

RAZPRAVE**OBSEG PLEISTOCENSKE POLEDENITVE NA LOVČENU V ČRNI GORI**

AVTORJI

dr. Uroš Stepišnik

Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Aškerčeva cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
urosstepisnik@hotmail.com

Manja Žebre

Groharjeva 8, 1241 Kamnik, manjazebre@gmail.com

Jure Tičar

Veliko Mraševo 49A, Krško 8270, jure.ticar@gmail.com

Matej Lipar

Juleta Gabrovska 3, 4000 Kranj, matej.lipar@gmail.com

Mateja Ferk

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
mateja.ferk@zrc-sazu.si

Blaž Kodelja

Lavričeva cesta 10, 5270 Ajdovščina, blaz.kodelja@gmail.com

Ivan Klemenčič

Ivan Klemenčič: Dolšce 2b, 8311 Kostanjevica na Krki, ivch.klemencic@gmail.com

UDK: 911.2:551.435.4(497.16)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Obseg pleistocenske poledenitve na Lovčenu v Črni gori

Gorski masiv Lovčen je skrajni južni del Zunanjih Dinaridov, katerega površje so v pleistocenu izrazito preoblikovali ledeniki. Na podlagi detajlnega morfografskega kartiranja ledeniških oblik je bil določen obseg poledenitve, ki je veliko večji, kot ga navaja predhodna literatura. Osrednji del gorskega masiva Lovčen je bil prekrit z ledeniškim pokrovom, od koder so odtekali odtočni ledeniki. Morenski in fluvio-glacialni material je zapolnil kraške kotanje Njeguškega in Cetinjskega polja. Najnižje morene odtočnih ledenikov na zahodni strani so na nivoju morja v Kotorskem zalivu, kar je do sedaj najnižji znani morenski nasip viška zadnje poledenitve v Sredozemlju.

KLJUČNE BESEDE

Črna gora, Lovčen, pleistocen, poledenitev, kras, glaciokras, snežna meja

ABSTRACT

The extent of Pleistocene glaciation of Lovćen in Montenegro

The massif of Lovćen is a most southern part of the mountain range Zunanji Dinaridi. In the Pleistocene, its surface was highly reformed by glacial processes. Based on the detailed morphographic mapping of glacial features, the extent of glaciation was determined as being far larger than described in previous references. The inner part of the Lovćen was covered with an ice field from where tongues of ice were flowing out. Moraine and fluvioglacial material filled the karstic basins of the Njeguši Polje and Cetinje Polje. The lowest moraines of outlet glaciers were found on the western side of Bay of Kotor at sea level, which until now, was the lowest known moraine material of the last glacial maximum within the Mediterranean.

KEY WORDS

Montenegro, Lovćen, Pleistocene, glaciation, karst, glaciokarst, equilibrium line altitude (ELA)

Uredništvo je prispevek prejelo 11. februarja 2010.

1 Uvod

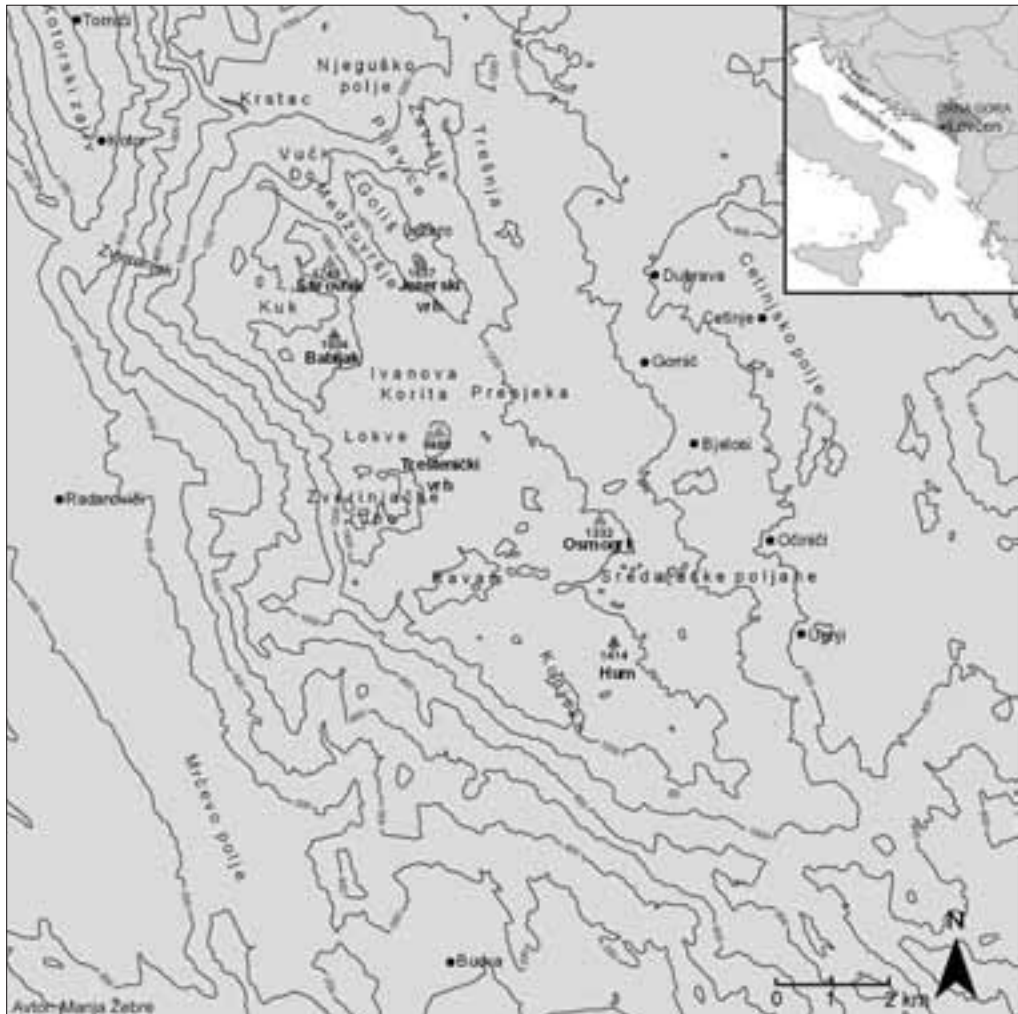
Gorovje Lovćen se nahaja v južnem delu Črne Gore in predstavlja skrajni jugovzhodni del zunanjih Dinaridov. Obsega okoli 200 km² veliko območje med Boko Kotorsko na severozahodu, Njeguškim in Cetinjskim poljem na severu in severovzhodu ter Jadranskim morjem na jugu in jugozahodu. Zaradi lege ob Jadranskem morju in izrazite reliefne amplitude v priobalnem delu gorovja, je za Lovćen značilna visoka povprečna letna količina padavin, ki znaša okoli 4600 mm (medmrežje). Ker je gorski masiv zgrajen iz mezozojskih karbonatnih kamnin, pa kljub obilnim padavinam, prevladujejo kraški geomorfni procesi in podzemno dreniranje alogene vode skozi masiv do izvirov ob vznožju gorovja.

