

# Geomorfološki tragovi pleistocenske glacijacije masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje

---

Miličević, Mirjana

Doctoral thesis / Disertacija

2013

*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:217:132220>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



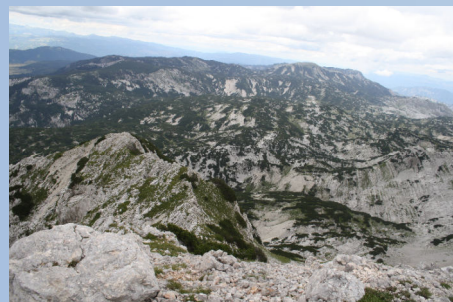
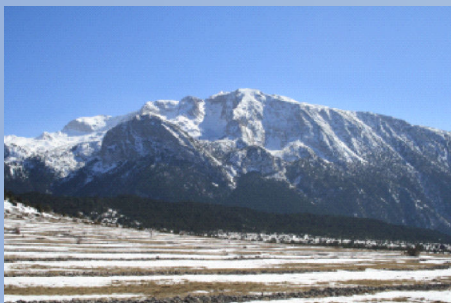


Sveučilište u Zagrebu  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOGRAFSKI ODSJEK

Mirjana Milićević

## Geomorfološki tragovi pleistocenske glacijacije masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje (BiH)

DOKTORSKI RAD



Zagreb, 2013



University of Zagreb

**FACULTY OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY**

Mirjana Milićević

**GEOMORPHOLOGICAL TRACES OF  
THE PLEISTOCENE GLACIATION IN  
THE ČVRSNICA MASSIF AND THE ČABULJA RIDGE (BH)**

**DOCTORAL THESIS**

**Zagreb, 2013.**



Sveučilište u Zagrebu

**PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOGRAFSKI ODSJEK**

Mirjana Milićević

**GEOMORFOLOŠKI TRAGOVI  
PLEISTOCENSKE GLACIJACIJE  
MASIVA ČVRSNICE I HRPTA ČABULJE (BIH)**

DOKTORSKI RAD

Mentori: Prof. dr.sc. Sanja Faivre  
Doc. dr.sc. Mladen Pahernik

Zagreb, 2013.



University of Zagreb

**FACULTY OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY**

Mirjana Milićević

**GEOMORPHOLOGICAL TRACES OF  
THE PLEISTOCENE GLACIATION IN  
THE ČVRSNICA MASSIF AND THE ČABULJA RIDGE (BH)**

**DOCTORAL THESIS**

Supervisors: Professor Sanja Faivre, Ph D

Assistant Professor Mladen Pahernik, Ph D

Zagreb, 2013.

Doktorski rad predložen je Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja doktora znanosti u području  
interdisciplinarnih znanosti, znanstveno polje geografija, znanstvena grana fizička geografija.

Ovaj doktorski rad izrađen je na Geografskom odsjeku,  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu,  
u sklopu Poslijediplomskog doktorskog studija  
„Geografske osnove prostornog planiranja i uređenja“.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Doktorski rad

### GEOMORFOLOŠKI TRAGOVI PLEISTOCENSKE GLACIJACIJE MASIVA ČVRSNICE I HRPTA ČABULJE (BIH) MIRJANA MILIĆEVIĆ

Ovaj rad istražuje geomorfološke tragove pleistocenske glacijacije na području gorskog masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje u središnjem dijelu Dinaridskog gorskog sustava. Glavne strukture i rasjedi imaju dinaridski pravac pružanja. Litološki sastav čine uglavnom karbonatne naslage mezozojske starosti. U vršnom planinskom prostoru dominantna je mrežasta struktura reljefa (uzvišenja, udubljenja i platoi). Takva podloga predglacijalnog reljefa uz povoljne klimatske uvjete pogoduje akumuliranju snijega i leda te stvaranju oledbe. Na temelju analize morfometrijskih parametara, rekonstrukciji klime tijekom pleistocenske oledbe i prostornog rasporeda ledenjačkih morfološih oblika može se pretpostaviti maksimalno područje oledbe od oko 200 km<sup>2</sup> koje obuhvaća vršni dio gorskog masiva i hrptove. Utvrđeno je postojanje tri tipa pleistocenskih ledenjaka: cirkni, platoasti i dolinski. Kao posljedica egzaracijskog oblikovanja u recentnom reljefu utvrđeno je postojanje 26 dobro očuvanih cirkova. Najveći broj razvijen je na padinama hrptova sjeverne ekspozicije i ima manju površinu. Cirkovi južne orijentacije su veći, oblikovani u rasjedno predisponiranim uvalama. Platoasti ledenjaci imali su regionalna obilježja, a pružanje i obim određen je prihranjivanjem ledom i pružanjem hrptova. Utvrđene ledenjačke doline u gornjem dijelu imaju karakterističan „U“ profil, a njihova dužina i pravac pružanja određeni su istaloženim akumulacijskim ledenjačkim sedimentima (morene, glaciofluvijalni sedimenti). Granulometrijskom analizom sedimenta na ravnomjerno raspoređenim lokacijama u većini uzoraka utvrđena je niska razina zaobljenosti zrna i relativno slaba sortiranost materijala što s obzirom na položaj upućuje na ledom pretaložen sediment.

(180 stranica, 130 slika, 19 tablica, 106 bibliografskih referenci, 1 prilog)

**Ključne riječi:** geomorfologija, oledba, cirkovi, ledenjačke doline, masiv Čvrsnice, hrpat Čabulje

**Mentori:** Prof.dr.sc. Sanja Faivre i Doc.dr.sc. Mladen Pahernik

**Povjerenstvo:** Doc.dr.sc. Neven Bočić, Prof.dr.sc. Sanja Faivre i Doc.dr.sc. Mladen Pahernik

**Rad prihvaćen:** rujan, 2013. godine

**Rad je pohranjen u** Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici, Ul. Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb



## BASIC DOCUMENT CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Doctoral Thesis

### GEOMORPHOLOGICAL TRACES OF THE PLEISTOCENE GLACIATION IN THE ČVRSNICA MASSIF AND THE ČABULJA RIDGE (BH)

MIRJANA MILIĆEVIĆ

This work also researches geomorphologic traces of Pleistocene glaciations on area of highland massif of Čvrsnica and Čabulja ridge in the central part of The Dinarides mountain range. With the surface of 513, 45 km<sup>2</sup>, it covers the area between the canyon valleys of the river Doljanka and The Neretva river on the north and on the east, and on the east, mountain ridges on the west (Vran and Libo) and the plateau of Brotnjo on the south. The key structures and faults have the Dinaridic orientation line. In litho-logical system it is mainly karst, carbonic layers of Mesozoic origin (limestone, dolomites). Apart from the geological and structural features; glacial, karst and slope processes have influenced geomorphologic formation of terrain. At high range mountain area, the network structure of terrain is predominant, with the chain of elevations (ridges, hilltops), hollows (karst sinkholes, karst depressions) and plateaus. That same terrain of pre-glacial era is exactly the one that is good for accumulation of snow and ice, if climatic conditions are right, which is in fact, creation of meltdown erosion. Based on the analysis of morph metric parameters, reconstruction of the climate during the pre-glacial meltdown and areal distribution of glacier morphologic forms, it can be presumed that maximal area of meltdown erosion is around 200 km<sup>2</sup>, which covers the top part of mountain range massif and ridges. It has been determined that there are three types of glaciers: cirque, plateau and valley types. As the outcome of the exoration formation in recent terrain shapes it was determined that there are 26 well-preserved cirques. The largest number of cirques is developed on the slopes of ridges of north exposition and it has smaller surface. Cirques of south orientation are larger, formed in karst depression predisposed by faults. Plateau glaciers had regional features, and its direction line and range is determined by ice feed, as well as by stretching of the ridges. Established glacial valleys in upper part have characteristically U-profile shapes, and its length and the direction line is determined by layers of accumulative glacial sediments (stratum, glacial-fluvial sediments). Plateau glaciers had regional features, and its direction line and range is determined by ice feed, as well as by stretching of the ridges. By analysis with granulometry of accumulated layers on certain, equally disposed locations in major cases, relatively low level of the roundness of grains is present, with almost two thirds of larger particles is gravel and relatively low level of division of material is also present, which denotes sedimentation by ice (strata and glacial-fluvial fans).

(180 pages, 130 figures, 19 tables, 106 reference, 1 map)

**Key words:** geomorphology, glaciation, cirques, glacial valleys, Čvrsnica massif, Čabulja ridge

**Supervisors:** Sanja Faivre, Ph D, Associate Professor and Mladen Pahernik, Ph D, Assistant Professor

**Reviewers:** Neven Bočić, Ph D, Assistant Professor, Sanja Faivre, Ph D, Associate Professor and Mladen Pahernik, Ph D, Assistant Professor

**Thesis accepted:** september, 2013

**The doctoral thesis is deposited** in the Central Geographical Library, Faculty of Science University of Zagreb, Marulić Square 19, Zagreb, Croatia and in the National and University Library at 4, Hrvatske bratske zajednice Street in Zagreb, Croatia.

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| SADRŽAJ .....   | 2  |
| PREDGOVOR.....  | 4  |
| 1. UVOD .....   | 5  |
| 1.1 Cilj istraživanja.....  | 6  |
| 1.2 Temeljne hipoteze istraživanja .....  | 6  |
| 1.3 Metode rada .....   | 7  |
| 1.3.1 Poteškoće prilikom istraživanja.....  | 12 |
| 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....   | 13 |
| 2.1 Razdoblje do 2. svjetskog rata.....   | 13 |
| 2.2 Razdoblje od 2. svjetskog rata do 1990.....   | 17 |
| 2.3 Suvremeno razdoblje.....  | 18 |
| 3. PROSTORNI OBUHVAT I GEOMORFOLOŠKI POLOŽAJ.....                                       | 21 |
| 4. GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....                                       | 24 |
| 4.1 Litostratigrafska obilježja .....   | 24 |
| 4.2 Sastav i građa.....   | 24 |
| 4.2.1 Mezozoik .....  | 26 |
| 4.2.2 Kenozoik .....  | 32 |
| 4.3 Obilježja strukturnog sklopa.....   | 35 |
| 4.3.1 Strukture, rasjedi i njihovo odražavanje u reljefu.....                           | 35 |
| 5. OPĆA MORFOMERIJSKA OBILJEŽJA KAO PREDISPOZICIJA RAZVOJA<br>LEDENJAČKOG RELJEFA ..... | 40 |
| 5.1 Hipsometrijske značajke reljefa .....   | 40 |
| 5.2 Nagibi padina .....   | 45 |
| 5.3 Vertikalna raščlanjenost reljefa .....  | 51 |
| 5.4 Ekspozicija padina.....   | 57 |
| 6. Orografska struktura reljefa.....  | 61 |
| 6.1 Masiv Čvrsnice.....   | 62 |
| 6.2 Hrbat Čabulje .....   | 65 |
| 6.3 Zavala Dugo polje .....   | 67 |
| 6.4 Doline rijeka Doljanke, Dive Grabovice i Drežanke.....                              | 69 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 7.    | MORFOLOŠKI TRAGOVI OLEDBE .....                                       | 72  |
| 7.1   | Masiv Čvrsnice.....   | 72  |
| 7.1.1 | Sjeverni smjer egzracije (dolina Doljanke) .....                      | 74  |
| 7.1.2 | Zapadni smjer egzracije (zavala Dugog polja) .....                    | 82  |
| 7.1.3 | Južni smjer egzracije (kanjon Drežanke).....                          | 89  |
| 7.1.4 | Istočni smjer egzracije (kanjon Neretve) .....                        | 94  |
| 7.2   | Hrpat Čabulje .....   | 95  |
| 7.2.1 | Sjeverni smjer egzracije (Kanjon Drežanke) .....                      | 95  |
| 7.2.2 | Južni smjer egzracije (uvala Ladina) .....                            | 100 |
| 8.    | Granulometrijska obilježja sedimentnih tijela.....                    | 102 |
| 8.1   | Granulometrijska analiza prema lokacijama uzorkovanog materijala..... | 102 |
| 8.1.1 | Čabulja.....  | 103 |
| 8.1.2 | Čvrsnica.....   | 111 |
| 8.2   | Zaobljenost zrna .....  | 119 |
| 8.3   | Stupanj ravnomjernosti tla.....                                       | 123 |
| 8.4   | Strukturna zrelost .....  | 125 |
| 9.    | UTJECAJ KLIME I PALEOKLIME NA RAZVOJ RELJEFA .....                    | 127 |
| 9.1   | Recentna klimatska obilježja .....                                    | 127 |
| 9.1.1 | Opći prikaz klimatskih obilježja.....                                 | 127 |
| 9.1.2 | Temperatura zraka .....   | 128 |
| 9.1.3 | Padaline .....  | 138 |
| 9.1.4 | Rezultati mikroklimatskih mjerenja .....                              | 141 |
| 9.2   | Rekonstrukcija paleotemperaturnih obilježja .....                     | 151 |
| 10.   | DISKUSIJA.....  | 154 |
|       | ZAKLJUČAK .....   | 165 |
|       | LITERATURA.....   | 167 |
|       | PRILOZI.....  | 174 |
|       | SAŽETAK.....  | 175 |

## PREDGOVOR

Problematika ledenjačkog reljefa u području gorskog sustava Čvrsnica i Čabulja do sada nije detaljnije istraživana, stoga se pokazala potreba za utvrđivanjem pouzdanih tragova ledenjačkog reljefa.

Iz te potrebe proizašla je i tema ove doktorske disertacije kojom su u određenoj mjeri evidentirani i analizirani geomorfološki tragovi pleistocenske oledbe. Ovako detaljno istraživanje provodi se prvi put na ovom području i s tog aspekta može se predstaviti kao znanstvena monografija sa svrhom korištenja pri izradi Studije, odnosno Plana upravljanja Nacionalnim parkom Čvrsnica-Čabulja-Prenj.

Kroz razgovor s prof.dr.sc. Sanjom Faivre i doc.dr.sc. Mladenom Pahernikom ova problematika je postavljena kao teza doktorske disertacije kojom se, nizom znanstveno istraživačkih metoda i analizom, utvrđuje postojanje i obim pleistocenske oledbe.

Dakako da ovako opsežno istraživanje nije bilo moguće bez stručnog vodstva mentora prof.dr.sc. Sanje Faivre kojoj ovom prilikom zahvaljujem na uloženom stručnom, znanstvenom i osobnom trudu pri izradi disertacije. Istraživanje i izrada disertacije realizirana je uspješno uz podršku znanstvenika s iskustvom iz istraživane oblasti i mojih kolega doc.dr.sc. Maje Prskalo, prof.dr.sc. Dražena Perice, prof. Snježane Musa i doc.dr.sc. Sanje Lozić kojima se ovom prilikom zahvaljujem. Kvaliteti konačne verzije rada doprinio je član povjerenstva doc.dr.sc. Neven Bočić.

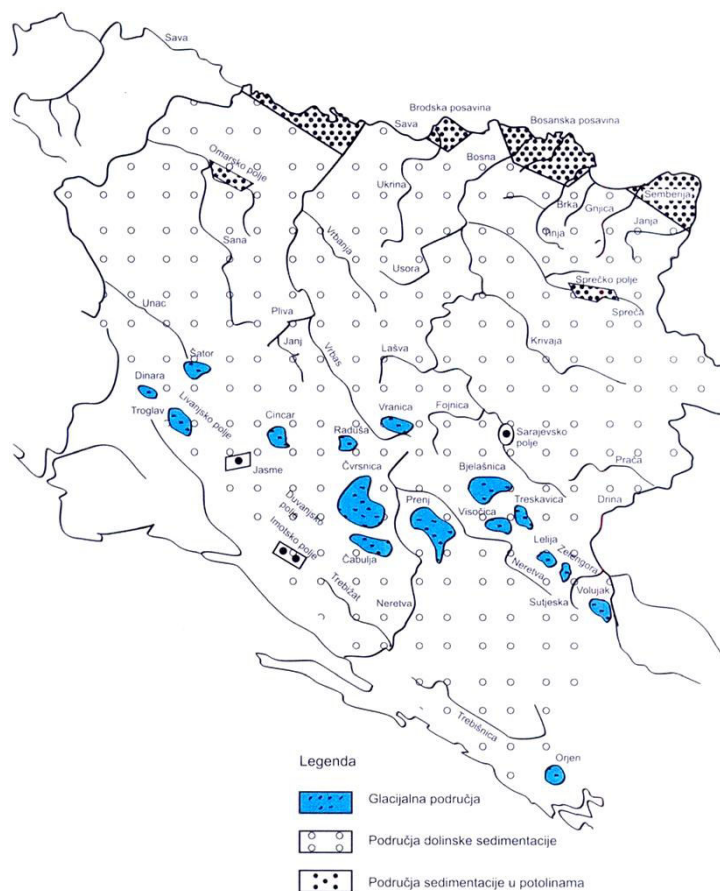
Posebnu zahvalnost upućujem komentoru doc.dr.sc. Mladenu Paherniku koji je svojim uputama tijekom neizostavnih terenskih istraživanja, prikupljanja i analiziranja rezultata usmjeravao istraživanje.

Na kraju najveću zahvalnost dugujem svome mužu Mariju uz čije je strpljenje i neophodnu pomoć omogućena izrada ovog rada te svojoj djeci, Jurici i Vanji na ustupanju dijela roditeljske pažnje u svrhu istraživanja. Također, velika hvala na pomoći i pažnji koju su pružili članovi moje šire obitelji i prijatelji.

## 1. UVOD

U posljednjih 20 godina sve je više istraživanja prošlih glacijalnih razdoblja, osobito stoga što su klimatske promjene aktualno pitanje današnjice. Sveukupno razumijevanje tih okoliša i s njima povezanih procesa još je uvijek ograničeno. Iako područje Dinarida, uključujući prostor Bosne i Hercegovine, predstavlja jedan od najvećih centara akumulacije leda (Hughes i dr., 2011) tragovi oledbe su vrlo slabo istraženi. Upravo stoga, u ovom radu analizirat će se područje masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje gdje su utvđeni geomorfološki tragovi pleistocenske oledbe.

Dosadašnjim istraživanjima reljefa visokih bosanskohercegovačkih planina uočeni su mnogobrojni tragovi oledbe. Jasno su izraženi cirkovi, ledenjačke doline, strije, morene, jezera, glaciofluvijalni i fluvioglacijalni sedimenti. To su fosilni ledenjački oblici modelirani radom nekadašnjih pleistocenskih ledenjaka. Na području Bosne i Hercegovine zabilježeni su tragovi oledbe na Bjelašnici, Cincaru, Čabulji, Čvrsnici, Dinari, Magliću, Orjenu, Prenju, Treskavici, Veležu, Vranu, Vranici i ostalim planinama (sl. 1), (Prskalo, 2008).



Sl. 1. Tragovi oledbe u BiH  
Izvor: Prskalo, 2008.

## 1.1 Cilj istraživanja

Predmet istraživanja ovog rada su geomorfološki tragovi pleistocenske glacijacije na masivu Čvrsnice i hrpta Čabulje. Budući da je područje istraživanja do sada samo dijelom istraženo (Roglić, 1958), glavni je cilj istraživanja utvrditi prostorni obuhvat glacijacije na temelju detaljnog kartiranja morfoloških tragova oledbe. Pri tom će se morfometrijskim metodama analizirati osnovni glacijalni geomorfološki oblici poput cirkova i glacijalnih dolina i evidentirati egzaracijski i akumulacijski reljefni oblici. Također će se sagledati i reljefna predispozicija pred glacijalnog reljefa za razvoj same oledbe. Granulometrijskom analizom utvrdit će se osnovna obilježja glacijalnih sedimenata (zaobljenost zrna, stupanj ravnomjernosti i strukturna zrelost sedimenata). Glacijalni reljefni oblici vrlo su vrijedan i pouzdani pokazatelj paleoklimatskih promjena te će se na temelju današnjih mjerenja klimatskih elemenata pokušati grubo rekonstruirati i klimatska obilježja istraživanog područja u razdoblju kvartara. Konačni cilj je, na temelju utvrđenih morfoloških tragova oledbe izraditi detaljnu geomorfološku kartu tragova oledbe na istraživanom području.

## 1.2 Temeljne hipoteze istraživanja

Temeljne hipoteze ove disertacije su sljedeće:

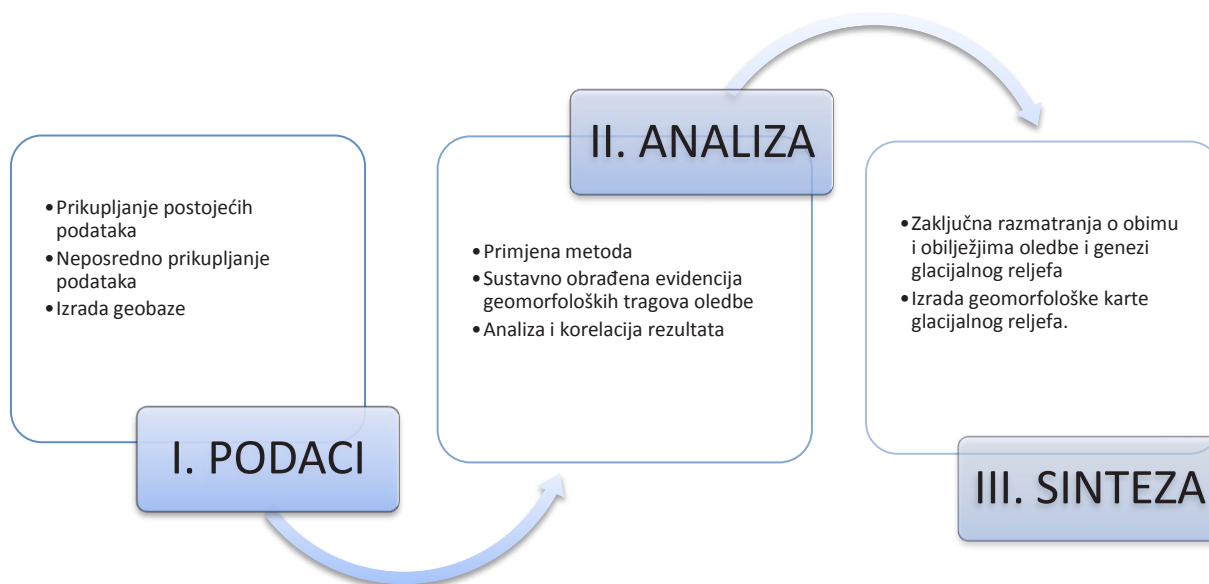
- Obim područja obuhvaćen oledbom u vršnom dijelu iznad 1400 m.
- Razvijeni tipovi ledenjaka: platoasti, cirkni i dolinski.

### 1.3 Metode rada

Metodologija znanstvenog istraživanja obuhvaća postupke promatranja, prikupljanja, sređivanja podataka i mjerenja vrijednosti u svrhu dobivanja upotrebljivih znanstvenih rezultata (Zelenika, 2000). Pri korelaciji rezultata korištene se brojne znanstvene logičke, kvantitativne i kvalitativne metode u odgovarajućim kombinacijama i kroz različite etape rada. Korištene metode su: promatranje terena, prikupljanje i sistematizacija podataka, kartografske metode, matematičko-statističke metode, geomorfološka analiza i geomorfološka sinteza. Polazna metoda putem koje je postavljen predmet istraživanja i hipoteza jest *metoda promatranja*. Ovo je najvažnija, prva i osnovna metoda rada. Promatranjem područja prikupljene su informacije o pojavama i procesima te odnosima i vezama među njima. Nakon utvrđivanja objekta i definiranja okvira istraživanja slijedi proces prikupljanja i pripreme postojećih podataka te potom detaljan terenski rad.

Prikupljanje podataka i njihova obrada realizirana je kroz različite oblike rada: kabinetски, terenski i laboratorijski. Korištena je inačica K-T-K (kabinet-teren-kabinet).

Istraživanje je provedeno kroz tri standardna koraka prikupljanje podataka, analiza i sinteza (sl. 2.).



Sl. 2. Planirane metode istraživanja

Prikupljeni su podaci iz dosadašnjih fizičko-geografskih, geomorfoloških, geoloških, pedoloških, hidroloških i klimatoloških istraživanja dostupnih u literaturi (knjige, studije), izvorima (karte, web izvori). Prikupljeni materijali sadrže osnovne podatke koji se uglavnom odnose na širi dio istraživanog područja bez detaljne interpretacije. Usljed nedostatka upotrebljivih materijala pristupilo se mjerenju podataka mjernim instrumentima, izradi vlastite geobaze podataka i karata.

Novi podaci prikupljeni su neposrednim istraživanjem kroz kabinetske i terenske etape rada.

U etapi kabinetskog rada, korištene su *kartografske metode* u postupcima mjerenja i grafičkom prikazu dobivenih rezultata. Ovisno o vrsti karte (geološka i topografska karta) primjenjena je analiza istraživanog područja. Analizom topografskih karata mjerila 1: 100 000, 1: 50 000 i 1: 25 000 (Vojno geografski institut Beograd - VGI, II izanje) i geoloških karata mjerila 1: 100 000 (Institut geoloških istraživanja - IGI Sarajevo) izvršena je obrada osnovnih kvantitativnih i kvalitativnih parametara.

