

Pleistocenske glacijacije hrvatskih Dinarida

Krmek, Patricia

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:094571>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

ZAVRŠNI RAD

**PLEISTOCENSKE GLACIJACIJE HRVATSKIH
DINARIDA**

Patricia Krmek

Zagreb, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Seminar III

Pleistocenske glacijacije hrvatskih Dinarida

Patricia Krmek

Rad je izrađen: Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološko-paleontološki zavod, Horvatovac 102a, Zagreb

Sažetak: Pleistocen pripada periodu Kvartar i trajao je oko 2,5 milijuna godina. Za vrijeme Pleistocena zabilježena su četiri razdoblja glacijala i četiri razdoblja interglacijala. Dva su recentna primjera ledenih pokrova koja su postojala i tijekom pleistocenskih glacijacija, jedan prekriva Grenland, a drugi Antarktiku. Glacijalno taloženje na Velebitu potvrđeno je iz analiziranja jezerskih ostrakoda. Između najviših vrhova Velebita nalaze se krške depresije koje su se nekad ponašale kao ledenjačke doline. Glacijacije na Velebitu i Biokovu potvrđuju brojni nalazi eratičkih blokova, drumlina, eskera i morena. Na području Snežnika dobro su očuvani glacijalne naslage pa takav krajolik nazivamo glaciokrš. Dokaza o glacijacijama Gorskog kotara nema mnogo, ali morene na njegovoj južnoj strani nam ukazuju na postojanje i na smjer kretanja ledenjaka. Najčešće metode korištene za datiranje oblikovanja glacijalnih reljefa su metoda terestičkih kozmogenih nuklida i PISM.

Ključne riječi: Pleistocen, glacijacija, Velebit, morena, glaciokrš, ledenjak

Rad sadrži: 19 + III stranica, 10 slika, 32 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor: izv. prof. dr. Aleksandar Mezga

Ocjenjivači: izv. prof. dr. Aleksandar Mezga, prof. dr. sc. Damir Bucković, v. pred. mr. sc. Dražen Kurtanjek

Datum završnog ispita: 18.9.2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of science
Department of geology

Seminar III

Pleistocene glatiations of the Croatian Dinarides

Patricia Krmek

Thesis completed in: Department of Geology and Paleontology, Horvatovac 102a, Zagreb

Abstract: The Pleistocene belongs to the Quaternary period and lasted about 2.5 million years. During the Pleistocene, four glacial periods and four interglacial periods were recorded. There are two recent examples of ice sheets that existed during the Pleistocene glaciations, one covering Greenland and the other Antarctica. Glacial deposition on Velebit was confirmed by analysing lake ostracods. Between the highest peaks of Velebit are karst depressions that once behaved like glacial valleys. Glaciations on Velebit and Biokovo are confirmed by numerous finds of erratic blocks, drumlins, eskers and moraines. In the area of Snežnik, glacial deposits are well preserved, so we call such a landscape glaciokarst. There is not much evidence of the glaciations of Gorski kotar, but the moraines on its southern side indicate the existence and direction of glacier movement. The most common methods used to date the formation of glacial reliefs are the method of terrestrial cosmogenic nuclides and PISM.

Keywords: Pleistocene, glaciation, Velebit Mt., moraine, glaciokarst, glacier

Seminar contains: 19 + III pages, 10 figures, 32 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: Aleksandar Mezga, Ph. D. Associate Professor

Reviewers: Aleksandar Mezga, Associate Professor, Damir Bucković, Full Professor, Dražen Kurtanjek, senior lecturer

Date of the final exam: 18.9.2023.

Sadržaj

1.1.Uvod.....	1
1.2.Pleistocen.....	2
2.1.Hrvatski Dinaridi.....	4
2.1.1. Velebit.....	4
2.1.2. Biokovo.....	8
2.1.3. Snežnik i Gorski kotar.....	11
3.1. Metode datiranja.....	14
4.1. Zaključak.....	16
LITERATURA.....	17