Kljub prevladovanju kraških geomorfnih procesov v recentnih razmerah, so v morfološki izoblikovanosti širšega območja Lovčena opazne sledi poledenitve, ki so jo proučevali že v preteklih raziskavah, vendar dosedanja literatura o območju navaja zgolj minimalno pleistocensko poledenitev na najvišjih območjih. Detajlno proučevanje območja je pokazalo, da se sledi ledeniške erozije in akumulacije pojavljajo na obsežnem območju gorovja in njegove okolice.

Namen raziskave je bila detajlna proučitev morfologije gorskega masiva Lovćen in okoliških območij. Predstavljen je obseg pleistocenske poledenitve, tipi poledenitve na proučevanem območju ter debelina ledenega pokrova zadnjega viška poledenitve. Ugotovljeno je bilo tudi, v kakšnih pogojih in s katerimi procesi so bile akumulirane obsežne količine ledeniškega materiala na območjih poledenitve in območjih, kamor so odtekali proglacialni tokovi. Raziskava je obsegala tudi proučevanje vpliva kraškega površja na oblikovanost poledenitve in ohranjenost sledi ledeniške erozije in akumulacije.

2 Regionalne značilnosti gorskega masiva Lovćen

Lovćen je jasno opredeljena morfološka enota, ki se z dvema markantnima vrhovoma Štirovnik (1749 m) in Jezerski vrh (1659 m) dviga nad Boko Kotorsko. Na severu in severovzhodu se gorovje enakomerno spušča proti Njeguškemu in Cetinjskemu polju (cca. 650 m), na vzhodu pa postopno prehaja v nižji kraški masiv Paštrovčiči z najvišjim vrhom Velika Trojica (1132 m). Za južni in zahodni del Lovčena je značilna strma reliefna stopnja nad Jadranskim morjem in Boko Kotorsko (Slika 1).



Slika 1: Lokacija preučevanega območja.

Gorski masiv Lovčen je v celoti zgrajen iz karbonatnih kamnin, ki so v priobalnem delu, kjer je oblikovana strukturna stopnja, narinjene čez mlajše, nekarbonatne sedimente. V osrednjem, severovzhodnem in jugovzhodnem delu masiva prevladujejo kamnine triasne starosti, kjer se menjavajo plastoviti in masivni apnenci ter dolomiti. Severozahodni del v okolici najvišjih vrhov, Štirovnika in Jezerskega vrha, ter kotanjo Ivanova korita, sestavljajo plastoviti in masivni oolitni apnenci jurske starosti. Kamninska sestava zahodnega in južnega priobalnega dela Lovčena pa je izredno heterogena. Najnižji priobalni deli so zgrajeni iz eocenskega in triasnega fliša, konglomerata, peskov, gline in laporja. Na višjih nadmorskih višinah jim proti vzhodu sledi pas jurskih kalkarenitov, mikritov, oolitnih apnencev, rožencev, dolomitov in breče. Kotanja Njeguškega polja je oblikovana v apnencih jurske starosti, kotanja Cetinjskega polja pa je oblikovana v apnencih triasne starosti (Osnovna geološka karta SFRJ 1969).

Klimatske značilnosti Lovčena pogojuje tako bližina Jadranskega morja, kot tudi relativno visoke nadmorske višine. Zaradi izrazite reliefne amplitude je Lovčen učinkovita bariera vlažnim zračnim masam.

Povprečna količina padavin je tako ena izmed najvišjih v Evropi in znaša okoli 4614 mm (medmrežje). Na območju Lovčena, kljub obilnim padavinam, v celoti prevladuje vertikalni odtok vode. Površinska voda se pojavlja lokalno v kotanjah, zapolnjenih z drobozrnatim sedimentom. Občasni površinsko tekoči vodotoki se pojavljajo tudi na Njeguškem in Cetinjskem polju. Avtigena voda, ki se drenira skozi kraški masiv Lovčena, v glavnem izvira v priobalnem delu, ob kontaktu med kraškimi mezozojskimi kamninami in vododržnimi eocenskimi sedimenti. Med najpomembnejše in najbolj vodnate izvire spada izvira Gulič in Škurda ob Kotorju.

3 Pregled preteklih raziskav poledenitve Lovčena

Prva poročila o pleistocenski poledenitvi na Lovčenu je v začetku dvajsetega stoletja objavil Cvijić (1903). Ugotovljeno je bilo, da so obstajali le manjši ledeniki, katerih oblike so bile zabrisane zaradi kraških procesov v holocenu. Detajlno je bila proučena dolina Njeguškega ledenika, kjer je imel ledenik izvorno območje v krnici Jezero in je potekal na sever proti Njeguškemu polju do nadmorske višine 950 m. Sledovi poledenitve naj bi se nahajali le na severni strani; zaradi strmih naklonov na zahodni in vzhodni strani Lovčena ledenikov ni bilo. Na podlagi sledov poledenitve je bila ugotovljena pleistocenska snežna meja na nadmorski višini 1300 m. Ogromne količine proda, ki zapolnjuje Cetinjsko polje je bilo pripisanega potokom vlažne ledenodobne klime, ki so v kotanje nanašali material in naj ne bi bil neposredno povezan z obstojem poledenitve (Cvijić 1903). Sledi poledenitve so bile najdene tudi med Jezerskim vrhom in Štirovnikom (De Regny 1902). Približno pol stoletja kasneje se je Lovčena raziskav lotil Vasović (1955). Kakor predhodni raziskovalci predvideva, da so se ledeniki na Lovčenu nahajali izključno v njegovem severnem delu, saj sta geografska širina in nadmorska višina ključna dejavnika, ki sta preprečevala razvoj bolj obsežne poledenitve. Ugotovljen je bil obstoj manjšega dolinskega ledenika na območju Trešnje in zavrnen obstoj ledenika v Medžuvršju. Ob koncu dvajsetega stoletja je Menković (1993) podrobneje proučil območje in izdelal geomorfološko karto. Potrdil je obstoj ledenika v Medžuvršju, in ugotovil, da krnica tega ledenika ni ohranjena oziroma sploh ni obstajala. Nastanek tega ledenika pripisuje akumulaciji snega s pobočij Jezerskega vrha in Štirovnika. Kasnejša geomorfološka literatura območja ne temelji na terenskem delu in ne prinaša novih spoznanj.