Za kartiranje na terenu i detaljnu analizu istraživanog područja korištene su topografske karte (listovi) mjerila 1: 100 000: Konjic (524), Mostar (574), Makarska (573) i Livno (523), te topografske karte (listovi) mjerila 1: 50 000: Konjic (524-3), Konjic (524-4), Mostar (574-1), Makarska (573-2) i Livno (523-4) i njihovog krupnijeg izdanja u mjerilu 1: 25 000. Kvantitativnom analizom na temelju morfometrijskih i morfografskih podataka dobivenih mjerenjem određenih parametara u reljefu izrađene su karte: hipsometrijska karta, karta vertikalne raščlanjenosti reljefa, karta nagiba padina i karta ekspozicije padina. Karte su izrađene u GIS programskom paketu ArcGIS v9.3. instaliranom na Geografskom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Izradom hipsometrijske karte dati su podaci o apsolutnim i relativnim visinama u prostoru. Kartom nagiba padina, vertikalne raščlanjenosti reljefa i ekspozicijom padina prikazani su morfometrijski elementi reljefa odnosno područja s izraženim predispozicijama za razvoj oledbe. Pri morfološkoj obradi terena korišteni su 3D numerički modeli reljefa (izrađeni u GIS aplikaciji). Izrada ovih modela važan je korak u istraživanju ledenjačkih tragova u reljefu. Prikazuju moguće tragove kretanja leda (cirkove, ledenjačke doline), gravitacijske plohe, područja nastala djelovanjem egzaracije i taložne forme (morene). Uključujući vremenski i prostorni aspekt moguće je bolje razumijevanje evolucije promatranog prostora. Podaci o geološkoj građi i sastavu terena arealno su očitani iz OGK 1:100 000 listovi: Mostar (Mojičević i Laušević, 1973) i Prozor (Sofilj i Živanović, 1979). Obrada satelitskih snimki (USGS GloVis website: <http://glovis.usgs.gov>) šireg



područja istraživanja ima za cilj kvalitativnom analizom dati podatke o tipovima reljefa i prostornom odnosu pojedinih reljefnih oblika i grupa.

*Metode terenskih istraživanja* i snimanja su, s obzirom na problematiku rada, osnovni način istraživanja. Na taj način moguće je precizno definirati pojedine reljefne oblike, utvrditi procese i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa. Detaljnim terenskim radom izvršeno je opažanje i evidencija prostornog rasporeda ledenjačkih tragova u reljefu. Terenski rad, opažanja, mjerenja i kartiranje omogućili su uočavanje novih podataka i stvaranje pretpostavki o razvoju reljefa unutar istraživanog područja. Terenski rad uključuje također planiranje istraživanja, promatranje, opisivanje, klasifikaciju, prikupljanje i organizaciju podataka, te analiziranje i tumačenje istih na terenu. Pri tom su prikupljeni podaci o morfografskim i morfometrijskim te morfogenetskim i morfokronološkim obilježjima. Na temelju tih podataka koristeći kvantitativnu i kvalitativnu analizu postavljen je model obilježja i evolucije reljefa te radna verzija karte glacijalnog reljefa istraživanog područja. Najvažnija terenska metoda je geomorfološko kartiranje. Korištena je prilikom evidencije ledenjačkih reljefnih oblika. Kartiranje na terenu provedeno je na topografskim podlogama u mjerilu 1:25000 i to kroz nekoliko faza uz komparaciju sa zaključcima dobivenim kabinetskim metodama rada.

Za precizno lociranje reljefnih oblika, mjesta uzorkovanja sedimenata te pozicije korišten je uređaj Garmin GPSmap 62sc. Prilikom kartiranja terena izvršeno je fotografiranje istraživanih elemenata. Ta je fotodokumentacija poslužila u daljoj kabinetskoj analizi odnosa na terenu. Radi boljeg prikaza ili zbog nedostatka fotografija u okviru miniranog područja korištene su fotografije preuzete s web servisa Google Earth (2013). Terenskim radom dobivene su informacije o veličini i smjerovima kretanja, dominantnim procesima i brzini morfoloških promjena.

Kvantitativnom geomorfološkom analizom dobiveni su morfografski i morfometrijski odnosi na temelju kojih su definirane opće morfološke značajke i orografska struktura.

Mjerenja klimatskih elemenata u području istraživanja izvršena su putem 5 mjernih instrumenata. Mjerači tipa data logger U23-004 HOB0 PRO V2 postavljeni su na pet različitih lokacija: Čabulja 1., Čabulja 2., Dugo polje 1., Masna luka 1., Masna luka 2. i vrh Pločno. Iz mjerenih podataka dobivene su amplitude temperature zraka i tla (srednja dnevna i mjesečna) u zoni cirka i završne morene na Čabulji. Na temelju razlike temperature u zoni akumulacije i

zoni ablacije i paleoklimatske rekonstrukcije analizirat će se proces razvoja, brzina spuštanja i otapanja ledenjaka te formiranje završnih morena. Mjerenjem temperature zraka i tla (srednja dnevna i mjesečna), te količine i intenziteta padalina u završnom bazenu Masna luka utvrđena je trenutna mikroklima zavale Dugog polja. Dobiveni parametri usporedit će se s postojećim izmjerama obližnjih meteoroloških postaja, budući se zbog položaja (visinska razlika) ne mogu koristiti u detaljnoj analizi planinskog prostora. Izmjere temperatura na vrhu Pločno (2 228 m) na Čvrsnici su prvi točan pokazatelj recentnih temperatura u hladnom dijelu godine u zoni cirkova.

U okviru terenskog rada, na 13 određenih lokacija uzorkovano je 13 uzoraka sedimenata za granulometrijsku analizu. Tim postupkom može se odrediti udio pojedinih veličina čestica analiziranog sedimentnog tijela. Analizom udjela pojedinih čestica moguće je utvrditi podrijetlo sedimenta i način transporta te pretpostaviti paleoklimatske i paleohidrološke značajke tijekom njegovog prijenosa i taloženja.

*Laboratorijskim metodama* izvršena je granulometrijska analiza uzorkovanih sedimenata. Obradeno je 13 uzoraka materijala na različitim lokacijama u okviru istraživanog područja.

Granulometrijski sastav određen je na Institutu za geotehniku u Mostaru prema podjeli MIT-a (Massachusetts Institut of Technology) metodama:

- ***Sijanjem*** (u suhom ili mokrom stanju za zrna veća od 0,06 mm)
- ***Sedimentacijom*** (za zrna veličine ispod 0,02 mm)
- ***Kombiniranjem navedenih metoda*** (ako materijal sadrži pijesak, prašinu i glinu, sijanjem krupnih, a sedimentacijom sitnih čestica).

Materijal, koji je sastavljen od krupnih i sitnih čestica podvrgnut je mokrom postupku sijanja. Obično se vrši kod sljepljenih sitnih frakcija. Čestice su odvojene ispiranjem vodom. Tako obrađen materijal, skupljen i izvagan prošao je proces sijanja gdje je određena količina veličinski jednakih fragmenata. Promjer šljunka ulazi u veličinski raspon od 60 mm do 2 mm, pijesak od 2 mm do 0,06 mm, a prašina između 0,06 mm do 0,002 mm. Ispod serije sita nalazi se posuda u koju se sakuplja voda i isprane sitne čestice, koje su prošle kroz sito najmanjeg otvora. Talog iz posude nakon sušenja podvrgnut je postupku hidrometrijske analize (areometriranja). Metoda sedimentacije temelji se na brzini taloženja zrna. Tako različite veličine imaju različitu brzinu taloženja iz čega se može izračunati veličina čestica. Ukoliko

su zrna veća njihovo taloženje će biti brže i obrnuto što uvjetuje pravilan raspored čestica. Ova metoda koristi se za određivanje veličine i količine čestica manjih od 0,2 mm.

Na uzorcima su ispitani: granulometrijski sastav prema BAS EN 933-1, oblik zrna prema BAS EN 933-4, te oblik zrna metodom zapreminskog koeficijenta prema JUS B.B8.049. Uzorci su pripremani za analizu određivanjem udjela fragmenata u uzorku kombiniranom metodom. Frakcije čestica šljunka (>2,000 mm), krupnog pijeska (0,630–2,000 mm), srednje krupnog pijeska (0,200 – 0,630 mm) i sitnog pijeska (0,063 – 0,200 mm) određene su na aparatu za mokro sijanje. Iznad 60 mm su kameni blokovi, a ispod 0,002 mm gline. Ovi sastojci daju sedimentu vezivna svojstva te ukoliko su sitniji i obilno zastupljeni izražena je njihova vezivnost (Selimović, 1985).

Izvršenom analizom oblika, veličine i zaobljenosti ulomka (zrna) te sastavom uzorka određena je relativna udaljenost od matičnih stijena (strukturna zrelost), porijeklo materijala, uvjeti i način transporta.

Na temelju prikupljenih i obrađenih podataka izvršena je *geomorfološka analiza* reljefa. U završnoj fazi istraživanja izvršena je geomorfološka sinteza temeljena na rezultatima provedenih geomorfoloških analiza. Primjenom Heferove metode (Höfer, 1879) određena je pretpostavljena snježna granica u pleistocenu.

Utvrđeno je postojanje geomorfoloških tragova oledbe u istraživanom području, te određene su prostorne varijable obima i veličine oledbe. Prema određenoj morfokronološkoj sintezi određen je slijed odvijanja procesa u razvoju reljefnih obilježja. Kao završni rezultat sinteze sveukupnog istraživanja izrađena je digitalna karta obima i razvoja oledbe na gorskom masivu Čvrsnice i gorskom hrptu Čabulje u mjerilu 1:50 000. Geomorfološkom sintezom temeljenoj na rezultatima geomorfološke analize prostornih podataka došlo se do konačnih zaključaka o obilježjima, odnosno genezi reljefa istraživanog područja.



## 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pleistocenski sedimenti u središnjem dijelu Hercegovine općenito su slabo istraženi. Širi opus prirodoslovnih istraživanja počinje u 19. stoljeću. Rastuća potreba za rudama boksita i ugljena, drvetom, stalnim izvorima vode i mogućnostima korištenja rijeka za potrebe hidroenergetskog potencijala potaknula je geološka, geomorfološka i inženjersko-geološka istraživanja. Detaljnija istraživanja terena s aspekta geografskih, geomorfoloških i pedoloških komponenti prostora vrlo su skromna.

### 2.1 Razdoblje do 2. svjetskog rata

Povijest intenzivnog istraživanja reljefa i kartiranje Hercegovine počinje u 18. stoljeću kada vojni topografi Austro-Ugarske Monarhije potajno skiciraju područje isključivo za vojne potrebe (Marković, 1998). Na tim nepotpunim kartama prikazana su područja uz prometnice i glavne riječne tokove što obuhvaća i predio oko srednjeg toka rijeke Neretve (sl. 4). Prema podacima o reljefu Dinarske planine na vojnim kartama prikazane su kao lanac međusobno povezanih planina u okviru kojih su spomenute Čabulja, Pločno (vrh na Čvrsnici) te Vran (Marković, 1998).



Sl. 4. Karta istraživanog područja iz 1890. godine  
(Marković, 1998. prema Ballif, Philipp: Wasserbauten in Bosnien und der Herzegovien, Wien)

U 19. stoljeću austro-ugarski geolog Ami Boué prvi put istražuje geološku strukturu reljefa u Bosni i Hercegovini oslanjajući se na izrađene karte na kojima se visinske izmjere i pružanje planinskih lanaca temelji na pretpostavkama. Svoja istraživanja i dopune objavljuje u knjizi „La Turquie d’Europe“ (Katzer, 1926). Na temelju njegovih zabilješki istaknuti geolog Geološkog instituta u Beču, Fridrih Katzer počinje detaljnije istraživanje geoloških struktura u Bosni i Hercegovini. Uočivši kompleksnost terena s geološkog stanovišta i potrebu detaljnijeg istraživanja Katzer iz već postojeće ustanove za geološku službu, osniva 1912. godine Geološki zavod Bosne i Hercegovine, čiji je prvi direktor sa sjedištem u Sarajevu. Temeljni zadatak Zavoda bio je snimanje terena s osobitim osvrtom na gospodarski važna područja. Katzerovo široko polje zanimanja obuhvaćalo je dijelove stratigrafije, tektonike, paleontologije, mineralogije, geomorfologije, podzemnih voda i krške hidrografije na području BiH. Poseban doprinos istraživanjima dao je geološkim kartiranjem i izdavanjem pregledne geološke karte u mjerilu 1:200 000 i 1:75 000 gdje je objavljen list Mostar kojim je obuhvaćeno istraživano područje. Osim istraživanja postojećih ležišta boksita na jugozapadnim padinama Čabulje (kanjon Ugrovače) i usporedbe ležišta s ostalim ležištima u Hercegovini, istražuje karakteristike dinaridskog krša. Tako izdvaja dva tipa: plitki i duboki. Plitki krš predstavlja tanki sloj vodonepropusnih naslaga na kojima je otapanjem vapnenca i erozijskim procesima ogolićen krški sloj, za razliku od dubokog krša gdje je vodonepropusni sloj na nepoznatoj dubini te je propusnošću stijena razvijena podzemna hidrografija. Sličan odnos uočio je između mezozojskih vapnenaca i verfenskih škriljaca u stratigrafski normalnom odnosu u bosanskohercegovačkom kršu i kod eocenskih vapnenaca i lapora navlačne strukture u invernsom odnosu dalmatinskog krša. Katzer (1926) smatra da je duboki krš razvijen u područjima bližim Jadranskom moru. S obzirom na razvijenu podzemnu hidrografiju istraživano područje pripada tipu dubokog krša.

Prema Rogliču (1955. pr. 2004a) Cvijić je izdvojio zapadni i istočni tip dinarskog krša. Zapadni ili holokrš ima ista obilježja kao duboki krš, a istočni ili prijelazni sličan je plitkom kršu. Njegova shvaćanja imaju veliku važnost u objašnjenju razvojnog procesa dinarskog krša. U svojim morfološkim i glacijalnim studijama 1900-te Cvijić opisuje tri glavna morfološka elementa Dinarida: široke platee, kanjone i krška polja. Opisujući dolinu Neretve, nastanak kanjona u srednjem toku veže se za veliku količinu vode koju rijeka nosi posebno u hladnim i vlažnim razdobljima i tonjenje Jadranske obale pri čemu voda ima još veći pad, koji povećava mehaničku snagu (Ćorić i Filipović, 2004).

U djelu „Glacijalne i morfološke studije o planinama Bosne, Hercegovine i Crne Gore“ Cvijić (1899) istražuje morfološke oblike visokih planina u Hercegovini i tragove oledbe na njima. Analizira planinu Prenj i pretpostavlja postojanje sličnih odnosa na Čvrsnici. Nalazi tragove izvorišnih cirkova (krška uvala Gvozd) i morenski materijal na padinama doline Neretve. Prema položaju morena i drugog akumuliranog materijala ukazuje na proces širenja, odnosno povlačenja ledenjačkog pokrova (glacijal-interglacijal) na širem prostoru. Cvijić (1899) također analizira smjer kretanja ledenjaka na Prenju, Bjelašnici, Orjenu, Durmitoru i drugim planinama dinaridskog sustava. Uočava tragove dolinskih ledenjaka i visoravni oblikovanih radom platoastih ledenjaka na Orjenu. S obzirom na položaj i sličnu morfologiju planina smatra da su se slični procesi odvijali na Čvrsnici. Na temelju ledenjačkih tragova (morene) određuje visinu pleistocenske snježne granice (tab. 1). Rezultati su pokazali nižu razinu snježne granice na planinama Orjenu, Lovćenu i Veležu što je razlog (primorskog) položaja planina (više padalina).

*Tab. 1. Visina snježne granice na planinama obuhvaćenim glacijacijom (Cvijić, 1899)*

| <i>PLANINE</i>      | <i>VISINA PLEISTOCENSKE SNJEŽNE GRANICE</i> |
|---------------------|---|
| ORJEN (1895 m)      | 1200 – 1400 m                               |
| LOVČEN (1760 m)     | 1300 m                                      |
| VELEŽ (1970 m)      | 1350 m                                      |
| ŠATOR (1973 m)      | 1580 m                                      |
| PRENJ (2102 m)      | 1680 m                                      |
| ČVRSNICA (2227 m)   | 1700 – 1770 m                               |
| BJELAŠNICA (2063 m) | 1800 m                                      |
| DURMITOR (2528 m)   | 1800 m                                      |

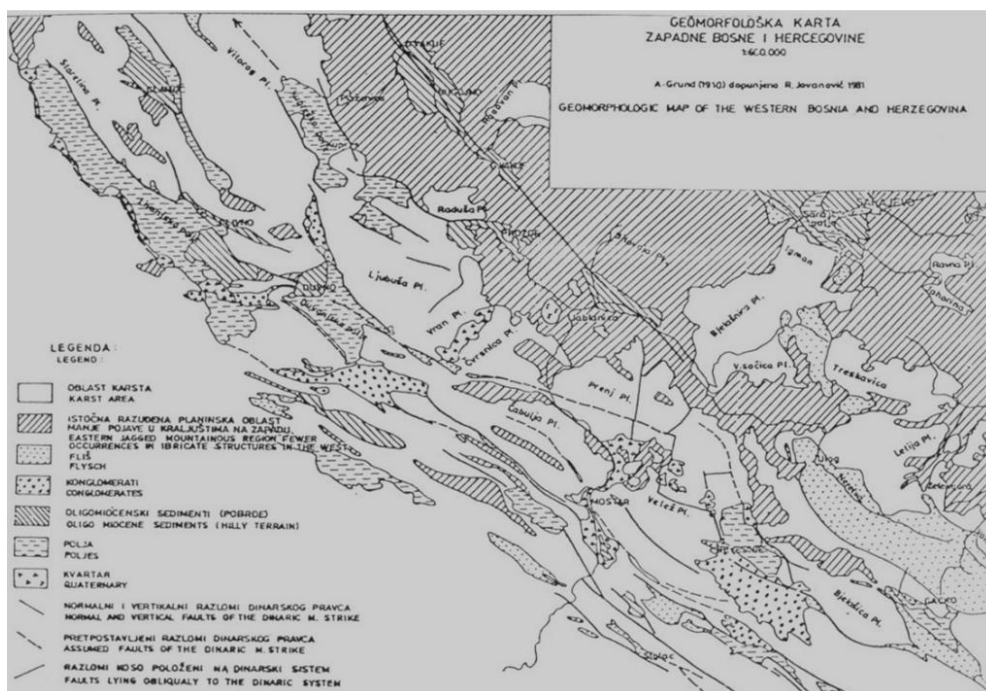
Cvijić (1899) također uspoređuje klimatske prilike i visinu snježne granice u Skandinaviji (66° s.g.š.) s rezultatima visine pleistocenske snježne granice u promatranom prostoru. Uočivši sličnosti ukazuje na mogućnost postojanja sličnih klimatskih uvjeta današnje subpolarne klime s pleistocenskom klimom na prostorima Dinarida.

Jevto Dedijer 1907. objavljuje rad o izdizanju i usijecanju korita rijeke Neretve poslije glacijacije. Njegove studije “Glacijalni tragovi Zelengore, Tovarnice i Maglića” (1905) te “Glacijacije Visočice u Južnoj Bosni” (1909) među prvima opisuju ledenjačke tragove u široj regiji.

Krajem 19. stoljeća geolog A. Bittner kao član radne grupe geologa Geološkog zavoda iz Beča vrši geološko kartiranje Hercegovine na osnovu čega je izrađena prva geološka karta ovog prostora s obilježenim rudnim nalazištima (Marković, 1998). Predmet posebnog interesa predstavljaju verfenski škriljci koje istražuje u okolini Mostara. Nedostatak vegetacije i brojni izdanci u hercegovačkom kršu pružaju Bittneru (Marković, 1998) priliku za studiozno proučavanje tektonskih i stratigrafskih odnosa u krednim vapnencima. Opisuje i eocenske sedimente koje nalazi u Hercegovini.

U okviru istraživačkih projekata koje je pokrenula austro-ugarska monarhija njemački geomorfolog Albrecht Penck istražuje glacijalne i krške fenomene na prostoru Bosne i Hercegovine (Katzer, 1926).

Alfred Grund je 1910. izradio geomorfološku kartu (sl. 5) šireg područja Hercegovine. Na njoj su izdvojena krška područja, fliš, konglomerati, oligomiocenski sedimenti, polja i pružanja glavnih rasjeda.



Sl. 5. Geomorfološka karta zapadne BiH (Grund, 1910)

Prema Rogliću (1958. pr. 2005) Grund je najdetaljnije proučavao ledenjačke tragove na planinama oko srednje Neretve. Pokušao ih je predstaviti prema alpskim uzorima jer uvidom u sedimente na terasama uz Neretvu izdvaja četiri različite vrste. Također smatra da su postojale četiri glacijacije kao u Alpama. Istražujući ledenjačke tragove na Čvrsnici analizirao



je tragove četiri ledenjačka jezika (morenski materijal) koja su spuštена prema Dugom polju i određuje visinu snježne granice na 1700 m.

Područje Čvrnsnice analizira Milojević (1935) i prema tragovima u vršnim dijelovima (glavice i morenski materijal) navodi postojanje dviju glacijacija. Prema tragovima ledenjačkog reljefa i morenskog materijala razlikuje dolinsku i mlađu planinsku glacijaciju.

Austrijski znanstvenici su svojom djelatnošću ostavili neizbrisiv trag u proučavanju geološke i morfološke građe stvarajući tako osnovu s mnoštvom zanimljivih podataka za razvoj geoznanosti u Bosni i Hercegovini.

## 2.2 Razdoblje od 2. svjetskog rata do 1990.

Daljnja detaljna geološka istraživanja i kartiranje terena te izrada Osnovnih geoloških karata za istraživano područje izvršio je Zavod za geologiju u Sarajevu u razdoblju od 1956. do 1968. godine. Detaljna geološka istraživanja na Čabulji radi Behlilović (1964). Rezultati istraživanja i geološka karta objavljeni su u knjizi „Geologija Čabulje planine u Hercegovini“. Intenzivnija istraživanja geotektonskog sklopa u primijenjenoj geologiji vršena su ponajviše zbog istraživanja ležišta mineralnih sirovina na području Hercegovine.

Miodrag Anđelković (1978) detaljno izdvaja tektonske jedinice bivše Jugoslavije gdje istraživano područje pripada Vanjskim Dinaridima točnije Hercegovačkoj zoni. Spominje slična obilježja svih zona Vanjskih Dinarida (hercegovačka, zetska, neretvanska, dalmatinska, lička, budvanska i istarska) kao intenzivno nabrane i navučene jedna preko druge s opsegom od više desetaka kilometara.

Istraživanja planina oko srednjeg toka Neretve (Čvrnsnica, Prenj, Čabulja) proveo je hrvatski geomorfolog Josip Roglić 1955. godine. Istraživao je ledenjačke tragove i evoluciju reljefa te ih povezo s recentnim reljefom. Njegova istraživanja na Čvrnici i Prenju mijenjaju ranija shvaćanja o broju glacijalnih razdoblja, obilježjima glacijacije, glacijalnim, erozijskim i akumulacijskim oblicima. Suprotno ranijim mišljenjima o postojanju dviju glacijacija, Roglić govori o jednoj glacijaciji zastupljenoj kroz dvije faze. Za prvu fazu karakteristično je naglo širenje leda praćeno ispiranjem i taloženjem fluvio-glacijalnih naplavina. U drugoj fazi ledenjaci su ograničeni na izolirana područja, gdje su zimi nagomilavane velike količine snijega, a ljetna otapanja su manjeg intenziteta. Snježna granica na prisojnim padinama bila je na oko 1700 m, dok se na osojnim spuštala do 1350 m (Diva Grabovica, sjeverne padine

Čabulje). Roglić detaljno opisuje proces nastanka kanjona Neretve i smješta ga u period srednjeg pliocena. Naglašava intenzivna „domna izvijanja reljefa“ koja su razlog različitih pružanja rasjeda i nastanka uzvišenja. Istražuje obilježja ledenjačkih procesa te tvrdi da su regionalni klimatski uvjeti, obilježja preglacijalnog reljefa i sastav terena imali presudnu ulogu.

B. Ž. Milojević (1949, 1953) analizira tektonske i petrografske utjecaje na razvoj glacijalnog reljefa u visokim planinama Dinarida.

U svom djelu „Neretva – priroda, čovjek, historija“, Ljubo Mihić (1985) daje prikaz porijekla Neretve s osvrtom na gornji tok i planine koje ju okružuju. S prirodno-geografskog aspekta opisuje korito Neretve od izvora do ušća, a posebno se zadržava na opisu kanjona i korita usječenog u konglomerate mostarske kotline.

Josip Papeš sa suradnicima 1988. izrađuje Tektonsku kartu BiH koju objavljuje u sklopu Studije o tektonici BiH. Prikazano je i obrađeno 30 tektonskih jedinica. Studiju o seizmotektonskim pokretima na području srednjeg toka Neretve (HE Grabovica i HE Salakovac) izrađuje Ivanković (1988) sa suradnicima za potrebe Elektroprivrede.