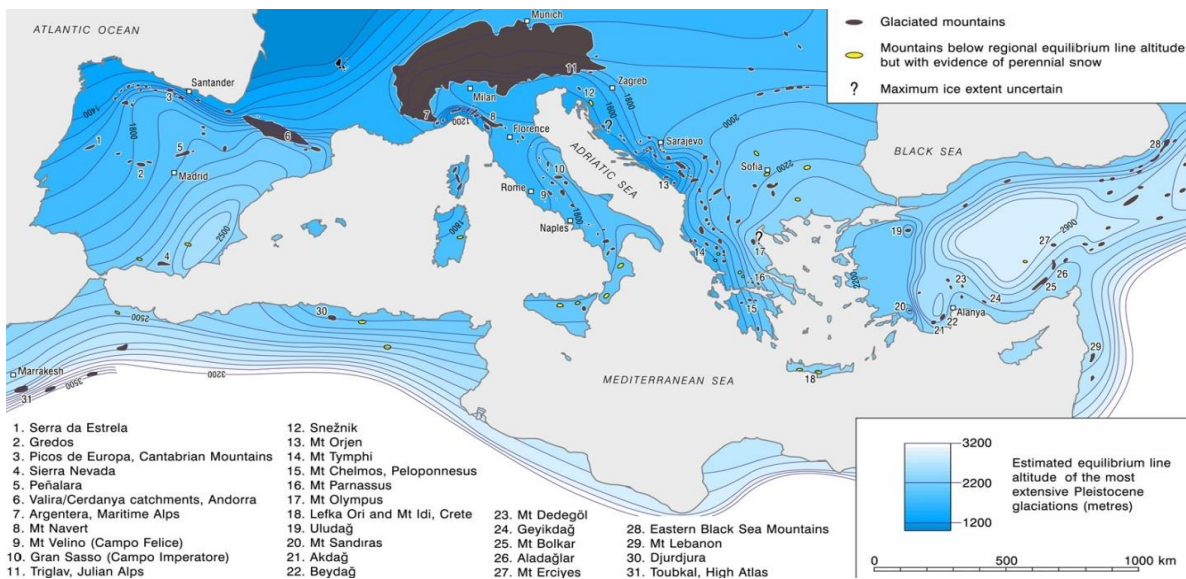
1.1. Uvod

Kada je riječ o pleistocenskim glacijacijama na području jugoistočne Europe, zbog nedostatka geomorfoloških dokaza, susrećemo se s raznim mišljenjima istraživača. Neka od prvih istraživanja i zagovaranja teorije o glacijacijama na Dinaridima nisu bila prihvaćena. Cilj ovog rada jest predstaviti područje hrvatskih Dinarida tijekom razdoblja pleistocena, potvrditi nekadašnju postojanost leda na tom području te predložiti neke od metoda datiranja. Dijelovi ovog rada sadrže informacije o glacijacijama na području Velebita, Biokova, Snežnika i Gorskog kotara. Prve čvrste dokaze o glacijacijama na Velebitu pružio je Nikler (1973.) gdje je pruženo i prvo radiometrijsko datiranje glacijalnih sedimenata (Marjanac, 2012.). Erodirani blokovi u sjevernom dijelu Jadranskog mora dokaz su pleistocenskih glacijacija. Koristeći U- seriju datiran je kalcitni cement u tilu rasprostranjenom duž Velebita pa do Novigradske obale te je zaključeno da je pleistocenske starosti. Godišnje temperature tada su iznosile do 5,51 °C. U dolinama Biokova (Bukovačka Draga i Studenci) identificirani su sedimenti glacijalnog podrijetla. Na Biokovu su zabilježene pojave eskera, drumlina, dolina u obliku slova U nastalih glacijalnom erozijom. Termin glaciokrš vezemo za Snežnik; to je tip krajolika koji ima dobro očuvane glacijalne naslage. Glavne karakteristike glaciokrša su depresije koje se dijele na konte i krška polja pijemontskog tipa. Dokazi o glacijalnim erozijama na području Gorskog kotara su oskudni, a erozijski oblici poput cirkova i dolina u obliku slova U su također rijetki (Žebre i Stepišnik, 2015). U radu su predstavljene metoda terestičkih kozmogenih nuklida i PISM model kao metode datiranja oblikovanja glacijalnog reljefa.

1.2. PLEISTOCEN

Epoha pleistocen trajala je oko 2,5 milijuna godina. Pripada razdoblju kvartara, a može se podijeliti na četiri doba: gelasian, calabrian, chibanian, tarantian. Krajem pliocena započinje nama poznato “ledeno doba”. Tijekom ovog razdoblja dolazi do zahlađenja na sjevernoj hemisferi što se očituje i izmjenama planktonskih zajednica u sedimentima. Na području sjevernog Atlantika i Islanda prisutni su morenski sedimenti koji se nalaze iznad efuziva.

Početak pleistocena zabilježena su četiri razdoblja kontinentalnih oledbi (glacijali) te četiri razdoblja bez kontinentalnih oledbi (interglacijali). Tijekom glacijala stvarali su se veliki i debeli ledeni pokrovi, dok su tijekom interglacijala nastajali puno manji ledeni pokrovi. Prosječna debljina ledenih pokrova je bila oko 2 km. Proučavanjem odnosa izotopa kisika O^{16} i O^{18} iz kućica pučinskih foraminifera otkriveno je da je bilo osamnaest manjih pleistocenskih glacijalnih ekspanzija, svakih 100 000 po jedna koja bi ujedno bila i većeg intenziteta od prethodne. Glacijali bi započinjali puno sporije nego što bi se završavali pa prema tome posljednje glacijalno razdoblje je počelo prije 100 000 godina, a maksimum je doživjelo prije 18 000 godina. Topljenje ledenih pokrova posljednjeg glacijalnog razdoblja se dogodilo između 15 000 i 8 000 godine.



Slika 1. Raspodjela pleistocenske glacijacije u mediteranskim planinama

Sedimenti koji nisu bili zahvaćeni glacijacijama pokazuju pravilnu cikličnost; u samom dnu interglacijalnog nivoa se nalaze sedimenti taloženi tijekom vlažnih i toplih interglacijala, a predstavljaju sedimente listopadnog šumskog tla s polenom. Na njima se taloži sediment šuma četinjača koji ukazuje na zahlađivanje. Na kraju slijeda se nalazi sediment glacijala – les. Les je transportiran putem vjetra iz pleistocenskih ledenih pustinja. Još jedan od dokaza glacijacija su svakako i veliki eratički blokovi doneseni kretanjem ledenjaka po kopnu. Te tragove kretanja ledenjaka možemo uočiti zbog postojanja morena. Morene su razdrobljeni stijenski materijal koji se prenosi ledenjacima u niže dijelove područja.

O izmjenama glacijala i interglacijala tumače i fosilni zapisi (u Velikoj Britaniji pronađene su kosti vodenog konja koje ukazuju i na to da su neka razdoblja interglacijala bila toplija od našeg današnjeg). Na promjene klime ukazivale su i migracije životinja prema krajevima s manje leda. Danas imamo dva recentna primjerka ledenih pokrova koji su bili prisutni tijekom pleistocenskih glacijacija: jedan prekriva Grenland, a drugi gotovo čitavu Antartiku. Tijekom glacijala razina morske vode bila je niža nego danas (za oko 100 m) s obzirom da je velika količina vode bila vezana za ledene pokrove pa su današnji šelfovi predstavljali kopno s mekanim sedimentom. Tijekom posljednjeg glacijala postojala su tri velika glacijalna centra od kojih je jedan bio na Grenlandu, jedan u Sjevernoj Americi te jedan u Skandinaviji. Veliki dio sjevernog Atlantika je bio zaleđen što je onemogućilo golfskim strujama prodiranje na sjeveroistok pa se tako tople ekvatorske struje počinju kretati prema južnom Atlantiku. Zbog toga je golfska struja bila puno hladnija u prošlosti nego danas.

Danas se razdoblja glacijala i interglacijala mogu pojasniti Milankovićevim ciklusima; dakle glacijali i interglacijali nastaju zbog promjene orbitalnih parametara Zemlje. Promjenom gibanja Zemlje te promjenom njezine orijentacije prema Suncu, mijenja se i intenzitet Sunčevog zračenja na dijelovima Zemlje. Tako će tijekom manjeg intenziteta Sunčevog zračenja na polovima Zemlje doći do oledbi. Ukoliko dođe do promjene smjera, sukladno tome dolazi do otapanja nastalog leda (Bucković, 2006).

