	0,85	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1960e)	04BC

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
otok Jabuka, Hrvatska							
Petrinec et al. (2012), Ilijanić et al. (2012), Ilijanić et al. (2014)	2007	230,8	box korer	30	0,31	¹³⁷ Cs (1962-64, 1986)	Jabuka
Kaštelanski zaljev, Hrvatska							
Bogner (1996)	1994	45	gravitacijski korer	–	0,0022-0,0025	¹⁴ C	3
	1994	12	gravitacijski korer	–	0,20	¹⁴ C	4
	1995	0,35	ručni korer	–	>0,36	¹⁴ C	6
Crmarčić et al. (1999)	–	–	–	400	<0,04	–	–
Mikac et al. (2006)	2000-2001	–	ručni korer	20-45	1,00	⁴⁰ K, ¹³⁷ Cs, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁸ U, Hg	–
Lovrenčić Mikelić et al. (2017), Lovrenčić Mikelić et al. (2022)	2006	20	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2006. - 0,58	¹³⁷ Cs (1963)	K02
	2005	22	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954)	K03
	2005	20	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2005. - 0,60	¹³⁷ Cs (1963)	K04
	2005	16	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954)	K05
	2005	21	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K06
	2005	16	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K07
	2005	15	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K08
	2005	13	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K09
	2005	22	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2005. - 0,71	¹³⁷ Cs (1963)	K12

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Lovrenčić Mikelić et al. (2017), Lovrenčić Mikelić et al. (2022)	2005	30	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1963-2005. - 0,95 1963-1986. - 1,30	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K13
	2005	32	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 1,05 1963-2005. - 0,95 1963-1986. - 0,87	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K16
	2005	30	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 1,32	¹³⁷ Cs (1986)	K18
	2005	16	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 1,05	¹³⁷ Cs (1986)	K22
	2005	30	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K28
	2005	36	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1963-2005. - 0,95 1963-1986. - 1,30	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K29
	2005	36	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K30
	2005	36	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,79 1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K31
	2005	33	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K33
	2005	17	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K36
	2005	38	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1963-2005. - 0,95 1963-1986. - 1,30	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K40
	2005	37	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1963-2005. - 0,71 1963-1986. - 0,87	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K42
	2005	11	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2005. - 0,95	¹³⁷ Cs (1963)	K43

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Lovrenčić Mikelić et al. (2017), Lovrenčić Mikelić et al. (2022)	2005	26	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K46
	2005	33	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K47
	2005	41	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954)	K49
	2005	31	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,29	¹³⁷ Cs (1954)	K50
	2005	37	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K53
	2005	41	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K54
	2005	45	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,29	¹³⁷ Cs (1954)	K55
	2005	45	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2005. - 0,71	¹³⁷ Cs (1963)	K56
	2005	41	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954)	K58
	2005	50	gravitacijski, ručni korer	50-100	1954-2005. - 0,29	¹³⁷ Cs (1954)	K59
	2005	14	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,79 1963-2005. - 0,95 1963-1986. - 1,09	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K61
	2005	15	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K62
	2005	32	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K64
	2005	34	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K65

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Lovrenčić Mikelić et al. (2017), Lovrenčić Mikelić et al. (2022)	2005	40	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1963-2005. - 0,60 1963-1986. - 0,65	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	K67
	2005	41	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K68
	2005	8,5	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K70
	2005	15	gravitacijski, ručni korer	50-100	1963-2005. - 0,95	¹³⁷ Cs (1963)	K73
	2005	16	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,39	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K74
	2005	15	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53 1954-2005. - 0,49	¹³⁷ Cs (1954, 1986)	K75
	2005	29	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K76
	2005	30	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K77
	2005	29	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K79
	2005	26	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,53	¹³⁷ Cs (1986)	K80
	2005	6	gravitacijski, ručni korer	50-100	1986-2005. - 0,50	¹³⁷ Cs (1986)	K87
naselje Seget Vranjica, Hrvatska							
Crmarčić et al. (1999)	–	–	–	–	0,36	–	–
jezero Zmajevsko oko, Hrvatska							
Mihelčić et al. (1996)	1993	>13	ručni korer	50-120	0,45	¹³⁷ Cs (1950e, 1963-65, 1986)	–

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Morinjski zaljev, Hrvatska							
Mihelčić et al. (2006)	–	–	ručni korer	50-120	1,50	¹³⁷ Cs (1950e, 1961-63, 1986)	–
jezero Prokljan/estuarij rijeke Krke, Hrvatska							
Juračić & Prohić (1991)	–	–	ručni korer	24	0,027	¹⁴ C	5-Prokljan
Cukrov et al. (2003)	2001-2002	3-38	ručni korer	–	>0,20	¹³⁷ Cs	–
Cukrov et al. (2007)	–	13	ručni korer	17,5	0,20	¹³⁷ Cs	KE1
	–	11	ručni korer	32,5	0,40-0,50	¹³⁷ Cs	KE2
	–	23	ručni korer	22,5	0,30-0,40	¹³⁷ Cs	KE3
	–	29	ručni korer	12,5	<0,20	¹³⁷ Cs	KE4
	2002-2005	–	ručni korer	45	0,20	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR5-KR7
Cukrov et al. (2009)	2002-2005	–	ručni korer	45	0,30-0,40	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR8
	2002-2005	–	ručni korer	45	0,40-0,50	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR9
	2002-2005	–	ručni korer	45	0,10-0,20	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR10-KR16
	2002-2005	–	ručni korer	45	0,10-0,20	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR10-KR16
estuarij rijeke Krke, Hrvatska							
Cukrov et al. (2007)	–	36	ručni korer	17,5	<0,10	¹³⁷ Cs	KE5
	–	40	ručni korer	17,5	0,30	¹³⁷ Cs	KE6
Cukrov et al. (2009)	2002-2005	–	ručni korer	45	0,30	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR17
	2002-2005	–	ručni korer	45	<0,10	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	KR18-25

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm²god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Karinsko more, Hrvatska							
Fiket (2014)	2008	1,2	gravitacijski korer	30	0,40	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	KM
	2008	13	gravitacijski korer	26	0,40	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	KM2
Hasan (2017)	2010	13,8	klipni korer	396	0-55 cm - 0,08	¹⁴ C	KAR-A
					55-66 cm - 0,15		
					66-274 cm - 0,04		
					274-396 cm - 0,03		
Novigradsko more, Hrvatska							
Fiket (2014)	2008	2	gravitacijski korer	18	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM1
	2008	15	gravitacijski korer	30	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM3
	2008	21	gravitacijski korer	28	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM4
	2008	6,5	gravitacijski korer	20	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM6
	2008	17	gravitacijski korer	34	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM7
	2008	34	gravitacijski korer	38	0,80	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	NM8
Hasan (2017)	2010	30,2	klipni korer	632	0-44 cm - 0,02	¹⁴ C	NOV-3
					44-152 cm - 0,10		
					152-399 cm - 0,06		
					399-632 cm - 0,07		
	2010	20,5	klipni korer	478	0-181 cm - 0,24	¹³⁷ Cs (1953-54, 1963, 1986), ¹⁴ C	ZRM-A
					181-321 cm - 0,14		
					321-478 cm - 0,09		

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm²god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Velebitski kanal, Hrvatska							
Fiket (2014)	2008	38	gravitacijski korer	22	0,30-0,40	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	JM
Hasan (2017)	2010	25	klipni korer	337	0-50 cm - 0,51	¹⁴ C	MOD-A
					50-65 cm - 0,009		
					65-324 cm - 0,04		
					324-337 cm - 0,01		
otok Rab, Hrvatska							
Bogner et al. (2001)	1996	89,5	gravitacijski korer	88	0,40	Pb	–
grad Rijeka, Hrvatska							
Cukrov et al. (2011)	2008	–	gravitacijski korer	35	0,50-0,60	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	LR1, LR2, LR3, LR4, LR5, LR6
	2008	–	gravitacijski korer	35	0,30-0,40	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	LR7
	2008	–	gravitacijski korer	35	0,60-0,70	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	LR8, LR9, LR10
ušće rijeke Rječine, Hrvatska							
Benac & Arbanas (1990)	–	–	istražne bušotine	–	0,78	¹⁴ C	Z-2105, Z-2106
Plominski zaljev, Hrvatska							
Barišić et al. (1999)	1997-1998	8	grabilica bagera	135	>10,00	¹³⁷ Cs (1960e, 1986)	–
estuarij rijeke Rače, Hrvatska							
Benac et al. (1991)	–	–	–	–	15,00	–	–

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
otok Veliki Brijun, Hrvatska							
Gallmetzer et al. (2019)	2013	44	klipni korer	150	0,15	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Brijuni
Limski zaljev, Hrvatska							
Paul (1970)	–	34	gravitacijski korer	178	0,04	¹⁴ C, pelud	LIM 5
	–	27	gravitacijski korer	137	0,12	pelud	LIM 8
grad Poreč, Hrvatska							
Fütterer & Paul (1976)	–	–	–	–	0,003	¹⁴ C	–
Sečovljanske solane, Slovenija							
Ogorelec et al. (1981)	–	–	hidraulički korer	4200	0,29	¹⁴ C	V-6/79
grad Piran, Slovenija							
Ranke (1976)	–	–	–	–	0,03-0,10	pelud	–
Tomašových et al. (2019), Gallmetzer et al. (2019)	2013	22	klipni korer	140-150	0,29	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Piran 1
	2013	22,7	klipni korer	140-150	0,16	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Piran 2
Koparski zaljev, Slovenija							
Ogorelec et al. (1984)	1981-1983	–	hidraulički korer	4000	0,50	pelud	V-3
Faganeli et al. (1991)	1983-1987	8	hidraulički korer	4000	0,53	²¹⁰ Pb	MK-6
Ogorelec et al. (1991)	1981-1987	–	gravitacijski, hidraulički korer	40-4000	0,10-0,25	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C, pelud	–

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Ogorelec et al. (1997)	1981-1987	13	hidraulički korer	2000	0,22	¹⁴ C	A III-7
	1981-1987	7	hidraulički korer	4300	0-21 m - 0,22 21-43 m - 0,40	¹⁴ C	MK-6
	1981-1987	12	hidraulički korer	4500	0-22 m - 0,25 22-45 m - 0,40	¹⁴ C	V-1-95
	1981-1987	4,5	hidraulički korer	4100	0-22 m - 0,25 22-41 m - 0,40	¹⁴ C	V-3
Tršćanski zaljev, Italija							
Frignani et al. (1990)	1987	6,5	–	–	8,20	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs, ⁷ Be	2, GRA87-547
Covelli et al. (2001)	1991-1996	21	ručni korer	70	0,184-0,216	²¹⁰ Pb, Hg	AA1
Frignani et al. (2005a)	1988	12	gravitacijski korer	–	0,37	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-58
	1988	11	gravitacijski korer	–	0,49	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-56
Covelli et al. (2006)	1996-1997	23	ručni korer	245	0,23	Hg	GT1
	1996-1997	15	ručni korer	320	0,35-0,60	Hg	GT2
	1996-1997	25	ručni korer	130	0,18	Hg	GT3
Tomašových et al. (2017)	2013	11	–	150	0-30 cm - 0,20 30-150 cm - 0,48	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	M28, M29
Tomašových et al. (2018)	2013	12	klipni korer	150-155	0,20-0,24	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Panzano
grad Grado, Italija							
Baldi et al. (1990)	–	–	–	–	10,00	¹³⁷ Cs	–
Frignani et al. (2005a)	1988	12	gravitacijski korer	–	0,09	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-46B