### 2.3 Suvremeno razdoblje

Suvremena istraživanja na promatranom prostoru odnose se uglavnom na područje Parka prirode Blidinje (350 km<sup>2</sup>). Kao Park prirode, prema zakonskoj regulativi, prostor se nalazi na određenoj razini zaštite prirode, stoga su istraživanja uglavnom usmjerena u cilju upoznavanja terena, prepoznavanja vrijednosti i zaštite pri valorizaciji prostora.

Detaljna hidrogeološka istraživanja Čvrsnice i Dugog polja (među kojima je dat hidrološki prikaz i šireg okolnog područja) izvršili su Slišković i Zelenika (1998) u Hidrogeološkoj studiji Parka prirode Blidinje. Dat je kompletan prikaz hidroloških pojava te stanje hidroloških objekata u području. U okviru studije izrađena je hidrogeološka karta. Prikaz geološke i strukturne građe dao je Buljan i dr. (2005).

U okviru doktorske disertacije Musa (2004) primjenom kartografskih metoda analizira reljef Zapadne Hercegovine. Rad obuhvaća i južne padine Čabulje. Ona objašnjava strukturno-geomorfološku evoluciju reljefa na tom području.

Marijanović i dr. (2003) objašnjavaju proces nastanka morfoloških oblika na širem području Hercegovine (od Imotskog do JI Hercegovine) od gornje krede kada se taloženje sedimenata odvijalo kontinuirano. Tu se ističe proces okršavanja u kvartarnom ledenom dobu pa kažu da, stalna izdizanja terena u postglacijalnom dobu, kada su karbonatne stijene potpuno nezaštićene mlađim naslagama klastičnih sedimenata i bez bujnog vegetacijskog pokrova uvjetuju jače okršavanje.

Bognar i Šimunović (2005) analiziraju geomorfološke elemente reljefa Parka prirode Blidinje s naglaskom na razvijene ledenjačke tragove.

Tragovi ledenjačkog reljefa u Dinaridima potaknuli su suvremena istraživanja i novije znanstvene spoznaje o razvoju i utjecaju pleistocenske oledbe. Uzevši u obzir Dinaride kao kompaktnu cjelinu, razvoj pleistocenske oledbe i posljedičnog reljefa gotovo je identičan na svim (visinski i morfološki sličnim) planinama. Zato je potrebno dati osvrt na novija istraživanja ledenjačkog reljefa u širem okviru. Tragove oledbe u Dinaridima istraživali su u novije vrijeme Nikler (1973), Belij (1985), Bognar i dr. (1991), Bognar i dr. (1995), Bognar i dr. (1997), Mrak (2004), Bognar i Faivre (2006), Huges i Woodward (2009), Marijanac i Marijanac (2004), Marijanac i Marijanac (2007), Petrović (2007), Đurović (2009), Đurović i dr. (2010), Velić i dr. (2011), Bočić i dr. (2012).

Nikler (1973) istražuje tragove oledbe na Južnom Velebitu, dok Belij (1985) kartira i detaljno opisuje sve tipove ledenjačkog reljefa na Južnom Velebitu. Istraživanja ostalog dijela masiva izvršili su Bognar i dr. (1991) na Sjevernom, a naknadno Bognar i dr. (1997) na Srednjem Velebitu. Oni, na temelju rekonstrukcije paleoklimatskih obilježja područja i tragova akumulacijskih i destruktivskih ledenjačkih reljefnih oblika ukazuju na postojanje pleistocenske glacijacije. Bognar i dr. (1995) istražuju proces nastanka i obim glaciofluvijalne plavine u koritu Velike Paklenice. Mrak (2004) analizira oblikovanje doline (Pod Košuto) u Slovenskim Alpama na karbonatnoj litološkoj podlozi tijekom pleistocena. Bognar i Faivre (2006) istražuju ledenjačke sedimente i tragove pleistocenske oledbe na Srednjem Velebitu. Istraživanjem su utvrđeni geomorfološki (egzaracijski i akumulacijski morfološki elementi) i geološki (korelativni sedimenti) tragovi pleistocenske oledbe. Glacijalni i periglacijalni okoliš Mediteranskog područja uključujući i istraživanja dinaridskog područja isražuju Huges i Woodward (2009). Na temelju utvrđenih geomorfoloških tragova glacijacije zaključuju da je pod utjecajem recentnih klimatskih obilježja došlo do povlačenja i nestanka preostalih aktivnih ledenjaka. Na Velebitu su otkriveni tragovi tri tipa oledbe: dolinski, cirkni i platoasti.

T. Marijanac i Lj. Marijanac (2004) evidentiraju utvrđene lokacije akumuliranih sedimenata (terminalne i stadijalne morene, glaciolakustrijski sedimenti i sl.) na različitim nadmorskim visinama i lokacijama sjevernog dalmatinskog primorja. Pretpostavljaju moguće vrijeme razvoja sedimenata čime se može predvidjeti proces razvoja ledenjaka na temelju rasprostranjenosti i položaja pleistocenskih sedimenata. Autori (2007) smatraju da postoji razlika u odnosu na postojeće modele glacijacije (alpski i skandinavski) u području južnog Velebita, otoka SI Jadrana i Ravnih Kotara, iznosi teoriju o novom Dinaridskom modelu glacijacije. Smatra da se dinaridski model glacijacije razlikuje od alpskog i skandinavskog modela po okršenoj podlozi koja je bila oledena, što je uvjetovalo specifičnu dinamiku leda koja do sada nije bila opće poznata. Bočić i dr. (2012) na području Velebita istražuju utjecaj oledbe na razvoj podzemnih reljefnih oblika u kršu te međudnos podzemnih i površinskih oblika nastalih pod utjecajem oledbe.

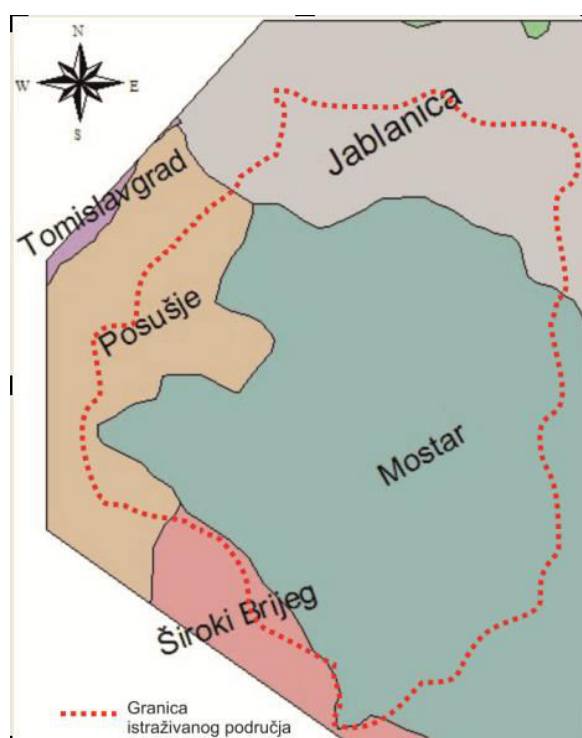
O pleistocenoj glacijaciji na Prokletjama piše Petrović (2007). Istražuje razvoj „krškog“ tipa glacijacije, proces nastanka i razvoja posljednje faze glacijacije na krškoj bazi. Također, na istom području Đurović (2009) rekonstruira prostorni raspored i kretanje ledenjaka kronološkim redom na temelju datiranja glacijalnih sedimenata. Utjecaj pleistocenske glacijacije na morfološku raznolikost Durmitora (SZ Crna Gora), Đurović i dr. (2010) uspoređuju s istim procesima na Žijovu (JI Crna Gora).

U okviru doktorske disertacije Prskalo (2008) istražuje geomehanička svojstva stijena užeg područja planine Čvrsnice. Tako između ostalog autorica istražuje geomehanička obilježja tla i njegov postanak. Također definira faze egzodinamičkih procesa na područjima koja su nekad bila zahvaćena oledbom na Čvrsnici, Prenju i Čabulji, pri čemu je geomehaničkom analizom demonstriran odnos normalnog i posmičnog naprezanja na podlozi ledenjaka.

### 3. PROSTORNI OBUHVAT I GEOMORFOLOŠKI POLOŽAJ

Područje gorskog masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje nalazi se u središnjem dijelu gorsko-planinskog sustava na sjeveru Hercegovine, između kanjonskih dolina Doljanke i Neretve na sjeveru i istoku, te hrptova Vran i Lib na zapadu i zaravni Brotnjo na jugu. Tako izdvojen prostor površine 513,45 km<sup>2</sup> pruža se pravcem sjever-jug duž kanjona rijeke Neretve od Jablanice na sjeveru do Mostara na jugu.

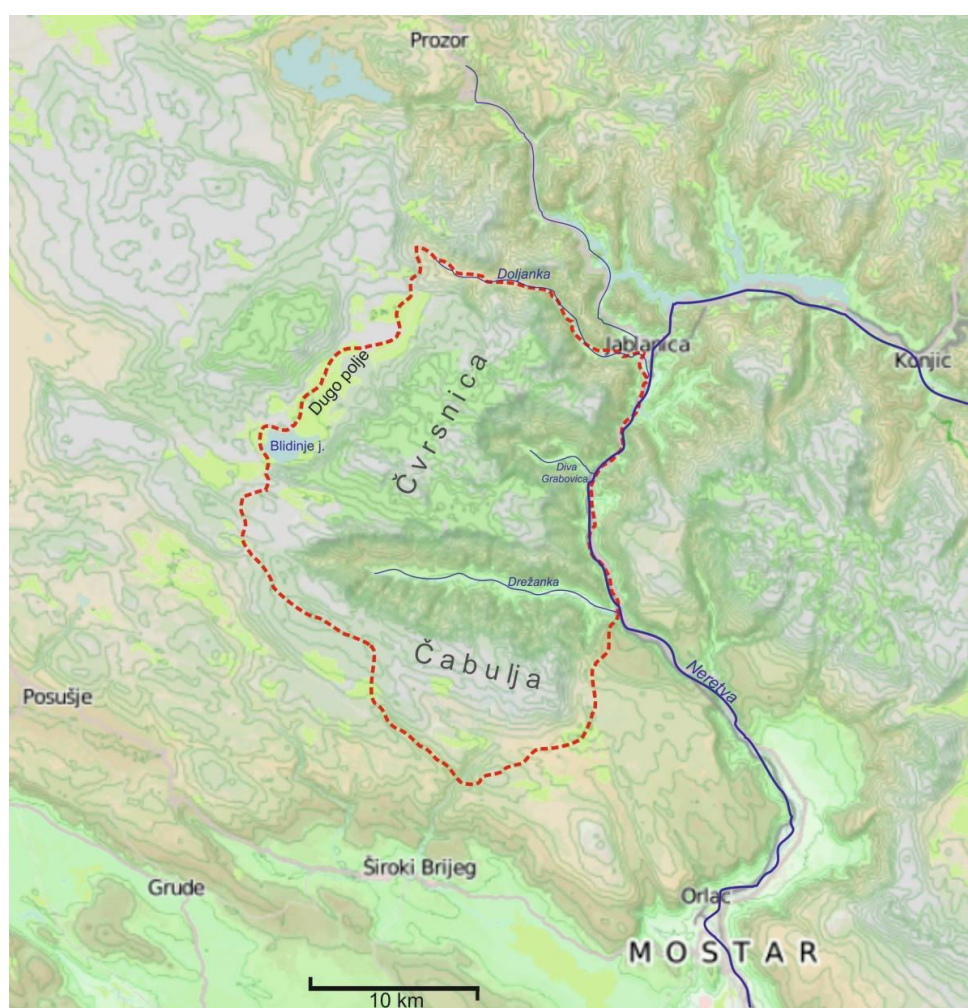
Najveći dio područja, cijeli sjeverni, istočni i jugoistočni dio prema administrativno-teritorijalnoj podjeli pripada Hercegovačkoneretvanskoj županiji (478 km<sup>2</sup>). Zapadnohercegovačkoj županiji pripada južni (140 km<sup>2</sup>), a Hercegbosanskoj krajnji jugozapadni dio (4 km<sup>2</sup>). Područje participira u pet općina: Jablanica, Mostar, Široki Brijeg, Posušje i Tomislavgrad (sl. 6).



Sl. 6. Administrativne granice na istraživanom području

Granice istraživanog područja definirane su na temelju prirodnih obilježja (sl. 7). Sjeverna granica omeđena je koritom Doljanke, podno Čvrsnice, do utoka u Neretvu kod Jablanice, gdje skreće prema jugu i prati korito Neretve sve do utoka rijeke Drežnice. Tu nastavlja pružanje prema jugu padinama Čabulje preko uzvišenja Arapovo brdo (660 m), Gradina (917

m), hrpta Velikog Vranića (1058 m) do rasjeda koji ju odvaja od hrpta Jastrebinke (1338 m). Dalje, južnu i jugozapadnu granicu predstavlja zona rasjeda od Jastrebinke preko Dobrinjske drage do Rakitskog polja gdje skreće prema sjeveru i nastavlja preko Debelog brda (1500 m), pokraj Blidinjskog jezera čineći zapadnu granicu. Duž Dugog polja pravocrtno se puža sjeverozapadna granica istraživanog područja i spaja se s koritom Doljanke podno prijevoja Sovićka vrata. Dužina ovako određene granice iznosi 104 km. Područje se nalazi u rasponu od 43°24' do 43°41' sjeverne geografske širine i od 17°28' do 17°46' istočne geografske duljine. Izduženo je u pravcu sjever-jug s najdužom osi oko 35 km. Najveća širina 24 km izmjerena je u središnjem dijelu (od utoka Drežnice u Neretvu do Debelog brda), a najuže je na krajnjoj južnoj granici oko 8 km.



Sl. 7. Granice istraživanog područja

Područje je to visokog planinskog masiva i hrptova na nadmorskoj visini do oko 2200 m disecirano dubokim riječnim kanjonima i uvalama. Veliki dio (više od polovine) prostora u središnjem, sjevernom i sjeveroistočnom dijelu zauzima masiv Čvrsnice. To je borano

rasjedna morfostruktura okružena sa svih strana rasjedima. Masiv je morfološki definiran dubokim kanjonima Doljanke (1797 m) sa sjevera, Neretve (1537 m) s istoka, Drežanke (1769 m) s juga i zavalom Dugo polje na zapadu. Sastoji se od niza hrptova, visoravni i blokova između kojih se nalaze manje uvale. U vršnom dijelu izdiže se niz hrptova visine oko 2000 m (od sjevera prema jugu): Veliko Sljeme, 1941 m; Veliki i Mali Vilinac, 2118 m; Velika Čvrsnica, 2228 m; Mala Čvrsnica, 2170 m i Jelinak, 1805 m. Generalni pravac pružanja hrptova je SZ-JI. Platoi se nalaze na krajnjem sjevernom dijelu. To su: Muharnica, te rasjedima odvojena i prema sjeveroistoku usmjerena Plasa. Na jugoistoku je plato Male Čvrsnice. Zavala Dugo polje nastala je tektonskim spuštanjem duž vertikalnog rasjeda koji prati pravac pružanja masiva Čvrsnice SI-JZ.

Planinski hrbat Čabulje na južnom dijelu istraživanog područja pruža se pravcem ZSZ-IJI u dužini oko 20 km. Reljefno je podijeljen na nekoliko manjih uzvisina i uvala uvjetovanih rasjednom tektonikom. Hrbat je nagnuta prema rijeci Drežanki na sjeveru, a s ostalih strana omeđen je platoima i uvalama. U granicama istraživanog područja na Čabulji izdvojene su veće morfološke cjeline. Dinaridski pravac pružanja vršnog hrpta (1776 m) prati krška udolina Dolovi koja na sjeverozapadu prelazi u uvalu, u tektonskom smislu sinklinalu Rosne poljane (Musa, 2000). Na južnoj strani hrbat prati niža antiklinala Razdolje (1207 m) te slijedi niz uvala Ladina-Bogodol-Goranci (700-800 m). Rasjedom koji prati dinaridski pravac pružanja, a prolazi preko Rosnih poljana, južnih padina Čabulje i završava u mostarskoj kotlini (Musa, 2004), uvala je podijeljena na zapadnu Ladina-Bogodol i istočnu Goranci. Paralelno s njim proteže se rasjed Dobrinjska Draga-Grabova Draga-Polog (Musa, 2004) kojim ide južna granica istraživanog područja. To je sinklinala čije je dno prekriveno eocenskim flišem. Između ova dva rasjeda pruža se antiklinalno uzvišenje Bosiljine–Bile–Jastrebinika (1138 m).

## 4. GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 4.1 Litostratigrafska obilježja

Geološka građa istraživnog područja sveobuhvatno i zasad najdetaljnije, prikazana je na Osnovnim geološkim kartama 1:100 000 i pripadajućim tumačima: OGK list Prozor K33-12 (Sofilj i dr., 1980) i OGK list Mostar (Mojićević i Laušević, 1973). Krajnji sjeverni dio istraživnog područja prikazan je na OGK list Prozor (Sofilj i Živanović, 1979), a preostali dio na OGK list Mostar (Mojićević i Laušević, 1973). Za potpuni geološki prikaz korištena je knjiga Geologija Čabulje (Behlilović, 1964) u kojoj su objavljena detaljna geološka istraživanja na planini Čabulji (južni dio istraživnog područja).

### 4.2 Sastav i građa

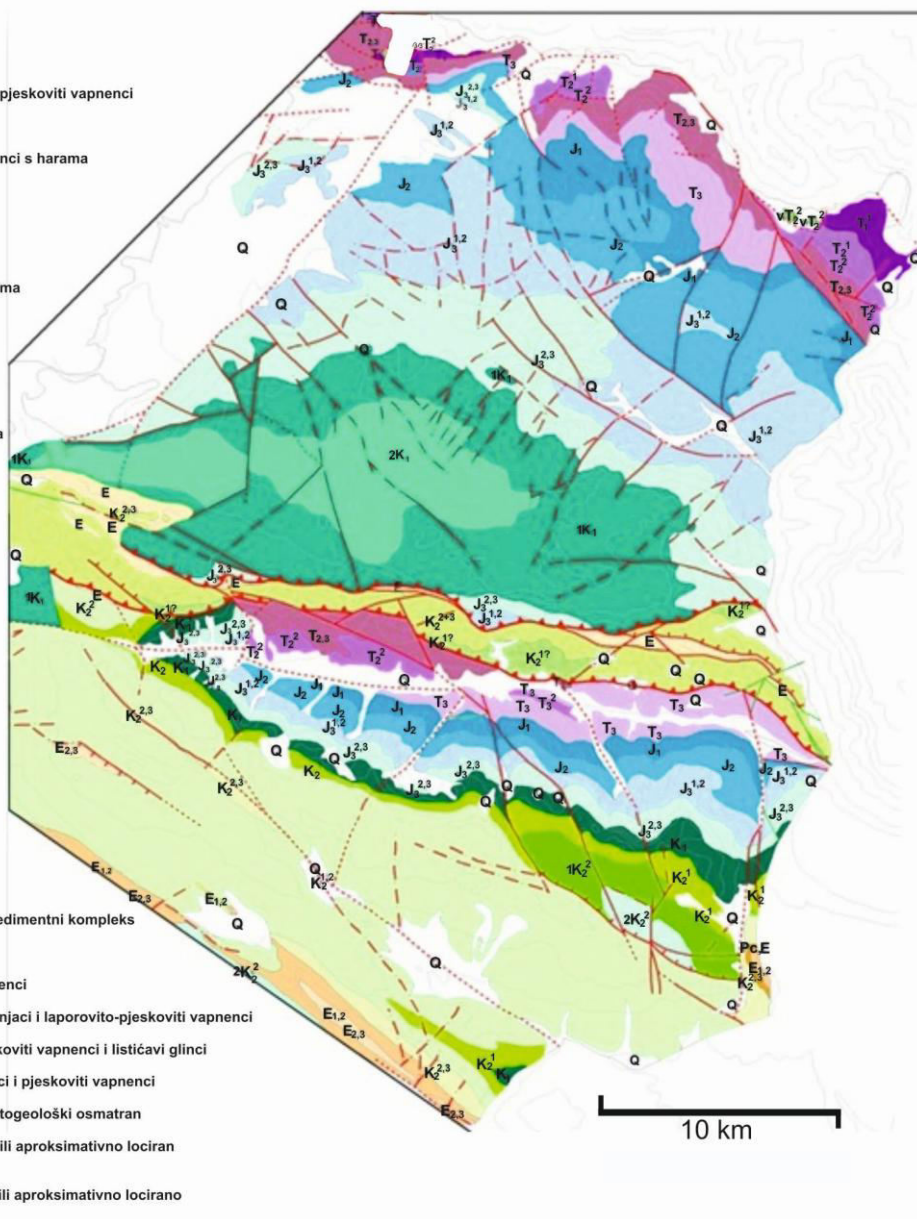
Geološku osnovu istraživnog područja čine naslage mezozoika i kenozoika (sl. 8). Mezozojske naslage zastupljene su od donjeg trijasa do gornje krede. Ove naslage čine cjelinu koja u najvećoj mjeri sudjeluje u građi terena. U litološkom sastavu prevladavaju karbonati vapnenci i dolomiti s različitim stupnjem njihovih izomorfni zamjena (kalcitični dolomiti, dolomitični vapnenci).

Kenozojske naslage zastupljene su u ulošcima paleogenskih i neogenskih te kvartarnih sedimenata.



Legenda:

- Q Kvarterni sedimenti
- E Vapnenačke breče i fliš
- E<sub>2,3</sub> Fliš: lapori, pješčenjaci i laporovito-pjeskoviti vapnenci
- E<sub>1,2</sub> Alveolinsko-numulitski vapnenci
- PcE Liburnijski slojevi - laporoviti vapnenci s harama
- K<sub>2</sub> Vapnenci s hipuritima
- K<sub>2</sub><sup>2</sup> Vapnenci s rudistima
- K<sub>2</sub><sup>3</sup> Masivni vapnenci s rudistima
- K<sub>2</sub><sup>4</sup> Vapnenci s rudistima i hondrodontama
- K<sub>2</sub><sup>5</sup> Vapnenci s hondrodontama
- K<sub>2</sub><sup>6</sup> Vapnenci s radiolitidama
- K<sub>2</sub><sup>7</sup> Bituminozni laporoviti vapnenci i dolomiti
- K<sub>2</sub><sup>8</sup> Vapnenci i dolomiti s triproporelama
- 1K<sub>1</sub> Vapnenci s algama
- K<sub>1</sub> Vapnenci s tintinama
- K<sub>1</sub> Vapnenci i dolomiti s tintinama, algama i nerineama
- K<sub>1</sub><sup>2</sup> Vapnenci i dolomiti s klipeinama (kimeridž i portland)
- J<sub>2</sub><sup>2</sup> Vapnenc s kladokoropsima (oksford i kimeridž)
- J<sub>2</sub> Oolitni vapnenci s krinoidima
- J<sub>1</sub> Vapnenci s litiotisima i dolomitima
- T<sub>1</sub> Vapnenci s megalodonima
- T<sub>2,3</sub> Sivi dolomiti s manjim prosljocima vapnenca
- Dijabazi
- Gabroidne stijene
- Graniti
- T<sub>2</sub><sup>2</sup> Vapnenci, dolomiti i vulkanogeno-sedimentni kompleks
- T<sub>1</sub> Brečasti vapnenci i dolomiti
- T<sub>1</sub> Masivni dolomiti i bituminozni vapnenci
- T<sub>1</sub> Kampilski sedimenti - lapori, pješčenjaci i laporovito-pjeskoviti vapnenci
- Sajski sedimenti - pješčenjaci, pjeskoviti vapnenci i listićavi glinci
- Skitski kat - pješčenjaci, lapori, glinci i pjeskoviti vapnenci
- Rasjed: utvrđen, pretpostavljen i fotogeološki osmatran
- Reversni rasjed: utvrđen, pokriven ili aproksimativno lociran
- Čelo navlake: utvrđeno, pokriveno ili aproksimativno locirano



Sl. 8. Geološka karta istraživanog područja

Izvor:

Mojčević i Laušević (1973) OGK, 1:100 000 List Mostar i Sofilj i Živanović (1979) OGK, 1:100.000. List Prozor.

## 4.2.1 Meozoik

### 4.2.1.1 Trijas

Sedimenti trijasa otkriveni su pri dnu duboko usječenog kanjona Drežanke (1600 m), Doljanke (1200 m) i na području krajnjeg SI dijela Čvrsnice u kanjonu Neretve od Jablanice na jug do utoka Glogošnice (lijeva pritoka Neretve) u Neretvu (sl. 8).

#### **Donji trijas – kampilski podkat – *lapori, laporoviti vapnenci* ( $T_1^2$ )**

Sedimenti kampilskog potkata predstavljaju najstarije sedimente zastupljene u okviru istraživanog područja. Pružaju se na području utoka rijeke Doljanke u Neretvu (Jablanica). Sloj pjeskovitih lapora, laporovitih vapnenaca i vapnenca s interkalacijama glinovitih slojeva konkordantno leže na starijim (sajskom potkatu) naslagama. Javljaju se u tankim slojevima, sive, sivo zelenkaste i ljubičaste boje te škrljave i paralelno prugaste teksture. Debljina naslaga iznosi oko 260 m (Sofilj i Živanović, 1979).