4 Metodologija raziskave

Raziskava sledov poledenitve gorskega masiva Lovčen je temeljila na podrobnem morfografskem kartiranju oblik in morfometrični analizi oblik, ki so rezultat ledeniške erozije in akumulacije. Rezultat terenskega kartiranja je bila izdelava morfografske karte v merilu 1 : 25.000 celotnega območja, ki je bil pod vplivom poledenitve. Na podlagi morfografske karte in morfometrične analize so bile identificirane in opisane geomorfne oblike, ki so značilne za poledenitev kraških območij.

Rekonstrukcija viška zadnje poledenitve je bila izdelana na podlagi rezultatov morfografskega kartiranja. Za območja ledeniških pokrovov se je izdelala tudi rekonstrukcija debeline ledenikov na podlagi Patersonove enačbe, ki je primerna za območja, kjer na površju ni možno jasno določiti višine in obsega ledenika (Paterson 1994):

$$h = (2 \cdot \tau_b \cdot L / \rho \cdot g)^{0,5}$$

kjer je h debelina ledu, τ_b strižna napetost na bazi ledenika, L horizontalna oddaljenost točke od ledeniškega čela (m), ρ prostorninska masa ledeniškega ledu (900 kg/m^3) in g težnostni pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Rekonstrukcija paleoklime viška zadnje poledenitve se je izdelala za višino snežne meje na podlagi rezultatov morfografskega kartiranja. Uporabljeni sta bili dve metodi, in sicer metoda zgornje meje

bočnih moren ter metoda višinskega razmerja (Porter 2001). Metoda zgornje meje bočnih moren predpostavlja, da za ledenik v stabilnem stanju zgornja dolinska meja bočnih moren sovpađa s snežno mejo. Če so bočne morene nekdanjega ledenika dobro ohranjene, potem je višina njihovih zgornjih mej približek nekdanje snežne meje. Kljub temu, da se je izkazala metoda za nezanesljivo na območjih alpskih dolin, kjer je bila večina moren presedimentiranih, je bila pri naši raziskavi uporabljena, saj so zaradi kraškega površja bočne morene dobro ohranjene. Druga uporabljena metoda je bila metoda razmerja višin med vrhnjim delom in čelom ledenika. Uporaba srednje višine nekdanjega ledenika kot približek za nekdanjo snežno mejo je osnovan na empiričnih opazovanjih, da je meja ledeniškega firna na ledenikih zmernih geografskih širin na koncu ablacijskega obdobja navadno na polovici ledenika. Metodo povprečne višine je v teoriji lahko uporabiti, če so na razpolago dovolj natančni topografski podatki s predpostavko, da je imel nekdanji ledenik normalno porazdeljeno območje proti višinski krivulji (Porter 2001). Ker sta bila na območju le dva dolinska ledenika (Njeguški ledenik in ledenik na območju Trešnje), ki sta imela akumulacijski del v krnicah, se je aplicirala metoda rekonstrukcije snežne meje zadnjega viška poledenitve le na ti dve dolini.

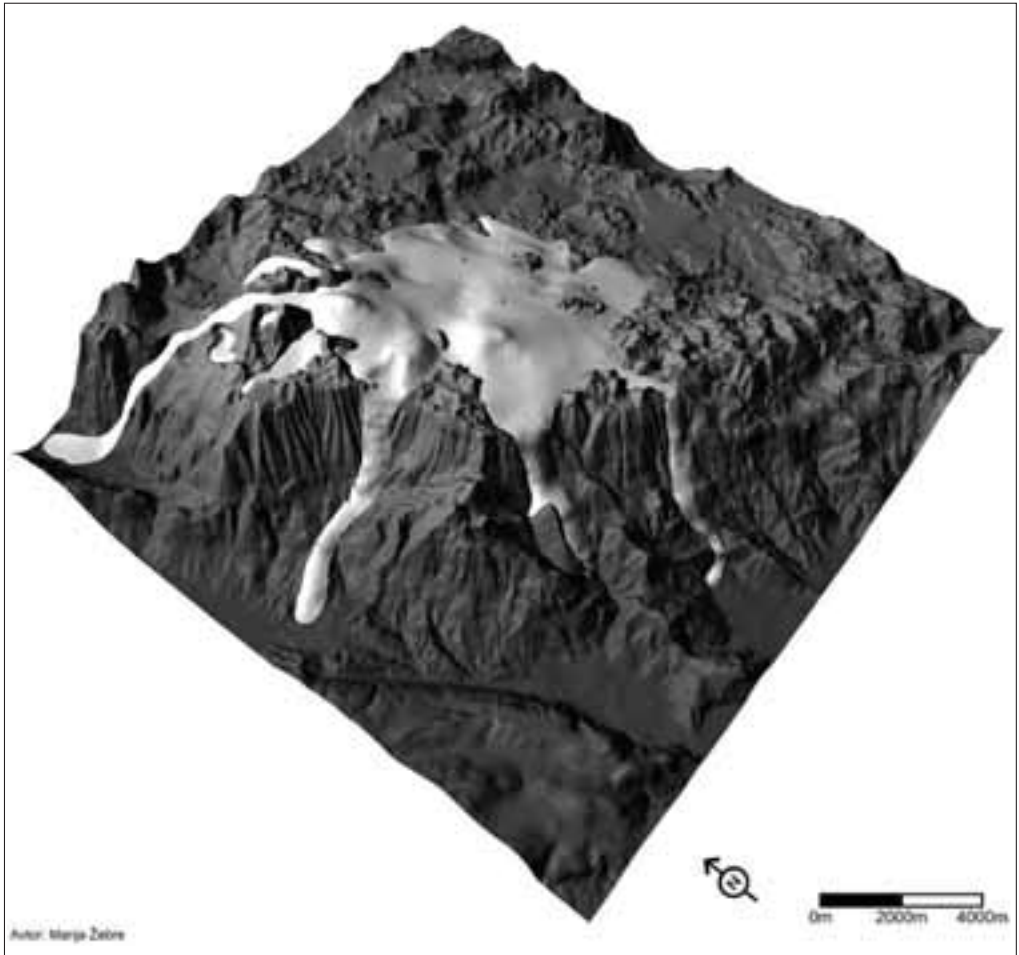
5 Sledovi poledenitve in rekunstrukcija ledeniških procesov