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
lagune Marano i Grado, Italija							
Marocco (1989), Marocco (1991)	–	0	–	250	0,14-0,23	¹⁴ C	S8
Covelli et al. (2012)	2008	2	ručni korer	140	0,12-0,13	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1963)	MB
	2008	2	ručni korer	140	0,083	²¹⁰ Pb (CF-CS)	M4
	2008	2	ručni korer	50	0,24-0,48	²¹⁰ Pb (CRS, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1986)	M5B
	2008	2	ručni korer	140	0,11-0,13	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1963, 1986)	G3
Covelli et al. (2017)	2008	–	ručni korer	140	0,25-0,57	²¹⁰ Pb (CRS, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1986)	M5B
	2011	–	ručni korer	140	0,30-0,74	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1963, 1986)	G1B
Petranich et al. (2020)	2016	–	ručni korer	140	1970-2016. - 0,60 1850-1913. - 0,32	Hg	T1-2
	2016	–	gravitacijski korer	50	1,30	²¹⁰ Pb (CF-CS)	T5-3
	2016	–	gravitacijski korer	50	0-7,5 cm - 0,130 7,5-30 cm - 0,425	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1986)	VN-2
grad Lignano Sabbiadoro, Italija							
Marocco et al. (1996)	–	–	bušotina	1000	28-1953 god - 0,05	¹⁴ C	A
Frignani et al. (2005a)	1987	10	gravitacijski korer	–	0,05	¹³⁴ Cs	GRA87-589
	1987	10	gravitacijski korer	–	0,06	²¹⁰ Pb	GRA87-586
	1987	12	gravitacijski korer	–	0,075	²¹⁰ Pb	GRA87-599
	1988	12	gravitacijski korer	–	0,37	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-40
Venecijanski zaljev, Italija							
Frignani et al. (1988), Frignani et al. (2005a)	1986	16	gravitacijski korer	–	0,40	²¹⁰ Pb	AAS86-13
	1986	10	gravitacijski korer	–	0,77	¹³⁷ Cs (1963)	AAS86-18
	1986	18	gravitacijski korer	–	0,25	²¹⁰ Pb	AAS86-27

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Frignani et al. (1988), Frignani et al. (2005a)	1986	18	gravitacijski korer	–	0,60	²¹⁰ Pb	AAS86-30
	1986	20	gravitacijski korer	–	0,33	²¹⁰ Pb	AAS86-35
Molducci (1997)	1988	–	gravitacijski korer	–	0,73*	–	NAR-15
	1988	17	gravitacijski korer	–	0,67*	–	NAR-23
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	31	box korer	–	0,09*	²¹⁰ Pb	ELNA6-15
	1993-1994	28	box korer	–	0,16*	²¹⁰ Pb	ELNA3-165
Frignani et al. (2004)	1987	–	box korer	15-18	1,60	¹³⁷ Cs (1986)	87-21
Frignani et al. (2005a)	1989	16	gravitacijski korer	–	0,18	²¹⁰ Pb	ATA89-17
	1988	16	gravitacijski korer	–	0,51	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-29
	1988	16	gravitacijski korer	–	0,32	²¹⁰ Pb	NAR88-27
	1988	17	gravitacijski korer	–	0,27	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-23
	1989	16	gravitacijski korer	–	0,60	²¹⁰ Pb	ATA89-25sw
	1989	16	gravitacijski korer	–	0,12	²¹⁰ Pb	ATA89-27B
	1989	16	gravitacijski korer	–	0,66	²¹⁰ Pb	ATA89-25
	1989	20	gravitacijski korer	–	0,60	²¹⁰ Pb	ATA89-24
Alvisi et al. (2006)	1989	20	gravitacijski korer	–	0,50-0,63	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS)	ATA89-24
Gallmetzer et al. (2019)	2013	21	klipni korer	150	0,88	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Venice
Venecijanska laguna, Italija							
Favero & Stefanon (1981)	–	–	–	–	0,08-0,10	–	–
Donazzolo et al. (1982)	1979	0,5	ručni korer	47	0,81	²¹⁰ Pb	Core N° 1
	1979	0,5	ručni korer	112	0,59	²¹⁰ Pb	Core N° 3
Pavoni et al. (1987)	1982	–	ručni korer	60	<25 cm - 0,55 >25 cm - 0,28	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	Core 1
	1982	–	ručni korer	60	0,31	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	Core 3
Battiston et al. (1988)	1982	–	ručni korer	50	0,31	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	C
Battiston et al. (1989)	1982	–	–	40-80	0,20-0,60*	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs	C1, C2, C3

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Frignani et al. (1997)	1992	0,5	–	65	0,28	korelacija Pb	E1
	1992	0,5	–	65	0,30	²¹⁰ Pb (CF-CS)	E3
	1992	0,5	–	65	0,47	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	E4
	1992	0,5	–	65	0,66	korelacija Cu	E5
Frignani et al. (1997)	1992	0,5	–	65	0,41	²¹⁰ Pb (CF-CS)	E6
	1992	0,5	–	65	0,70	²¹⁰ Pb (CF-CS)	E8
	1992	0,5	–	65	0,45	²¹⁰ Pb (CF-CS)	C10
	1992	0,5	–	65	0,45	¹³⁷ Cs (1963, 1986)	C11
	1992	0,5	–	65	0,40	²¹⁰ Pb (CRS)	C12
	1992	0,5	–	65	0,58	²¹⁰ Pb (CF-CS)	C13
	1992	0,5	–	65	0,43	korelacija Al ₂ O ₃	C14
	1992	1,8	–	65	0,62	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PC1
	1992	0,5	–	65	0,48	korelacija magnetske susceptibilnosti	PC9
	1992	0,5	–	65	0,41	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PC13
Cochran et al. (1998), Bellucci et al. (2007)	1992	–	ručni korer	51	0-1 cm - 0,18	²¹⁰ Pb (CRS)	salt marsh core, M1a
					1-2 cm - 0,18		
					2-3 cm - 0,11		
					3-4 cm - 0,20		
					4-5 cm - 0,14		
					5-6 cm - 0,12		
					6-7 cm - 0,11		
					7-8 cm - 0,08		
					8-10 cm - 0,07		
					10-12 cm - 0,07		
Frignani et al. (2001), Frignani et al. (2003)	1996-1998	–	gravitacijski korer	18	>2,30	¹³⁷ Cs (1986)	C10
	1996-1998	–	klipni korer	35	1,55	¹³⁷ Cs (1986)	C11
	1996-1998	–	klipni korer	30	0,25-0,34	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1986)	E1
	1996-1998	–	klipni korer	30	0,32-0,35	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1986)	E14

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Ciavola et al. (2002)	1998	–	ručni korer	50-100	0,04-0,43	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs (1963)	Cona 30
	1998	–	ručni korer	50-100	0,03-0,53	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs (1963)	San Giacomo 20
	1998	–	ručni korer	50-100	0,04-2,06	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs (1963)	Rosa 40
	1998	–	ručni korer	50-100	0,03-2,66	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs (1963)	Saline 50
Frignani et al. (2003)	1998	–	klipni korer	36	0,23	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs	E
	1998	–	klipni korer	36	0,27	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs	F
Frignani et al. (2005b)	1998	–	klipni korer	57	0,23	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs (1986)	E
	1998	–	klipni korer	–	0,80	¹³⁷ Cs (1986)	I1
	1998	–	ručni korer	57	0,27	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1986)	M3
	2001	–	rotacijska bušilica	50	0,05	¹⁴ C	1C
Serandrei-Barbero et al. (2006)	2001	–	rotacijska bušilica	90	0-30 cm - 0,03 30-90 cm - 0,02	¹⁴ C	2C
	2001	–	rotacijska bušilica	142	0,06	¹⁴ C	8C
	2001	–	rotacijska bušilica	96	0-50 cm - 0,03 50-96 cm - 0,07	¹⁴ C	11C
	2001	–	rotacijska bušilica	132	0-43 cm - 0,06 43-132 cm - 0,05	¹⁴ C	14C
	2001	–	rotacijska bušilica	130	0-45 cm - 0,03 45-130 cm - 0,08	¹⁴ C	16C
	2001	–	rotacijska bušilica	70	0,03	¹⁴ C	17C
	2001	–	rotacijska bušilica	122	0-50 cm - 0,03 50-122 cm - 0,16	¹⁴ C	18C
	2001	–	rotacijska bušilica	115	0-48 cm - 0,03 48-115 cm - 0,12	¹⁴ C	20C
	2001	–	rotacijska bušilica	58	0,02	¹⁴ C	27C
	2001	–	rotacijska bušilica	93	0,03	¹⁴ C	29C
	2001	–	rotacijska bušilica	99	0-30 cm - 0,12 30-60 cm - 0,01 60-99 cm - 0,37	¹⁴ C	30C

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Serandrei-Barbero et al. (2006)	2001	–	rotacijska bušilica	145	0-90 cm - 0,08 90-145 cm - 0,75	¹⁴ C	31C
	2001	–	rotacijska bušilica	123	0-80 cm - 0,04 80-123 cm - 0,16	¹⁴ C	32C
	2001	–	rotacijska bušilica	105	0-50 cm - 0,05 50-105 cm - 0,61	¹⁴ C	35C
	2001	–	rotacijska bušilica	125	0,08	¹⁴ C	36C
	2001	–	rotacijska bušilica	68	0-40 cm - 0,02 40-68 cm - 0,06	¹⁴ C	38C
	2001	–	rotacijska bušilica	68	0-53 cm - 0,03 53-68 cm - 0,09	¹⁴ C	39C
	2001	–	rotacijska bušilica	42	0,05	¹⁴ C	40C
	2001	–	rotacijska bušilica	100	0-55 cm - 0,04 55-100 cm - 0,17	¹⁴ C	41C
	2001	–	rotacijska bušilica	140	0,07	¹⁴ C	43C
	2001	–	rotacijska bušilica	112	0-50 cm - 0,04 50-93 cm - 0,10 93-112 cm - 0,06	¹⁴ C	45C
	2001	–	rotacijska bušilica	133	0-30 cm - 0,02 30-133 cm - 0,18	¹⁴ C	49C
	2001	–	rotacijska bušilica	108	0-30 cm - 0,04 30-108 cm - 0,07	¹⁴ C	50C
	2001	–	rotacijska bušilica	134	0-52 cm - 0,04 52-134 cm - 0,07	¹⁴ C	51C
	2001	–	rotacijska bušilica	124	0-20 cm - 0,02 20-124 cm - 0,10	¹⁴ C	53C
Bellucci et al. (2007)	1995	–	ručni koror	28,5	0,07-0,20	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	M1b
	1996	–	ručni koror	49	0,03-1,50	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	M2