#### **Srednji trijas – *vapnenci, dolomiti i vulkanogeno sedimentne formacije* ( $T_2^1$ )**

Na naslage donjeg trijasa u području kanjona Doljanke i Neretve nastavljaju se konkordantno naslage srednjeg i gornjeg trijasa (sl. 8).

##### *Anizik – vapnenci i dolomiti* ( $T_2^1$ )

Slojevi anizika nastavljaju slijed slojeva trijasa u sjeveroistočnom dijelu promatranog područja kod Jablanice (Dragan selo i Glogošnica). Tu se javljaju svijetlosivi i sivi vapnenci, masivni, mjestimični i bankoviti. U nižim dijelovima Donje Jablanice leže sivi uslojeni dolomiti i dolomitne breče, a prema višim predjelima (Crni vrh) bočno se smjenjuju s dolomitima i dolomitičnim vapnencima. Debljina naslaga ovisno o litološkom sastavu kreće se od 50 do 250 m (Mojićević i Laušević, 1973).

##### *Ladinik - vapnenci, dolomiti i vulkanogeno sedimentni kompleks* ( $T_2^2$ )

Sedimente ovog kata nalazimo u okolini Jablanice (Crni vrh i Donja Jablanica) i u kanjonu rijeke Drežanke gdje su to najstariji vidljivi slojevi (sl. 8). Odlikuju ih različiti facijalni razvoji pa se mogu izdvojiti prema mjestu izdanka:

- Kod Crnog vrha pojavljuju se različiti vapnenci (grudasti, mikrokristalasti, pseudobrečasti), dolomiti (sive do svjetlo sive boje) i vulkanogeno-sedimentni kompleksi, tufitični pješčenjaci, kristaloklastični i vitroklastični tufiti, rožnjaci i hematitski škrljavci. Preko vulkanogeno sedimentnih slojeva leže stratificirani dolomiti sive, žućkasto sive i svjetlo sive boje (Mojićević i Laušević, 1973).
- Kod Donje Jablanice preko starijih dolomita leže slojevi tamnih kristalastih vapnenaca, pa sivosmeđih tufita pa ponovno tamnih kristalastih vapnenaca, tufita te na vrhu sivo crni grudasti i brečastih dobro uslojeni vapnenca (Mojićević i Laušević, 1973). Debljina pojedinih slojeva iznosi oko 50 cm, a ukupnih naslaga oko 300 m.
- U kanjonu rijeke Drežanke od sela Perutac na istoku do Raića na zapadu (izvorišno područje) u vidu dugog i uskog pojasa dužine oko 10 km (Behlilović, 1964) utvrđen je ladinički kat ( $T_2^2$ ). Naslage se pružaju u pravcu Z-I s generalnim padom prema jugu i nagibom slojeva 30-55°. Jedan dio naslaga prekriven je pleistocenskim terasama rijeke Drežanke, siparišnim materijalom i aluvijalnim nanosom, a slojevi ladiničkog kata mogu se pratiti profilima u koritima pritoka. Ladiničke vulkanogeno sedimentne naslage izdvojene su na temelju paleontoloških nalaza, prisustva vulkanogenog kompleksa i stratigrafske pripadnosti (Mojićević i Laušević, 1973).

#### Ladinik-karnik - *Sivi dolomiti s manjim interkalacijama vapnenaca* – ( $T_{2,3}$ )

Sedimente prijelaznog sloja nalazimo na južnim padinama Čvrsnice u središnjem dijelu kanjona rijeke Drežanke i na sjevernim padinama Čvrsnice SZ od Sovićkih vrata prema istoku prateći kanjon rijeke Doljanke ispod kote Jelov kuk (1387 m) gdje su rasjedom prekinute (sl. 8). Dalje prema istoku obuhvaćaju širu površinu, nastavljaju pružanje podno Raulje spuštajući se do korita Doljanke te duž korita prema Crnom vrhu gdje gube kontinuirani slijed slojeva jer su rasjedno poremećene i na njih su navučene naslage jure. Naslage se sastoje od masivnih dolomita, dolomitičnih vapnenaca i dijelova čistih vapnenaca. Dolomiti su sive i svijetlosive boje, a uočavaju se različiti strukturni tipovi: brečasti dolomiti, mikro i finokristalasti dolomiti i dolomitske breče. Takvi dolomiti su podložni jakom trošenju što u konačnici uvjetuje nastanak dolomitičnog pjeska. To ih razlikuje od vapnenaca koji je podložan kemijskom trošenju. Viši dijelovi naslaga u kojima prevladavaju vapnenci stvarani su u mirnijoj marinskoj sredini s povećanom koncentracijom soli (prisutnost slojeva dolomita koji je ovdje dijagenetskog podrijetla), (Mojićević i Laušević, 1973). Debljina naslaga iznosi oko 420 m.

### **Gornji trijas – *dolomiti* (T<sub>3</sub>)**

Dolomiti gornjeg trijasa na istraživanom području pojavljuju se u normalnom slijedu na starijim slojevima iste epohe na sjevernim padinama Čvrsnice u pojasu Ruišta, Sovićkih vrata, podno Jelovog kuka (1387 m) i u području Roulje prema istoku na padinama Plase do Crnog vrha (sl. 8). Izdvojeni su u kanjonu rijeke Drežanke u pojasu dugom oko 12 km od korita Neretve na istoku duž korita Drežanke na zapadu. U središnjem dijelu (selo Perutac) pojas postaje širi i račva se u dva smjera, sjeverni izgrađuje padine Čvrsnice, a južni padine Čabulje. Naslage se sastoje od dobro uslojenih sivih, svijetlosivih i bijelih dobro uslojenih dolomita i dolomitičnih vapnenaca. Debljina im iznosi oko 400 m.

#### *Karnik – laporoviti i sivi dolomiti* (T<sub>3</sub><sup>1</sup>)

Karnički sedimenti pružaju se na južnim padinama kanjona od potoka Veja na zapadu do sela Perutac prema istoku te prelaze na sjeverne padine kanjona podno kote Gradina (1200 m). U naslagama debljine 170 m izmjenjuju se svijetlosivi dobro uslojeni dolomiti, sivi lapori, vapnoviti dolomiti, tamnozeleni do sivi listićavi lapori, škrljavi lapori, žutozeleni lapori s ulošcima sivog dolomita, crveni listićavi lapori, sivi lapori, sive gline. Udio laporovite komponente u odnosu na dolomitnu iznosi 60:40% (Behlilović, 1964). Gornja granica karničkih naslaga postavljena je na dijelu gdje nestaju nalazi algi.

#### *Norik – ret - dolomiti* (T<sub>3</sub><sup>2-3</sup>)

Debela serija dolomita ovog kata nastavlja se od sela Perutac prema istoku s obje strane korita Drežanke do kanjona Neretve (sl. 8). U slojevima dolomita javljaju se ulošci dolomitičnog vapnenca. Ukupna debljina naslaga noričko-retskog kata iznosi oko 480 m. Granica između trijaskih i jurskih naslaga ovdje nije jasno definirana što navodi na zaključak da je postojao kontinuitet sedimentacije u prijelaznom području.

#### **4.2.1.2 Jura**

Sedimenti jure na istraživanom području pojavljuju se najvećim dijelom na Čvrsnici i to na njenom središnjem i sjevernom dijelu, to jest na padinama Muharnice (prema kanjonu Doljanke) i sjeveroistočnom, to jest padine Plasa planine prema kanjonu Neretve (sl. 8). Jurske naslage utvrđene su još na rasjedom strmcu južne Čvrsnice prema kanjonu rijeke Drežanke, u samom kanjonu slijede kontinuiran slijed mezozojskih naslaga te na istočnim i

jugoistočnim padinama Čabulje prema kanjonu Neretve i Bijelom polju (sl. 8). U litološkom pogledu sedimenti se zastupljeni karbonatnim stijenama – dolomitima i vapnencima. Utvrđena je donja, srednja i gornja jura.

### **Donja jura – lijas – *dolomiti i vapnenci* (J<sub>1</sub>)**

Naslage lijasa izdvojene su na području Plase, Muharnice i Drežnice (sl. 8). Leže konkordantno preko dolomita gornjeg trijasa. Na Čvrsnici su ove naslage predstavljene kriptot i mikrokristalastim vapnencima, a preko njih se nastavljaju grudasti vapnenci s ulošcima dolomita, oolitičnih i pseudoolitičnih vapnenaca i litokalkarenita. U području Drežnice izraženi su pločasti, sivi vapnenci s ulošcima dolomita. Debljina naslaga iznosi oko 280 m (Mojićević i Laušević, 1973).

### **Srednja jura – doger - *vapnenci i dolomiti* (J<sub>2</sub>)**

Pojas srednje jure pojavljuje se na prethodno navedenim lokalitetima kao slijed slojeva donje jure. Izgrađen je od vapnenca s manjim ulošcima dolomitičnog vapnenca i dolomita. Po strukturi to su oolitični i pseudoolitični vapnenci sive, tamnosive, smeđe i žućkaste boje. U kanjonu Drežanke (sjeverne padine Čabulje) naslage slijede antiklinalnu građu do kanjona Nereve, a gornji dio debljine oko 100 m nastavlja pružanje istočnim padinama Čabulje do željezničke stanice Raška gora (Behlilović, 1964). Debljina naslaga iznosi od 300 do 360 m (Behlilović, 1964).

### **Gornja jura – malm – *vapnenci i dolomiti* (J<sub>3</sub>)**

Naslage malma (J<sub>3</sub>) na istraživanom prostoru zauzimaju veliko prostranstvo. Pružaju se središnjim dijelom planine Čvrsnice, na visoravni Muharnica i Plasa dolaze konkordantno na naslage starijih slojeva jure, na istočnim padinama izgrađuju kanjon Dive Grabovice i Neretve te južni dio kanjona Drežanke (sl. 8). Ukupna debljina malma ne prelazi 550 m (Mojićević i Laušević, 1973).

### **Oksford – kimeridž (J<sub>3</sub><sup>1,2</sup>)**

U donjim slojevima naslaga ovog kata zastupljeni su sivi i smeđi vapnenci (ustanovljene alge, spužve i presjeci koralja). Preko njih su uslojeni slojevi jedrih bankovitih sivih vapnenaca, a površinski dio Plasa planine prekrivaju mikrokristalasti, grudvasti vapnenci (Mojićević i Laušević, 1973). Pojas naslaga u kanjonu Drežanke i na Raškoj gori prožet je sivim uslojenim dolomitima. Debljina naslaga iznosi oko 280 m (Behlilović, 1964).

### Kimeridž – portland ( $J_3^{2,3}$ )

Preko prethodno opisanih sedimenata prostiru se mlađi slojevi dolomita i vapnenca. U području Čvrsnice (Muharnica i Plasa) preko vapnenaca s kladokoropsisima slijedi dobro uslojena serija svijetlosivih, smeđih dolomita i dolomitičnih vapnenaca (Mojićević i Laušević, 1973). U antiklinali Drežnice i području Raške gore preko vapnenaca i dolomita s kladokoropsisima slijede naslage sivih i žućkasto sivih dolomita pa dolomitičnih vapnenaca. Debljina ovih naslaga iznosi oko 280 m (Behlilović, 1964).

#### 4.2.1.3 Kreda

Sedimenti krede imaju najveće rasprostiranje na istraživanom području. Nastavljaju se konkordantno na naslage jure, a prema litološkom sastavu sastoje se od karbonatnih stijena – vapnenca i dolomita. Izdvojeni su dijelovi donje i gornje krede. Naslage donje krede izgrađuju najviše dijelove Čvrsnice s vrhovima Pločno, Mali i Veliki Jelenak te plato Male Čvrsnice s uzvišenjima Borova glavica, Ploča i Velika Težovnica (sl. 8).

#### **Donja kreda – vapnenci, dolomiti i karbonatne breče ( $K_1$ )**

Naslage donje krede su ujednačenog litološkog sastava, a čine ih dolomiti i vapnenci (sivi, svijetlosivi i maslinasti vapnenci). Na temelju fosilnog sadržaja podijeljene su na katove valendis ( $K_1^1$ ), otriv ( $K_1^2$ ) i alb ( $K_1^5$ ). Slojevi donje krede ( $K_1$ ) protežu se lučno kao nastavak gornjojurskih sedimenata po sjevernim padinama Čabulje od Karamanovih klanaca na zapadu prateći padine kanjona rijeke Drežanke prema jugu i jugoistoku prema kanjonu Neretve do Raške Gore i pojavljuje se jugozapadno podno uzvišenja Raška glavica (sl. 8). To su naslage tanko-uslojenih pločastih (debljina slojeva varira od 5 do 70 cm) smeđesivih vapnenaca i tamnosivih dolomita, (Mojićević i Laušević, 1973). Debljina naslaga iznosi 700 m. Katovi valendis ( $K_1^1$ ) i otriv ( $K_1^2$ ) izgrađuju gotovo cijeli plato i vršni dio Čvrsnice i to od oko 1600 m do 2000 m su stariji ( $K_1^1$ ), a preko 2000 m su mlađi slojevi ( $K_1^2$ ). Debljina slojeva kreće se od 10 do 50 cm. Debljina starijih naslaga ( $K_1^1$ ) iznosi oko 280 m, a zastupljeni su uglavnom tamnosivim, smeđim i dolomitičnim vapnencima s visokim udjelom  $CaCO_3$ . U strukturi mlađih slojeva ( $K_1^2$ ) povećan je udio dolomita u kriptokristalastim i dolomitičnim vapnencima. Na pojedinim dijelovima pojavljuju se i čisti dolomiti. Vapnenci su smeđe i svijetlosmeđe boje dobro uslojeni. U sedimentima donje krede ukupne debljine od 900 do 950 m, utvrđen je kontinuitet u sedimentaciji i slijed slojeva sve do završnog kata alb ( $K_1^5$ )

predstavljenim serijom sivih i tamnosivih vapnenaca debljine oko 300 m (Mojićević i Laušević, 1973). Paleontološkom analizom određen im je stratigrafski položaj u prijelaznom sloju iz donje u gornju kredu pa su izdvojeni kao alb-cenoman  $K_1^5$ -  $K_2^1$  sloj.

### Gornja kreda

Naslage gornje krede zastupljene su katovima: Alb – cenomana ( $K_1^5$ -  $K_2^1$ ) izgrađenog od *vapnenca, dolomita i dolomita s proslojcima vapnenca*; Cenomana ( $K_2^{1,2}$ ) gdje prevladavaju *sivi dolomiti, vapnenci s proslojcima crnih i bituminoznih vapnenaca i lapora*; Turona ( $K_2^2$ ) s naslagama *dolomita i vapnenaca s rudistima*; Turona – senona ( $K_2^{2,3}$ ) s naslagama *vapnenca, dolomita i rudistnih vapnenaca*.

Naslage alb-cenomana nalaze se u reljefu na sjevernim padinama Čabulje od Karamanovih klanaca na zapadu prateći liniju podno glavnog grebena prema istoku do Male Vlajne, nastavljaju pružanje preko grebena i južnih padina uzvišenja do Nugle gdje su poprečnim rasjedom prekinute. Nadalje, prekrivaju plato Raška gora i pružaju se u smjeru juga i jugoistoka prema Rašanima u mostarskoj kotlini (sl. 8). Debljina im iznosi oko 250 m.

Manji dio sedimenata u kanjonskoj dolini rijeke Drežanke sjeverno od naselja Striževo i Perutac izdvojen je kao dio cenomana sa znakom pitanja (sl. 8). Istaložene su naslage sivih i tamnosivih dolomita, pločastih vapnenaca s čestim proslojcima crnih bituminoznih vapnenaca i lapora. Debljina otkrivenih naslaga je oko 150 m.

Turon gradi najveći dio planine Čabulje, od Rosnih poljana na sjeverozapadu do kote Ošljar i Velike Vlajne preko Vilinog polja do Raške gore gdje su naslage prekinute poprečnim rasjedom te dalje nastavljaju preko Vlake na jugoistok do mostarske kotline (sl. 8). Naslage leže konkordantno preko cenomanskih vapnenaca i dolomita. Zastupljeni su facijesi dolomita u nižim, a svijetlosivi i bjeličasti vapnenci s ulošcima dolomita koji navise prelaze u laporovite vapnenice i vapnoviti lapor u višim dijelovima (Behlilović, 1964). Debljina naslaga je oko 400 m (Mojićević i Laušević, 1973).

Turon-senonska serija slojeva javlja se kao završni član gornjokrednih naslaga. Javlja se u vidu traka u jugoistočnom dijelu Čabulje na platou Raška gora od rasjedno poremećenih slojeva Pod Čabuljom prema mostarskoj kotlini i južnije podno kote Debela ljut u smjeru istoka do Cima (sl. 8).

Rasprostiranje naslaga, debljina i sastav nije ujednačen što navodi na zaključak da su se u vrijeme senona ovdje zbili značajni geološki događaji (Behlilović, 1964). U istočnim dijelovima Čabulje debljina naslaga gornje krede iznad slojeva s hondrodontama iznosi oko 700 m, dok u krajnjem jugozapadnom i zapadnom dijelu ne prelazi 450 m, a na Vardi i oko Izbičnog kreće se oko 160 do 200 m (Behlilović, 1964).

## 4.2.2 Kenozoik

### 4.2.2.1 Tercijar

#### **Paleogen (Pg)**

Prema Behliloviću (1964) na istraživanom području u senonu počinju se događati značajne tektonske promjene. Dolazi do laganog izdizanja jugozapadnih dijelova gornjokrednog sedimentacijskog bazena što uvjetuje regresiju mora i stvaranje kopna. Istodobno na sjeveroistočnim dijelovima i dalje se vrši sedimentacija. U jugozapadnom dijelu Čabulje granica gornje krede i paleogena praćena je pojavom ležišta boksita kao odraz kredno paleogene emerzije. Prostiranje paleogenskih naslaga ovdje je usko vezano za tektonsku strukturu pa je na površini vidljiv samo dio foraminiferskih vapnenaca. Zona eocenskih naslaga na južnim padinama Čvrsnice (kanjon Drežanke) pruža se u dužini od nekoliko desetina kilometara, a vezana je uz rasjed duž kojeg su ove naslage izbile na površinu. Stariji dio foraminiferskih i liburnijskih vapnenaca pruža se u vidu uskih dugih zona debljine 2 do 30 m.

Paleogen je vrijeme čestih tektonskih pokreta u vanjskoj zoni Dinarida. Na to upućuju zone emerzije na vrlo malom području istraživanja (od zapadnih do istočnih granica područja). Naslage se izdvajaju kao morske, brakične i slatkovodne, a leže transgresivno i diskordantno na gornjokredne. U zonama dinaridskog pravca pružanja izdvojeni su sljedeći članovi: liburnijski slojevi ( $P_cE$ ), alveolinski i numulitni vapnenci ( $E_{1,2}$ ), klasični sedimenti eocena ( $E_{2,3}$ ) i breče i klastiti eocena (E).

Liburnijski slojevi – *vapnenci, breče, lapori* ( $P_cE$ )

Najstariji paleogeni slojevi u okviru istraživanog područja zastupljeni su liburnijskim sedimentima na Čabulji. Pružaju se uskim zonama uz mlađe eocenske naslage (zbog male debljine nisu mogli biti posebno izdvojeni) u sjeverozapadnim i jugozapadnim dijelovima i na



Raškoj gori (sl. 8). Utvrđeni su litološki članovi dobro uslojeni sivi i smeđi vapnenci, breče, laporoviti i bituminozni škriljavci i lapori. Brze izmjene sedimentacijskih prilika (periodi plavljenja i povremene ingresije u braktičke bazene) uvjetovali su njihovu debljinu i sastav facijesa (Behlilović, 1964). U sjeverozapadnom dijelu sedimenti imaju transgresivan odnos prema rudistnim vapnencima s jasnim kutom dislokacije (vidljivo prema stratigrafskoj praznini i mnogobrojnim ležištima boksita i bazaltnih breča). Drugačije prilike su na Raškoj gori gdje uz nedostatak navedenih odnosa Behlilović (1964) pretpostavlja mogući kontinuitet u sedimentaciji između gornje krede i paleogena. Debljina naslaga je različita i kreće se od par metara na zapadu do 100 m na Raškoj gori.

### **Donji i srednji eocen – *alveolinski i numulitni vapnenci* (E<sub>1,2</sub>)**

Ovaj sloj naslaga zastupljen je na već spomenutim lokalitetima. Granica između ovih i liburnijskih slojeva određena je pojavom sloja sitnih bubrežastih alveolina. Niži dijelovi naslaga jasno su izraženi i sastoje se od bijelih, svijetlosivih i smeđih foraminiferskih vapnenaca. Numulitni vapnenci slabo izražene slojevitosti čine gornji dio foraminiferskih vapnenaca. Primjećeno je jako trošenje i okršavanje ovog sloja. Debljina naslaga iznosi oko 250 m (Mojićević i Laušević, 1973).

### **Srednji i gornji eocen – *fliš* (E<sub>2,3</sub>)**

U klastičnim naslagama eocena izmjenjuju se pješčenjaci, lapori i konglomerati koji su transgresivno istaloženi na podinske naslage, uglavnom foraminiferske vapnence. Tako su ovisno o reljefu, utvrđeni različiti dijelovi fliša (Mojićević i Laušević, 1973). Na području Raške gore na foraminiferskim vapnencima u podlozi dolaze transgresivno slojevi lapora i pješčenjaka (sl. 8). Lapori su plave do zelene boje na kojima dolaze dobro uslojeni sitnozrni pješčenjaci. Debljina naslaga iznosi oko 100 m.

U flišnim zonama na sjeverozapadnom i jugozapadnom području Čabulje prisutne su mlađe promina naslage. Tako na foraminiferskim vapnencima u podlozi leže bazaltni konglomerati i breče, maslinasto zeleni pješčenjaci, sivi lapori te mjestimice vapnenci (Mojićević i Laušević, 1973). U završnom dijelu naslaga prevladavaju tamnozeleno alge. Konglomerati i breče kao završni članovi paleogenih naslaga prostorno su utvrđene na južnom dijelu Čabulje, u Cimu i Ilićima prema mostarskoj kotlini (sl. 8). Sastoje se od valutica vezanih vapnenim cementom i zajedno s ostalim flišnim naslagama čine podinu ugljenosnog bazena.

### **Eocen – breče i klastiti (E)**

Zona eocenskih naslaga na južnim padinama Čvrsnice pruža se od korita Neretve na istoku do Bara i Blidinjskog jezera na zapadu (sl. 8). Sedimenti leže diskordantno preko vapnenaca donje krede. Prema litološkom sastavu sedimente u donjim slojevima grade vapnenačke breče od organogeno detritičnih vapnenaca prepunih alveolina i numulita. Gornje slojeve čine lapori, pješčenjaci, vapnenci, konglomerati i zelenkasto plave gline, a površinu prekrivaju brečasti vapnenci. Debljina otkrivenih dijelova iznosi oko 200 m (Mojićević i Laušević, 1973).

### **Neogen (Ng)**

Južni dio istraživanog područja graniči s neogenim bazenima u Mostarskom blatu i mostarskoj kotlini. U području istraživanja utvrđene su neogenske naslage na jugoistoku Čabulje u području Goranaca (sl. 8). Naslage površine oko 1 km<sup>2</sup> predstavljene su laporovitim vapnencima vapnenim laporom. Debljina im se kreće oko 100 m (Mojićević i Laušević, 1973).

#### **4.2.2.2 Kvaratar**

Kvartarne naslage kao najmlađe, koje i danas nastaju na istraživanom području obuhvaćaju znatno područje. Najviše su zastupljene u kanjonima rijeka Neretve, Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke i njihovim pritokama, u Dugom poju te na području Plase i Čabulje (sl. 8). Prostorni raspored i utjecaj na reljef bit će detaljno prikazani i analizirani u drugom dijelu rada.

### 4.3 Obilježja strukturnog sklopa

Stratigrafska evolucija ovog prostora direktno je povezana s tektonskim pokretima. Na temelju većih dislokacija i različitog razvoja sedimenata te uvažavajući najnovije rezultate geoloških, geofizičkih i satelitskih snimanja Papeš (1988) je na području Zapadne Hercegovine izdvojio pet tektonskih jedinica: Dinara, Mratnjača, Čitluk, Klobuk i Gabela. Područje istraživanja ulazi u okvir Dinare i Mratnjače.