3.1. HRVATSKI DINARIDI

3.1.1. VELEBIT

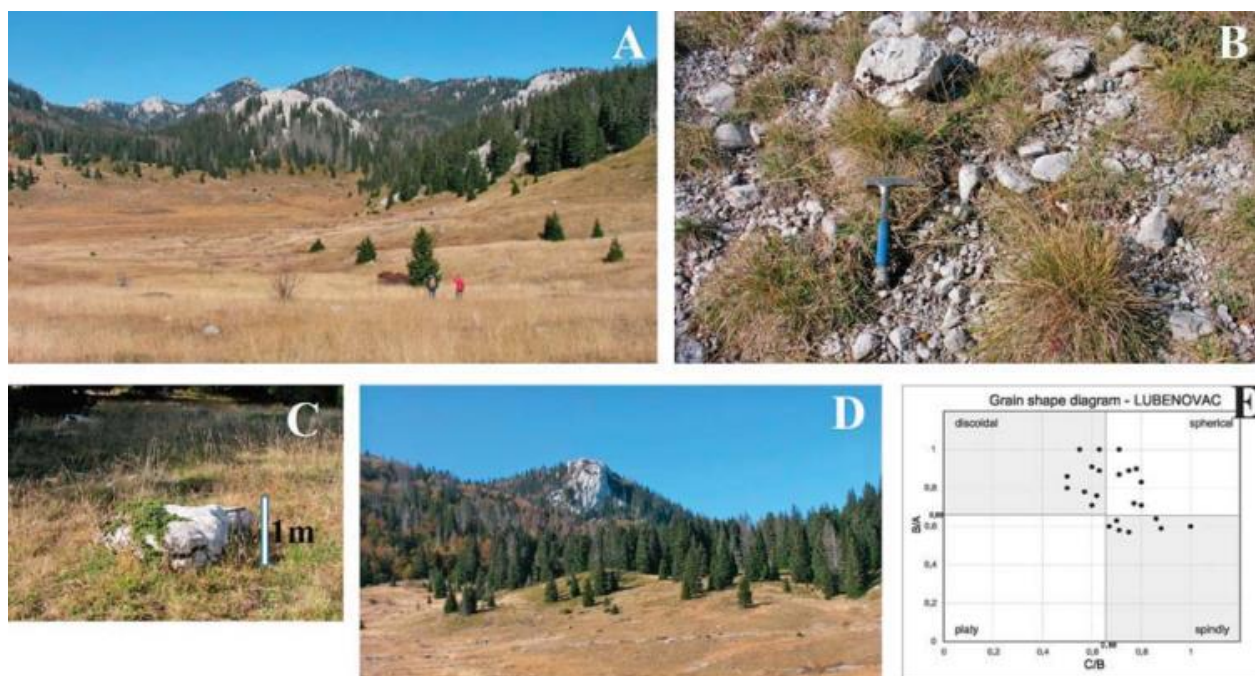
Velebit je najveća hrvatska planina, ujedno i najdulja planina Dinaridskog krša. Obuhvaća područje Like, Dalmacije i Hrvatskog primorja. Podijeljen je na četiri regije: sjeverni Velebit, srednji Velebit, južni Velebit i jugoistočni Velebit. Više od 130 vrhova prelazi nadmorsku visinu od 1370 metara, a najviši vrh je Vaganski vrh koji se nalazi na južnom dijelu (1757 metara) (Šikić et al., 2017.). Velebit predstavlja prirodnu granicu između kontinentalnog i mediteranskog dijela Hrvatske. Nastao je reversnim rasjedanjem izvorne antiklinale. Smjer asimetričnih antiklinala od kojih je građen proteže se od sjeverozapada prema jugoistoku (Velić et al., 2017).

Najstarije stijene na ovom području su debelouslojeni do masivni vapnenci srednjotrijaske starosti. Oni obično sadrže i slojeve rožnjaka, škriljavaca i pješčenjaka. Na njih su se dalje istaložili debeli gornjojurski vapnenci s vidljivim ciklusima oplićavanja prema gore. Tijekom izdizanja Velebita, nastale su velebitske breče u najaktivnijim dijelovima rasjedne zone. Poznate su i pod nazivom Jelar breče (Velić and Velić, 2009). Te breče su sastavljene od slabosortiranih klastita koji su ujedno i tektonizirani. Možemo ih pronaći na području Rožanskih i Hajdučkih kukova. Rožanski i Hajdučki kukovi uz Jezersku visoravan su raščlanjeni velikim krškim depresijama koje su se nekada ponašale kao ledenjačke doline.

Glacijalno taloženje se najvjerojatnije dogodilo tijekom skamnelijana i vlasijana kada se dogodila i marinska izotopna faza. “Značajni biostratigrafski podaci otkriveni su iz jezerskih ostakoda koji predstavljaju “dokument” o pleistocenskom dobu mindelske glacijacije i mindelske/ risijske interglacijacije.” (Marjanac, 2016) Uranovom serijom datirani su sekundarni kalcitni cementi koji prikazuju minimalnu starost stijene domaćina, od 110 000 do 350 000 godina (Marjanac, 2012). Na sjevernom dijelu Velebita prevladavaju jurske karbonatne stijene gdje vadozna zona ide čak do 1500 m u dubinu. Ispod najviših vrhova Velebita nalaze se doline i izdužene depresije koje su u prošlosti bile glacijalne doline u kojima su se taložile glacijalne naslage. Te glacijalne naslage se talože na karbonate i velebitske breče. Karstifikacija Velebita započela je znatno prije pleistocenske glacijacije, a to nam potvrđuje pojava paleokrških blokova u Velikoj Paklenici. Datirane su i morene taložene na maksimalnoj granici leda. U dolinama Velebita snijeg se zadržava duže od sedam mjeseci, koliko traje prosječna snježna zima. Tijekom

würmskog glacijalnog maksimuma srednja godišnja temperatura je iznosila -20°C , dok je količina padalina bila u vrijednosti od 4662 mm. Takvi uvjeti su bili pogodni za stvaranje leda debljine i do 200 metara.

Tijekom spomenute würmske glacijacije, na Velebitu su postojali ledenjaci, a prema provedenim istraživanjima razlikujemo sjeverni Velebit i južni Velebit. U sjeverni Velebit ubrajamo istražene lokalitete kao što su Veliki i Mali lom, Ledena draga, Lubenovac i Tudorevo-Mirevo. Na Velikom lomu mogu se pronaći polja drumlina, a najveći drumlin dug je oko 100 metara. Obavljena su dva istraživanja na dubini od 90 cm. U Malom lomu pronađene su velika polja drumlina s kopnenim morenama i s nekoliko manjih eskera. Ledena draga predstavlja polje ledenjaka s manjim drumlinima smješteno unutar šume. Dvije su doline na koje možemo podijeliti lokalitet Lubenovac, a to su Mali i Veliki Lubenovac. Veliki je Lubenovac u obliku cirka; ledenjačke su naslage predstavljene klasterima tila sa zaobljenim klastima jurskih vapnenaca i oligocenske miocenske velebitske breče. U Malom Lubenovcu se nalazi 200 metara dug i 50 metara širok esker. Na području Mirova se nalazi velik broj drumlina, a sadrži i brojne nakupine recesijskih, terminalnih i prizemnih morena (Velić et al., 2017).