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Bellucci et al. (2007)	1998	–	ručni korer	56,5	0,09-0,17	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	M3
	1998	–	ručni korer	56,5	0,06-0,32	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	M4
	1998	–	ručni korer	50	0,15-0,66	²¹⁰ Pb (CRS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	M5
Sarretta et al. (2010)	–	–	–	–	0,40	usporedba raspodjela dubina mora	A, C/D
	–	–	–	–	0,30	usporedba raspodjela dubina mora	A/B
delta rijeke Po, Italija							
Schreiber et al. (1968)	–	–	–	–	2,00	⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁴ Ce, ¹⁴⁷ Pm, ¹⁵⁵ Eu	–
Selli et al. (1977)	–	–	–	–	0,011	¹⁴ C	–
Albertazzi et al. (1984)	–	–	–	–	2,00-3,00	¹³⁷ Cs	–
Guerzoni et al. (1984)	1979	26	gravitacijski korer	147	2,00-4,00	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs	5
Boldrin et al. (1988)	1980	21	gravitacijski korer	200	2,00-4,00	²¹⁰ Pb	7
Frignani et al. (1988), Frignani et al. (2005a), Alvisi et al. (2006)	1986	23	gravitacijski korer	–	0,44-0,478	¹³⁷ Cs (1963)	AAS86-47
Sticchi (1990)	1982	–	–	–	0,90*	–	82-C
	1982	–	–	–	1,30*	–	82-D
	1982	–	–	–	1,60*	–	82-E
	1985	–	–	–	0,30*	–	85-3
	1985	–	–	–	0,30*	–	85-4
	1985	–	–	–	0,40*	–	85-5
	1987	19	–	–	0,15*	–	87-3
	1987	27	–	–	0,30*	–	87-10
	1987	30	–	–	0,09*	²¹⁰ Pb (CRS)	87-15
	1987	23	–	–	0,90*	–	87-30

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Sticchi (1990)	1987	7	–	–	1,60*	–	87-37
	1987	24	–	–	0,60*	–	87-34
	1988	–	–	–	0,70*	–	88-6
	–	–	–	–	1,90*	–	C-10
Frignani et al. (1990)	1987	1,5	ručni korer	–	0,11*	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs	1
	1987	20	gravitacijski korer	–	0,77*	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹³⁷ Cs	4
Puškarić et al. (1990)	1989	–	ručni korer	42	0,10-0,11	²¹⁰ Pb, ¹³⁴ Cs (1963, 1986)	101
	1989	–	ručni korer	110	0,30-0,35	²¹⁰ Pb, ¹³⁴ Cs (1963, 1986)	108
Viel et al. (1991)	1986	–	gravitacijski korer	30	0,23	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1963)	A ₁
Frignani & Langone (1991)	1982	–	gravitacijski korer	–	1,72*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR82-E
	1987	29	gravitacijski korer	–	0,53*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR87-P
	1982	26	gravitacijski korer	–	0,85*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR82-C
	1982	17	gravitacijski korer	–	1,8*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR82-D
	1985	17	gravitacijski korer	–	0,26*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-F
	1985	24	gravitacijski korer	–	0,39*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-G
	1985	–	gravitacijski korer	–	0,27*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-H
Giordani et al. (1992)	1988	–	gravitacijski korer	–	0,80*	²¹⁰ Pb	7
Giordani et al. (1992), Frignani et al. (2005a)	1988	10	gravitacijski korer	–	0,84*	²¹⁰ Pb	6, PAO88-6
Molducci (1997)	1988	22	gravitacijski korer	–	0,51*	–	NAR-6
Banzon et al. (1999)	–	25	–	–	0,111-0,740	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	82-C, E7_58

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	26	box korer	–	0,70-0,90*	²¹⁰ Pb, ¹³⁴ Cs	ELNA2-61
	1993-1994	34	box korer	–	0,15*	²¹⁰ Pb	ELNA3-126
	1993-1994	35	box korer	–	0,15*	²¹⁰ Pb	ELNA3-113
	1993-1994	24	box korer	–	0,70-0,90*	²¹⁰ Pb, ¹³⁴ Cs	ELNA6-01
	1993-1994	32	box korer	–	0,20*	²¹⁰ Pb	ELNA6-33
	1993-1994	36	box korer	–	0,15*	²¹⁰ Pb	ELNA7-41
Giordani et al. (1999)	1994	18	gravitacijski korer	–	0,30*	²¹⁰ Pb	EMAS94-1
Alvisi et al. (2002)	1998	–	gravitacijski korer	10-45	1986-1998. - 0,30-0,40* 1963-1986. - 0,20*	¹³⁷ Cs (1963, 1986), ²³⁴ Th	(northern area)
Hunt (2002)	2000-2002	11	box, kasten korer	60-200	≤15,00	radiografija	E11
Frignani et al. (2004)	1987	27	box korer	15-18	2,00	¹³⁷ Cs (1986)	87-10
	1987	–	box korer	15-18	1,20	¹³⁷ Cs (1986)	87-11
	1987	9	box korer	15-18	4,80	¹³⁷ Cs (1986)	87-14
	1987	11	box korer	15-18	1,80	¹³⁷ Cs (1986)	87-36
	1988	–	box korer	15-20	1,50	¹³⁷ Cs (1986)	88-6
Nittrouer et al. (2004)	–	–	–	–	1,00-6,00	²¹⁰ Pb, ⁷ Be	–
Frignani et al. (2005a)	1988	13	gravitacijski korer	–	0,80	²¹⁰ Pb	NAR88-4
	1988	22	gravitacijski korer	–	0,60	²¹⁰ Pb (CRS)	NAR88-6
	1987	32	–	–	0,08*	–	AAL87-16
	1987	35	–	–	0,07*	–	AAL87-19
	1989	13	gravitacijski korer	–	0,09	²¹⁰ Pb	APO89-37
	1988	41	gravitacijski korer	–	0,12	²¹⁰ Pb	AMA88-68
	1988	34	gravitacijski korer	–	0,19	²¹⁰ Pb	AMA88-66
	1988	12	gravitacijski korer	–	0,11	²¹⁰ Pb	AMA88-62
	1988	17	gravitacijski korer	–	0,22	²¹⁰ Pb	AMA88-63
	1988	23	gravitacijski korer	–	0,20	²¹⁰ Pb	AMA88-64

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Palinkas et al. (2005)	2000-2003	16	box korer	60	6,00	⁷ Be	E16
	2000-2003	10	box korer	60	4,50	⁷ Be	G10
	2000-2003	18	box korer	60	3,00	⁷ Be	H18
Alvisi et al. (2006)	1988	22	gravitacijski korer	–	0,51-0,69	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS)	NAR88-6
	1986	20	gravitacijski korer	–	0,32-0,51	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS)	AAS86-57
Palinkas & Nittrouer (2007)	2000-2003	18	kasten korer	300	2,47	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	D18
	2000-2003	11	kasten korer	300	3,50	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	E11
	2000-2003	16	box korer	50	1,35	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	E16
	2000-2003	20	kasten korer	300	4,57	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	E20
	2000-2003	25	kasten korer	300	3,63	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	E25
	2000-2003	10	kasten korer	300	0,72	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	G10
	2000-2003	15	kasten korer	300	>2,50	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	G15
	2000-2003	23	kasten korer	300	2,35	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	G23
	2000-2003	10	box korer	50	0,51	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	GH10
	2000-2003	18	kasten korer	300	2,25	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	H18
	2000-2003	12	box korer	50	0,25	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	I12
	2000-2003	26	kasten korer	300	0,83	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	I26
	2000-2003	13	kasten korer	300	0,66	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	J13
	2000-2003	18	kasten korer	300	1,11	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	J18
	2000-2003	20	kasten korer	300	1,07	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	J20
	2000-2003	25	kasten korer	300	0,79	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	J25
	2000-2003	15	kasten korer	300	0,39	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	KL15
	2000-2003	10	box korer	50	0,15	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	L10
	2000-2003	14	kasten korer	300	1,24	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	N14
	2000-2003	19	kasten korer	300	1,25	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	N19
	2000-2003	22	box korer	50	2,06	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	N22
	2000-2003	10	box korer	50	3,06	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	O10
	2000-2003	14	kasten korer	300	1,67	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	O14

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Palinkas & Nittrouer (2007)	2000-2003	15	kasten korer	300	1,71	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	P15
	2000-2003	10	box korer	50	0,99	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	PQ10
	2000-2003	15	kasten korer	300	0,66	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	PQQ15
	2000-2003	15	kasten korer	300	0,44	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	Q15
	2000-2003	21	kasten korer	300	0,29	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	Q21
	2000-2003	25	box korer	50	1,05	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs (1954, 1963, 1986)	Q25
Albano et al. (2018)	–	21	klipni korer	150	2,30	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	1
	–	23	klipni korer	150	2,20	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	2
Tomašových et al. (2018)	2013	21	klipni korer	150-155	1,50-2,60	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Po 3
	2013	21	klipni korer	150-155	2,00-2,90	²¹⁰ Pb (CF-CS), ¹⁴ C	Po 4
laguna Pialassa della Baiona, Italija							
Miserocchi et al. (1993)	1993	–	ručni korer	80	0,60-4,55	²¹⁰ Pb (CF-CS), Hg	Core # 3
	1993	–	ručni korer	40	1,21	²¹⁰ Pb (CF-CS)	Core # 4
	1982	–	ručni korer	–	0,86	Hg	Core # 60
	1982	–	ručni korer	–	0,46-0,58	Hg	Core # 63
Matteucci et al. (2001)	1999	–	–	56	0,36	Hg, sadržaj H ₂ O	–
grad Cervia, Italija							
Frignani et al. (1990)	1987	18	–	–	0,40*	²¹⁰ Pb (CRS)	5, ANT85-1
Sticchi (1990)	1985	–	–	–	0,20*	–	85-1
	1985	–	–	–	0,40*	–	85-2
	1988	–	–	–	0,20*	–	88-1
	1988	–	–	–	0,20*	–	88-2
	1988	–	–	–	0,30*	–	88-3
	1982	–	–	–	0,40*	–	CES82