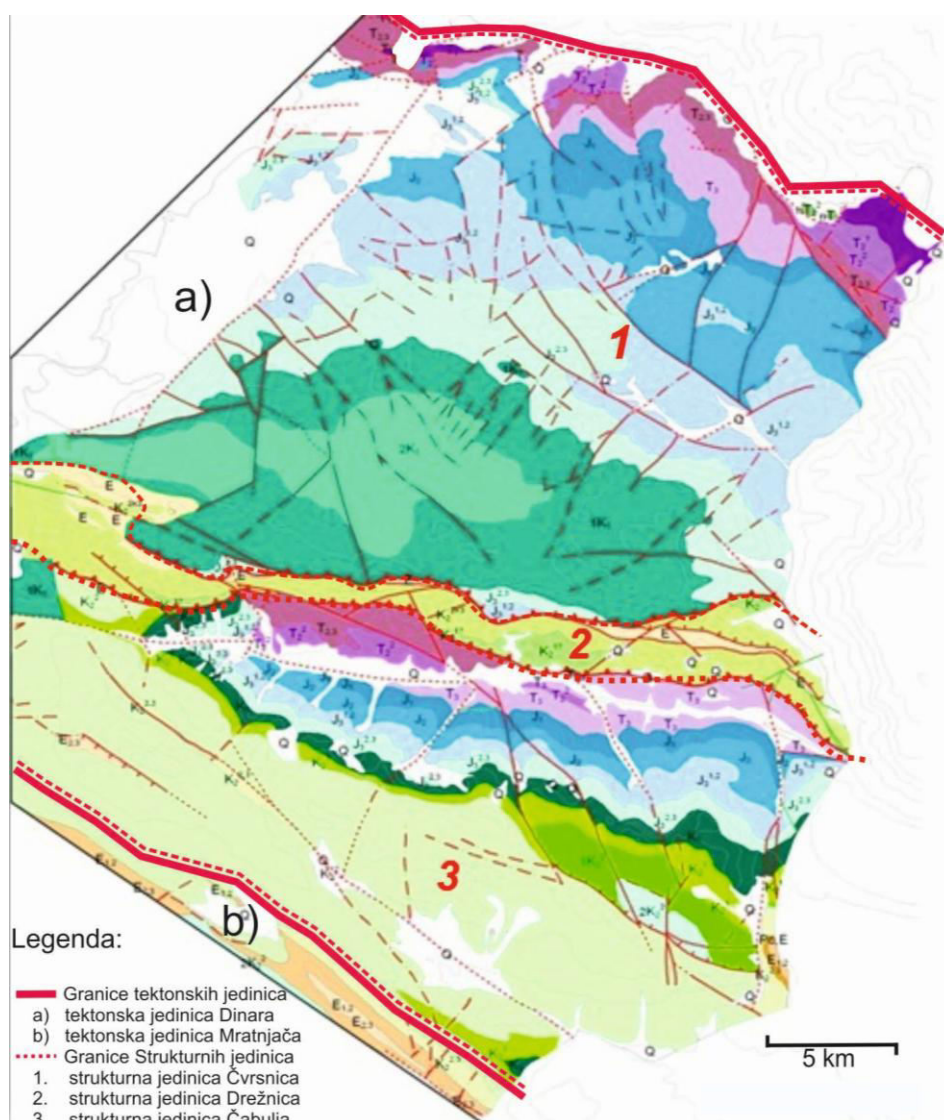
#### 4.3.1 Strukture, rasjedi i njihovo odražavanje u reljefu

Zona Vanjskih Dinarida kojoj ovo područje pripada prema OGK BiH 1: 300 000 (Čičić, 2002) podijeljeno je na dvije tektonske jedinice. Granice im čine regionalni (uzdužni) reversni rasjedi. Najveći dio promatranog područja ulazi u tektonsku jedinicu Dinara dok krajnji jugozapadni dio ulazi u područje tektonske jedinice Mratnjača.

Tektonska jedinica Dinara pruža se od rijeke Une na SZ Bosne do Bileće na JI Hercegovine. Sjeverna granica u okviru istraživanog područja prolazi rasjedom duž doline rijeke Doljanke, a južna prati rasjed na potezu Sutina-Grabova Draga-Polog. U području istraživanja istaknute morfostrukture, planine Čvrsnica i Čabulja čine jedinstvenu boru poremećenu rasjedom u dolini Drežanke. Os antiklinale pruža se pravcem Z-I. Sjeverno i južno krilo antiklinale predstavljaju dominantne zaravni Čvrsnice i Čabulje s kojih su naknadnim rasjednim pokretima izdignuti hrptovi (Papeš, 1988).

Tektonska jedinica Mratnjača proteže se duž južne granice Dinare, od Vinice na SZ Hercegovine do Hrguda na JI Hercegovine. Dio ove jedinice ulazi u okvir istraživanog područja. Proteže se od Sutine, Grabove Drage do Mostarskog polja i prolazi južnim i jugozapadnim obodnom Čabulje. To je strukturno poremećena sinklinala u čijoj jezgri je izražen eocenski fliš. Istraživano područje gotovo u potpunosti (sl. 10) pripada tektonskoj jedinici Dinara. Unutar tih granica izdvojene su manje strukture (Papeš, 1988):

1. Strukturna jedinica Čvrsnica,
2. Strukturna jedinica Drežnica,
3. Strukturna jedinica Čabulja.



Sl. 9. Tektonske i strukturne jedinice u istraživanom području

Izvor: Mojićević i Laušević (1973) OGK, 1:100 000 List Mostar i Sofilj i Živanović (1979) OGK, 1:100.000. List Prozor)

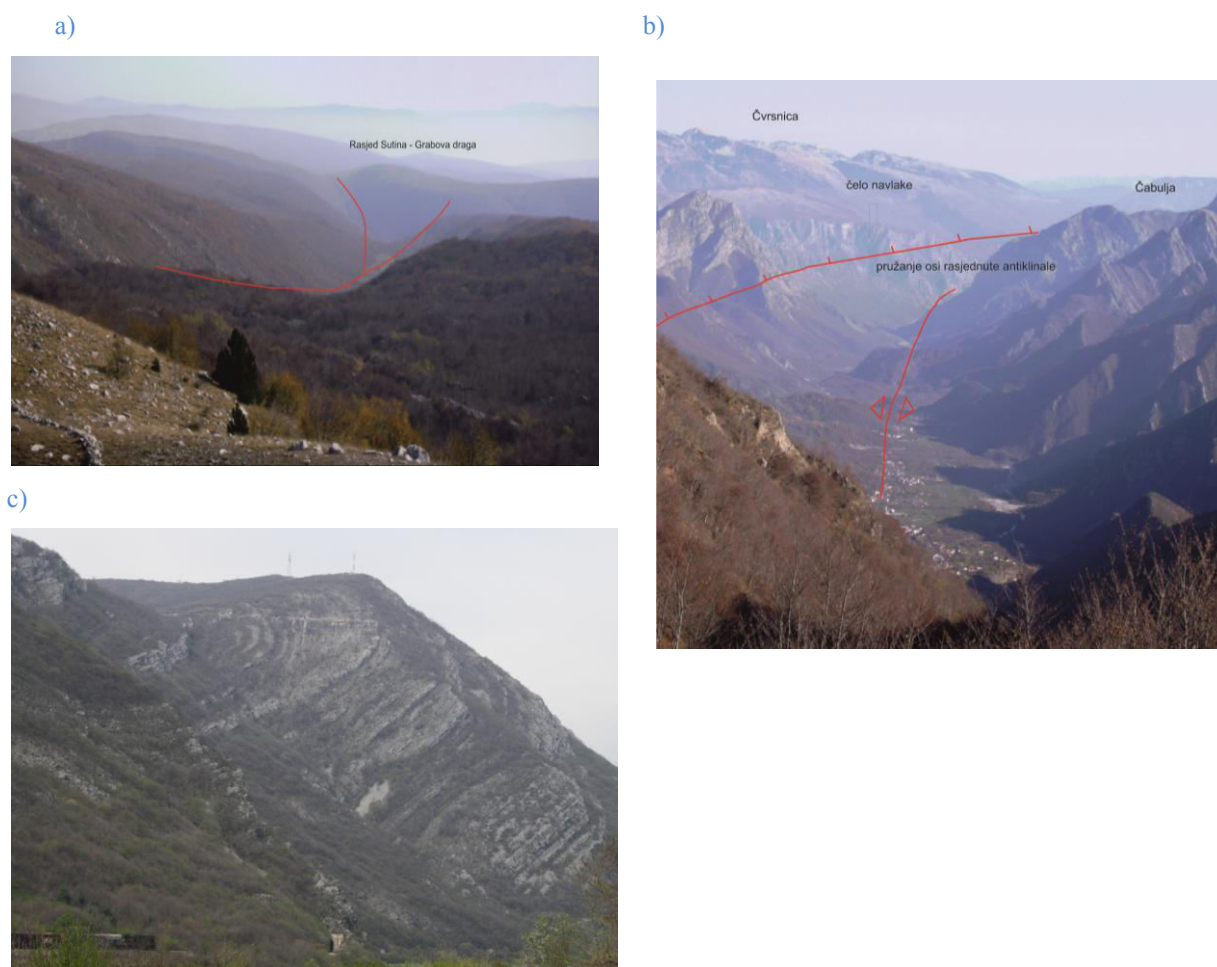
Strukture su ograničene rasjedima (normalnim i reversnim) dinaridskog pravca pružanja. Na istaknute forme u reljefu utjecaj imaju i rasjedi suprotne vergencije. Čvrsnica predstavlja strukturnu jedinicu nastalu kompresijom i navlačenjem naslaga iz pravca SI-JZ (Bognar i Šimunović, 2005, Marijanović i dr., 2005). Sjevernu granicu strukturne jedinice predstavlja rasjed (granični) kojim je formirana dolina rijeke Doljanke. Paralelno s njim pružaju se rasjedi u kojima je istočni dio Čvrsnice diseciran (kanjon Dive Grabovice). Sjevernim padinama kanjona Dive Grabovice pruža se rasjed pravca istok-sjeverozapad kojim je visoravan Plasa odvojena od Čvrsnice. Usljed promjene orijentacije stresa iz pravca SI-JZ u S-J dolazi do rotacijskog pomicanja bloka Plase (Bognar i Šimunović, 2005). Zona reversnih rasjeda širine od 800 m do 2000 m čini južnu granicu visoravni. Rasjedi imaju paralelno pružanje, a u

reljefu se odražavaju strmim padinama. Kanjon rijeke Neretve na istoku je antecedentan u odnosu na mezozojske naslage (Ivanković, 1984). Duž jugoistočnog oboda Dugog polja na zapadnoj strani Čvrsnice utvrđen je rasjed okomit na dinaridski pravac pružanja. Tim rasjedom zapadne padine Čvrsnice izdignute su i gotovo vertikalne (jugozapadni dio). Nizom okomitih manjih rasjeda strmac je diseciran i razlomljen na blokove.

Strukturalna jedinica Drežnica predstavlja graničnu zonu između Čvrsnice i Čabulje. Pruža se pojasno od Bara na zapadu do Neretve na istoku gdje prelazi u navlaku Porim. To je navlačna zona uvjetovana izrazitom tektonskom destrukcijom terena u postpaleogeno doba (Papeš, 1988). Paralelni reversni rasjedi disecirali su južne padine Čvrsnice duž cijele doline od Karamanovih klanaca na zapadu do Neretve na istoku. Tu se rasjedi križaju i glavni krak se pruža prema jugu (Bijelo Polje). Rasjed predstavlja čelo navlake kojom su sedimenti gornje krede došli u isti nivo s naslagama srednjeg i donjeg trijasa (Papeš, 1988). Cijela zona ispresjecana je vertikalnim rasjedima (Drežnica, Buničići, Striževo), (sl. 9).

Kako sjeverna tako i južna granica strukturalne jedinice Čabulja predstavljena je rasjedima dinaridskog pravca pružanja. Oni predstavljaju reaktivirane stare dislokacije (Drežnica, Grabova Draga) duž kojih su vidljivi paleogenski sediment (Musa, 2004). Sjeverne padine Čabulje duboko su spuštene po rasjedu u dolinu Drežanke. Južnim padinama Čabulje proteže se rasjed pružanja SZ-JI kojim su formirane uvale Rosne Poljane, Ladina i Bogodol. U jugozapadnom dijelu duž uzvišenja Bile stine utvrđen je reversni rasjed kao posljedica promjene stresa (S-J) i pomaka rasjeda Rosne Poljane–Bogodol u desno (Musa, 2004). Zona južnog graničnog područja predstavljena je rasjedom poremećenom sinklinalom Sutina-Grabova Draga.

Neotektonsko izdizanje ovog prostora nije bilo ravnomjernog intenziteta. Pojedine dislokacije, rasjedne strukture koje su nastale u pre-neotektonskoj etapi bile su reaktivirane, a stvorene su i nove rupturi (Ivanković, 1984). Duž rasjednih struktura pojedini blokovi različito su izdizani.



**Sl.10.** Odnos geološke strukture i reljefa

- a) rasjed koji predstavlja granicu između tektonskih jedinica Dinara-Mratnjača (južne padine Čabulje)
- b) strmim padinama izraženo je čelo navlake starijih struktura (južne padine Čvrsnice)
- c) bora označava kompresijsku strukturu pri navlačenju slojeva (istok Čvrsnice)

Ovo područje je nakon donjeg miocena zahvaćeno tektonskim pokretima koji su proizveli specifični strukturni sklop bora, ljasaka i reversnih rasjeda približnog pružanja istok-zapad (Marinčić i Matičec, 1990). Globalni tangencijalni stres koji djeluje na pravcu jug-sjever preborava zatečene, odnosno stvara nove kinematski specifične deformacije prema kojima se aktivnost pokreta može pratiti od miocena do danas (Marinčić i Matičec, 1990). Najčešće strukturno obilježje ovih prostora jest dinaridski pravac pružanja duž kojih su izraženi rasjedi (sl.10b) i bore (sl.10a i c). Bore su obično kose ili prebačene s karakterističnom jugozapadnom vergencijom (Marinčić i Matičec, 1990).

Izdizanje terena u pliocenu uvjetovalo je formiranje postojeće riječne mreže koja ima jasan epigenetski karakter (Ivanković, 1984). Doline su većinom antecedentne. Suvremeni karakter

riječnih dolina, duboko usječene kanjonske doline na nekoliko stotina metara jasno pokazuju da su se tijekom pliocena pa sve do recentnih gibanja, tektonski procesi intenzivirali i uvjetovali brzo izdizanje terena.

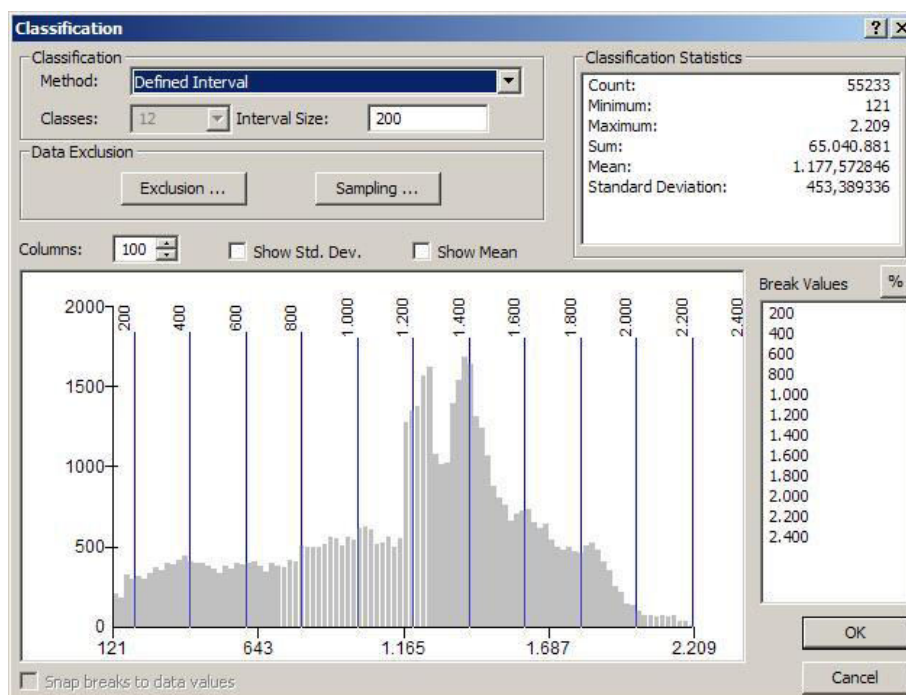
Postojeći morfološki oblici čiji se vrhovi nalaze na 2 000 m i više, bili su ranije zahvaćeni većim intenzitetom izdizanja. Njihova suvremena morfologija uvjetovana je tektonskim pomacima i intenzivnijim procesima denudacije te kasnije glacijacijom. U periodu glacijacije i interglacijacije fluvioglacialnim materijalom zapunjavaju se bočna, rasjedno uvjetovana udubljenja i formiraju nove terase (Roglić, 1957 pr. 2005). Naslage su uglavnom nataložene na matične stijene i visina im varira od 60-70 m (Jablanica) do 20-30 (Drežanka).

## 5. OPĆA MORFOMERIJSKA OBILJEŽJA KAO PREDISPOZICIJA RAZVOJA LEDENJAČKOG RELJEFA

### 5.1 Hipsometrijske značajke reljefa

Hipsometrijska obilježja reljefa predstavljaju skup postupaka kojima se analiziraju visinska obilježja reljefa. Izrada hipsometrijske karte prema tzv. klasičnom postupku na analognim kartama vrši se izravnim mjerenjem na karti.

Hipsometrijska analiza digitalnih podataka znatno olakšava postupak te povećava kvalitetu same analize. Ona se temelji na digitalnom modelu reljefa (eng. *digital elevation model* - DEM) koji je osnovni izvor podataka za sve daljnje morfometrijske analize. Digitalni model reljefa predstavlja skup točaka na površini Zemlje čije su prostorne koordinate x, y i z pohranjene na nosiocu pogodnom za dalju kompjutorsku obradu (Pahernik, 2005). Izrađen je na temelju digitaliziranih topografskih karata 1 : 25 000 tj. vektoriziranjem izohipsi (e=10 m). Pri tom je korišten GRID model organizacije podataka, a jedinične ćelije unutar modela su veličine 50 x 50 (površine 2500 m<sup>2</sup>).



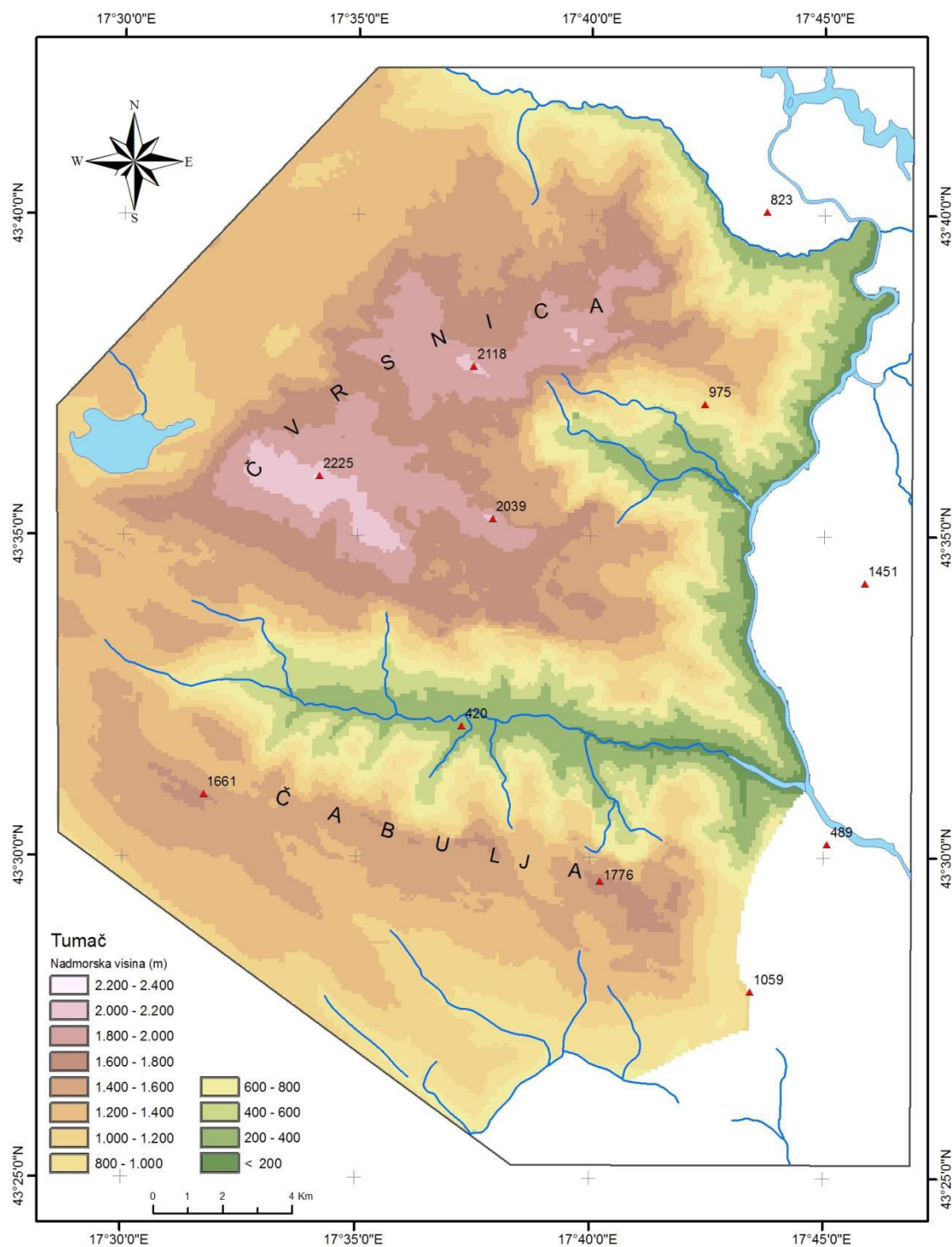
Sl. 11. Histogram visina istraživanog područja



Najniža vrijednost nadmorske visine na istraživanom području iznosi 100 m, a nalazi se na utoku rijeke Drežanke u Neretvu. Najveća vrijednost visina iznosi 2226 m vrh Pločno na Čvrsnici u središnjem dijelu istraživanog područja.

Visinska razlika određena je na svakih 200 metara tako da je izdvojeno 12 karakterističnih hipsometrijskih razreda (sl. 12). Razlog takvom rasporedu je izrazitija denivelacija prostora od gotovo 1700 m (kanjoni rijeka).

# HIPSOMETRIJSKA KARTA



Sl. 12. Hipsometrijska karta istraživanog područja

Generalno rasprostiranje visina prikazano je kroz četiri grupe (tab. 2):

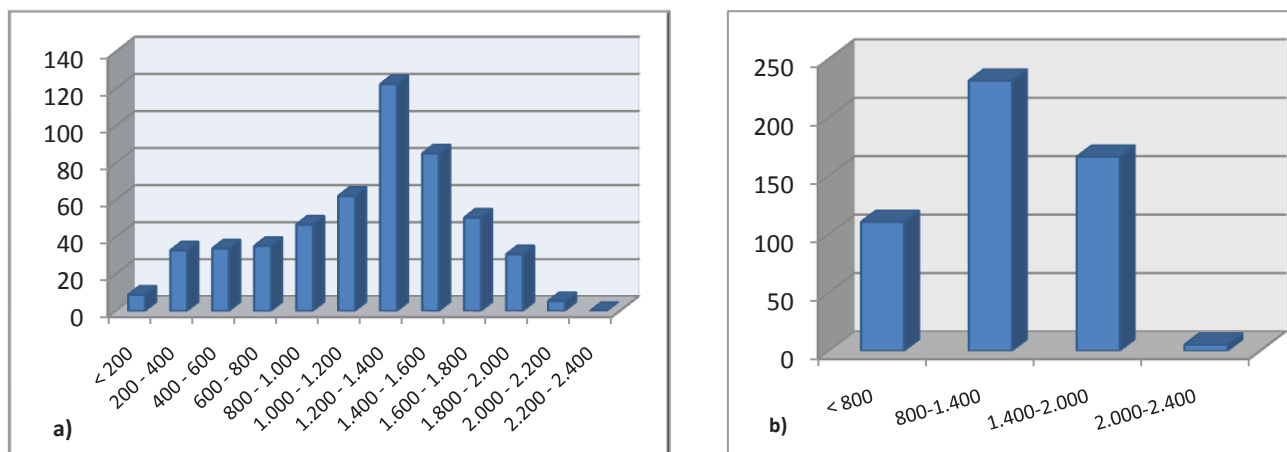
- a) Visine od 0 do 800 m,
- b) Visine od 800 do 1 400 m,
- c) Visine od 1 400 do 2 000 m,
- d) Visine od 2 000 do 2 400 m.