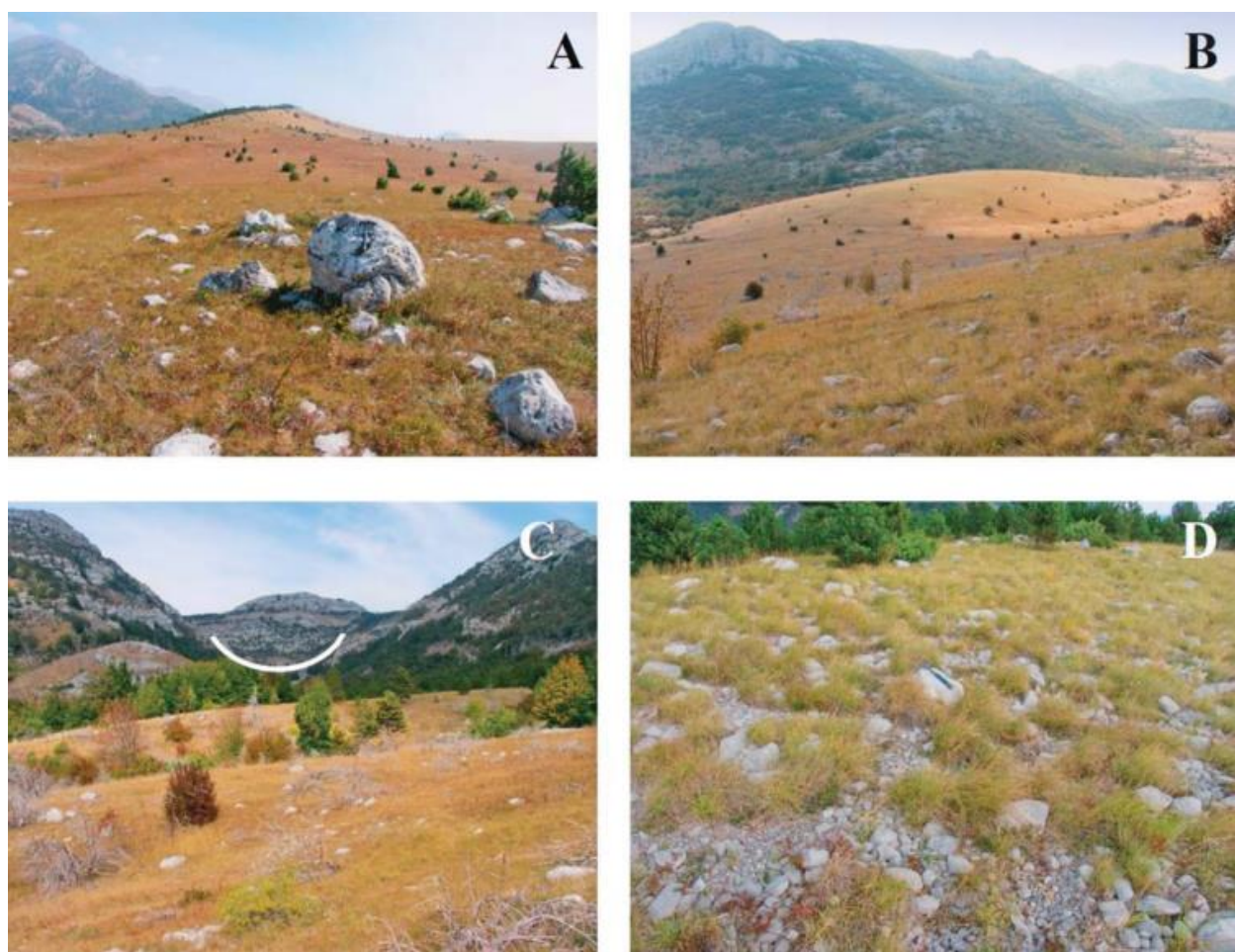
Slika 2. Cirk Veliki Lubenovac, sjeverni Velebit

Osamljeni blokovi na južnom Velebitu se nalaze na planinskim strminama, u dolinama ili na vrhovima mogote. (Belij, 1985a, 1985b) smatra da se radi o eratičkim glacijalnim blokovima. Na grebenu Rujanske kose (medijalna morena) pojavljuje se dosta eratičkih blokova; morena sadrži til s kamenim gromadama u obliku metaka, a površina je prekrivena manjim gromadama subglacijalnog tila. (Marjanac i Marjanac, 2004.; Marjanac, 2012.). Geomorfološkim rekonstrukcijama je utvrđeno da je 116 km² Velebita bilo prekriveno ledom, a granica leda određena je usporedbom nadmorske visine ledenjačkih naslaga s geomorfološkim granicama. Na geomorfološki rekonstruiranoj maksimalnoj granici leda datirane su morene. Na južnom Velebitu istraženi su lokaliteti Oglavinovac, Javornik, Struge i Rujno. U podnožju doline Oglavinovac nalaze se srednjojurski vapnenci, a srednji dio predstavlja cirk čiji je til građen od fragmenata donjojurskih i srednjojurskih vapnenaca. Na zapadnom dijelu doline Javornik uočava se cirk, a na istočnoj strani se nalazi polje drumlina i eratičkih blokova. Til se sastoji od donjojurskih i srednjojurskih vapnenaca koji su se spustili s okolnih padina. Til na lokalitetu Struge sastoji se od loše sortiranih srednjojurskih klastita te rjeđe gornjojurskih klastita (Velić et al., 2017). Na sljedećim slikama prikazani su drumlin, til i eratični blokovi spomenutog lokaliteta.



Slika 3. Struge, južni Velebit

Na južnom Velebitu pronalazimo i kršku ravnicu Rujno koja se dijeli na Veliko Rujno na istoku gdje su pronađene i opisane prve ledenjačke naslage i Malo Rujno na zapadu (Velić et al., 2017). Ledenjačke naslage prvi je opisao Nikler (1973), a opisao ih je kao bočnu morenu; tvore greben Rujanske kose koja predstavlja veći drumlin oko kojeg se nalazi niz manjih drumlina, eskera i eratičnih blokova.