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Frignani & Langone (1991)	1985	20	gravitacijski korer	–	0,31*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-I
	1985	20	gravitacijski korer	–	0,22*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC, CF-CS), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-J
Giordani et al. (1992)	1988	–	gravitacijski korer	–	0,13-0,26*	²¹⁰ Pb	3
	1988	–	gravitacijski korer	–	0,28*	²¹⁰ Pb	4
Giordani et al. (1992), Frignani et al. (2005a)	1988	10	gravitacijski korer	16	0,12	²¹⁰ Pb	PAO88-1
	1988	16	gravitacijski korer	15,5	0,12	²¹⁰ Pb	PAO88-2
Giordani et al. (1999)	1994	18	gravitacijski korer	–	0,57*	²¹⁰ Pb	EMAS94-2
Giordani et al. (2002)	1992-1993	30	box korer	50	0,24*	²¹⁰ Pb	S3
Frignani et al. (2005a)	1988	38	gravitacijski korer	–	0,07	²¹⁰ Pb	AMA88-9
	1988	15	gravitacijski korer	–	0,065	²¹⁰ Pb	AMA88-81
	1988	23	gravitacijski korer	–	0,24	²¹⁰ Pb	AMA88-80
grad Pesaro, Italija							
Sticchi (1990)	1985	–	–	–	0,30*	–	85-6
Frignani & Langone (1991)	1985	20	gravitacijski korer	–	0,30*	²¹⁰ Pb (CRS, CIC), ¹³⁷ Cs (1954, 1963)	ADR85-K
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	27	box korer	–	0,09	²¹⁰ Pb	ELNA3-82
Frignani et al. (2005a)	1988	20	gravitacijski korer	–	0,16	²¹⁰ Pb	AMA88-89
	1988	14	gravitacijski korer	–	0,04	²¹⁰ Pb	AMA88-91
grad Senigallia, Italija							
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	68	box korer	–	0,15	²¹⁰ Pb	ELNA6-66
Frignani et al. (2005a)	1988	69	gravitacijski korer	–	0,04	²¹⁰ Pb	AMA88-3
	1988	66	gravitacijski korer	–	0,05	²¹⁰ Pb	AMA88-2

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Frignani et al. (2005a)	1988	51	gravitacijski korer	–	0,095	²¹⁰ Pb	AMA88-1
	1988	22	gravitacijski korer	–	0,50	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMA88-99
	1988	15	gravitacijski korer	–	0,065	²¹⁰ Pb	AMA88-98
grad Ancona, Italija							
Bugli (1989)	1987	69	–	–	0,15	²¹⁰ Pb (CRS)	AD87-37
	1987	42	–	–	0,35	²¹⁰ Pb (CRS)	AD87-38
	1987	20	–	–	0,34	²¹⁰ Pb (CRS)	AD87-40
Banzon et al. (1999)	1992-1993	41	box korer	50	0,11*	¹⁴ C	S6
Giordani et al. (1999)	1994	18	gravitacijski korer	–	0,12*	²¹⁰ Pb	EMAS94-3
Correggiari et al. (2001)	1997	55,1	gravitacijski, klipni, box korer	426	0,27- 0,39	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	AN97–15
Alvisi et al. (2002)	1997	–	gravitacijski korer	10-45	1986-1997. - 0,25* 1963-1986. - 0,40-0,70*	¹³⁷ Cs (1963, 1986), ²³⁴ Th	(southern area)
Giordani et al. (2002)	1992-1993	41	box korer	50	0,35*	²¹⁰ Pb	S6
Frignani et al. (2005a)	1997	55	gravitacijski korer	–	0,27	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AN97-16sw
	1997	54	gravitacijski korer	–	0,19	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AN97-14sw
grad Civitanova Marche, Italija							
Frignani et al. (1989)	1986	90	–	–	0,085	²¹⁰ Pb (CRS)	AD86-3
	1986	63	–	–	0,205	²¹⁰ Pb (CRS)	AD86-6
	1986	28	–	–	0,53	²¹⁰ Pb (CRS)	AD86-7
Fanelli et al. (2025)	2016	48,2	box korer	25	0,205	korelacija ²¹⁰ Pb	S23

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
grad San Benedetto del Tronto, Italija							
Sorgente et al. (1998)	1990	–	gravitacijski, box korer	–	0,016-0,900	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	9, 11, 12
Sorgente (1999)	1990	55	gravitacijski, box korer	–	0,27	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-11
	1990	29	gravitacijski, box korer	–	0,54	²¹⁰ Pb (CRS), ²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu	MAX90-12
Vigliotti et al. (2008)	–	55,12	klipni korer	1020	0,08	magnetska analiza	CSS00-23
grad Pescara, Italija							
Frignani et al. (1990)	1987	65	gravitacijski korer	–	0,45*	²¹⁰ Pb (CRS, CF-CS)	6
Alvisi & Frignani (1996)	1994	149	box korer	–	0,065	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-8
	1994	104	box korer	–	0,218	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-9
	1994	75	box korer	–	0,223	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-11
Langone et al. (1996)	1994	149	box korer	–	0,038-0,065	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	PAL94-8
	1994	104	box korer	–	0,068-0,218	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	PAL94-9
Sorgente et al. (1998)	1990	–	gravitacijski, box korer	–	0,016-0,900	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	15, 16, 18, 21, 31, 32, 34
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	112	box korer	–	0,054*	²¹⁰ Pb	ELNA6-103
Sorgente (1999)	1990	30	gravitacijski, box korer	–	0,68	²¹⁰ Pb (CF-CS)	MAX90-15
	1990	62	gravitacijski, box korer	–	0,50	²¹⁰ Pb (CF-CS)	MAX90-16
	1990	88	gravitacijski, box korer	–	0,34	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-18
Correggiari et al. (2001)	1995	62	gravitacijski korer	80	0,44	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF95-15
	1995	57	gravitacijski korer	45	0,55	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF95-17
	1995	44	gravitacijski korer	40	0,41	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF95-18

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Correggiari et al. (2001)	1995	47	gravitacijski korer	85	1,61	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF95-19
	1995	41	gravitacijski korer	95	1,64	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF95-20
Frignani et al. (2005a)	1986	128	gravitacijski korer	–	0,08	²¹⁰ Pb	AD86-35
	2000	82	gravitacijski korer	–	0,25	²¹⁰ Pb (CF-CS)	CSS00-04
	2000	80	gravitacijski korer	–	0,37	²¹⁰ Pb (CF-CS)	CSS00-20
Vigliotti et al. (2008)	–	56,3	bušotina	3280	0,20	magnetska analiza	PRAD2-4
Fanelli et al. (2025)	2016	121	box korer	25	0,08	korelacija ²¹⁰ Pb	S42
grad Vasto, Italija							
Alvisi & Frignani (1996)	1994	148	box korer	–	0,031	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-77
Sorgente et al. (1998)	1990	–	gravitacijski, box korer	–	0,016-0,900	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	23, 24, 25, 26, 27, 28
Giordani et al. (1999)	1994	86	gravitacijski korer	14	0,36	²¹⁰ Pb	EMAS94-4
grad Lesina, Italija							
Sorgente (1999)	1990	29	gravitacijski, box korer	–	0,60	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-23
	1990	51	gravitacijski, box korer	–	0,92	²¹⁰ Pb (CF-CS)	MAX90-24
	1990	80	gravitacijski, box korer	–	0,34	²¹⁰ Pb (CF-CS)	MAX90-25
	1990	93	gravitacijski, box korer	–	0,23	²¹⁰ Pb (CF-CS)	MAX90-26
	1990	113	gravitacijski, box korer	–	0,18	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-27
	1990	148	gravitacijski, box korer	–	0,12	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-28

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
poluotok Gargano, Italija							
van Straaten (1970)	1962, 1968	–	–	–	0,20-0,45	–	–
Alvisi & Frignani (1996)	1993	74	gravitacijski korer	–	0,04	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF93-30
	1993	42	gravitacijski korer	–	1,42	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF93-31
	1993	19	gravitacijski korer	–	0,09	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF93-32
Rolph et al. (1996)	1993	74	gravitacijski korer	–	109-885 god - 0,295	¹⁴ C, polen, magnetizam, tefra	RF93-30
Oldfield et al. (2003)	1993	74	gravitacijski korer	639	0-176 god - 0,494	¹⁴ C, polen, magnetizam, tefra	RF93-30
Cattaneo et al. (2003)	1993	42	gravitacijski korer	135	1,28	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF93-31
	1993	19	gravitacijski korer	135	0,08	²¹⁰ Pb (CF-CS)	RF93-32
	1999	65	gravitacijski korer	57	0,33	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-8
	1999	44	gravitacijski korer	113	0,57	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-10
	1999	26	gravitacijski korer	99	0,39	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-11
	1999	30	gravitacijski korer	92	0,49	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-12
	1999	77	gravitacijski korer	135	0,38	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-15
	1999	34	gravitacijski korer	69	0,46	²¹⁰ Pb (CF-CS)	AMC99-18
Frignani et al. (2005a)	1991	146	gravitacijski korer	–	0,065	²¹⁰ Pb	AD91-32
Fanelli et al. (2025)	2016	74,4	box korer	25	0,33	korelacija ²¹⁰ Pb	28
Srednjojadranska kotlina							
van Straaten (1970)	1962, 1968	–	–	–	0,05	–	–
Frignani et al. (1990), Frignani et al. (2005a)	1987	211	–	–	0,07	²¹⁰ Pb (CF-CS, CRS)	7, AD87-61
Alvisi & Frignani (1996)	1994	200	box korer	–	0,123	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-7
	1994	214	box korer	–	0,061	²¹⁰ Pb (CF-CS)	PAL94-66
Langone et al. (1996)	–	250	klipni korer	975	0,028-0,061	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	CM92-43
Sorgente et al. (1998)	1990	–	gravitacijski, box korer	–	0,016-0,900	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	23, 24, 25, 26, 27, 28

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Banzon et al. (1999)	1993-1994	238	box korer	–	0,025-0,040	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	Elna6-87
	1993, 1998	246	box korer	50	0,025*	¹⁴ C	P1
Hamilton et al. (1999)	1993-1994	230	box korer	–	0,025	²¹⁰ Pb	ELNA3-18
	1993-1994	238	box korer	–	0,032	²¹⁰ Pb	ELNA6-87
Sorgente (1999)	1990	176	gravitacijski, box korer	–	0,09	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-21
	1990	192	gravitacijski, box korer	–	0,14	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-30
	1990	206	gravitacijski, box korer	–	0,08	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-31
	1990	212	gravitacijski, box korer	–	0,13	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-32
	1990	210	gravitacijski, box korer	–	0,09	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-33
	1990	230	gravitacijski, box korer	–	0,11	²¹⁰ Pb (CRS)	MAX90-34
Giordani et al. (2002)	1993, 1998	246	box korer	50	0,04*	²¹⁰ Pb	P1
Piva (2007)	–	185,5	bušotina	7120	0-6000 god - 0,01	¹⁴ C	PRAD1-2
Hasan et al. (2021)	2017	212,5	gravitacijski korer	690	0-222 cm - 0,0027	¹⁴ C	POS514-40-11 GC
					222-365 cm - 0,0036		
					365-415 cm - 0,0062		
					415-567 cm - 0,0059		
					567-690 cm - 0,0031		
Fanelli et al. (2025)	2016	207	box korer	25	0,08	korelacija ²¹⁰ Pb	S40

Tablica 11. Objavljene brzine sedimentacije u Jadranskom moru. Nastavak.