Z detajlnim proučevanjem Lovčena je bilo ugotovljeno, da je bila v pleistocenu na gorskem masivu razvita obsežna poledenitev. Identificirani so bili različni tipi poledenitve; osrednje območje so prekrivali ledeniški pokrovi, ob robovih pa so bili oblikovani dolinski, odtočni in krniški ledeniki.

5.1 Ledeniški pokrovi

Osrednji del Lovčena, od Štirovnika in Jezerskega vrha na severu do Huma na jugu, je prekrival obsežni ledeniški pokrov, ki ga v grobem lahko razdelimo na tri manjše ledeniške pokrove. Najsevernejši ledeniški pokrov se je nahajal na območju Ivanovih korit, med Jezerskim vrhom, Štirovnikom, Babljakom in Trešteničkim vrhom. Površina ledeniškega pokrova je znašala okoli 4,5 km², največja debelina pa okoli 300 m. Površje Ivanovih korit je oblikovano v dveh izrazitih nivojih. Višji nivo na severu je oblikovan na nadmorskih višinah od 1300 do 1325 m, nižji nivo v južnem delu pa na nadmorski višini okoli 1220 m. Kraško površje Ivanovih korit je pretežno preoblikovala ledeniška erozija, ki je oblikovala mutonirano površje. Ledeniška akumulacija se pojavlja v dneh posameznih kraških kotanj, zapolnjenih z drobnozrnatim sedimentom, ki se je najverjetneje odlagal iz podledenških tokov. Talne morene se pojavljajo zgolj mestoma. Sledi ledeniške erozije in akumulacije se na pobočjih najvišjih vzpetin pojavljajo do nadmorske višine 1450 m. Jugozahodno od Ivanovih korit je bil oblikovan manjši ledeniški pokrov, ki je prekrival območje s toponimom Lokve. Obsegal je območje med Zverinjačkimi rupami na jugu, Trešteničkim vrhom na vzhodu in Babljakom na severu. Površina ledeniškega pokrova je znašala okoli 2 km². Največja debelina ledu je bila okoli 270 m, in sicer v osrednjem delu Lokev, ki leži na nadmorski višini okoli 1270 m. V dnu kotanje so obsežna območja akumulacije drobnozrnatega sedimenta. V sedimentu je razvitih več sufozijskih vrtač. Na pobočjih okoliških vzpetin se pojavljajo sledi ledeniške erozije in akumulacije vse do nadmorske višine 1400 m. Najjužnejši izmed treh ledenških pokrovov je pokrival območje s toponimom Ravan, ki se nahaja med Zverinjačkimi rupami na severu, Osmogrkom na vzhodu in Humom na jugu. Pokrov je obsegal območje s površino okoli 3,5 km². Največja debelina ledeniškega pokrova je znašala okoli 260 m. Osrednja uravnava je oblikovana na nadmorski višini 1180 m. Območje je v glavnem preoblikovala ledeniška erozija, saj prevladuje mutonirano površje, posamezne kotanje pa so zapolnjene z drobnozrnatim sedimentom. Sledi ledeniškega preoblikovanja se pojavljajo do nadmorske višine 1290 m.

Z ledeniškega pokrova je led odtekal proti robovom, kjer so se formirali odtočni ledeniki. Ker je bilo identificiranih mnogo sledi ledeniške erozije na območju ledenških pokrovov, je možno sklepa-



Slika 2: Rekonstrukcija pleistocenske poledenitve na Lovčenu.

ti, da je osrednji del Lovčena prekrival topli ledenik, saj se le pri tovrstnih ledenikih pod ledeniškim pokrovom pojavlja ledeniška erozija (Evans 2005). Na tem območju je bila aktivna akumulacija materiala iz podledeniških tokov in akumulacija talnih moren, ki so podobne talnim morenam dolinskih ledenikov, vendar se zaradi krajše razdalje transporta in manjše dinamike gibanja ledeniških pokrovov, pojavljajo v omejenem obsegu (Evans 2005). Na živoskalni podlagi so prisotna brezna in kotlički. Na območjih akumulacije drobnozrnatega sedimenta pa se ponekod pojavljajo sufozijske vrtače. Ob robovih ledeniških pokrovov je oblikovana ostra meja med območji, ki jih je preoblikovala ledeniška erozija in območji nad poledenitvijo, kjer je bilo aktivno zgolj kemično in mehansko preperevanje kamnine. Območja, ki jih je pokrival led, je v pretežni meri preoblikovala ledeniška erozija, mestoma pa tudi akumulacija manjših zaplat morenskega gradiva in eratičnih skal. Na območju nekdanjega roba ledenikov pa so najpogosteje razvite izrazite kraške oblike, predvsem škraplje in brezna. Najintenzivnejša ledeniška erozija na območju je bila ob prehodnih platojskih ledenikov v odtočne, saj je dinamika gibanja ledu v tem delu najintenzivnejša. V tem delu najdemo ledeniško preoblikovano živoskalno podlago oziroma mutonirano površje.



UROŠ STEPŠNIK

Slika 3: Območje Lokev, kjer se je nahajal manjši ledeniški pokrov.

5.2 Odtočni ledeniki

Največji del obsežnega ledeniškega pokrova v osrednjem delu Lovčena se je prelival v več jezikih odtočnih ledenikov proti vzhodu. Ledeniški pokrov z območja Ivanovih korit je odtekal v smeri proti Cetinjskemu polju preko grebena Presjeke na nadmorski višini okoli 1250 m, na katerem so številne ledeniške grbine. V tem delu je bil ledeniški jezik odtočnega ledenika širok 2 km in visok okoli 200 m. Ledenik je nato drsel preko kraške uravnave na nadmorski višini okoli 1100 m, na kateri je oblikovano mutonirano površje. V tem delu se je ledenik razdelil na 5 manjših ledeniških jezikov, med katerimi so se oblikovale izrazite bočne morene, visoke tudi do 100 m. Med bočnimi morenami se nahajajo erozijski jarki, pod katerimi so oblikovani fluvio-glacialni vršaji, ki prekrivajo celotno Cetinjsko polje in del kraškega površja nad obodom polja.