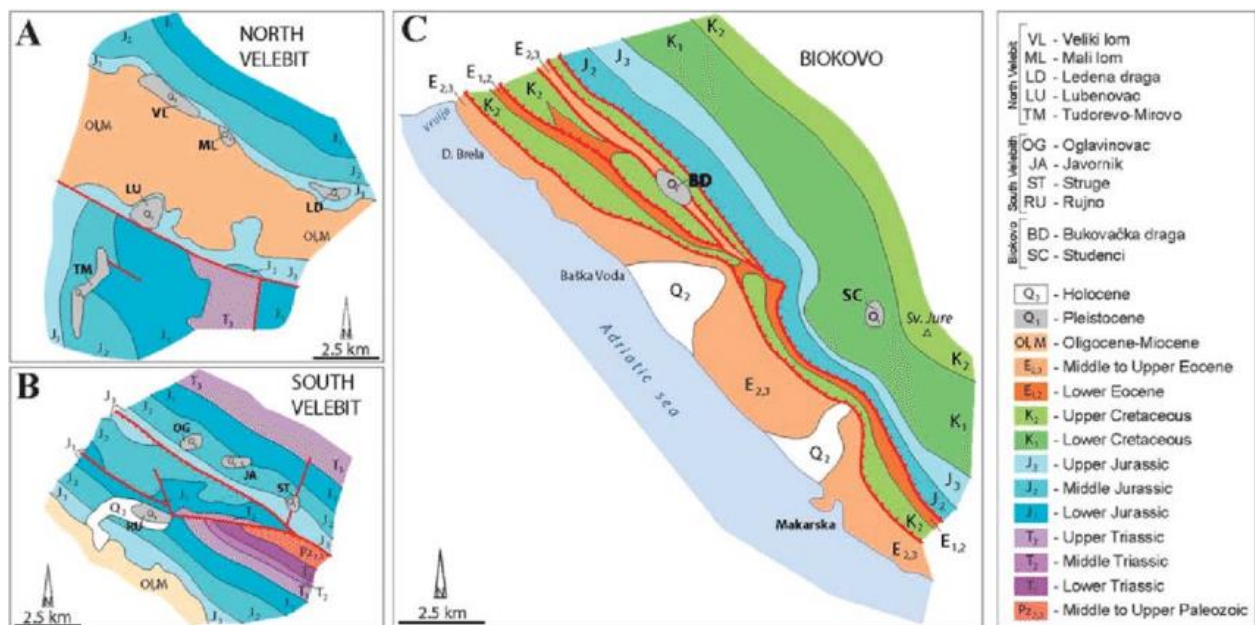
Slika 4. Veliko Rujno, južni Velebit

Prema svojstvima istraživanih drumlina, cirkova, eskera, ledenjaci se definiraju kao topli ledenjaci (Bennett i Glasser, 2003). Pretpostavka je da su temperature za vrijeme nastanka ledenjaka bile za desetak stupnjeva niže nego današnje. Maksimalno zahlađenje se dogodilo prije nekih 25000- 18000 godina (Perica i Orešić, 1999).

3.1.2. BOKOVO

Biokovo se nalazi u blizini istočne obale Jadrana u regiji sjevernog Mediterana. U svojim najdubljim dolinama ova planina nije nikada bez leda, tijekom hladnog razdoblja oborine su najčešće u obliku snijega koji se zadržava sve do početka ljeta. Takvo ponašanje slično je onom na Durmitorskoj planini gdje se na visinama iznad 1900 metara mogu pronaći male “ledene mrlje” klasificirane kao mali ledenjaci (Gachev et al., 2016).

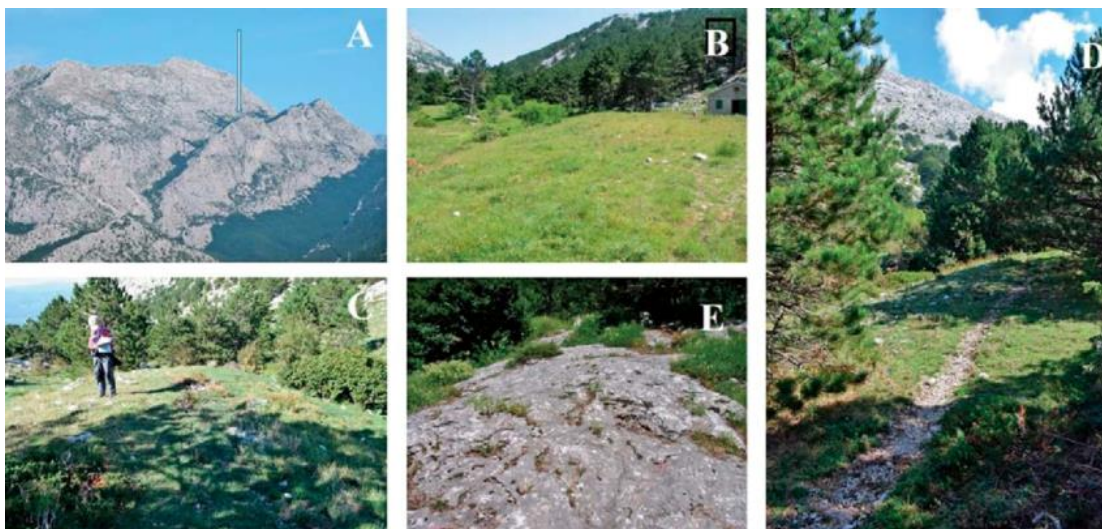
Strukturni oblik same planine bio je pogodan za nastanak ledenjaka. Reversnim rasjedanjem izvorne antiklinale nastale su ljuskaste strukture, odnosno subdukcijom paleogenskih vapnenaca i fliških naslaga ispod srednjokrednih i gornjokrednih karbonata. Zbog toga su padine prema moru dosta strmije. U donjem dijelu padine se nalaze karbonatne breče i kalkareniti, a u gornjem dijelu srednjokredni i gornjokredni vapnenci. Bukovačka Draga i Studenci doline su u kojima su identificirani sedimenti glacijalnog podrijetla (Velić et al., 2017).



Slika 5. Geološka karta s pojavama glacijalnih naslaga

Skupljanjem fragmenata na spomenutim područjima, odrađena je detaljna analiza tila. Pomoću podataka o veličini klasta nastojalo se klasificirati izvorišno područje ledenjaka. Zbog poznate stratigrafije terena i na temelju stratigrafskog određivanja velikog broja klasta, bilo je moguće odrediti cirkove, udaljenost te rutu kretanja ledenjaka. Akumulacijski oblici koji se javljaju na Biokovu djelovanjem malih dolinskih ledenjaka obuhvaćaju drumline, eskere, termalne i recesijske morene.

U dolini Bukovačke Drage, na sjeverozapadu Biokova, istražene su pojave vezane za würmsku glacijaciju. Radi se o dolini u obliku slova U koja je nastala glacijalnom erozijom. Identificirano je nekoliko drumlina debljine do pet metara. Drumlini su formirani od tilova građenih od debrita i fragmenata srednjojurskih vapnenaca kao i manje zastupljenih gornjokrednih kotišina klastita. Udio kotišina breče i kalkarenita se povećava kako idemo od sjevera prema jugu dok je udio srednjojurskih vapnenaca suprotan, raste od juga prema sjeveru (Velić et al., 2017).