Referenca	Godina uzorkovanja	Dubina (m)	Sredstvo uzorkovanja	Duljina jezgre (cm)	Brzina sedimentacije (cm/god) (* g/cm ² god)	Metoda datiranja	Oznaka uzorka
Južnojadranska kotlina							
Giordani et al. (1999)	1994	1010	–	–	0,09	²¹⁰ Pb	EMAS94-5
Giordani et al. (2002)	1997-1998	1196	box korer	50	0,014-0,049*	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	A1
Miserocchi et al. (2003)	1994-1995	1030	–	–	0,057*	²¹⁰ Pb (CRS)	–
Frignani et al. (2005a)	1991	1200	gravitacijski korer	–	0,016-0,076	²¹⁰ Pb, ¹⁴ C	AD91-1
	1991	987	gravitacijski korer	–	0,089	²¹⁰ Pb	AD91-3
	1991	578	gravitacijski korer	–	0,054	²¹⁰ Pb	AD91-28
	1991	398	gravitacijski korer	–	0,065	²¹⁰ Pb	AD91-30
Lo Giudice Cappelli (2010)	2009	200	box korer	21	0,084	²¹⁰ Pb (CF-CS)	BC 2
	2009	400	box korer	19	0,096	²¹⁰ Pb (CF-CS)	BC 3
	2009	600	box korer	37	0,070	²¹⁰ Pb (CF-CS)	BC 4
	2009	800	box korer	34	0,099	²¹⁰ Pb (CF-CS)	BC 5
	2009	1000	box korer	11	0,049	²¹⁰ Pb (CF-CS)	BC 6
Petrinec et al. (2012), Ilijanić et al. (2014)	2007	1041,4	box korer	30	0,18	¹³⁷ Cs (1962-64, 1986)	SA PIT 1
Petrinec et al. (2012), Ilijanić et al. (2012), Ilijanić et al. (2014)	2007	1030	box korer	30	0,18	¹³⁷ Cs (1962-64, 1986)	SA PIT 2
Štok et al. (2013)	2007	1042	box korer	30	0,068-0,090	²¹⁰ Pb (CRS, CIC)	–

Prilog 4. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri C1

Tablica 12. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri C1.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	0-1	0,773	0,51	1,64	2,15	74,161	0,378	1,216	1,594	1,294	0,292	0,940	1,233	5	78,540	0,003723	0,011970	0,015693
	1-2	0,331	0,49	1,78	2,27	42,758	0,210	0,761	0,971	3,021	0,069	0,252	0,321			0,000883	0,003208	0,004091
	2-3	0,404	0,45	1,89	2,34	51,761	0,233	0,978	1,211	2,475	0,094	0,395	0,489			0,001198	0,005032	0,006230
	3-4	0,426	0,38	1,75	2,13	46,458	0,177	0,813	0,990	2,347	0,075	0,346	0,422			0,000958	0,004410	0,005367
	4-5	0,599	0,35	1,84	2,19	55,934	0,196	1,029	1,225	1,669	0,117	0,616	0,734			0,001493	0,007849	0,009342
	7-8	0,256	0,39	1,80	2,19	57,826	0,226	1,041	1,266	3,906	0,058	0,266	0,324			0,000735	0,003393	0,004128
	11-12	0,162	0,39	1,90	2,29	47,552	0,185	0,903	1,089	6,173	0,030	0,146	0,176			0,000383	0,001864	0,002246
	15-16	0,267	0,38	1,88	2,26	72,224	0,274	1,358	1,632	3,745	0,073	0,363	0,436			0,000933	0,004616	0,005549
	17-18	0,121	0,31	1,88	2,19	83,347	0,258	1,567	1,825	8,264	0,031	0,190	0,221			0,000398	0,002414	0,002812
	18-19	0,321	0,25	1,89	2,14	67,664	0,169	1,279	1,448	3,115	0,054	0,411	0,465			0,000691	0,005227	0,005918
	20-21	0,143	0,24	1,88	2,12	64,602	0,155	1,215	1,370	6,993	0,022	0,174	0,196			0,000282	0,002211	0,002494
	21-22	0,137	0,28	1,96	2,24	57,882	0,162	1,134	1,297	7,299	0,022	0,155	0,178			0,000283	0,001979	0,002262

Tablica 13. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri C1.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-1	1	2017	406,52	1,2325	5,7164	6,8660	0,002420	10,6109	0,1351	0,116156	0,015693
1-2	3	2015	400,87	0,3213	5,6370	6,7706	0,002387	10,4634	0,1332	0,030704	0,004091
2-3	5	2013	396,65	0,4893	5,5777	6,6993	0,002362	10,3533	0,1318	0,047263	0,006230
3-4	8	2010	389,91	0,4216	5,4829	6,5855	0,002321	10,1774	0,1296	0,041421	0,005367
4-5	9	2009	387,34	0,7337	5,4467	6,5421	0,002306	10,1103	0,1287	0,072574	0,009342
7-8	15	2003	375,57	0,3242	5,2812	6,3433	0,002236	9,8031	0,1248	0,033071	0,004128
11-12	30	1988	351,24	0,1764	4,9391	5,9324	0,002091	9,1680	0,1167	0,019242	0,002246
15-16	36	1982	341,15	0,4358	4,7972	5,7619	0,002031	8,9046	0,1134	0,048942	0,005549
17-18	40	1978	335,52	0,2209	4,7181	5,6669	0,001998	8,7577	0,1115	0,025219	0,002812
18-19	43	1975	331,16	0,4648	4,6567	5,5932	0,001972	8,6439	0,1101	0,053773	0,005918
20-21	50	1968	323,05	0,1958	4,5427	5,4562	0,001923	8,4322	0,1074	0,023226	0,002494
21-22	57	1961	317,64	0,1776	4,4666	5,3649	0,001891	8,2910	0,1056	0,021424	0,002262

Prilog 5. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri C2

Tablica 14. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri C2.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	0-1	1,075	1,86	2,49	4,35	6,71	0,125	0,167	0,292	0,930	0,134	0,180	0,314	4	50,265	0,002669	0,003573	0,006242
	3-4	0,364	2,08	2,95	5,03	7,14	0,149	0,211	0,359	2,747	0,054	0,077	0,131			0,001075	0,001525	0,002601
	5-6	0,417	2,23	2,47	4,70	6,75	0,151	0,167	0,317	2,398	0,063	0,070	0,132			0,001249	0,001383	0,002632
	7-8	0,446	2,05	2,63	4,68	7,95	0,163	0,209	0,372	2,242	0,073	0,093	0,166			0,001446	0,001855	0,003301
	9-10	0,327	2,06	2,34	4,40	8,91	0,184	0,208	0,392	3,058	0,060	0,068	0,128			0,001194	0,001356	0,002550
	11-12	0,355	2,01	2,37	4,38	9,58	0,193	0,227	0,420	2,817	0,068	0,081	0,149			0,001360	0,001604	0,002963
	13-14	0,370	1,52	2,74	4,26	7,42	0,113	0,203	0,316	2,703	0,042	0,075	0,117			0,000830	0,001497	0,002327
	15-16	0,243	1,78	2,42	4,20	9,28	0,165	0,225	0,390	4,115	0,040	0,055	0,095			0,000799	0,001086	0,001884
	17-18	0,204	1,89	2,41	4,30	8,47	0,160	0,204	0,364	4,902	0,033	0,042	0,074			0,000650	0,000828	0,001478
	19-20	0,156	1,79	2,63	4,42	9,15	0,164	0,241	0,404	6,410	0,026	0,038	0,063			0,000508	0,000747	0,001255
	21-22	0,136	2,10	2,28	4,38	7,93	0,167	0,181	0,347	7,353	0,023	0,025	0,047			0,000451	0,000489	0,000940
	23-24	0,150	2,21	2,81	5,02	8,73	0,193	0,245	0,438	6,667	0,029	0,037	0,066			0,000576	0,000732	0,001308
	25-26	0,096	2,11	2,74	4,85	8,08	0,170	0,221	0,392	10,417	0,016	0,021	0,038			0,000326	0,000423	0,000748
	27-28	0,049	1,65	2,20	3,85	11,78	0,194	0,259	0,454	20,408	0,010	0,013	0,022			0,000189	0,000253	0,000442

Tablica 15. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri C2.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-1	0,93	2020	413,95	0,3138	5,8209	6,9915	0,001577	6,9151	0,1376	0,045376	0,006242
3-4	5,42	2016	404,21	0,1307	5,6840	6,8270	0,001540	6,7524	0,1343	0,019360	0,002601
5-6	10,55	2010	389,91	0,1323	5,4829	6,5856	0,001486	6,5136	0,1296	0,020310	0,002632
7-8	15,57	2005	379,57	0,1659	5,3374	6,4108	0,001446	6,3407	0,1261	0,026170	0,003301
9-10	21,77	1999	368,22	0,1282	5,1778	6,2191	0,001403	6,1511	0,1224	0,020841	0,002550
11-12	28,29	1992	356,17	0,1490	5,0085	6,0157	0,001357	5,9499	0,1184	0,025035	0,002963
13-14	33,90	1987	348,86	0,1170	4,9056	5,8921	0,001329	5,8277	0,1159	0,020069	0,002327
15-16	41,72	1979	336,86	0,0947	4,7369	5,6895	0,001284	5,6273	0,1120	0,016831	0,001884
17-18	48,15	1973	329,68	0,0743	4,6359	5,5682	0,001256	5,5074	0,1096	0,013491	0,001478
19-20	54,58	1966	321,37	0,0631	4,5191	5,4278	0,001225	5,3685	0,1068	0,011752	0,001255
21-22	67,72	1953	313,17	0,0472	4,4038	5,2894	0,001193	5,2316	0,1041	0,009029	0,000940
23-24	84,96	1936	309,34	0,0657	4,3500	5,2248	0,001179	5,1677	0,1028	0,012721	0,001308
25-26	95,40	1926	304,97	0,0376	4,2884	5,1509	0,001162	5,0946	0,1014	0,007384	0,000748
27-28	132,73	1888	292,34	0,0222	4,1109	4,9376	0,001114	4,8836	0,0972	0,004550	0,000442

Prilog 6. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri JJ1

Tablica 16. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri JJ1.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	1-2	0,146	0,41	2,47	2,88	20,974	0,086	0,518	0,604	6,849	0,013	0,076	0,088	4,3	58,088	0,000217	0,001301	0,001518
	2-3	0,133	0,36	2,47	2,83	22,806	0,082	0,563	0,645	7,519	0,011	0,075	0,086			0,000188	0,001290	0,001478
	3-4	0,102	0,37	2,58	2,95	34,545	0,128	0,891	1,019	9,804	0,013	0,091	0,104			0,000224	0,001565	0,001789
	4-5	0,121	0,43	2,97	3,40	22,230	0,096	0,660	0,756	8,264	0,012	0,080	0,091			0,000199	0,001375	0,001574
	5-6	0,184	0,39	2,81	3,20	21,815	0,085	0,613	0,698	5,435	0,016	0,113	0,128			0,000269	0,001942	0,002211
	6-7	0,130	0,43	2,31	2,74	14,287	0,061	0,330	0,391	7,692	0,008	0,043	0,051			0,000137	0,000739	0,000876
	7-8	0,099	0,40	2,47	2,87	39,869	0,159	0,985	1,144	10,101	0,016	0,097	0,113			0,000272	0,001678	0,001950
	8-9	0,090	0,36	2,79	3,15	30,823	0,111	0,860	0,971	11,111	0,010	0,077	0,087			0,000172	0,001332	0,001504
	9-10	0,061	0,37	2,37	2,74	24,345	0,090	0,577	0,667	16,393	0,005	0,035	0,041			0,000095	0,000606	0,000700
	10-11	0,056	0,34	2,51	2,85	29,301	0,100	0,735	0,835	17,857	0,006	0,041	0,047			0,000096	0,000709	0,000805
	11-12	0,021	0,32	2,32	2,64	34,828	0,111	0,808	0,919	47,619	0,002	0,017	0,019			0,000040	0,000292	0,000332