Tudi s skrajnega južnega dela ledeniškega pokrova na območju Ravan, je led odtekal v smeri vzhoda proti naseljema Bjelosi in Očiniči. V tem delu sta bila oblikovana dva odtočna ledeniška jezika. Večji se je nahajal na območju Srednjačkih Poljan in je bil v zgornjem delu širok 1500 m, debelina ledenika pa je znašala okoli 100 m. Izrazite bočne morene, visoke do 80 m, se nahajajo v spodnjem delu iztekanja ledeniških jezikov. Manjši odtočni ledenik se je nahajal na območju uravnave Gorniči. Ob zaključku odtočnih ledenikov so ohranjene talnomorenske akumulacije z manjšimi čelnomorenskimi grebeni. Proglacialni tokovi so oblikovali erozijske jarke v smeri Cetinjskega polja in Očiničev. Fluvio-glacialni material iz odtočnih ledenikov je delno zapolnil južni del Cetinjskega polja in kraški kotanji Očiniči in Ugnji.

Del ledu z ledeniškega pokrova Lovčena je odtekal preko izrazite reliefne stopnje proti zahodu in jugu v smeri Boke Kotorske. Reliefno najizrazitejše sledi odtočnega ledenika, ki se je napajal z ledeniškega pokrova Ivanovih korit in se nadaljeval v obliki odtočnega ledenika proti Kotorju, so na območju s toponimom Medžuvršje. Medžuvršje se nahaja med Jezerskim vrhom in Štirovnikom ter ima obliko ledeniške doline, ki poteka v smeri jugovzhod–severozahod. Debelina ledu ob iztoku ledeniškega



MATEJ LIPAR

Slika 4: Ledeniška dolina Medžuvršje, pogled proti severu.

pokrova v ledeniško dolino je bila okoli 100 m, širina doline v tem delu pa je 600 m. Zgornji del je preoblikovala ledeniška erozija, med oblikami pa prevladuje mutonirano površje. Bočne morene se pojavijo v severozahodnem delu doline na nadmorski višini 1300 m, kar je okoli 110 m nad dnem doline. Med bočnima morenoma je na nadmorski višini 1080 m oblikovana obsežna kotanja Vuči Do. Severozahodni del bočne morene je v tem delu prekinjen z manjšim erozijskim jarkom, pod katerim je oblikovan obsežen flivioglacialen vršaj, ki prekriva planoto Krstac. Najverjetneje ga je oblikovalo iztekanje obledeniškega toka. Zahodno od Vučega Doa je razdalja med bočnima morenoma le 250 m. Zaključita se na pregibu nad Kotorjem na nadmorski višini 1150 m. Ob zaključku obeh bočnih moren se začne izraziti erozijski jarek, ki je globoko zarezan v strmo pobočje nad Kotorjem. Sledi ledeniške akumulacije pa so ohranjene še 1,5 km severno od Kotorja, kjer gradi morensko gradivo manjši polotok na vzhodni strani Kotorskega zaliva.

Celoten ledeniški pokrov z območja Lokve je najverjetneje odtekal le v smeri zahoda preko izrazite reliefne stopnje 950 m globoko. Odtočni ledenik je bil v zgornjem delu širok 1 km, debelina ledenika pa je znašala do 110 m. Izrazito območje ledeniške akumulacije se začne na nadmorski višini 350 m z dvema do 150 m visokima bočnima morenoma, ki se zaključita na nadmorski višini okoli 70 m pri naselju Radanoviči.

Južni del ledeniškega pokrova na območju Ravan se je prav tako stekal v več smeri. Proti jugozahodu je odtekal okoli 90 m visok in 900 m širok odtočni ledenik. Premikal se je preko strme reliefne stopnje v smeri doline vodotoka Smokvica. Na pobočju je potekala intenzivna akumulacija ledeniškega materiala, ki je ohranjen do nadmorske višine 400 m. Na nižjih nadmorskih višinah ni ohranjenih sledi ledeniške akumulacije. Najverjetneje so bili nižji morenski nasipi erodirani in s fluvialnimi procesi presedimentirani. Obsežen vršaj se nahaja ob iztoku Smokvice na severnem delu Mrčevega polja do nadmorske višine 15 m, ki ga gradijo karbonatni prodniki fluvioglacialnega in fluvialnega izvora.



Slika 5: Morenski material v Budvi.

Najjužnejši odtočni ledenik je odtekal iz ledeniškega pokrova Ravan preko planote Konjsko v smeri Budve. Na planoti Konjsko prevladuje mutonirano površje, saj jo je preoblikovala ledeniška erozija. Pod strmim reliefnim pregibom na nadmorski višini 1300 m, so na pobočju ohranjene sledi intenzivne ledeniške akumulacije. Izrazite bočne morene se zaključijo na nadmorski višini 40 m v severnem delu naselja Budva. Večji del Budve pa se nahaja na fluvioglacialnem vršaju, ki se nadaljuje pod današnjo gladino morja.