Slika 6. Bukovačka Draga, Biokovo

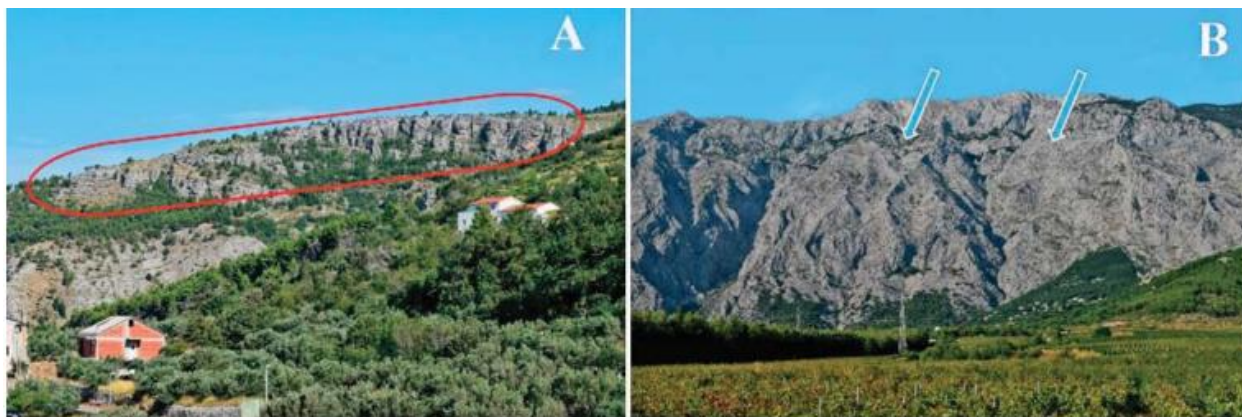
Lokalitet Studenci su prvi kartografski prikazali Raić et al. (1977) i Raić i Papeš (1978). U krškoj dolini Studenci nalazi se udolina s ostacima glacijalnih akumulacijskih oblika. S bočne strane se nalaze erozijski oblici koji se šire u dolinu oblika slova U. Dno doline čine morene, a u istočnom

dijelu se pojavljuje i nekoliko drumlina. U sjevernom dijelu doline otkrivene su “sheepback rocks”; to je erozijski oblik koji nastaje prolaskom ledenjaka.



Slika 7. Studenci, Biokovo

Na strmim morskim padinama Biokova, na dva su lokaliteta formirana sedimentna tijela velikih dimenzija koja izgledom podsjećaju na lepeze, a smatra se da su nastali padom ledenjaka tijekom otapanja. Također su uz njih identificirani žljebovi koji se protežu od podnožja planine do vrhova za koje se isto smatra da su nastali uslijed brzog otapanja veće količine leda (Velić et al., 2017).



Slika 8. Jugozapadna padina planine Biokovo

3.1.3. SNEŽNIK I GORSKI KOTAR

Na granici Slovenije i Hrvatske, na području Snežnika i Gorskog kotara su se vršila istraživanja između 2011. i 2014. Ovo područje pripada borano-navlačnom pojasu Vanjskih Dinarida s rasjednim zonama smjerova sjeverozapad – jugoistok te sjeveroistok-jugozapad (Zupan Hajna, 2007). Što se klime tiče, ona je okarakterizirana velikom količinom padalina koje na najvišim vrhovima dosežu i do 3500 mm godišnje. Više od 100 dana tijekom godine ima snježni pokrivač, a prosječna godišnja temperatura iznosi oko 3 stupnja.

Ranijim istraživanjima Snežnika (Šifrer, 1959) identificirani su tragovi glacijacija dok glacijacije u Gorskom kotaru nisu dovoljno istražene (Bognar i Prugovečki, 1997; Šifrer, 1959). Teren je pretežito izgrađen od mezozojskih karbonata; na Snežniku pronalazimo kredni vapnenac i jurski dolomit dok se u Gorskom kotaru pojavljuju jurski vapnenci i dolomiti (Savić i Dozet, 1985; Šikić i Pleničar, 1975). Krška površina dosta je promijenjena uslijed utjecaja ledenjaka. Uzajamnu interakciju i djelovanje krških oblika i ledenjaka nazivamo glaciokrš; to je tip krajolika koji sadrži dobro očuvane glacijalne naslage (Hughes, 2014; Žebre i Stepišnik,

2015). Obilježja glaciokrša su depresije koje se nalaze u gornjim dijelovima ledenjačkih dolina i promjera su do 1 km. Smatra se da su nastale glacijalnom erozijom te periglacialnim procesima. Krška područja u kojima je bila izražena glacijalna erozija zadržala su velik broj otvorenih vertikalnih i subverzikalnih špiljskih prolaza sa zatvorenim udubljenjima veličine doline. Tipične depresije glaciokrša se zovu konti i većih su dimenzija. Smještene su u deglacijalnim krškim područjima, područjima koja nisu bila izravno pod utjecajem glacijala, ali su tijekom kvartara bila ispunjena ledom. Osim konta, određen je i drugi tip glaciokrških depresija, a radi se o krškim poljima pijemontskog tipa (Gams, 1974).

Dva su temeljna geomorfološka sustava karakteristična za ovo područje, a to su fluvijalni i krški sustav. Fluvijalni sustav, građen od nepropusnih stijena, prostire se jugozapadno i sjeveroistočno od Snežnika i Gorskog kotara. Krški sustav predstavljen je vapnencima i dolomitima prekrivenim s grikovima, zatvorenim depresijama različitih veličina i čunjastog brda. Na južnoj i jugoistočnoj strani Snežnika na Gomance polju sačuvani su tragovi glacijacija u obliku ledenjačkih naslaga. Gomance polje predstavlja kršku depresiju pijemontskog tipa (Žebre i Stepišnik, 2015).



Slika 9. Gomance polje, krška depresija pijemontskog tipa

Nedaleko od polja nalaze se recesijske morene (i do 70 metara iznad dna doline). Humovite morene s grebenima i do 40 metara nalaze se na zapadnoj strani Snežnika na 1270 m nadmorske visine. Ledenjačke naslage okružuju najviše dijelove istraživanog područja u Gorskom kotaru. U

glacijalnim naslagama prevladavaju vapnenački i dolomitni klastiti te karbonatne breče mezozojske starosti. Morene na južnoj strani u obliku su prostranih lateralno-terminalnih i recesijskih morena što pokazuje na smjer gibanja triju ledenjaka koji teku prema Grobničkom polju. Ledenjačke naslage između bočnih morena građene su od konsolidiranih i izbrazdanih matrikspotpornih klastita s dijamiktonom. Dokazi o glacijalnim erozijama su oskudni, a erozijski oblici poput cirkova i dolina u obliku slova U su također rijetki (Žebre i Stepišnik, 2015).



Slika 10. Morene u južnom dijelu SI Gorskog kotara

4.1. METODE DATIRANJA

Istraživanje glacijalnih naslaga na području južnog Velebita te otoka Krka i Raba podrazumijevalo je detaljna geološka kartiranja pleistocenskih naslaga. Izdanci na otoku Krku kartirani su u mjerilu 1:200, a presjeci s debljinom preko pet metara i litološkim varijacijama u mjerilu 1:50. Tu je zabilježeno oko osamdeset osam različitih blokova te grupa blokova. Pomoću snimaka iz zraka određeni su najveći blokovi, dok su manji blokovi mjereni pomoću mjerne trake. Proučavanjem mikrofacijsa utvrđena je starost kao i podrijetlo nađenih blokova. Stjena domaćin nekih od blokova bio je til određen datiranjem U- serije sekundarno sparitnog kalcita (taložen u intergranularnim šupljinama). Deset uzoraka datirano je u UK Natural Environment Research Council (Marjanac, 2016).