Tablica 17. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri JJ1.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
1-2	7	2012	393,95	0,0882	5,5397	6,6537	0,001735	7,6051	0,1309	0,011596	0,001518
2-3	14	2005	379,57	0,0858	5,3374	6,4108	0,001671	7,3275	0,1261	0,011715	0,001478
3-4	24	1995	360,73	0,1039	5,0725	6,0926	0,001588	6,9638	0,1199	0,014926	0,001789
4-5	33	1986	347,13	0,0915	4,8813	5,8630	0,001529	6,7014	0,1154	0,013647	0,001574
5-6	40	1979	336,86	0,1284	4,7369	5,6895	0,001483	6,5031	0,1120	0,019752	0,002211
6-7	45	1974	330,25	0,0509	4,6440	5,5779	0,001454	6,3755	0,1098	0,007982	0,000876
7-8	54	1965	320,04	0,1133	4,5003	5,4053	0,001409	6,1783	0,1064	0,018335	0,001950
8-9	66	1953	312,80	0,0874	4,3986	5,2831	0,001377	6,0386	0,1040	0,014471	0,001504
9-10	79	1940	307,74	0,0407	4,3274	5,1976	0,001355	5,9409	0,1023	0,006849	0,000700
10-11	95	1924	304,72	0,0468	4,2849	5,1466	0,001342	5,8825	0,1013	0,007950	0,000805
11-12	124	1895	293,81	0,0193	4,1315	4,9624	0,001294	5,6720	0,0976	0,003404	0,000332

Prilog 7. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri JJ2

Tablica 18. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri JJ2.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
0,5	0-0,5	0,260	0,42	2,83	3,25	5,792	0,024	0,164	0,188	1,923	0,013	0,085	0,098	4,3	58,088	0,000218	0,001467	0,001685
	2-2,5	0,180	0,45	2,72	3,17	8,093	0,036	0,220	0,257	2,778	0,013	0,079	0,092			0,000226	0,001364	0,001590
	4-4,5	0,103	0,39	2,82	3,21	7,542	0,029	0,213	0,242	4,854	0,006	0,044	0,050			0,000104	0,000754	0,000859
	5-5,5	0,084	0,36	2,95	3,31	7,665	0,028	0,226	0,254	5,952	0,005	0,038	0,043			0,000080	0,000654	0,000734
	6-6,5	0,078	0,44	2,81	3,25	7,932	0,035	0,223	0,258	6,410	0,005	0,035	0,040			0,000094	0,000599	0,000692
	7-7,5	0,171	0,36	2,87	3,23	7,811	0,028	0,224	0,252	2,924	0,010	0,077	0,086			0,000166	0,001320	0,001485
	9-9,5	0,103	0,41	2,88	3,29	6,728	0,028	0,194	0,221	4,854	0,006	0,040	0,046			0,000098	0,000687	0,000785
	12-12,5	0,060	0,31	2,83	3,14	8,782	0,027	0,249	0,276	8,333	0,003	0,030	0,033			0,000056	0,000513	0,000570

Tablica 19. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri JJ2.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-0,5	2	2017	406,52	0,0979	5,7164	6,8660	0,001790	7,8478	0,1351	0,012472	0,001685
2-2,5	10	2009	387,34	0,0924	5,4467	6,5421	0,001706	7,4776	0,1287	0,012351	0,001590
4-4,5	25	1994	358,72	0,0499	5,0443	6,0587	0,001580	6,9251	0,1192	0,007202	0,000859
5-5,5	37	1982	341,15	0,0426	4,7972	5,7619	0,001502	6,5859	0,1134	0,006472	0,000734
6-6,5	49	1970	325,68	0,0402	4,5797	5,5007	0,001434	6,2872	0,1082	0,006397	0,000692
7-7,5	58	1961	317,64	0,0863	4,4666	5,3649	0,001399	6,1320	0,1056	0,014071	0,001485
9-9,5	73	1946	312,87	0,0456	4,3996	5,2843	0,001378	6,0399	0,1040	0,007550	0,000785
12-12,5	111	1908	301,50	0,0331	4,2397	5,0923	0,001328	5,8204	0,1002	0,005686	0,000570

Prilog 8. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri SJ1

Tablica 20. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri SJ1.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radijus jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	0-1	0,65	0,48	5,64	6,12	20,58	0,099	1,161	1,259	1,538	0,064	0,754	0,819	4,3	58,088	0,001105	0,012988	0,014094
	2-3	0,47	0,47	5,82	6,29	23,61	0,111	1,374	1,485	2,128	0,052	0,646	0,698			0,000898	0,011118	0,012016
	4-5	0,50	0,48	5,77	6,25	32,23	0,155	1,860	2,014	2,000	0,077	0,930	1,007			0,001332	0,016007	0,017339
	6-7	0,35	0,43	5,80	6,23	60,84	0,262	3,529	3,790	2,857	0,092	1,235	1,327			0,001576	0,021262	0,022838
	8-9	0,40	0,44	5,93	6,37	50,48	0,222	2,993	3,216	2,500	0,089	1,197	1,286			0,001529	0,020613	0,022143
	10-11	0,32	0,43	5,91	6,34	57,00	0,245	3,369	3,614	3,125	0,078	1,078	1,156			0,001350	0,018558	0,019908
	12-13	0,30	0,44	5,75	6,19	60,48	0,266	3,478	3,744	3,333	0,080	1,043	1,123			0,001374	0,017960	0,019335
	14-15	0,25	0,41	5,86	6,27	33,20	0,136	1,946	2,082	4,000	0,034	0,486	0,520			0,000586	0,008373	0,008959
	16-17	0,23	0,42	5,79	6,21	47,88	0,201	2,772	2,973	4,348	0,046	0,638	0,684			0,000796	0,010977	0,011773
	18-19	0,21	0,45	5,87	6,32	49,45	0,223	2,903	3,125	4,762	0,047	0,610	0,656			0,000804	0,010494	0,011298
	20-21	0,16	0,42	5,72	6,14	32,81	0,138	1,877	2,015	6,250	0,022	0,300	0,322			0,000380	0,005169	0,005549
	22-23	0,14	0,40	5,78	6,18	28,78	0,115	1,663	1,779	7,143	0,016	0,233	0,249			0,000277	0,004009	0,004287

Tablica 21. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri SJ1.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-1	1	2020	413,95	0,8187	5,8209	6,9915	0,001823	7,9912	0,1376	0,102447	0,014094
2-3	4	2017	406,52	0,6980	5,7164	6,8659	0,001790	7,8477	0,1351	0,088941	0,012016
4-5	9	2012	393,95	1,0072	5,5397	6,6537	0,001735	7,6051	0,1309	0,132435	0,017339
6-7	14	2007	383,56	1,3266	5,3936	6,4783	0,001689	7,4047	0,1275	0,179160	0,022838
8-9	19	2002	373,02	1,2862	5,2454	6,3003	0,001643	7,2012	0,1240	0,178614	0,022143
10-11	25	1996	362,51	1,1564	5,0976	6,1227	0,001596	6,9983	0,1205	0,165243	0,019908
12-13	32	1989	352,71	1,1231	4,9597	5,9571	0,001553	6,8090	0,1172	0,164946	0,019335
14-15	39	1982	341,15	0,5204	4,7972	5,7620	0,001502	6,5859	0,1134	0,079019	0,008959
16-17	47	1974	330,25	0,6839	4,6440	5,5779	0,001454	6,3755	0,1098	0,107266	0,011773
18-19	57	1964	319,62	0,6563	4,4944	5,3982	0,001407	6,1702	0,1062	0,106367	0,011298
20-21	67	1954	314,71	0,3223	4,4255	5,3154	0,001386	6,0755	0,1046	0,053053	0,005549
22-23	79	1942	312,18	0,2490	4,3899	5,2727	0,001375	6,0267	0,1038	0,041317	0,004287

Prilog 9. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri SJ2

Tablica 22. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri SJ2.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	0-1	0,295	0,46	6,22	6,68	29,10	0,134	1,810	1,944	3,390	0,039	0,534	0,573	4,3	58,088	0,000680	0,009192	0,009872
	2-3	0,174	0,47	6,42	6,89	45,95	0,216	2,950	3,166	5,747	0,038	0,513	0,551			0,000647	0,008837	0,009483
	4-5	0,190	0,43	6,43	6,86	46,37	0,199	2,982	3,181	5,263	0,038	0,567	0,604			0,000652	0,009752	0,010405
	6-7	0,135	0,39	6,82	7,21	44,53	0,174	3,037	3,211	7,407	0,023	0,410	0,433			0,000404	0,007058	0,007462
	8-9	0,098	0,46	6,31	6,77	47,62	0,219	3,005	3,224	10,204	0,021	0,294	0,316			0,000370	0,005069	0,005439
	10-11	0,090	0,42	7,91	8,33	55,60	0,234	4,398	4,631	11,111	0,021	0,396	0,417			0,000362	0,006814	0,007176
	12-13	0,055	0,37	6,43	6,80	58,26	0,216	3,746	3,962	18,182	0,012	0,206	0,218			0,000204	0,003547	0,003751

Tablica 23. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri SJ2.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-1	2	2019	411,43	0,5734	5,7854	6,9489	0,001812	7,9425	0,1367	0,072199	0,009872
2-3	10	2011	391,70	0,5509	5,5080	6,6156	0,001725	7,5617	0,1302	0,072851	0,009483
4-5	21	2000	369,38	0,6044	5,1942	6,2388	0,001627	7,1309	0,1228	0,084756	0,010405
6-7	34	1987	348,86	0,4334	4,9056	5,8921	0,001536	6,7347	0,1159	0,064359	0,007462
8-9	51	1970	325,68	0,3159	4,5797	5,5007	0,001434	6,2873	0,1082	0,050251	0,005439
10-11	73	1948	309,69	0,4168	4,3549	5,2307	0,001364	5,9786	0,1029	0,069721	0,007176
12-13	101	1920	301,88	0,2179	4,2450	5,0986	0,001329	5,8277	0,1003	0,037389	0,003751

Prilog 10. Izračun sedimentacije i sekvestracije ugljika u jezgri SJ3

Tablica 24. Izračun sedimentacije ugljika u jezgri SJ3.