Na zahodnem robu Cetinjskega polja in na višjih uravninah v bližini njegovega oboda so odtočni ledeniki oblikovali obsežne bočno-čelno morenske komplekse. Proglacialni tokovi so oblikovali bodisi fluvioglacialne vršaje bodisi izrazite erozijske jarke v smeri nižjih kotanj. Zgornji del fluvioglacialnega vršaja v severozahodnem delu Cetinjskega polja pri naselju Dubrava, sestavljajo naplavine različnih velikosti; od drobnega neplastovitega peska do večjih blokov s premeri do 3 m. Sedimentacija drobnega peščenega materiala iz stalnih proglacialnih tokov je plastovita, hkrati pa ti tokovi nimajo dovolj energije za transport večjih blokov kamnine. Za fluvialni transport in akumulacijo materiala, ki gradi vršaj pri Dubravi, so bili potrebni posebni hidrološki pogoji. Takšni pogoji lahko nastanejo ob prisotnosti izjemnih količin vode v izjemno velikih poplavah, ki so značilne za nekatere ledenike. Takšno vrsto poplav literatura navaja kot Jökulhlaup, Débâcle, Aluvione (Benn in Evans 1998), izbruh ledeniškega jezua (ang. ice-dam burst) ali ledeniško poplavo (ang. glacier flood) (Benn in Evans 1998; Evans 2005). Nastanejo lahko zaradi različnih vzrokov. Na proučevanem območju so najverjetneje nastali zaradi naglega vrezovanja erozijskih jarkov v bočno-čelno morenske komplekse ob prelitju proglacialnih jezer. Ko se je prelitje začelo, je povzročilo pozitivno povraten proces: erozija je poglobljala jarek, globlji jarek pa je povečeval odtok. Posledica ledeniških poplav so obsežni fluvioglacialni vršaji z neplastovito sedimentacijo v zgornjih delih, premeri največjega transportiranega gradiva pa dosegajo dolžino več metrov (Benn in Evans 1998; Costa 1988; Desloges in sodelavci 1989).

5.3 Dolinski ledeniki

Najizrazitejši dolinski ledenik na območju Lovčena je bil Njeguški ledenik. Potekal je od Jezerskega vrha na jugu proti Njeguškemu polju na severu. Na zahodu ga je omejeval greben Goliš, na vzhodu pa Završje. Dolina je dolga 2,5 km in se zaključuje nad južnim robom Njeguškega polja na območju s toponimom Pljavice. Krnica ledenika je bila oblikovana v kraški kotanji s toponimom Jezero. Obod krnice je na nadmorski višini 1650 m, dno, v katerem je oblikovano plitvo jezero, pa na nadmorski višini 1340 m. Premer krnice je 500 m. Njen severni obod gradi 40 m visok čelnomorski nasip umikalnega stadija. Dolino je preoblikovala ledeniška erozija, zato prevladuje predvsem mutonirano apnenčasto površje. Najvišje bočne morene so ohranjene na vzhodnem pobočju ledeniške doline na nadmorski višini 1340 m, kar je 70 m nad dnom doline. Na primerljivi nadmorski višini zahodnega pobočja ledeniške doline je v pobočju oblikovana manjša krnica, zaradi česar se bočne morene na zahodni strani doline začno pojavljati nižje, na nadmorski višini 1280 m. Pod stransko krnico s toponimom Pod jezero se v osrednjem delu ledeniške doline začneja srednja morena, visoka okoli 30 m. Med srednjo moreno in bočnima morenoma Njeguškega ledenika se nahajata dva erozijska jarka. Ob zaključku obeh bočnih moren, na nadmorski višini okoli 1000 m, erozijska jarka preideta v fluvio-glacialna vršaja, ki zapolnjujeta celotno Njeguško polje.

Manjši dolinski ledenik je bil oblikovan vzhodno od Jezerskega vrha, ki se je začel v manjši krnici in se po 1,8 km iztekel v kotanji Trešnja. Najvišji del oboda krnice je na nadmorski višini 1650 m, dno pa na nadmorski višini 1350 m. Premer krnice je 400 m. Zgornji del doline je v pretežni meri preoblikovala ledeniška erozija. V spodnjem delu doline so oblikovane obsežne akumulacije talnih in bočnih moren. Bočne morene se začnejo na nadmorski višini 1310 m. Zaključni del ledeniške doline v kotanji Trešnja je zapolnjen z drobnozrnatim ledeniškim materialom. Proti vzhodu prehaja kotanja v nekoliko višje in intenzivno zakraselo kraško površje, kjer ni ohranjenih sledi ledeniškega preoblikovanja.

Daljši dolinski ledenik je bil oblikovan tudi južno od Štirovnika v podolgovati kraški depresiji s toponimom Kuk. Potekal je od Babljaka na vzhodu proti zahodu, kjer se dolina zaključuje s strmo reliefno stopnjo nad Kotorskim zalivom. Ledeniška dolina je dolga 2,2 km. Začne se v neizraziti krnici z obodom na nadmorski višini 1440 m, katere vzhodno pobočje je izrazito ledeniško preoblikovano. Najverjetneje se je del ledeniškega pokrova iz območja Ivanovih korit prelival čez greben in dotekal v ledeniško dolino. V zgornjem delu doline prevladujejo ledeniške erozijske oblike, zlasti mutonirano površje. V spodnjem delu se v dnu kotanje nahajajo različne oblike ledeniške akumulacije. Bočni moreni se začnejo na obeh pobočjih doline na nadmorski višini 1390 m. V tem delu je dolina široka 700 m, debelina ledenika pa je znašala vsaj 40 m. Ob zaključku ledeniške doline je razdalja med bočnima morenoma le okoli 100 m. Med bočnima morenoma se na nadmorski višini okoli 1300 m začneja erozijski jarek imenovan Zvjeronjak, ki se postopno pogloblja in nadaljuje proti Kotorskemu zalivu. Zaključuje se na nadmorski višini okoli 100 m, južno od Kotorja.

Najvišja območja akumulacije v ledeniških dolinah predstavljajo bočne morene, ki se pričenejo v pobočjih dolin in se nadaljujejo vse do iztekov nekdanjih ledeniških jezikov. Višina bočnih moren nad dnom dolin znaša do 70 m, kar nakazuje na debelino ledenikov v dolinah. Proti iztočnim delom ledeniških dolin se razdalje med bočnimi morenami zmanjšujejo. Čelno morenskih akumulacij v ledeniških dolinah ni oblikovanih. Tovrstna akumulacija ledeniškega materiala je tipična za ledenike z drobirskim plaščem (ang. debris mantled glaciers) (Embelton in King 1968; Benn in Evans 1998) oziroma gre za bočno-čelno morenske komplekse (ang. Lateral-terminal moraine complex) (Evans 2005) ali morene Ghulkinskega tipa (ang. Ghulkin-type moraines) (Owen 1994), ki so tipične za ledenik Ghulkin v gorovju Karakorumu. Nastanejo v razmerah, ko so robovi ledeniškega jezika stacionarni ali pa imajo majhno dinamiko premikanja. Večja količina pobočnega materiala ledeniške doline se kopiči ob ablacijskem delu ledeniškega jezika. Tovrstne morene so dovolj velike, da zajezijo tok ledenika in ga usmerjajo pri nadaljnjem napredovanju v smeri izteka bočnih moren. Bočne morene dolinskih lede-



BLAŽ KODELA

Slika 6: Zaključek ledeniške doline severno od Jezerskega vrha z izrazitima bočnima morenoma in fluvio-glacialnim vršajem v ospredju.

nikov na proučevanem območju so zaradi kraškega površja dobro ohranjene. Proglacialni in postglacialni tokovi so odtekali vertikalno v kras in niso presedimentirali znatne količine ledeniške akumulacije.