Metoda terestičkih kozmogenih nuklida koristi se za određivanje vremena oblikovanja reljefa. Neke od čestica kozmičkih zraka dopijevaju na Zemljinu površinu te reagiraju sa stijenama. Na stijenskoj površini nastaju novi nuklidi koje in situ proizvode sekundarni neutroni. Ovisno o kojoj se stijeni radi, nastajat će različiti nuklidi, a računanjem njihovog udjela možemo saznati koliko dugo je neka stijena izložena na Zemljinoj površini. ^{36}Cl se dobiva spalacijom ili reakcijom inducirane mionima na ^{40}Ca i ^{39}K i hvatanjem niskoenergetskih neutrona s ^{35}Cl (Gosse and Phillips, 2001). Iz referentne stope proizvodnje računa se stopa proizvodnje specifična za pojedinu lokaciju. Sedamnaest uzoraka uzeto je s gromada s pet morena pomoću čekića i dijetla i to s ravnog središnjeg vrha kako bi se smanjio utjecaj snijega na vrhu morena te bočno curenje termalnih neutrona na njihovim rubovima. Točne lokacije uzoraka određene su pomoću GPS-a te kasnije provjerene pomoću topografske karte u mjerilu 1:25000. Gromade su uzorkovane s obzirom na veličinu, izgled i očuvanost. Uzorci su prvo usitnjeni na dimenzije od 0.25 do 1 mm, zatim isprani s mili-Q i razrijeđenom dušičnom kiselinom kako bi se uklonili bilo kakvi tragovi meteorskog klor. Razrjeđivanjem uzorka s 400 mL 65%- tne HNO_3 oslobođen je klor iz kalcita. Mješavina NaCl i ^{35}Cl dodana je uzorcima prije potpunog otapanja, a dodatkom AgNO_3 taloži se klor (Mechernich et al., 2019). Kloridni izotopi izmjereni su pomoću 6 MV SIRIUS Tandem Akceleratorom u ANSTO-u (Australaska nuklearna znanost i Tehnološka organizacije) u Australiji (Wilcken et al., 2017) Koncentracije klor u uzorcima su bile niske, u prosjeku oko 46,2 ppm, koncentracije CaO su oko 55%, dok su koncentracije K_2O bile jako niske; oko 0,01%.

Gustoća pojedinačnih uzoraka iznosila je između 2,6 i 3 g/cm (Wilcken et al., 2013). Pomoću CRONUS Web Calculator version 2.0 (Marrero et al., 2016a) je određeno da se starost uzoraka može korelirati sa sezonskim snježnim pokrivačem za koji je izračunat faktor korekcije za reakcije pucanja (Gosse and Phillips, 2001), a iznosi od 1960 do 2000. Gustoća snijega iznosi oko 0,25 do 3 g/cm³ i samo je dio snježnog pokrivača iznad uzoraka uzet u obzir prilikom izračuna. Starost gromada određena je sa i bez korekcije denudacije, a radije se koristi starost korigirana denudacijom.

Za simulaciju “paleoleđa” na Velebitu koristio se **Parallel Ice Sheet Model**, model sposoban za simulaciju toka ledenjaka i opsega alpskih ledenjaka. Ta se simulacija smatra najbližijim prikazom empirijske rekonstruirane granice paleoglečera (Bueler i Brown, 2009; Winkelmann et al., 2011; the PISM authors, 2015). PISM se koristi na raznim područjima Alpa, a kombinira aproksimaciju plitkog leđa i plitkog šelfa (Hutter, 1983). Prema Glen-Paterson-Budd-Lliboutry-Duvalovom zakonu strujanja definiran je odnos naprezanja i deformacija, a preko bazalnog zakona klizanja se određuje plastičnost leđa. Mohr-Coulombov zakon upravlja količinom vode u subglacijalnom sedimentu te se pomoću njega određuje granica tečenja (Bueler i van Pelt, 2015). Ovaj hibridni model rezultat je subglacijalne hidrogeologije, implementiran u PISM- ove modele očuvanja energije (the PISM authors, 2015). Domena našeg modela prekrila je područje od oko 543 km² i korištena je razlučivost od 100 metara kako bi modeliranje bilo učinkovito. Simulacije su započete u uvjetima bez leđa sve dok nije postignuto stabilno stanje u uvjetima leđa (Žebre et al., 2021).

ZAKLJUČAK

Značajni dokazi koji potvrđuju postojanje pleistocenskih glacijacija na području Velebita dobiveni su iz jezerskih ostrakoda (Marjanac, 2016). Ispod najviših vrhova Velebita smještene su krške depresije koje su u prošlosti predstavljale glacijalne doline u kojima su se taložili glacijalni sedimenti. Duž lokaliteta Veliki i Mali lom, Ledena Draga, Lubenovac, Tudorevo- Mirevo, Oglavinovac, Javornik, Struge i Rujno prostiru se brojni drumlini većih i manjih dimenzija, cirkovi, morene, eskeri i eratički blokovi. Strukturni oblik planine Biokovo pogodan je za nastanak ledenjaka; u dolinama Bukovačka Draga i Studenci identificirani su sedimenti glacijalnog podrijetla. Na strmim padinama planine identificirani su žljebovi za koje se smatra da su nastali brzim otapanjem veće količine leda (Velić et al., 2017). Krška površina Snežnika dosta je promijenjena zbog utjecaja ledenjaka, a interakciju leda i krša nazivamo glaciokrš. Obilježje glaciokrša su depresije nastale glacijalnom erozijom i periglacialnim procesima. Razlikujemo dva tipa glaciokrških depresija: konti i krška polja pijemontskog tipa. U glacijalnim naslagama koje se nalaze između bočnih morena Gorskog kotara prevladavaju vapnenački i dolomitni klasti te karbonatne breče. Dokazi o glacijalnim erozijama na prostoru Gorskog kotara su oskudni (Žebre i Stepšnik, 2015). Za određivanje vremena oblikovanja glacijalnog reljefa koristi se metoda terestičkih kozmogennih nuklida. Analizirali su se uzorci s morena te je utvrđeno da se starost uzoraka može korelirati sa sezonskim snježnim pokrivačem (Gosse and Phillips, 2001). Za simulaciju paleoleda na Velebitu koristio se Parallel Ice Sheet Model, model koji je poslužio za simulaciju toka ledenjaka (the PISM authors, 2015).