Duljina intervala (cm)	Dubina (cm)	CRS brzina sedimentacije (cm/god)	TOC (%)	TIC (%)	TC (%)	Masa intervala (g)	TOC (g)	TIC (g)	TC (g)	Trajanje taloženja (god)	TOC (g/god)	TIC (g/god)	TC (g/god)	Radius jezgre (cm)	Površina jezgre (cm ²)	TOC (g/cm ² god)	TIC (g/cm ² god)	TC (g/cm ² god)
1	0-1	0,313	0,17	7,88	8,05	46,24	0,079	3,644	3,722	3,195	0,025	1,140	1,165	4,3	58,088	0,000424	0,019634	0,020057
	2-3	0,175	0,18	7,96	8,14	76,88	0,138	6,120	6,258	5,714	0,024	1,071	1,095			0,000417	0,018436	0,018853
	4-5	0,149	0,19	7,89	8,08	90,95	0,173	7,176	7,349	6,711	0,026	1,069	1,095			0,000443	0,018407	0,018850
	6-7	0,109	0,20	7,64	7,84	87,49	0,175	6,684	6,859	9,174	0,019	0,729	0,748			0,000328	0,012543	0,012871
	8-9	0,099	0,22	7,57	7,79	65,32	0,144	4,945	5,088	10,101	0,014	0,490	0,504			0,000245	0,008427	0,008672
	11-12	0,135	0,21	7,56	7,77	60,79	0,128	4,596	4,723	7,407	0,017	0,620	0,638			0,000297	0,010681	0,010977
	13-14	0,068	0,21	7,39	7,60	74,92	0,157	5,537	5,694	14,706	0,011	0,376	0,387			0,000184	0,006481	0,006666

Tablica 25. Izračun sekvestracije ugljika u jezgri SJ3.

Dubina (cm)	Starost (god)	Godina	Koncentracija atmosferskog CO ₂ (ppmv)	TC u sedimentu (g/god)	Množina CO ₂ u atmosferi (10 ¹³ mol)	Masa TC u atmosferi (10 ¹⁴ g)	Množina CO ₂ u atmosferskom stupcu (mol)	TC u atmosferskom stupcu (g/god)	TC u atmosferskom stupcu (g/cm ² god)	TC u sedimentu (g/god) / TC u atmosferskom stupcu (g/god)	Sekvestrirani C (g/cm ² god)
0-1	1	2020	413,95	1,1651	5,8209	6,9915	0,001823	7,9912	0,1376	0,145796	0,020057
2-3	11	2010	389,91	1,0952	5,4829	6,5856	0,001717	7,5273	0,1296	0,145492	0,018853
4-5	24	1997	363,65	1,0950	5,1136	6,1419	0,001601	7,0202	0,1209	0,155973	0,018850
6-7	38	1983	342,80	0,7477	4,8204	5,7898	0,001510	6,6177	0,1139	0,112978	0,012871
8-9	59	1962	318,45	0,5038	4,4781	5,3786	0,001402	6,1477	0,1058	0,081941	0,008672
11-12	89	1932	308,28	0,6377	4,3350	5,2068	0,001358	5,9513	0,1025	0,107146	0,010977
13-14	108	1913	301,30	0,3872	4,2368	5,0888	0,001327	5,8165	0,1001	0,066567	0,006666

Prilog 11. Sekvestracija ugljika unutar oceanskih, crnomorskih i jadranskih sedimenata

Tablica 26. Količina sekvestriranog ugljika ($\text{g}/\text{cm}^2\text{god}$) po dubinskim intervalima od 50 m i vremenskim intervalima od 10 godina.

	1-50 m (C1)	51-100 m (SJ1-3)	101-150 m (C2, JJ1)	151-200 m (JJ2)	Ukupno
2011-2020	0,00867 $\pm 0,00617$	0,01381 $\pm 0,00422$	0,00345 $\pm 0,00247$	0,00169 $\pm 0,00011$	0,02762 $\pm 0,01298$
2001-2010	0,00628 $\pm 0,00272$	0,02128 $\pm 0,00213$	0,00247 $\pm 0,00092$	0,00159 $\pm 0,00012$	0,03162 $\pm 0,00590$
1991-2000		0,01639 $\pm 0,00521$	0,00243 $\pm 0,00060$	0,00086 $\pm 0,00009$	0,01968 $\pm 0,00589$
1981-1990	0,00390 $\pm 0,00234$	0,01216 $\pm 0,00530$	0,00195 $\pm 0,00053$	0,00073 $\pm 0,00012$	0,01874 $\pm 0,00828$
1971-1980	0,00437 $\pm 0,00220$	0,01177 $\pm 0,00340$	0,00161 $\pm 0,00058$		0,01775 $\pm 0,00617$
1961-1970	0,00238 $\pm 0,00016$	0,00847 $\pm 0,00293$	0,00160 $\pm 0,00049$	0,00109 $\pm 0,00056$	0,01354 $\pm 0,00415$
1951-1960		0,00555 $\pm 0,00239$	0,00122 $\pm 0,00040$		0,00677 $\pm 0,00279$
1941-1950		0,00573 $\pm 0,00204$		0,00079 $\pm 0,00025$	0,00652 $\pm 0,00229$
1931-1940		0,01098 $\pm 0,00614$	0,00100 $\pm 0,00043$		0,01198 $\pm 0,00657$
1921-1930			0,00078 $\pm 0,00004$		0,00078 $\pm 0,00004$
1911-1920		0,00521 $\pm 0,00206$			0,00521 $\pm 0,00206$
1901-1910				0,00057 $\pm 0,00026$	0,00057 $\pm 0,00026$
1891-1900			0,00033 $\pm 0,00021$		0,00033 $\pm 0,00021$
1881-1890			0,00044		0,00044

Tablica 27. Količina sekvestriranog ugljika unutar
crnomorskih sedimenata (GtC/god) po dubinskim intervalima od
50 m i vremenskim intervalima od 10 godina.

	1-50 m	51-100 m	101-150 m	151-200 m	Ukupno
2011-2020	0,004709 ± 0,003353	0,005992 ± 0,001831	0,000355 ± 0,000254	0,000059 ± 0,000004	0,011115 ± 0,005442
2001-2010	0,003410 ± 0,001479	0,009233 ± 0,000924	0,000254 ± 0,000095	0,000055 ± 0,000004	0,012952 ± 0,002502
1991-2000		0,007111 ± 0,002260	0,000250 ± 0,000061	0,000030 ± 0,000003	0,007391 ± 0,002324
1981-1990	0,002117 ± 0,001268	0,005275 ± 0,002300	0,000201 ± 0,000055	0,000026 ± 0,000004	0,007618 ± 0,003627
1971-1980	0,002371 ± 0,001193	0,005108 ± 0,001474	0,000166 ± 0,000059		0,007645 ± 0,002726
1961-1970	0,001291 ± 0,000089	0,003675 ± 0,001274	0,000165 ± 0,000051	0,000038 ± 0,000020	0,005169 ± 0,001433
1951-1960		0,002408 ± 0,001038	0,000126 ± 0,000041		0,002533 ± 0,001079
1941-1950		0,002487 ± 0,000886		0,000027 ± 0,000009	0,002514 ± 0,000895
1931-1940		0,004763 ± 0,002663	0,000103 ± 0,000044		0,004867 ± 0,002707
1921-1930			0,000080 ± 0,000004		0,000080 ± 0,000004
1911-1920		0,002260 ± 0,000894			0,002260 ± 0,000894
1901-1910				0,000020 ± 0,000009	0,000020 ± 0,000009
1891-1900			0,000034 ± 0,000022		0,000034 ± 0,000022
1881-1890			0,000045		0,000045

Tablica 28. Količina sekvestriranog ugljika unutar
jadranskih sedimenata (GtC/god) po dubinskim intervalima od
50 m i vremenskim intervalima od 10 godina.

	1-50 m	51-100 m	101-150 m	151-200 m	Ukupno
2011-2020	0,003065 ± 0,002182	0,004578 ± 0,001399	0,000817 ± 0,000586	0,000184 ± 0,000012	0,008644 ± 0,004179
2001-2010	0,002219 ± 0,000963	0,007053 ± 0,000706	0,000585 ± 0,000218	0,000173 ± 0,000014	0,010030 ± 0,001900
1991-2000		0,005432 ± 0,001726	0,000576 ± 0,000141	0,000094 ± 0,000010	0,006102 ± 0,001877
1981-1990	0,001377 ± 0,000825	0,004030 ± 0,001757	0,000462 ± 0,000126	0,000080 ± 0,000013	0,005949 ± 0,002721
1971-1980	0,001543 ± 0,000776	0,003903 ± 0,001126	0,000382 ± 0,000136		0,005827 ± 0,002039
1961-1970	0,000840 ± 0,000058	0,002808 ± 0,000973	0,000379 ± 0,000116	0,000119 ± 0,000061	0,004146 ± 0,001208
1951-1960		0,001839 ± 0,000793	0,000289 ± 0,000094		0,002129 ± 0,000887
1941-1950		0,001900 ± 0,000677		0,000086 ± 0,000027	0,001985 ± 0,000704
1931-1940		0,003639 ± 0,002034	0,000238 ± 0,000102		0,003877 ± 0,002136
1921-1930			0,000184 ± 0,000009		0,000184 ± 0,000009
1911-1920		0,001726 ± 0,000683			0,001726 ± 0,000683
1901-1910				0,000062 ± 0,000029	0,000062 ± 0,000029
1891-1900			0,000079 ± 0,000050		0,000079 ± 0,000050
1881-1890			0,000105		0,000105

Tablica 29. Količina sekvestriranog ugljika unutar
oceanskih sedimenata (GtC/god) po dubinskim intervalima od
50 m i vremenskim intervalima od 10 godina.

	1-50 m	51-100 m	101-150 m	151-200 m	Ukupno
2011-2020	1,086 ± 0,773	1,196 ± 0,365	0,166 ± 0,119	0,052 ± 0,004	2,500 ± 1,261
2001-2010	0,786 ± 0,341	1,843 ± 0,184	0,119 ± 0,044	0,049 ± 0,004	2,797 ± 0,574
1991-2000		1,420 ± 0,451	0,117 ± 0,029	0,026 ± 0,003	2,051 ± 0,775
1981-1990	0,488 ± 0,292	1,053 ± 0,459	0,094 ± 0,026	0,023 ± 0,004	1,658 ± 0,781
1971-1980	0,547 ± 0,275	1,020 ± 0,294	0,078 ± 0,028		1,644 ± 0,597
1961-1970	0,298 ± 0,021	0,734 ± 0,254	0,077 ± 0,024	0,034 ± 0,017	1,142 ± 0,316
1951-1960		0,481 ± 0,207	0,059 ± 0,019		0,540 ± 0,226
1941-1950		0,496 ± 0,177		0,024 ± 0,008	0,521 ± 0,185
1931-1940		0,951 ± 0,532	0,048 ± 0,021		0,999 ± 0,552
1921-1930			0,037 ± 0,002		0,037 ± 0,002
1911-1920		0,451 ± 0,179			0,451 ± 0,179
1901-1910				0,018 ± 0,008	0,018 ± 0,008
1891-1900			0,016 ± 0,010		0,016 ± 0,010
1881-1890			0,021		0,021

13. Životopis

Andrija Vinković rođen je 6. travnja 1994. u Zagrebu. Akademske godine 2012./2013. upisao je studij Geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirao je 2017. godine pod vodstvom prof. dr. sc. Mladena Juračića s radom „Taložni okoliši i foraminiferske zajednice u sedimentima delte rijeke Mirne“. Od 2018. je zaposlen na Institutu Ruđer Bošković, gdje je proveo većinu radnog staža. Iste godine je upisao doktorski studij Geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Do danas je objavio dvanaest radova s međunarodnom recenzijom, jedan rad s domaćom recenzijom i jedan prilog u knjizi, a sudjelovao je na šest međunarodnih znanstvenih skupova te na jednoj domaćoj i pet međunarodnih znanstvenih radionica.