Material izpod ledenikov so proglacialni tokovi odnašali in ga akumulirali v obsežnih fluvio-glacialnih vršajih. Najobsežnejša vršaja sta oblikovana ob iztoku Njeguškega ledenika in prekrivata celotno Njeguško polje. To polje lahko zaradi načina sedimentacije materiala uvrstimo v piedmontski tip polja (Gams 2004). Iztekanje proglacialnih tokov iz kotanje Trešnja je bilo zaradi topografije ablacijskega območja tega ledenika onemogočeno. Ob zaključku ledeniške doline Kuk so proglacialni tokovi oblikovali erozijski jarek v strmo, 1300 m visoko reliefno stopnjo nad Kotorjem. Pod erozijskim jarkom je oblikovan obsežen fluvio-glacialni vršaj, ki sega do morske gladine in se najverjetneje nadaljuje tudi pod njo.

Pleistocenska snežna meja na Lovčenu je bila določena na podlagi metode zgornje meje bočnih moren ter metode višinskega razmerja (Porter 2001) v dolinah Njeguškega ledenika in ledenika na območju kotanje Trešnja. Segala je do nadmorske višine 1310 m po metodi zgornje meje bočnih moren oziroma do nadmorske višine 1275 m po metodi razmerja višin. Rezultati analiz potrjujejo rezultate že starejših raziskav, s katerimi so ugotavljali, da je bila pleistocenska snežna meja na območju Lovčena na nadmorski višini okoli 1300 m (Cvijić 1903).

5.4 Krniški ledeniki

Severozahodno od Štirovnika sta v strmem pobočju nad Kotorskim zalivom oblikovani dve krnici, pod katerima ni oblikovanih ledeniških dolin. Južno krnico sestavljata dve manjši kraški kotanji. Najvišji del oboda krnice sega do nadmorske višine 1400 m. Severna krnica je sestavljena iz treh zaporednih kraških kotanj, najvišji del oboda pa je na nadmorski višini 1370 m. Premer južne krnice je 350 m, severne pa 750 m. Ob združitvi obeh krnic je oblikovana manjša uravnava na nadmorski višini 1210 m. Zahodno od uravnave se nahaja 25 m visok greben čelnomorske akumulacije. Na pobočju Lovčena pod uravnavo ni ohranjenih sledi ledeniške erozije ali akumulacije.

Na zahodni strani Štirovnika je tik pod vrhom oblikovana še ena krnica, ki se ne nadaljuje v tipični ledeniški dolini. Najvišji del oboda je na nadmorski višini 1680 m, premer krnice pa meri okoli 550 m. Sledi ledeniške erozije so ohranjene samo na območju krnice. Pod krnico relief postopno upada in po 500 m preide v intenzivno zakraselo površje, kjer ni ohranjenih sledi ledeniške erozije ali akumulacije.

Oblikovanje krnic je vezano predvsem na intenzivno zmrzalno preperevanje, deterzijo, detrakcijo in umik pobočij zaradi graviklastičnih procesov (Benn in Evans 1998). Na Lovčenu so krnice prisotne predvsem v vrhnjih delih ledeniških dolin. Krnice, v katerih so bili oblikovani krniški ledeniki zahodno od Štirovnika, pa so oblikovane v tankoplastovitih apnencih, ki so mehansko manj odporni. Prav slab-

ša odpornost matične podlage je najverjetneje pospešila proces oblikovanja krnic, čeprav se v njih ni akumulirala znatna količina ledu, ki bi odtekala v nižje predele in oblikovala ledeniške doline.

6 Sklep

Kraško Območje Lovčena je bilo v pleistocenu izrazito preoblikovano z ledeniškim delovanjem. V tem času so nastale značilne oblike, ki so vezane na ledeniško delovanje in oblike, vezane na součinkovanje ledeniškega delovanja in kraškega geomorfnege sistema. Ker po ledeniških dogodkih ni bilo procesa, ki bi bistveno preoblikoval erozijske dele ledeniškega površja ali presedimentiral glaciogene nanose, so se ohranile oblike, kakršne so bile ob koncu ledeniškega preoblikovanja. Na podlagi naše raziskave je bilo ugotovljeno da je bil obseg poledenitve obsežnejši, kot je predvidevala dosedanja literatura. Led ni prekrival le treh manjših ledeniških dolin na severnem delu, pač pa je bil celotni osrednji del gorskega masiva prekrit z ledeniški pokrovi. Največja debelina ledu je znašala okoli 300 m, in sicer na območju ledenega pokrova Ivanovih korit. Iz ledeniških pokrovov je led polzel v dveh odtočnih ledenikih v smeri vzhoda, kjer je na Cetinjskem polju in v njegovi bližini ustvaril obsežne bočno-čelne morenske komplekse. Fluvio-glacialni vršaji zapolnjujejo celotno Cetinjsko polje in okoliške kotanje. Struktura in velikost materiala, ki zapolnjuje Cetinjsko polje, pa dokazuje njihov nastanek z ledeniški izbruhi. Odtočni ledeniki na zahodni in južni strani so polzeli preko strukturne stopnje, visoke do 1300 m, nižje v smeri Jadranskega morja, kjer se nahajajo večji morenski nasipi. Najnižja morena se nahaja severno od Kotorja, in sicer del morene lahko zasledimo v obliki polotoka, kjer se nahaja naselje Tomiči, del morene pa je pod morsko gladino. Ta morena je nesprijeta, torej najverjetneje poznopleistocenska iz viška zadnje poledenitve. To je najnižja ugotovljena poznopleistocenska morena v Sredozemlju.

Paleoklimatska rekonstrukcija snežne meje na primeru dveh ledeniških dolin na severni strani območja je potrdila rezultate predhodnih raziskav. Snežna meja se je ob višku zadnje poledenitve nahajala na nadmorski višini okoli 1300 m.