*Tab. 2. Površine hipsometrijskih razreda i hipsometrijskih pojaseva te njihovi udjeli u ukupnoj površini istraživanog područja*

| <i>Hipsometrijski razredi (m)</i> | <i>Površina (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Udio (%)</i> | <i>Hipsometrijski pojasevi (m)</i> | <i>Površina (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Udio (%)</i> |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| <b>&lt; 200</b>                   | 8,81                             | 1,72            |                                    |                                  |                 |
| <b>200 - 400</b>                  | 32,73                            | 6,37            |                                    |                                  |                 |
| <b>400 - 600</b>                  | 33,79                            | 6,58            | < 800                              | 110,48                           | 21,52           |
| <b>600 - 800</b>                  | 35,15                            | 6,85            |                                    |                                  |                 |
| <b>800 - 1 000</b>                | 46,68                            | 9,09            |                                    |                                  |                 |
| <b>1 000 - 1 200</b>              | 62,16                            | 12,11           | 800 - 1 400                        | 231,40                           | 45,07           |
| <b>1 200 - 1 400</b>              | 122,56                           | 23,87           |                                    |                                  |                 |
| <b>1 400 - 1 600</b>              | 85,11                            | 16,58           |                                    |                                  |                 |
| <b>1 600 - 1 800</b>              | 50,44                            | 9,82            | 1 400 - 2 000                      | 166,19                           | 32,37           |
| <b>1 800 - 2 000</b>              | 30,64                            | 5,97            |                                    |                                  |                 |
| <b>2 000 - 2 200</b>              | 5,37                             | 1,05            | 2 000 - 2 400                      | 5,38                             | 1,05            |
| <b>2 200 - 2 400</b>              | 0,01                             | 0,002           |                                    |                                  |                 |
| <b>UKUPNO</b>                     | 513,45                           | 100             | <b>UKUPNO</b>                      | 513,45                           | 100             |

Hipsometrijski razredi imaju izrazito dinaridsko pružanje SZ-JI i relativno pravilan zonalni raspored. Idući od najnižih razreda u dolinskim proširenjima rijeka prema vršnom dijelu uglavnom se pravilno izmjenjuju. U kanjonskim dolinama Drežanke i Dive Grabovice bočne padine su većeg nagiba (32°-55°) uz pojavu strmaca pa su hipsometrijski razredi najuži. Na sjevernim i istočnim padinama Čvrsnice prijelaz u dolinu Doljanke i Neretve je postupniji. Najveći dio površine (23,87%) obuhvaća hipsometrijski razred od 1200 do 1400 m koji čini rubni dio područja: zavala Dugo polje, prijevoj Vitrinjača (Debelo brdo) te jugozapadne i južne padine Čabulje (sl. 12). U predplaninskom području prate ga niži razredi od 800 do 1200 m s 21,2% udjela u ukupnoj površini. Hipsometrijski razredi u vršnom dijelu planina iznad 1400 m znatno se razlikuju po odstupanjima u širini. Na Čabulji je široko zastupljen visinski razred od 1400 do 1600 m. Viši dijelovi (max. 1776 m) su manje nepovezane

grebenaste površine. Na Čvrsnici je zonalni slijed hipsometrijskih razreda šire zastupljen. Razredi 1400 - 1600 i 1600 - 1800 m najširi su na visoravnima Muharnica, Plasa i Mala Čvrsnica te na južnim padinama Velike Čvrsnice. Na Maloj Čvrsnici izmjenjuju se površine višeg i nižeg razreda zbog česte izmjene grebena, uvala i većih ponikava. Viši hipsometrijski razredi (max. 2225 m) prate pružanje hrptova (sl. 12).



Sl. 13. Histogram površina hipsometrijskih razreda:  
 a) Površine hipsometrijskih razreda (km<sup>2</sup>)  
 b) Površine hipsometrijskih pojaseva (km<sup>2</sup>)

Radi lakšeg prikaza generalnog rasprostiranja visina hipsometrijski razredi grupirani su u četiri hipsometrijska pojasa (tab. 2, sl. 13). Najniži pojas (do 800 m) obuhvaća četiri najniža razreda s površinom od 110,48 km<sup>2</sup> ili 21,52 % udjela u ukupnoj površini. To su područja u dolinama rijeka i njihovih pritoka i uvala Bogodol-Goranci (JI padine Čabulje). U strukturno-geomorfološkom pogledu to su akumulacijsko-denudacijski oblici reljefa.

Gotovo polovinu istraživanog područja s 231,4 km<sup>2</sup> ili 45,07 % površine zauzima predplaninski i planinski hipsometrijski pojas od 800 do 1400 m (sl. 13). Ovaj pojas obuhvaća najveći dio južnih padina Čabulje (Bile, Razboje, Bosiljina i Rosne poljane), jugozapadne padine Čvrsnice (Bare), zavalu Dugo polje i istočni dio visoravni Plasa (sl. 12).

## 5.2 Nagibi padina

Nagib padina definiran je kutem kojeg padina zatvara s horizontalnom ravninom. Na preoblikovanje padina odnosno njihovih nagiba utječu suprotnosti između endogenih i egzogenih čimbenika. Zato je analiza nagiba padina značajna za razumijevanje razvoja reljefa, osobito padinskih procesa. U lokalnim okvirima nagib padina predstavlja neposrednu posljednicu egzogenih geomorfoloških procesa (denudacije i akumulacije). U regionalnim okvirima nagib padina predstavlja pokazatelj djelovanja endogenih geomorfoloških procesa (recentna tektonska aktivnost). Prilikom analize vrijednosti nagibi padina klasiraju se prema jedinstvenom obrascu klasifikacije International Geographical Union (Marković, 1983).

*Tab. 3. Geomorfološka klasifikacija nagiba padina*

| <i>Red.br.</i> | <i>Nagib (°)</i> | <i>Opis</i>   |
|----------------|------------------|---|
| <b>1.</b>      | 0-2              | Ravnice; nema vidljivih tragova kretanja masa                         |
| <b>2.</b>      | 2-5              | Blago nagnuti teren; izraženo blago spiranje, tečenje i kliženje tla  |
| <b>3.</b>      | 5-12             | Nagnuti teren; pojačano spiranje i kretanje masa                      |
| <b>4.</b>      | 12-32            | Jako nagnuti teren; snažna erozija, spiranje i izrazito kretanje masa |
| <b>5.</b>      | 32-55            | Vrlo strm teren; dominira destrukcija                                 |
| <b>6.</b>      | > 55             | Strmci (litice, eskarpmani); urušavanje                               |

Izvor: Marković, 1988.

Standardna metoda mjerenja nagiba padina temelji se na mjerenju nagiba na topografskim kartama. Mjerenje se vrši unutar zadanog intervala nagiba konstrukcijom šablone za mjerenje ako se radi ručno. Vrijednosti intervala tj. horizontalnog razmaka između susjednih izohipsi računaju se prema sljedećoj formuli:

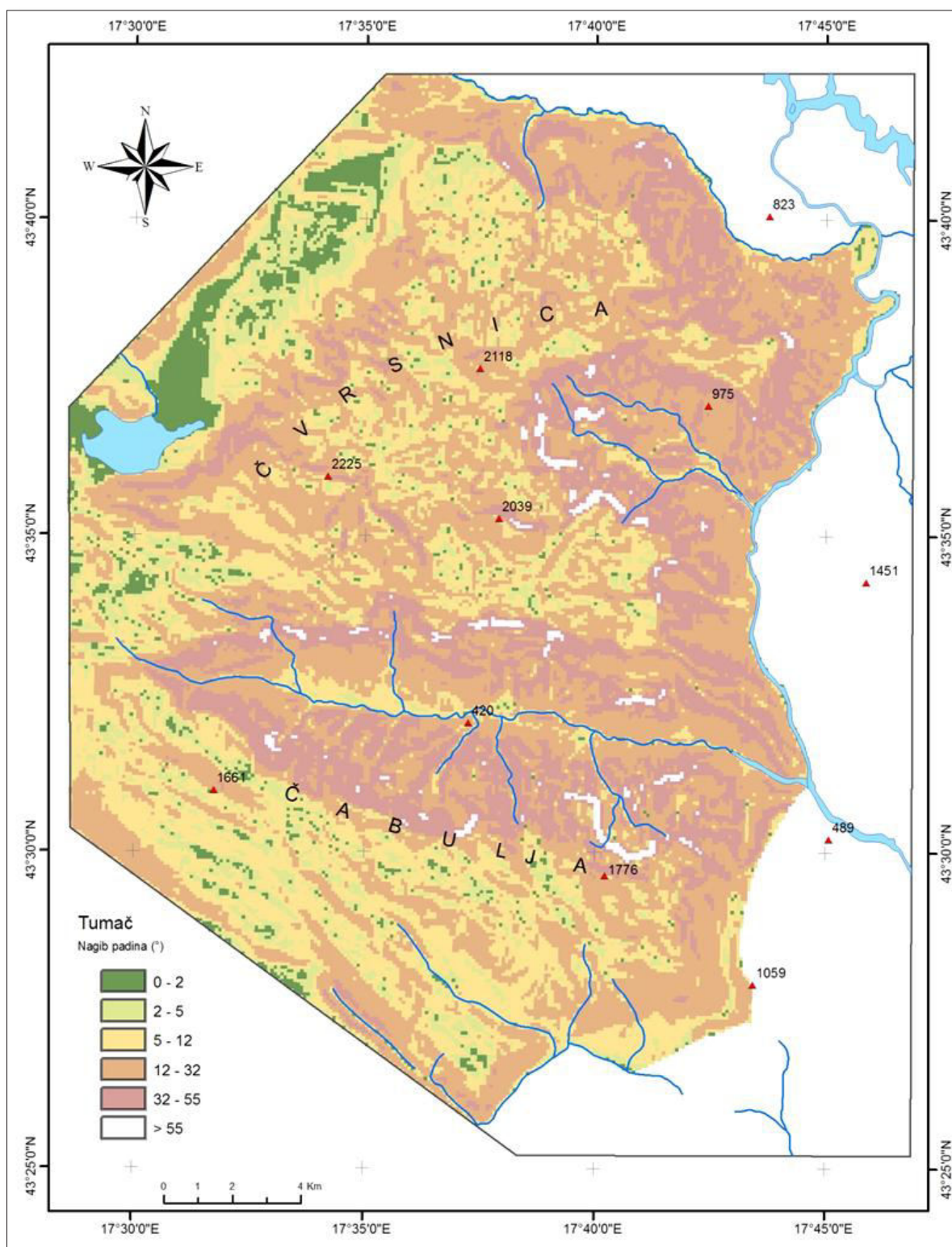
$$\boxed{\text{ctg } \alpha = i/e}$$

gdje je  $\alpha$  – kut nagiba padina (°)

$i$  – interval (m)

$e$  – ekvidistanca tj. visinska razlika susjednih izohipsi (m)

Budući je ekvidistanca stalna vrijednost za dato mjerilo karte, vrijednost intervala određena je kutom nagiba padine. Nakon izračunavanja vrijednosti nagiba vrši se interpolacija izolinija na temelju standardnih kategorija nagiba padina prikazanih u tablici 3. te izrađuje karta nagiba padina za određeno područje.

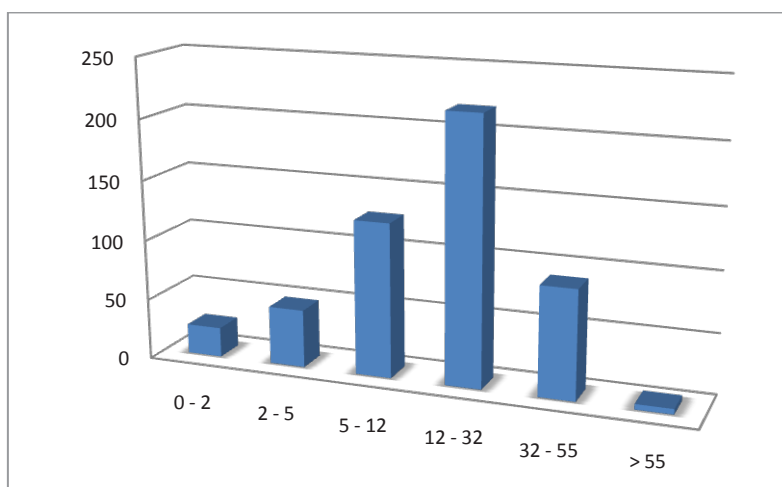


Sl. 14. Karta nagiba padina

**Tab. 4.** Površine kategorija nagiba padina i njihovi udjeli u ukupnoj površini istraživanog područja

| <i>Kategorije nagiba padina</i><br>(°) | <i>Površina (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Udio</i><br>(%) |
|--|----------------------------------|--------------------|
| <b>0 - 2</b>                           | 26,64                            | 5,19               |
| <b>2 - 5</b>                           | 48,07                            | 9,36               |
| <b>5 - 12</b>                          | 127,38                           | 24,80              |
| <b>12 -32</b>                          | 218,78                           | 42,60              |
| <b>32 - 55</b>                         | 90,02                            | 17,53              |
| <b>&gt; 55</b>                         | 4,55                             | 0,89               |

U radu je prikazana i analizirana karta nagiba padina temeljena na digitalnoj analizi reljefa (podatci DEM-a). Računanje nagiba definirano je maksimalnom komparacijom vrijednosti visina između središnje ćelije i okružujućih susjednih ćelija (Pahernik, 2005). Određivanje nagiba padine izračunato je derivacijom prvog reda vrijednosti unutar kvadrata 3x3. Izračunate vrijednosti za svaku ćeliju GRID-a interpolirane su te formirane izolinije koje određuju granične vrijednosti pojedinih kategorija nagiba. Na temelju njih izračunate su površine terena unutar svake kategorije nagiba (tab. 4, sl. 15).

**Sl. 15.** Histogram površina prema kategoriji nagiba padina

Zaravnjen reljef čine kategorije nagiba u prvoj i drugoj kategoriji, dakle od 0° do 5°. Tim kategorijama pripada 14,55 % udjela istraživanog područja. Čine ga dna riječnih dolina, zavala Dugog i Goranačkog polja, dna uvala na Barama, Dolima i longitudinalni niz uvala na južnim padinama Čabulje (sl.4). U ovu skupinu spadaju i uglavnom okršeni dijelovi pedimenta (Musa, 2005) prekriveni plikim ponikvama na padinama Muharnice, krajnje JZ padine Čvrsnice, Rosne poljane i dijelovi zaravni na Bilama te glacisi (Musa, 2005) u vidu



proluvijalnih i deluvijalnih plavina na zapadnim padinama Čvrsnice i južnim i jugozapadnim padinama Čabulje (sl. 14). Izuzev pedimenata, takve terene karakterizira dominacija akumulacijskih procesa.

U trećoj kategoriji nagiba, od 5° do 12° koja obuhvaća 24,8 % terena dolazi do izraženijih pokreta masa putem spiranja, jaruženja i erozije. Karakteristično je aktiviranje padinskih procesa osobito u periglacialnim područjima gdje su vidljivi recentni periglacialni procesi. Ovu kategoriju nagiba u istraživanom području obilježavaju prijelazna područja na kontaktu uvala i planinskih uzvišenja, zatim područja visoravni Čvrsnice i Čabulje te dijelovi zaravni Bosiljine i Bila (sl. 14).

Najveće homogene površine istog nagiba nalaze se u okviru četvrte kategorije. Padine s nagibima od 12° do 32° obuhvaćaju 42,6 % površine što je sukladno obilježjima istraživanog područja. Površine ove kategorije su pod utjecajem gravitacijskih procesa s izraženom spiranjem, jaruženjem i kliženjem terena. Na površinama ovih i viših nagiba vidljivi su tragovi egzaracije (krnice, valov). Posebno je razvijen proces jaruženja padina pri protoku povremenih bujičnih tokova. Klizanje terena odvija se pri periglacialnim procesima ili na pedološkom supstratu s prevlašću glina. Padine ove kategorije razvijene su u kanjonskim dolinama Neretve, Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke i povremenoh toka Brinje (sl. 14) te prate hrptove u vršnom dijelu Čvrsnice (Vilinac, V. i M. Čvrsnica) i Čabulje (Vlajna, Bile stine, Doci i Vranić).

Peta kategorija nagiba padina od 32° do 55° obuhvaća 17,53 % udjela površine. Predstavlja izuzetno strme terene na kojima su procesi urušavanja i osipanja česti. Na pregibnom dijelu prema strmcima pojavljuju se niži djelovi sipara, koluvijalnih zastora i urušne kupe. Na ovim padinama jača je jaružna aktivnost i destrukcija reljefa usljed krionivacijskih procesa. One su strukturno predisponirane. Uspoređujući kartu nagiba sa strukturnom kartom (OGK list Mostar (Mojičević i Laušević, 1973) i list Prozor (Sofilj i Živanović, 1979), uočava se podudarnost pravca pružanja najvećih nagiba padina s pravcima pružanja rasjeda. Posebno je to izraženo na strukturnim strmcima nagiba većeg od 55° (šesta kategorija) uz čeone navlake (južne padine Čvrsnice), glavne i njima poprečne (lokalne) rasjede koji imaju glavnu ulogu u stvaranju mezo i makromorfoloških elemenata ovih morfostruktura.

Izraženije strmce i duboke jaruge nalazimo na padinama sjeverne i djelomice jugozapadne ekspozicije. To su južne padine dubokih kanjonskih dolina Doljanke, Dive Grabovice i Drežanke i djelom strukturni strmac JZ Čvrsnice (sl. 14).

Dakle, peta i šesta kategorija nagiba obuhvaća područje kanjonskih dolina Neretve, Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke, sjeverni dio vršnog hrpta Male Čvrsnice i JZ strmac Čvrsnice (sl. 14).

### 5.3 Vertikalna raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa određena je visinom reljefa, odnosno visinskom razlikom najviše i najniže točke unutar promatrane jedinične površine (Lozić, 2000). Definirana je formulom:

$$V_r = \Delta h / P$$

gdje je  $\Delta h$  – visinska razlika najviše i najniže točke  
 $P$  – površina na kojoj se mjeri vertikalna raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa uvjetovana je obilježjima terena (litološki sastav i raspored, hidrološke značajke terena itd.) i predstavlja parametar intenziteta razvoja egzogenih procesa na određenoj površini. Na područjima s većom vertikalnom raščlanjenosti reljefa intenzitet denudacije je veći, dok na područjima male vertikalne raščlanjenosti reljefa dolazi do pojačane akumulacije. Ova područja mogu se locirati mjerenjem i statističkom obradom, a dobiveni podaci mogu biti značajni u inženjerskoj geologiji i geomorfologiji (stabilnost padina), u istraživanju ležišta mineralnih sirovina, pedologiji (iskoristivost tla) i sl.

U širem, regionalnom smislu, vertikalna raščlanjenost reljefa odraz je najmlađih tektonskih pokreta. Vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa predstavljaju parametar neotektonske aktivnosti terena, a regionalnom analizom dobijaju se podaci o položaju neotektonskih struktura, intenzitetu i predznaku pokreta. Ovakvi pokazatelji značajni su kod geomorfoloških istraživanja, seizmotektonskih ispitivanja, inženjersko-geoloških istraživanja, regionalnih hidrogeoloških istraživanja i dr. (Marković, 1983).

Prilikom izračuna i izrade karte vertikalne raščlanjenosti reljefa moguće je koristiti dvije metode klasičnu i digitalnu. Klasična metoda temelji se na podlozi analognih topografskih karata. Naime, topografska karta podjeli se na mrežu jediničnih kvadrata 1 x 1 cm tj. 1 km<sup>2</sup> u prirodi (prema mjerilu 1:100 000) zatim se za svaki kvadrat mjeri najviša i najniža točka te se izračuna njihova razlika.

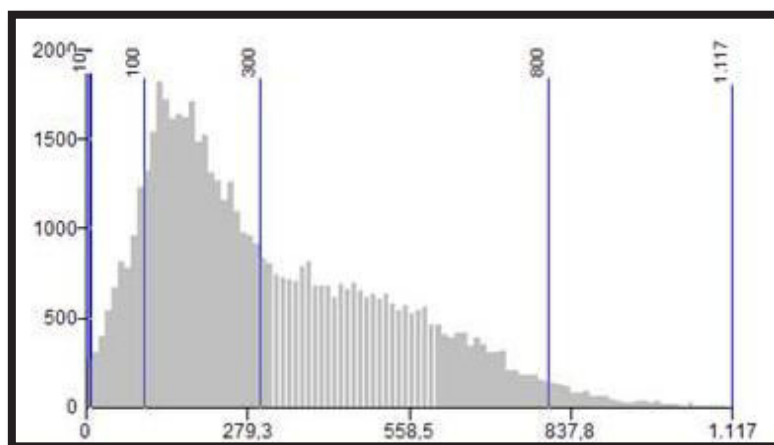
U ovom radu, kao izvor podataka korišten je digitalni model reljefa (DEM) s 205 380 jediničnih ćelija. Podaci za izračunavanje parametra vertikalne raščlanjenosti dobiveni su tako da se za svaku jediničnu ćeliju određuje krug radijusa 564 m (površine 1 km<sup>2</sup>). U definiranom krugu određuje se najviša i najniža točka iz kojih se izračunava razlika tih vrijednosti. Korištenjem digitalne metode postupak rada je brži, točniji i precizniji jer ima onoliko mjerenja jediničnih površina koliko ima jediničnih ćelija DEM-a. Tako je na istraživanom

području površine 513,45 km<sup>2</sup> izvršeno 205 380 mjerenja što je gotovo 100 puta više od izračuna klasičnom metodom (513 x 4 = 2052 mjerenja). Na temelju dobivenih podataka izvršena je interpolacija izolinja na karti. Vrijednosti kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa prikazane su prema standardnoj klasifikaciji reljefa (Bognar, 1992).

*Tab. 5.* Standardne kategorije raščlanjenosti reljefa (Bognar, 1992)

| Red.br. | Kategorija (m/km <sup>2</sup> ) | Opis                            |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1.      | 0 - 5                           | Zaravnjen reljef                |
| 2.      | 5 - 30                          | Slabo raščlanjen reljef         |
| 3.      | 30 - 100                        | Slabo raščlanjen reljef         |
| 4.      | 100 - 300                       | Umjereno raščlanjen reljef      |
| 5.      | 300 - 800                       | Izrazito raščlanjen reljef      |
| 6.      | > 800                           | Vrlo izrazito raščlanjen reljef |

Prosječna vertikalna raščlanjenost reljefa na istraživanom prostoru iznosi 321,1 m/km<sup>2</sup>. Prema standardnoj klasifikaciji (tab. 5.) ulazi u kategoriju izrazito raščlanjenog reljefa.



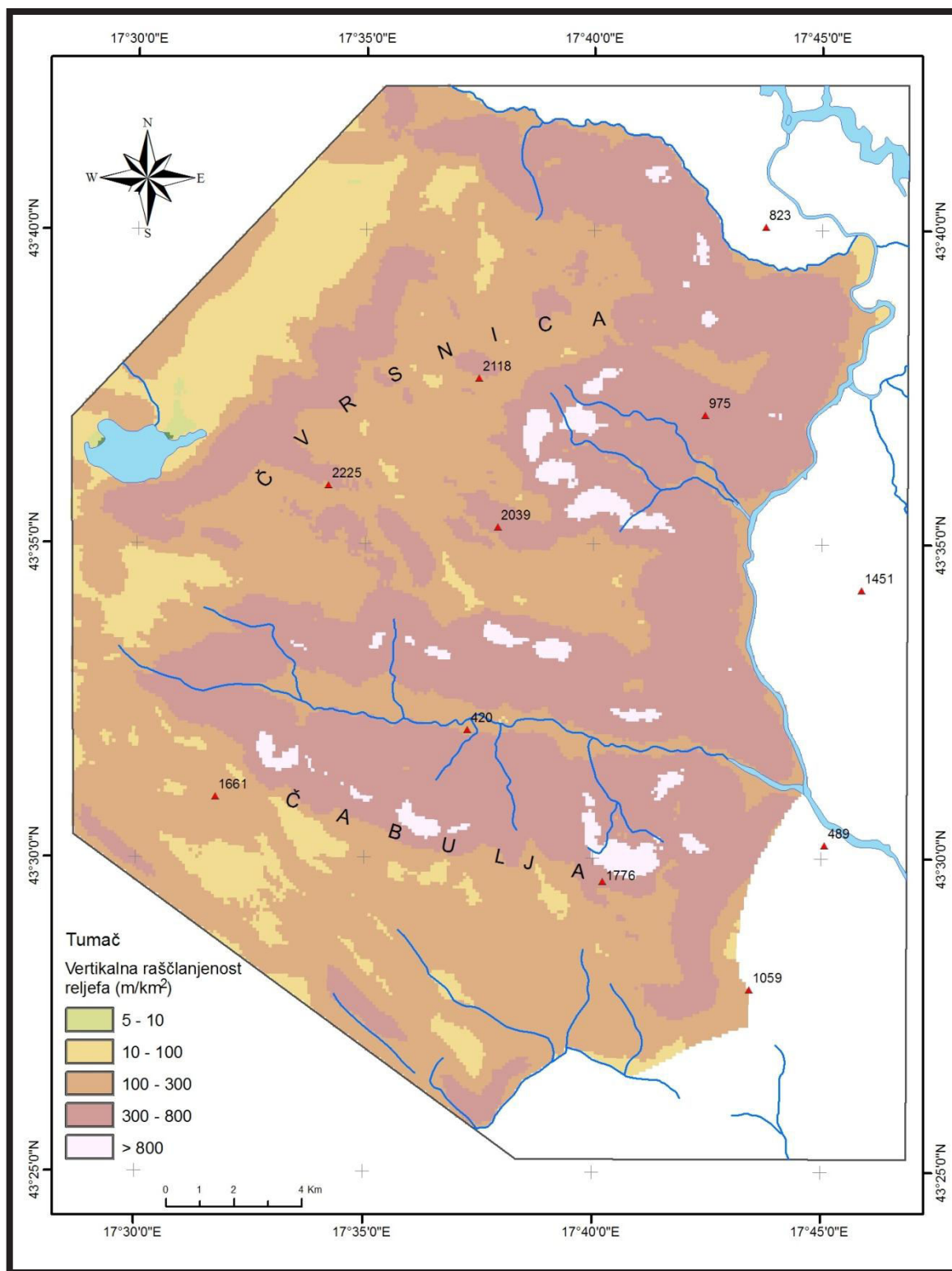
*Sl. 16.* Histogram vertikalne raščlanjenosti jediničnih ćelija GRID-a na istraživanom području  
(na osi x prikazane su visina, a na osi y broj jediničnih ćelija)

Histogram vertikalne raščlanjenosti reljefa (sl. 16) prikazuje najveće vrijednosti jediničnih točaka u rasponu od 120 do 200 m/km<sup>2</sup>. To upućuje na najveći udio tektonski poremećenog i razlomljenog reljefa s dubokim ponikvama i uvalama. Broj jediničnih ćelija u nižem rasponu vertikalne raščlanjenosti (lijevo od maksimuma) se naglo smanjuje što ukazuje na mali dio ravnih odnosno zaravnjenih dijelova. Uglavnom su to područja dolina i uvala te djelomice zaravnjeni dijelovi uzvišenja. Ocrta broja jediničnih ćelija više vertikalne raščlanjenosti u

odnosu na maksimalnu, prati donekle konkavan obris. Nagli pad je vidljiv u veličini jediničnih ćelija raspona od 250 m/km<sup>2</sup> do 300 m/km<sup>2</sup>. To su područja u prijelaznoj zoni blokova prema strmcima, rubnim područjima greda, duboke jaruge i slično. Broj jediničnih ćelija vertikalne raščlanjenosti reljefa u rasponu od 320 m/km<sup>2</sup> do 580 m/km<sup>2</sup> gotovo je ujednačen. Ovu zonu čini reljef na padinama, tzv. prve stepenice ispod strmih vrhova na kojima se akumulira koluvijalni material koji gravitacijski klizi i zapunjava udubine. Na padinama prekrivenim šumskom vegetacijom vertikalna raščlanjenost reljefa je nešto niža (do 400 m/km<sup>2</sup>). Najviše vrijednosti vertikalne raščlanjenosti (>800 m/km<sup>2</sup>) reljefa zastupljene su malim brojem jediničnih ćelija. To su tektonski predisponirani gotovo vertikalni strmci i izdignuti vršni blokovi.