LITERATURA

1. Adamson, K. R., Woodward, J. C., & Hughes, P. D. (2014). Glaciers and rivers: Pleistocene uncoupling in a Mediterranean mountain karst. *Quaternary Science Reviews*, 94, 28–43
2. Belij, S., 1985a. Glacijalni i periglacijalni reljef južnog Velebita. Posebna izdanja Srpskog geografskog društva 61, 5-68.
3. Belij, S., 1985b. Glacijalni reljef južnog Velebita. *Geografski glasnik* 47, 71-85.
4. Bennett, M. R., Glasser, N. F. (2003): *Glacial geology. Ice sheets and landforms.* Wiley, XI + 354 p.
5. Bognar, A., Prugovečki, I. (1997). Glaciation traces in the area of the Risnjak mountain massif. *Geologia Croatica*, 50 (2), 269–278.
6. Bucković, D. (2006): *Historijska geologija 2, Mezozoik i Kenozoik*, Zagreb, 88-96
7. Bueler, E., Brown, J., 2009. Shallow shelf approximation as a “sliding law” in a thermomechanically coupled ice sheet model. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 114, 1–21.
8. Bueler, E., van Pelt, W., 2015. Mass-conserving subglacial hydrology in the Parallel Ice Sheet Model version 0.6. *Geosci. Model Dev.* 8, 1613–1635.
9. Gachev, E., Stoyanov, K., Gikov, A. (2016): Small glaciers on the Balkan Peninsula: State and changes in the last several years. *Quaternary International*, 415, 33-54.
10. Gams, I. (1974). *Kras: zgodovinski, naravoslovni in geografski oris.* Ljubljana: Slovenska matica
11. Gosse, J.C., Phillips, F.M., 2001. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. *Quat. Sci. Rev.* 20, 1475–1560.
12. Hutter, K., 1983. *Theoretical Glaciology*, 1st ed. *Mathematical Approaches to Geophysics.* Springer Netherlands.
13. Marjanac, Lj, Marjanac, T., 2004. Glacial history of Croatian Adriatic and coastal Dinarides. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. (Eds.), *Quaternary Glaciations- Extent and Chronology. Developments in Quaternary Science 2a.* Elsevier B.V., Amsterdam, The Netherlands, 19-26
14. Marjanac, Lj, 2012. Pleistocene glacial and Periglacial Sediments of Kvarner, Northern Dalmatia and Southern Velebit Mt. e Evidence of Dinaric Glaciation (Ph.D. thesis). University of Zagreb, Croatia.

15. Marjanac, T., Marjanac, Lj. (2016): The extent of the middle Pleistocene ice cap in the coastal Dinaric Mountains of Croatia, *Quaternary Research* 85 (3), 445-455.
16. Marrero, S.M., Phillips, F.M., Borchers, B., Lifton, N., Aumer, R., Balco, G., 2016a. Cosmogenic nuclide systematics and the CRONUScal program. *Quat. Geochronol.* 31, 160–187.
17. Mechernich, S., Dunai, T.J., Binnie, S.A., Goral, T., Heinze, S., Dewald, A., Schimmelpfennig, I., Keddadouche, K., Aumaître, G., Bourlès, D., Marrero, S., Wilcken, K., Simon, K., Fink, D., Phillips, F.M., Caffee, M.W., Gregory, L.C., Phillips, R., Freemann, S.P.H.T., Shanks, R. P., Sarikaya, M.A., Pavetich, S., Rugel, G., Merchel, S., Akçar, N., Yesilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., (2019): Carbonate and silicate intercomparison materials for cosmogenic ^{36}Cl measurements. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* 455, 250–259.
18. Nikler, L. (1973): Nov prilog poznavanju oledbe Velebita (Ein neuer Beitrag zur Kenntnis der Vereisung im Velebit Gebirge). *Geol. vjesnik*, 25, 109-112.
19. Perica, D., Orešić, D. (1999): Klimatska obilježja Velebita i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa. *Senjski zbornik*, 26, 1-50.
20. Raić, V., Ahac, A., Papeš, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Imotski K 33- 23; Basic Geological Map SFRJ, The Imotski sheet 1:100 000, Institute of geology Sarajevo, Federal institute of geology, Beograd.
21. Raić, V., Papeš, J. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Imotski K 33- 23; Geology of the Imotski sheet. Institute of geology Sarajevo, Federal institute of geology, Beograd, 51 p.
22. Savić, D., Dozet, S. (1985). Tumač za list Delnice : L 33–90 : Socijalistička federativna republika Jugoslavija, osnovna geološka karta, 1:100 000. Beograd: Savezni geološki zavod
23. Šifrer, M. (1959). Obseg pleistocenske poledenitve na Notranjskem Snežniku (The extent of the Pleistocene glaciation on Snežnik, in inner Slovenia). *Geografski zbornik*, 5, 27–83.
24. Šikić, D., Pleničar, M. (1975). Tumač za list Ilirska Bistrica: L 33–89: Socijalistička federativna republika Jugoslavija, Osnovna geološka karta 1:100 000. Beograd: Savezni geološki zavod.

25. The PISM authors, 2015. PISM, a Parallel Ice Sheet Model.
26. Velić, I., Velić, J. (2009): Od morskih plićaka do planine. Geološki vodič kroz Nacionalni park Sjeverni Velebit (Geological guide through National park Northern Velebit). National park Northern Velebit, Krasno, 1-143. (in Croatian).
27. Velić, J., Velić, I., Kljajo, D., Protrka K., Škrabić, H., Špoljar, Z. (2017): A geological overview of glacial accumulation and erosional occurrences on the Velebit and the Biokovo Mts., Croatia, Zagreb, 78-79.
28. Wilcken, K.M., Fink, D., Hotchkis, M.A.C., Garton, D., Button, D., Mann, M., Kitchen, R., Hauser, T., O'Connor, A., (2017): Accelerator mass spectrometry on SIRIUS: new 6MV spectrometer at ANSTO. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 406, 278–282.
29. Winkelmann, R., Martin, M.A., Haseloff, M., Albrecht, T., Bueller, E., Khroulev, C., Levermann, A., 2011. The Potsdam Parallel Ice Sheet Model (PISM-PIK) – part 1: model description. Cryosphere 5, 715–726.
30. Zupan Hajna, N. (2007). Barka depression, a denuded shaft in the area of Snežnik Mountain, southwest Slovenia. Journal of Cave and Karst Studies, 69, 266–274.
31. Žebre, M., Sarikaya, M.A., Stepičnik, U., Colucci, R.R., Yildirim, C., Çiner, A., Candaş, A., Vlahović, I., Tomljenović, B., Matoš, B., Wilcken, K.M. (2021): An early glacial maximum during the last glacial cycle on the northern Velebit Mt. (Croatia), Geomorphology 392 (2021) 107918.
32. Žebre, M., Stepišnik, U. (2015): Glaciokarst landforms and processes of the southern Dinaric Alps. Earth Surface Processes and Landforms, 40 (11), 1493–1505.