7 Viri in literatura

- Benn, D. I., Evans, D. J. A. 1998: *Glaciers and glaciation*. London.
- Bešič, Z. 1983: *Geologija Crne Gore, Tektonika i paleografija Crne Gore*, knjiga 3. Titograd.
- Costa, J. E. 1988: *Floods from dam failures. Flood geomorphology*. New York.
- Cvijić, J. 1903: Novi rezultati o glacialnoj eposi Balkanskog poluostrva. *Glas Srpske kraljevske Akademije* 65. Beograd.
- De Regny, V. 1902: *Osservazioni geologiche sul Montenegro orientale e meridionale*. Rim.
- Desloges, J. R., Jones, D. P., Ricker, K. E. 1989: Estimates of peak discharge from the drainage of ice-dammed Ape Lake, British Columbia, Canada. *Journal of glaciology* 36. London.
- Embelton, C., King, C. A. M. 1968: *Glacial and periglacial geomorphology*. London.
- Evans, D. J. A. 2005: *Glacial landsystems*. London.
- Gajović, V., Nikolić, D., Živojinović, S. 2004: Reljef planine Lovčen. *Zbornik radova broj 16*. Beograd.
- Gams, I., 2004: *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Ljubljana.
- Glasser, N. F., Jansson, K. N. 2005: Fast-flowing outlet glaciers of the Last Glacial Maximum Patagonian Ice field. *Quaternary Research* 63.
- Höfer, H. 1879: *Gletscher und Eiszeitstudien*. *Sitzungsberichte der Academie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung 1, Biologie, Mineralogie, Erdkunde* 79. Wien.
- Medmrežje: <http://195.66.163.23/misc.php?text=27&sektor=1> (31. 1. 2010).

- Meierding, T. C. 1982: Late Pleistocene equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range, a comparison of methods. *Quaternary Research* 18.
- Menković, L., Đurović, P. V. 1993: Detaljna geomorfološka karta – osnova za vrednovanje prostora Nacionalnog parka »Lovćen«. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 73-2. Beograd.
- Osnovna geološka karta SFRJ. List 34-50, Kotor. 1969. 1 : 100 000. Beograd.
- Osnovna geološka karta SFRJ. List 34-62, Budva. 1969. 1 : 100 000. Beograd.
- Owen, L. A. 1994: Glacial and non-glacial diamictons in the Karakoram Mountains. The formation and deformation of glacial deposits. Rotterdam.
- Pajović, M. 2000: Geologija i geneza crvenih boksita Crne Gore. Podgorica.
- Paterson, W. S. B. 1994: *The Physics of Glaciers*. Oxford.
- Porter, S. C. 2001: Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews* 20.
- Vasović, M. 1955: Lovćen i njegova podgorina, regionalno-geografska ispitivanja. Cetinje.

8 Summary: The extent of Pleistocene glaciation of Lovćen in Montenegro

(translated by Matej Lipar)

During the Pleistocene, the surface of Lovćen was highly reformed by glacial processes. However, because of karstification, there were no other processes which would have reformed erosional parts of the glacial surface or re-accumulate glacial deposit, which contributed to the relatively unchanged glacial features. Based on our research, the extent of glaciation was larger than described in previous references. There were three ice fields on the surface areas in the central part of Lovćen, reformed by glacial erosion and glacial accumulation. The northernmost ice field situated in Ivanova korita, was $\sim 4.5 \text{ km}^2$ in area. Southwest, there was a smaller ice field, $\sim 2 \text{ km}^2$, situated in Lokve. The southernmost ice field was situated in Ravan and was $\sim 3.5 \text{ km}^2$ large. The maximum ice thickness varies from $\sim 300 \text{ m}$ in the northernmost ice field to $\sim 260 \text{ m}$ in the southernmost ice field. Due to the numerous identified traces of glacial erosion on areas of the former Pleistocene ice fields, a warm based glacier in the central part of Lovćen was determined.

Outlet glaciers, which were formed on the edges of ice fields, were moving in westward and eastward directions. Numerous roches moutonnées and distinctive lateral moraines on the eastern part of Lovćen are the product of extensive outlet glaciers moving east towards Cetinje Polje. Proglacial outflows weathered erosion gullies and accumulated fluvio-glacial fans. Yet the upper part of the fluvio-glacial fan in western part of Cetinje Polje consists of fine non-laminated sand and bigger rounded blocks with diameters up to 3 m. Because proglacial flows do not have enough energy for the transport of material of that size, this fluvio-glacial fan is most likely a product of glacier flood.

Part of the ice field from Ivanova korita was flowing out west over the structural escarpment and sculptured glacier valley of Međuvršje. Traces of lateral – terminal moraine complexes were found in several areas around the town of Kotor and one of them ends under the present sea water level. This moraine is probably from the last glacial maximum of the Late Pleistocene and is the lowest known moraine in Mediterranean. The southernmost outlet glacier with westward movement, moved over the Konjsko Plateau towards the town of Budva, where extensive glacial accumulations were found down to 40 m from the sea water level on the northern part of Budva. The thickness of outlet glaciers varies, yet the average thickness is about 100 m.

On the Lovćen, traces of three valley glaciers were found. The most distinctive and the only one that was not flowing out of ice fields was the Njeguši Valley Glacier. The valley of the Njeguši Valley Glacier starts with the cirque Jezero at an altitude of 1650 m and after 2.5 km ends in the Njeguši Polje. It consists of an eroded limestone surface, non-distinctive roches moutonnées and lateral moraines. Two smaller valley glaciers were situated west from Jezerski Vrh and in the Kuk Valley. Based on the

height of lateral moraines the glacier was about 70 m high. Due to the absence of distinctive terminal moraines at the end of the glacial valley, moraines were determined as lateral – terminal moraine complexes or Ghulkin-type moraines.

Traces of cirque glaciers were found in two cirques west from Štirovnik. They were most probably formed because of thin bedded limestone, which is less resistant to mechanical weathering.

Concerning paleoclimate characteristics, only the equilibrium line altitude for the last glacial maximum was determined in the valley of the Njeguši Valley Glacier from where it was generalized for the whole massif of Lovćen. Based on the method of upvalley limits of lateral moraines it extended down to 1310 m from the sea water level, while based on the method of altitude ratio between the lower and upper limit of the glacier it extended down to 1275 m from the sea water level. These results also confirm previous research, where the equilibrium line altitude was said to be down to 1300 m from the sea water level (Cvijić 1903).