Prostorno raspoređene visoke vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa ukazuju na smjer i intenzitet neotektonskih pokreta u istraživanom području. Najrašćlanjeniji dijelovi prate strme padine kanjona i uvala. To su prostori nastali rasjednom tektonikom odnosno raščlanjeni nizom glavnih i lokalnih rajeda u reljefu predstavljenih strmcima i većim nagibima.

Analiza vertikalne raščlanjenosti reljefa ukazuje na odnos neotektonskih pokreta i procesa denudacije i akumulacije u prostoru. Visoke vrijednosti raščlanjenosti reljefa ukazuju na neotektonsko izdizanje koje je praćeno denudacijskim procesima dok manje vrijednosti ukazuju na neotektonsko spušćanje praćeno akumulacijskim procesima materijala. Niže vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa vezane su za uvale i doline rijeka s predispozicijom područja akumulacije glacijalnog, krškog i fluvioglacijalnog materijala. Prostorni raspored varijable vertikalne raščlanjenosti reljefa za istraživano područje prikazan je na karti vertikalne raščlanjenosti reljefa (sl. 17).



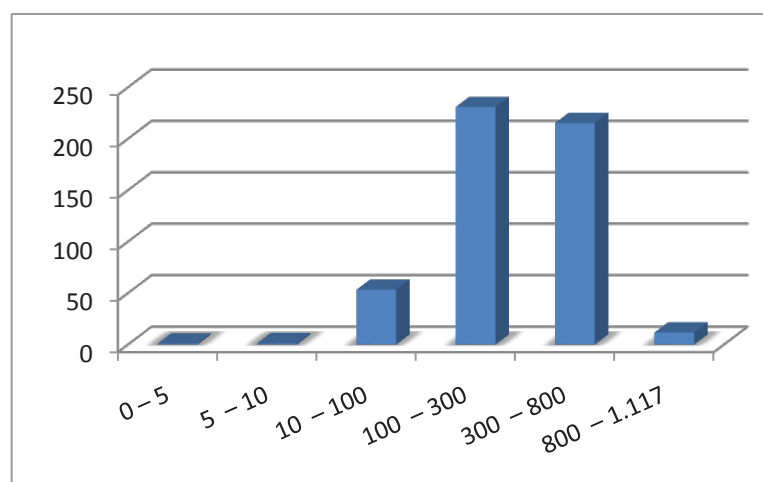
Sl.17. Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa

Na najvećem dijelu područja zastupljeni su razredi od 100 do 300 m/km<sup>2</sup> i od 300 do 800 m/km<sup>2</sup> s površinom od 446,26 km<sup>2</sup> ili 86,91% udjela (tab. 6). To su raščlanjena vršna područja, prijevoji i padine.

*Tab. 6. Površina razreda vertikalne raščlanjenosti reljefa i njihovi udjeli u ukupnoj površini istraživanog terena*

| <i>Razredi vertikalne raščlanjenosti reljefa (m/km<sup>2</sup>)</i>             | <i>Površina (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Udio (%)</i> |
|---|----------------------------------|-----------------|
| <b>0 – 5</b>  | 1,04                             | 0,20            |
| <b>5 – 10</b>   | 1,23                             | 0,24            |
| <b>10 – 100</b>   | 53,24                            | 10,37           |
| <b>100 – 300</b>  | 230,92                           | 44,97           |
| <b>300 – 800</b>  | 215,34                           | 41,94           |
| <b>800 – 1.117</b>  | 11,68                            | 2,27            |
| <b>Prosječna vertikalna raščlanjenost reljefa iznosi 321,1 m/km<sup>2</sup></b> |                                  |                 |

Prostorno najveći udio od 44,97% ili 230,92 km<sup>2</sup> površine obuhvaća umjereno raščlanjen reljef, od 100 do 300 m/km<sup>2</sup>. Rasprostire se u vršnom planinskom dijelu (hrptovi Velika i Mala Čvrsnica, Veliki i Mali Vilinac, Vlajna, Bosiljina, Bile stine i Bile, te raščlanjene zaravni Muharnica i Plasa), na južnim i jugozapadnim padinama Čabulje (udoline Bogodol, Ladina i Rosne poljane), pojas na zapadnoj i jugozapadnoj padini Čvrsnice, te prijevojne zone Sovića, Vitrinjače i Karamanovih klanaca (sl. 16). Ovu zonu gotovo omeđuju izduljeni pojasevi izrazito raščlanjenog reljefa, razred od 300 do 800 m/km<sup>2</sup>, s površinom od 215,34 km<sup>2</sup> ili 41,94% (tab. 6, sl. 18).



*Sl. 18. Histogram površina razreda vertikalne raščlanjenosti reljefa*

Područja vrlo izrazitog raščlanjenog reljefa, (razred  $800 \text{ m/km}^2 <$ ), nalazi se unutar niže kategorije i zauzima površinu od  $11,68 \text{ km}^2$  (2,27%). Položaj ovih površina otočnog karaktera vezan je za strmce i najrašćlanjenije dijelove sjevernih padina Čabulje, južnih, istočnih i sjevernih padina Čvrsnice (kanjoni rijeka), (sl. 17).



## 5.4 Ekspozicija padina

Ekspozicija padina u smjeru najvećeg nagiba predstavlja njezinu orijentaciju s obzirom na strane svijeta. Kut se određuje najčešće od smjera sjevera u smjeru kazaljke na satu. Ekspozicija u stupnjevima izračunata je metodom graničnih razlika. Izračunom ekspozicije na temelju digitalnog modela reljefa unutar ArcGIS programskog paketa određene su vrijednosti ekspozicija padina istraživanog područja prema rasponu azimuta glavnih i pomoćnih strana svijeta.

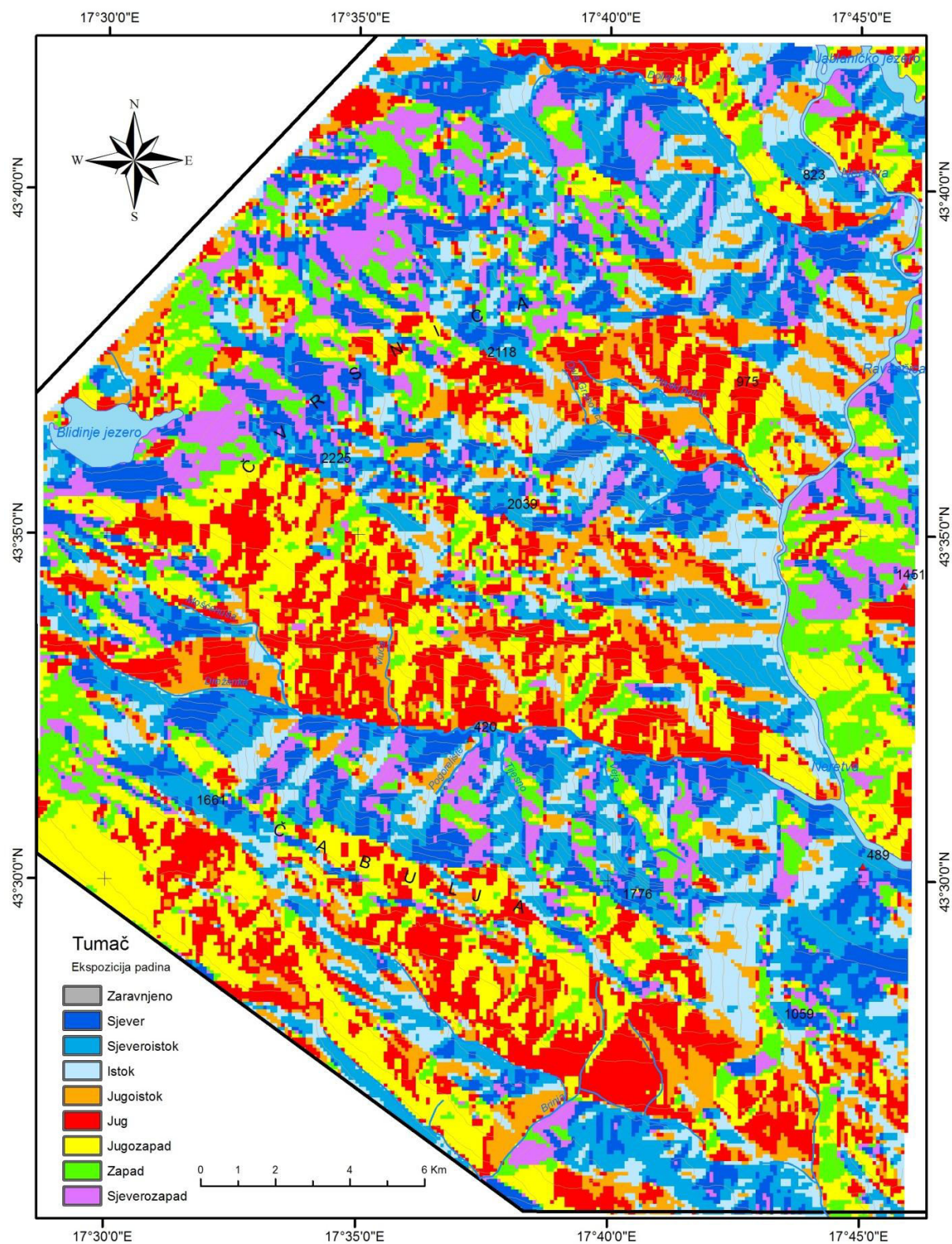
Analizom ekspozicije reljefa izdvojena su područja glacijalnog reljefa prema prisojnim i osojnim stranama. Ekspozicije istočne i zapadne orijentacije predstavljaju zone razdvajanja te imaju sekundano značenje.

Prema orijentaciji reljef je svrstan u tri kategorije:

- Sjeverne ekspozicije u okviru azimuta od 285° do 75°.
- Južne ekspozicije u okviru azimuta od 105° do 255°.
- Istočne od 75° do 105°.
- Zapadne ekspozicije od 255° do 285°.

Značenje ekspozicije na intenzitet recentnih geomorfoloških procesa očituje se poglavito u modificiranju utjecaja Sunčeva zračenja na amplitude temperature zraka i tla, mehaničku rastrožbu stijenske mase, dužinu vegetacijskog perioda, te nejednaku izloženost padina smjeru kišonosnih vjetrova i dr. Maksimalne razlike utjecaja ekspozicije na spomenute pojave uočavaju se u nasuprotnim ekspozicijama smjerom meridijanskog pružanja, tzv. osojnim i prisojnim padinama (Pahernik, 2007).

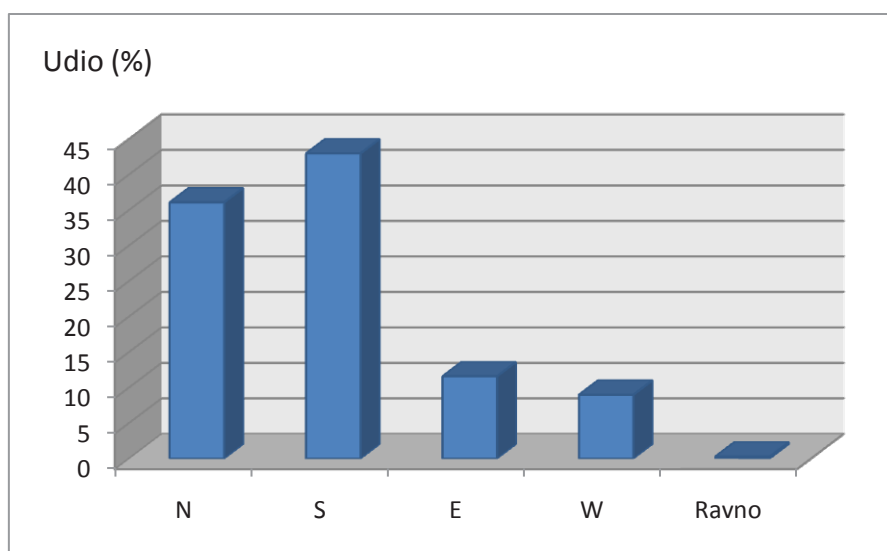
Preduvjet za intenzivniji utjecaj procesa uzorkovanih sunčevim zračenjem na oblikovanje glacijalnog reljefa ima inicijalni reljef. Orijetacija reljefa uvjetovana je položajem morfostrukturnih jedinica. U istraživanom području dominira umjerena i izrazita raščlanjenost reljefa (sl. 17) smjerom dinaridskog pravca pružanja. Tako su najvećim dijelom padine hrptova i dubokih kanjonskih dolina izložene južnoj (43%) i sjevernoj (36,1%) ekspoziciji (sl. 20, tab. 7, sl. 21).



Sl. 19. Karta ekspozicije padina

*Tab. 7. Udio ekspozicije u istraživanom području*

| <i>Ekspozicija</i> |    | <i>Udio (%)</i> |      |
|--------------------|----|-----------------|------|
| <b>Sjeverna</b>    | N  | 12,0            | 36,1 |
|                    | NE | 15,4            |      |
|                    | NW | 8,7             |      |
| <b>Južne</b>       | S  | 17,3            | 43,0 |
|                    | SE | 10,1            |      |
|                    | SW | 15,6            |      |
| <b>Istočne (E)</b> |    | 11,6            |      |
| <b>Zapadne (W)</b> |    | 9,0             |      |
| <b>Ravno</b>       |    | 0,3             |      |
| <b>Ukupno</b>      |    | 100,0           |      |

*Sl. 20. Histogram površine ekspozicije padina*

Padine južne orijentacije imaju najveći udio (17,3%) u ukupnoj ekspoziciji. U kombinaciji s jugozapadno orijentiranim padinama dominiraju duž hrptova Velike Čvrsnice i Čabulje (sl. 19). Uslijed dugotrajne izloženosti temperaturnoj inverziji i posljedičnoj mehaničkoj rastrožbi ovaj prostor karakterizira veliki broj plitkih ponikava i podinskog kršja. U vrijeme oledbe predstavljale su akumulacije snježnog nanosa. Zbog duže izloženosti Sunčevoj radijaciji snijeg se brže otapa i djeluje na deformaciju podine snježnicom (prijenos kršja) i korozijom (sl. 21). Proces je evidentan i u razvoju recentnog reljefa (denudirani južni rubovi ponikava).

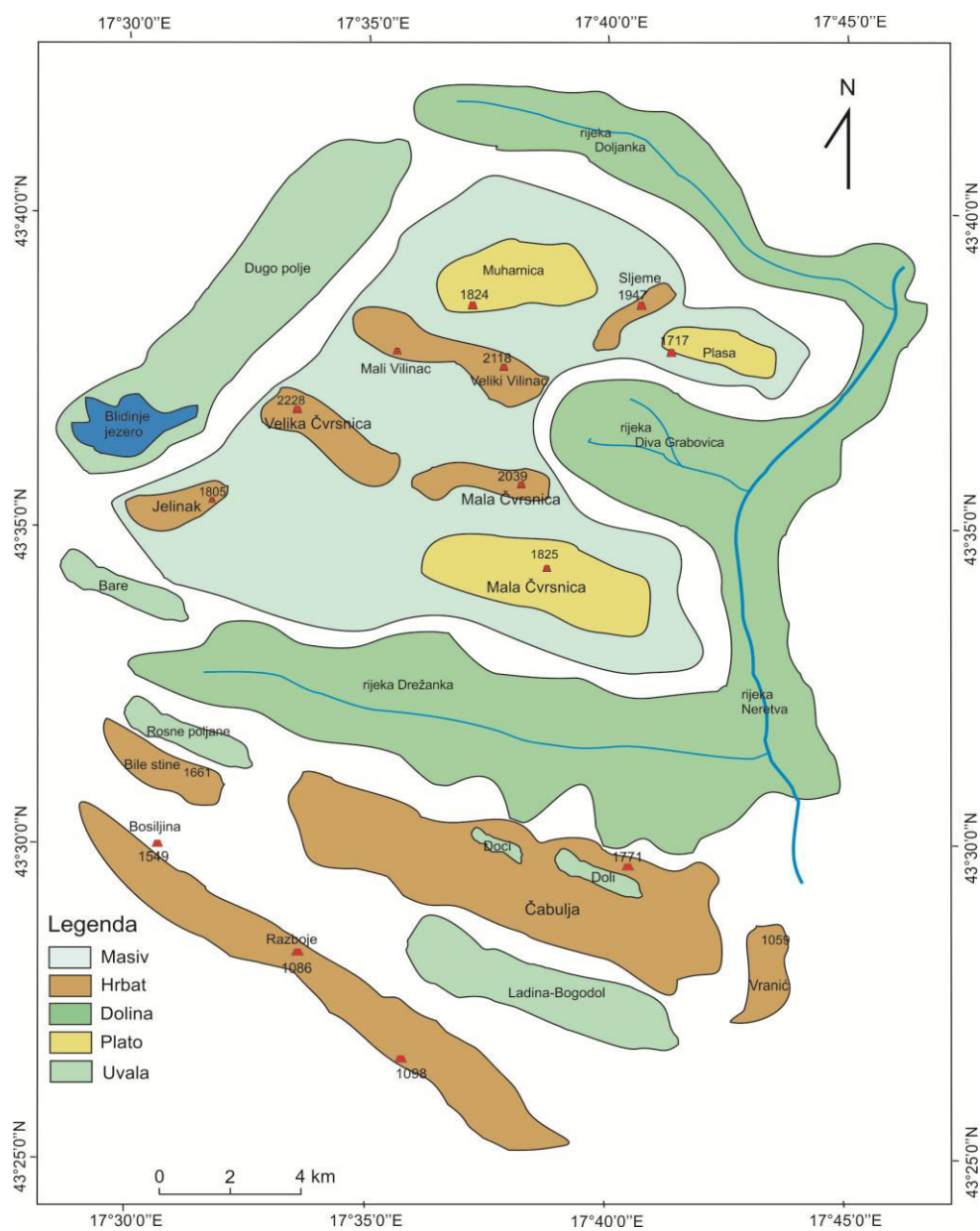


*Sl.21. Denudirana južna padina ponikve*

Područja sjevernih ekspozicija obuhvaćaju južne padine kanjonskih dolina, sjeverne padine hrptova te najveći dio visoravni Muharnica (sl. 19). Pretpostavlja se da su niže temperature i ekspozicija omogućile zadržavanje snijega i leda tijekom ljeta (cirkovi i uvale) što je imalo za posljedicu bolje očuvan ledenjački reljef.

## 6. Orografska struktura reljefa

Morfometrijski odnosi ukazuju na orografsku specifičnost visokoplaninskih predjela gdje se prema morfografskim i morfometrijskim odlikama mogu izdvojiti masiv, hrptovi, platoi, uvale, zavale i doline kao osnovni elementi reljefa. S obzirom na njihov istaknuti položaj u odnosu na okolni reljef generalno se dijele na pozitivne odnosno denudacijsko-tektonske (masivi, hrptovi, platoi, pobrđa) i negativne odnosno akumulacijsko-tektonske morfostrukture (uvale, zavale, doline) (sl. 22).



Sl. 22. Orografska struktura reljefa - shema

## 6.1 Masiv Čvrsnice

Najveću orografsku cjelinu istraživanog područja čini masiv Čvrsnice. To je jasno izdvojen, raščlanjen ali visinski ujednačen masiv. Okomito na pravac pružanja izdvojene su manje orografske cjeline hrptovi i blokovi koji su disecirani ledenjački preoblikovanim dubokim dolinama, platoi i uvale. Na reljefnu disekciju cijelog prostora utjecali su još destruktivski procesi: nivalni, periglacialni, padinski i krški. Najviši hipsometrijski katovi označavaju hrptove koji sukladno borano-rasjednoj i borano-navlačnoj strukturi dominiraju istraživanim područjem.



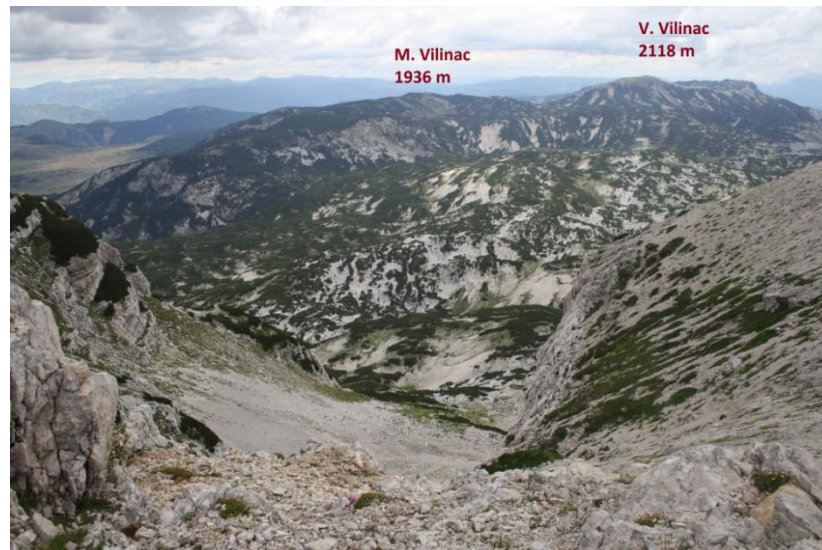
Sl. 23. Hrbat Velike i Male Čvrsnice

Hrptovi Velike i Male Čvrsnice nalaze se na južnom, najširem dijelu masiva (dužine oko 15 km), a sastoje se od dva usporedna hrpta pravca pružanja SZ-JI. Pored vrha Pločno (2228 m) na hrptu Velike Čvrsnice u istom nizu nalaze se još tri vrha iznad 2000 m: Ivina kosa (2119 m), Kapci (2156 m), Veliki Jelinak (2170 m) te južno od Pločnog vrh Čuprija (2101 m), (sl. 23). Padine hrptova su asimetrične (sl. 23). Južna strana je položita dok se sjeverni dio strmo spušta prema polukružnim uvalama (područje cirka) ili kanjonskim dolinama (M. Čvrsnica). Cijeli prostor je razmrvljen uz veliku količinu koluvijalnog materijala.

Hrbat Velike Čvrsnice spušta se položitom padinom kontinuiranog hipsometrijskog slijeda (izohipse gotovo paralelne) prema jugozapadu (uvala Bare, 1 400 m). Uvala je oblikovana u flišu i predstavlja hidrološki kolektor zone hrpta i okolnog prostora. Sjeverne padine hrpta strmo se spuštaju prema platou kojeg čini mreža uvala i ponikava.

U istočnom dijelu masiva, u međudolinskom prostoru (doline Dive Grabovice, Neretve i Drežanke) pruža se hrbat Male Čvrsnice. To je morfološki nastavak hrpta Velike Čvrsnice

odvojen prijevojem Paka. Južne i istočne padine hrpta prelaze u plato diseciran ponikvama i malim uvalama. Niska greda Grabovska (1630 - 1660 m) odvaja, hidrološki kolektor Male Čvrsnice, uvalu Mrkušin gvozd (sjeveroistočni dio).