Objavljeni znanstveni radovi

Sudac, D., Obhodaš, J., Vinković, A., Kutle, A. & Valković, V. (2019): Authentication of Geographic Origin of Wine by using EDXRF and Multivariate Statistics. *Journal of Basic & Applied Sciences* 15, 40-47. <https://doi.org/10.29169/1927-5129.2019.15.05>

Obhodas, J., Tinivella, U., Giustiniani, M., Durn, T., Vinkovic, A., Radic, S., Soprun, F. & Sudac, D. (2020): Past and present potential of the Adriatic deep sea sediments to produce methane hydrates. *Journal of Soils and Sediments* 20, 2724-2732. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02497-y>

Vinković, A., Obhodaš, J., Sudac, D., Nađ, K. & Valković, V. (2020): Analysis of carbon in sediments using fast neutron activation analysis (FNAA). *Journal of Soils and Sediments* 20, 2741-2748. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02485-2>

Obhodaš, J., Valković, V., Kollar, R., Hrenović, J., Nađ, K., Vinković, A. & Orlić, Ž. (2021): The Growth and Sporulation of *Bacillus subtilis* in Nanotesla Magnetic Fields. *Astrobiology* 21, 323-331. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2288>

Vinković, A., Sudac, D., Valković, V., Vdović, N., Mišić Radić, T., Marciuš, M., Feigl, V. & Obhodaš, J. (2021): Effects of microscale particles in red mud amended artificial soils on bioaccumulation of elements in *E. fetida*. *Journal of Hazardous Materials* 403, 123613. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123613>

Nuhanović, M., Smječanin, N., Curić, N. & Vinković, A. (2021): Efficient removal of U(VI) from aqueous solution using the biocomposite based on sugar beet pulp and pomelo peel. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 328, 347-358. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07651-w>

Ivić, I., Kopjar, M., Obhodaš, J., Vinković, A., Pichler, D., Mesić, J. & Pichler, A. (2021): Concentration with Nanofiltration of Red Wine Cabernet Sauvignon Produced from Conventionally and Ecologically Grown Grapes: Effect on Volatile Compounds and Chemical Composition. *Membranes* 11, 320. <https://doi.org/10.3390/membranes11050320>

Obhodaš, J., Valković, V., Vinković, A., Sudac, D., Čanadija, I., Pensa, T., Fiket, Ž., Turyanskaya, A., Bretschneider, T., Wilhelmer, C., Gunchin, G., Kregsamer, P., Wobrauschek, P. & Streli, C. (2021): X-ray Fluorescence Techniques for Element Abundance Analysis in Wine. *ACS Omega* 6, 22643-22654. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02731>

Sudac, D., Valkovic, V., Nad, K., Orlic, Z., Uroic, M., Batur, J., Vinkovic, A., Eres, Z., Gacina, M., Perkovic, A., Korolija, M., Rendic, D., Meric, I., Pettersen, H.E.S. & Obhodas, J. (2022): Development of a neutron probe for Carbon-to-Oxygen (C/O) oil logging equipped with a high-temperature alpha particle detector. *Fuel* 315, 122843. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122843>

Batur, J., Sudac, D., Valkovic, V., Nađ, K., Orlić, Ž., Uroić, M., Vinković, A., Ereš, Z., Gaćina, M., Perković, A., Korolija, M., Rendić, D., Meric, I., Pettersen, H.E.S. & Obhodas, J. (2022): Razvoj novog tipa neutronske probe za ispitivanje naftnih bušotina. *Nafta i plin* 42, 63-68.

Nuhanović, M., Šehović, E., Smječanin, N., Hodžić, D. & Vinković, A. (2022): Assessment of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Urban Soil of Sarajevo (Bosnia and Herzegovina). *Radiochemistry* 64, 416-423. <https://doi.org/10.1134/S1066362222030201>

Vinković, A., Laptyev, G., Yaprak, G., Slavova, K., Joksimović, D., Troškot-Čorbić, T., Frontasyeva, M., Dului, O.G., Bylyku, E., Shyti, M., Humbatov, F., Nuhanović, M., Smječanin, N., Nonova, T., Dobrev, L., Pashalidis, I., Melikadze, G., Ioannidou, A., Tsabaris, C., Aidarkhanova, A., David, D., Zinicovscaia, I., Kamnev, A., Horvat, M., Nečemer, M., Jaćimović, R., Yücel, H., Kalayci, Y., Dirican, A., Sert, I., Plotsen, M., Korychenskyi, K., Khatir, S.M.A., Sander, S.G., Deufrains, K., Fajković, H., Klanjšček, T., Vdović, N., Legović, T. & Obhodaš, J. (2022): Could atmospheric carbon be driving sedimentation? *Journal of Soils and Sediments* 22, 2912-2928. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03282-0>

Ivić, I., Kopjar, M., Obhodaš, J., Vinković, A., Babić, J., Mesić, J. & Pichler, A. (2022): Influence of the Processing Parameters on the Aroma Profile and Chemical Composition of Conventional and Ecological Cabernet Sauvignon Red Wines during Concentration by Reverse Osmosis. *Membranes* 12, 1008. <https://doi.org/10.3390/membranes12101008>

Objavljeni prilog u knjizi

Obhodaš, J., Kutle, M., Kutle, A., Barši, P., Vinković, A., Bužan, T., Legović, T. & Valković, V. (2021): Changes in Trends of the Seawater Column Parameters and Sediment Elements' Concentrations from 2009 to 2018 in the Marina Located in the Northern Adriatic Sea. U: Joksimović, D., Đurović, M., Zonn, I.S., Kostianoy, A.G., Semenov, A.V. (ur.): *The Montenegrin Adriatic Coast*. Springer, Cham, Njemačka, 353-372. https://doi.org/10.1007/698_2020_713

Sažetci na međunarodnim znanstvenim skupovima

Vinković, A., Sudac, D., Valković, V., Hackenberger Kutuzović, D., Feigl, V., Lončarić, Ž., Hackenberger Kutuzović, B. & Obhodaš, J. (2018): Effects of red mud on metals bioaccumulation in earthworms. U: Kavčić, M., Žitnik, M., Hrast, M., Bučar, K. (ur.): *European Conference on X-Ray Spectrometry "EXRS – 2018"*, 24-29 June 2018, Ljubljana, Slovenia, Book of Abstracts. Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija, 316. (postersko priopćenje)

Obhodas, J., Tinivella, U., Giustiniani, M., Durn, T., Vinkovic, A. & Sudac, D. (2019): Indicators of methane hydrates occurrence in the deep Adriatic Sea. U: 11th International SedNet Conference: Sediment as a dynamic natural resource from catchment to open sea, 3-5 April 2019, Dubrovnik, Croatia, Book of Abstracts. SedNet Secretariat, Utrecht, Nizozemska, 13. (usmeno izlaganje)

Obhodaš, J., Sudac, D., Vinković, A., Nađ, K. & Valković, V. (2019): Analysis of carbon in sediments using FNAA. U: 11th International SedNet Conference: Sediment as a dynamic natural resource from catchment to open sea, 3-5 April 2019, Dubrovnik, Croatia, Book of Abstracts. SedNet Secretariat, Utrecht, Nizozemska, 133. (postersko priopćenje)

Vinković, A., Obhodaš, J., Laptev, G., Yaprak, G., Slavova, K., Joksimović, D., Troškot-Čorbić, T. & all RER7015 contributors (2021): The role of sediments in regulating the Earth's climate. 12th International SedNet conference: Sediment Challenges and Opportunities due to Climate Change and Sustainable Development, 28. lipnja - 2. srpnja 2021., online. (usmeno izlaganje)

Obhodaš, J., Katić, M., Vinković, A. & Sender, S. (2021): 3D Computed Tomography for Microplastics Analysis. 12th International SedNet conference: Sediment Challenges and Opportunities due to Climate Change and Sustainable Development, 28. lipnja - 2. srpnja 2021., online. (postersko priopćenje)

Vinković, A. (2021): Global Carbon Sequestration. U: Fiket, Ž., Furdek Turk, M., Obhodaš, J., Strmić Palinkaš, S. (ur.): Geochemical Society Meeting "GEOCHEM 2021", 8-11 November 2021, online, Abstract book. Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska, 21. (usmeno izlaganje)

Vinković, A., Laptev, G., Yaprak, G., Slavova, K., Joksimović, D., Troškot-Čorbić, T., Tucaković, I., Frontasyeva, M., Duliu, O.G., Bylyku, E., Shyti, M., Humbatov, F., Nuhanović, M., Smječanin, N., Nonova, T., Dobrev, L., Pashalidis, I., Melikadze, G., Alexandra, I., Christos, T., Aidarkhanova, A., David, D., Zinicovscaia, I., Kamnev, A., Horvat, M., Nečemer, M., Jaćimović, R., Yucel, H., Kalayci, Y., Dirican, A., Sert, I., Plotsen, M., Korychenskyi, K., Khatir, S.M.A., Sander, S.G., Deufrains, K., Fajković, H., Klanjšček, T., Vdović, N., Legović, T. & Obhodaš, J. (2022): Call for research into carbon limitation of primary productivity in seas. U: 2nd International Conference Adriatic Biodiversity Protection "AdriBioPro2022", 13-17 June 2022, Kotor, Montenegro, Book of Abstracts. Institut za biologiju mora, Kotor, Crna Gora, 95-96. (postersko priopćenje)

Katić, M., Marušić, K., Vinković, A., Sender, S. & Obhodaš, J. (2022): Development of X-ray 3DCT spectroscopy for plastic degradation/manipulation studies and microplastic monitoring. U: 2nd International Conference Adriatic Biodiversity Protection "AdriBioPro2022", 13-17 June 2022, Kotor, Montenegro, Book of Abstracts. Institut za biologiju mora, Kotor, Crna Gora, 97-98. (postersko priopćenje)

Gregac, J., Kutle, M., Vinković, A., Valković, V., Legović, T. & Obhodaš, J. (2024): Improving sediment quality in Blue Flag marinas over 15 years. U: 3rd International Conference Adriatic Biodiversity Protection "AdriBioPro2024", 1-4 October 2024, Kotor, Montenegro, Book of Abstracts. Institut za biologiju mora, Kotor, Crna Gora, 85. (postersko priopćenje)