*Sl. 24. Hrbat Viliaca u središnjem dijelu masiva*

Hrbat Velikog (2118 m) i Malog (1936 m) Viliaca pruža se središnjim dijelom masiva (sl. 24). Paralelno pružanje hrptova Čvrsnice i Viliaca posljedica je tektonske predispozicije odnosno pružanja rasjedne zone smjerom SZ-JI. Sjeverne padine Viliaca strmo se spuštaju (jaruge, točila) prema platou Muharnica. Na krajnjem sjeveru masiva mogu se izdvojiti dvije orografske cjeline platoi Muharnica i istočnije Plasa. To je zapravo ista morfološka cjelina koja je naknadno tektonski raščlanjena. Visoravan Plasa je strukturni blok odvojen od masiva rasjedima smjera SZ-JI i SI-JZ i rotacijski pomaknut (sjeverozapadni dio je viši).



a) Povezane uvale



b) Padina prema Dugom polju

*Sl. 25. Visoravan Muharnica*

Muharnica je također tektonski disecirana uvalama i brojnim ponikvama (sl. 25a). Na kontaktu vapnenca i dolomita pojavljuju se izvori i lokve. Plato se sa zapadne strane blago spušta prema Dugom polju (sl. 25b) dok je na istoku odijeljena od Plase grebenom Sljemena (1941 m).

Krajni sjeveroistočni dio masiva u međudolinskom (dolina Doljanke, Neretve i Dive Grabovice) prostoru čini plato Plasa. Sjeverozapadni viši dio (1600 – 1700 m) odvojen je grbenom Glavica (1576 m) od nižeg zaravnjenog dijela. To je šumovit prostor, a povremeno se javljaju izvori i lokve.



## 6.2 Hrbat Čabulje

Hrbat Čabulje prostire se u južnom dijelu istraživanog područja. Može se podijeliti na orografske cjeline: vršni hrbat Čabulje, uvale Rosne poljane, Ladina, Bogodol i zaravni Bile, Razboje i Bosiljina (sl. 22).

Vršni dio hrpta Čabulje proteže se dinaridskim pravcem pružanja u dužini od oko 11 km, od zaravni Raška gora na istoku do uvale Poljica na zapadu. Strane su joj asimetrične. Sjeverne padine se strmo obrušavaju u kanjonsku dolinu Drežanke, a vrhovi predstavljaju niz najviših grebena Velika Vlajna (1780 m), Mala Vlajna (1743 m), Sastavci (1698 m), Ošljari (1683 m), Medved (1679 m) i dr. Središnjim dijelom paralelno s vrhovima, prolazi rasjedno predisponirana uvala Dolovi (JI) i Gornji Doci (JZ).

To je područje mrežasto isprepletenih glavica i uvala s okršnim ponikvama. Južne padine su blaže ( $5^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) i spuštaju se prema uvali Ladina-Bogodol. Čabulja nema razvijenu hidrološku mrežu. Stalni vodeni tokovi u obliku kratkih potoka (izvor-ponor) razvijeni su na kontaktu vapnenca i dolomita, a povremene bujice prikuplja rječica Brinja (sl. 27).



Sl. 26. Gornji dio uvale Ladina-Bogodol

Vršni dio hrpta Čabulje na zapadu prelazi u uvalu Poljica-Rosne poljane (1400 m). Dno joj je okršeno i prekriveno ponikvama (sl. 27). Tim područjem pruža se rasjedna zona kojom je odvojena i izdignuta zaravan Bosiljine (greben Bile stine 1661 m i Rakitski gvozd 1627 m), (Musa, 2004).



Sl.27. Hrbat Rakitski gvozd - prijelaz u uvalu Rosne poljane



a) škrapar na Bosiljini;



b) uvale i ponikve na Razdolju



c) mrežaste škrabe na Razdolju

**Sl. 28.** Elementi krškog reljefa na zaravni Bosiljine - Razdolje - Bile:

Antiklinalno uzvišenje na krajnjem jugu istraživanog područja, Bosiljine (JZ), Razdoje (J) i Bile (JI) je jako okrššen prostor s većim brojem ponikava, malih uvala i škrapa (sl. 28). Zaravan zapadne Hercegovine nekad je činila jedinstvenu plohu koja je tektonski razdrobljena te neki dijelovi izdignuti, odnosno spušteni (Musa, 2004). Tijekom humidnije faze u geološkoj prošlosti, ta razdrobljenost pogodovala je razvoju procesa okršavanja što ima za posljedicu nastajanje brojnih ponikava, uvala, suhih okrššenih dolina, škrapa, humova koji nekadašnjoj zaravni daju izgled brežuljkastog reljefa (sl. 28). Ukoliko tomu dodamo utjecaj nivalnih procesa i zadržavanje leda u pukotinama proces okršavanja je brži. Uvalom Dobrinj-Grabova Draga (južna granica istraživanog područja) prolazi rasjed kojim je zaravan u neotektonskoj fazi izdignuta (Musa, 2004).

### 6.3 Zavala Dugo polje

Zavala Dugog polja nalazi se na krajnjem sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja, na visini od 1180 m do 1300 m (sl. 29). Njen nastanak vezan je za zonu rasjeda poprečnih na dinaridski pravac pružanja kojim je izdignuta i odvojena Čvrsnica (strmci do 1800 m) s jugoistočne strane i Vran planina sa sjeverozapadne strane.



Sl. 29. Zavala - polje u kršu Dugo polje

Polje predstavlja akumulacijsko tektonsku morfostrukturu (Bognar i Šimunović, 2005). Dno je ispunjeno glacijalnim i glaciofluvijalnim materijalom. U središnjem dijelu, na kontaktu planina iznad akumuliranog materijala nalazi se zaravnjeno uzvišenje Hrbine (1250 m) koje dijeli polje na sjeveroistočni (Risovac i Rudo polje) i jugozapadni (Dugo polje) dio s jezerom Blidinje. Dno polja je asimetrično zbog akumulacije morenskog nanosa (rubni JI dio). Uz rasjedni kontakt nalazi se zona stalnih i povremenih izvora s kratkim površinskim tokovima (Brčanaj, Jasle i dr.) te zona ponora kojim se vode procjeđuju prema poriječju Neretve.

Jezero Blidinje na krajnjem jugozapadnom dijelu polja predstavlja najveću hidrološku površinu. Nastalo je u udubljenju na najnižoj visinskoj točki (1180 m). Ima odlike periodičnog jezera. Količina vode, a tim i njegova površina (max 6 km<sup>2</sup>) ovisi o količini padalina, dotoku snježnice i podzemne vode<sup>1</sup>. Vode se procjeđuju kroz zonu ponora uz strmac Čvrsnice.

<sup>1</sup>Budući je ovo stočarski kraj, jezero kao najveća vodena površina predstavlja važan segment opstanka. Stoga su ponori uz rub jezera umjetno zatrpavani. Međutim, danas sve veća opasnost prijeteći od zablatnjivanja i zatrpavanja jezera zbog zatrpavanja vjetrom nošenih čestica s ogoljelih padina Vrana.

## 6.4 Doline rijeka Doljanke, Dive Grabovice i Drežanke

Kanjonske doline rijeka Doljanke, Dive Grabovice i Drežanke zasebne su orografske cjeline. Srednji tok Neretve pruža se pravcem S-J i ima odlike kanjonske doline između strmih (do 55°) i visokih (do 1400 m) padina Čvrsnice i Prenja. Poprečno na njen tok formirane su kanjonske doline pritoka Doljanke (dužine 17 km), Dive Grabovice (dužine 6,5 km) i Drežanke (dužine 20 km). Prema morfostrukturnim obilježjima nastale su kao posljedica rasjednih deformacija u graničnom i središnjem dijelu Čvrsnice. Padine su visoke i strme s nagibom i preko 55° (strmci) i energijom reljefa većom od 800 m/km<sup>2</sup>. Aktivni su padinski procesi i regresivna erozija. Dna su prekrivena fluvio-glacijalnim i padinskim materijalom.

Dolina Doljanke je kompozitna. Između užih dijelova kanjona nastala su četiri proširenja U gornjem dijelu (Sovići dužine 5 km) padine Čvrsnice (Ivan-dolac) blago se spuštaju (5°-12°) što dolinu čini širom od ostalog dijela. Korito rijeke formirano je u vapnencima s debelim slojem pedološkog supstrata (crnice).



Sl. 30. Suženje doline Doljanke (zaseok Kraje)

Od zaseoka Kraje (sl. 30) kanjon se sužava (1,5 km) i ulazi u proširenje Doljani dužine 3 km. Obale su širine do 1 km prekrivene fluvio-glacijalnim materijalom i nanosom proluvijalnih konusa s Čvrsnice (Krkača, Stupari). Proširenja Kosne luke (duž. 2,5 km) i Zlate (duž. 4 km) nastala su taloženjem fluvio-glacijalnog materijala u koritu.

Dolina Dive Grabovice razvijena je u istočnom dijelu masiva. Nastala je kao rezultat razaranja duž zone rasjeda koji se pružaju središnjom Čvrsnicom. Hrbat Bijele stijene (1266

m) i Crni vrh (712 m) pružaju se pravcem istok-zapad te dijele dolinu na dva dijela. Sjeverno korito pritoke Plaški potok dužine od oko 4 km prikuplja vode (bujični tokovi) s masiva (Plase, Strmenica, Tise).



*Sl. 31. Dolina Dive Grabovice*

Rijeka Dive Grabovice u dužini od oko 6 km odvodnjava vode (uglavnom bujice) sjevernog dijela Male Čvrsnice i središnjeg dijela masiva (sl. 31). Velike količine nanosa (fragmenti stijena, manji klasti i sitne čestice) proširuju korito (do 1 km) i oblikuju južni dio doline. Od zaseoka Grabovica u dužini od oko 2 km dolina prelazi u uži kanjoski dio do utoka u Neretvu.



a)



b)

*Sl. 32. Dolina rijeke Drežanke: a) gornji dio; b) donji dio*

Kanjonska dolina Drežanke s dužinom od oko 20 km i najvećom širinom od 6,7 km (Strmoglavica-Ošljar) predstavlja tektonski rov (Bognar i Šimunović, 2005) u širem području

(planinski dio Hercegovine). Pravac pružanja zapad-istok prati zonu rasjeda čijom je aktivnošću dolina oblikovana. Predstavlja morfološku granicu između masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje (sl. 32a,b). Prema morfološkim obilježjima dolina je podijeljena na gornji (dužine od oko 8 km) i donji (dužine od oko 7 km) dio. Kod utoka u Neretvu korito rijeke Drežanke je oblikovano u pretaloženom materijalu (fluvioglacijal). Visina nataloženog materijala u odnosu na erozijsku bazu trenutnog dna kreće se od oko 10 m na dijelu prije samog utoka do oko 30 m na utoku u Neretvu. Ovako nataložen fluvioglacijalni material prema morfološkom obliku ima izgled terase.

## 7. MORFOLOŠKI TRAGVI OLEDBE

Pozitivne morfološke predispozicije za zadržavanje snijega i stvaranje leda ogledaju se kroz hipsometrijska obilježja reljefa (sl. 12), veliku vertikalnu raščlanjenost reljefa (sl. 17) i orijentaciju reljefa (sl. 19). Vršni dijelovi Čvrsnice (1600 – 2200 m) i Čabulje (1300 – 1700 m) imaju mrežastu strukturu reljefa obilježenu nizom vrhova i platoa s brojnim uvalama i ponikvama. To je omogućilo razvoj ledenjaka.

Morfološki tragovi oledbe prikazat će se prema glavnim smjerovima kretanja leda na Čvrsnici i Čabulji. Masiv Čvrsnice podijeljen je na četiri segmenta prema stranama svijeta, a hrbat Čabulje podjeljen je na dva segmenta: sjeverni i južni.

### 7.1 Masiv Čvrsnice

Morfologija masiva i glacijalni reljefni oblici upućuju na razvoj tri tipa ledenjaka: platoasti, cirkni i dolinski. Paralelno položeni hrptovi pravca pružanja ZSZ – JJI dijele prostor površine od oko 260 km<sup>2</sup> na sjeverni, središnji i južni dio. Najveći dio površine od oko 75 km<sup>2</sup> zauzimali su platoasti ledenjaci. Cirkovi<sup>2</sup> predstavljaju najbolje očuvane tragove oledbe. Na masivu Čvrsnice ukupno je utvrđeno 26 očuvanih cirkova (tab. 8). Površina im varira od 0,0025 km<sup>2</sup> do 1,13 km<sup>2</sup> (tab. 8). Njihova ukupna površina iznosi 3,9 km<sup>2</sup> od čega 82% (3,2 km<sup>2</sup>) otpada na 8 najvećih. Jedan od razloga dobre očuvanosti jest njihova sjeverna ekspozicija. Od ukupno 26 utvrđenih cirkova čak 20 ima sjevernu ekspoziciju. Gotovo polovina (48%) cirkova nalazi se na nadmorskoj visini iznad 1800 m. Osim klasičnih cirkova akumulacijsku ulogu imale su i brojne uvale i ponikve. Površina cirkova izračunata je na temelju određene dužine i širine izmjerene na topografskoj karti mjerila 1:25 000. Dubina je određena putem mjerenja visinske razlike izohipsa na topografskoj karti mjerila 1:25 000.

---

<sup>2</sup> Nastaju kao posljedica taloženja snijega i leda koji se pod potiskom kreće polukružno, dubi podlogu oblikujući polukružna (amfiteatralna) udubljenja u izvorišnom dijelu ledenjaka.



Tab. 8. Morfološke karakteristike cirkova

| <i>Red. br.</i> | <i>Naziv</i>   | <i>Dužina (m)</i> | <i>Širina (m)</i> | <i>Površina (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Dubina (m)</i> | <i>Visina najniže točke</i> | <i>Ekspozicija</i> |
|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1.              | Drijenač       | 1 260             | 900               | <b>1,13</b>                      | 500               | 1 450                       | S                  |
| 2.              | Sljeme 1.      | 90                | 130               | 0,012                            | 100               | 1 900                       | Z                  |
| 3.              | Sljeme 2.      | 230               | 300               | 0,07                             | 120               | 1 780                       | S                  |
| 4.              | Ravna strana   | 140               | 150               | 0,02                             | 160               | 1570                        | SZ                 |
| 5.              | V. Vilinac     | 300               | 170               | 0,05                             | 450               | 1 900                       | S                  |
| 6.              | Prigoni 1.     | 140               | 110               | 0,016                            | 160               | 1 850                       | S                  |
| 7.              | Prigoni 2.     | 80                | 70                | 0,006                            | 110               | 1 830                       | S                  |
| 8.              | Prigoni 3.     | 100               | 90                | 0,009                            | 90                | 1 780                       | S                  |
| 9.              | Kotao          | 250               | 120               | 0,03                             | 420               | 1 680                       | S-SZ               |
| 10.             | Mandaruša      | 455               | 270               | <b>0,12</b>                      | 360               | 1 840                       | S                  |
| 11.             | Pločno         | 500               | 490               | <b>0,25</b>                      | 280               | 1 980                       | S                  |
| 12.             | Kapci 1.       | 250               | 360               | <b>0,09</b>                      | 380               | 1 900                       | S                  |
| 13.             | Kapci 2.       | 370               | 360               | <b>0,13</b>                      | 270               | 1 900                       | S                  |
| 14.             | Razvale 1.     | 350               | 200               | 0,07                             | 250               | 1 780                       | S                  |
| 15.             | Razvale 2.     | 260               | 300               | 0,07                             | 380               | 1 820                       | S                  |
| 16.             | Paka           | 890               | 620               | <b>0,55</b>                      | 340               | 1 760                       | J                  |
| 17.             | Jelinak        | 160               | 200               | 0,03                             | 200               | 1 870                       | I                  |
| 18.             | Zelena glavica | 400               | 460               | <b>0,18</b>                      | 350               | 1 570                       | SI                 |
| 19.             | Pesti brdo     | 300               | 270               | 0,08                             | 380               | 1 800                       | S                  |
| 20.             | Dol            | 740               | 640               | <b>0,47</b>                      | 600               | 1 660                       | S-SI               |
| 21.             | M. Čvrsnica 1. | 300               | 160               | 0,05                             | 130               | 1 820                       | J                  |
| 22.             | M. Čvrsnica 2. | 220               | 100               | 0,02                             | 100               | 1 800                       | JI                 |
| 23.             | Vijarak        | 200               | 140               | 0,03                             | 80                | 1 470                       | I                  |
| 24.             | Račva 1.       | 50                | 60                | 0,003                            | 40                | 1 520                       | SI                 |
| 25.             | Račva 2.       | 50                | 50                | 0,0025                           | 30                | 1 530                       | SI                 |
| 26.             | Račva 3.       | 70                | 60                | 0,004                            | 40                | 1 530                       | S                  |

### 7.1.1 Sjeverni smjer egzracije (dolina Doljanke)

Sjeverni egzracijski smjer primarno je definiran hrptom Vilinca i Plase. Izvorišni dio vezan je za hrbat Vilinca (2118 m) i Velikog Sljemena (1941 m) gdje su oblikovani cirkovi (Prilog 1., sl. 33).

Najveći i najizraženiji je cirk Vilinac (sl. 33). Nalazi se na sjevernim padinama hrpta V. Vilinca. Padine cirka su izrazito strme ( $>55^\circ$ ) visine do 300 m ispod samog vrha (2118 m). Prekrivene su koluvijalnim materijalom (sl. 33). Siparišni materijal u dnu cirka danas je obrastao vegetacijom. Dalje u nastavku na istočnom dijelu hrpta razvijena su još tri manja cirka (Prigoni, 1 - 3) sjeverne ekspozicije (Prilog 1).



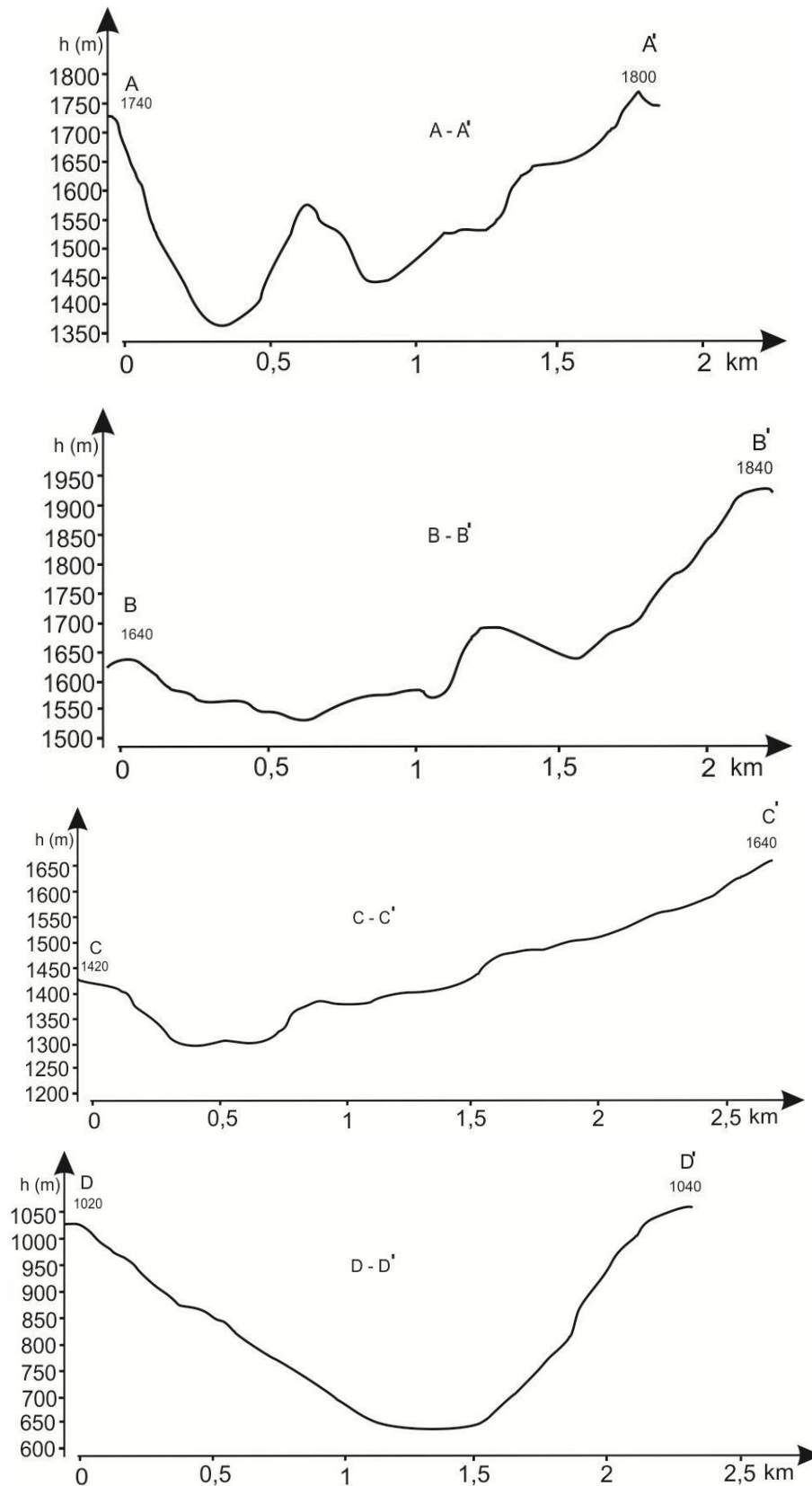
Sl. 33. Cirk Vilinac

Od navedenih cirkova led se kretao prema sjeveroistoku. Tu se mogu izdvojiti tri smjera kretanja leda. Najizraženija je ujedno i najduža (središnja) ledenjačka dolina Vilinac-Doljanka koja prati pravac pružanja grebena s istaknutim vrhovima Trostruki kuk (1814 m), Krivelj (1620 m) i Debeli brijeg (1656 m). Trostruki kuk predstavlja mogući ledom preoblikovan nunatak (sl. 34).

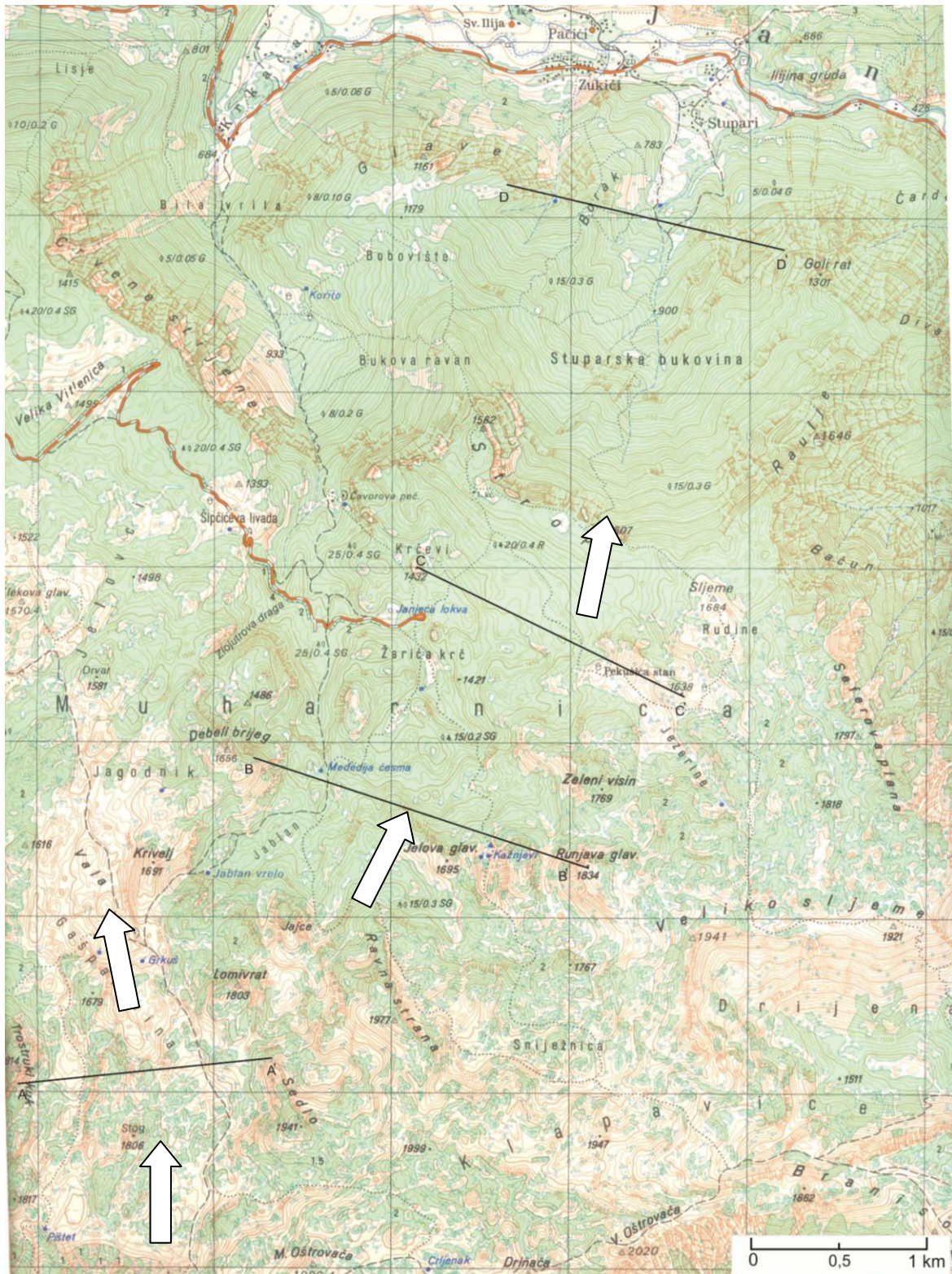


*Sl. 34. Gornji dio ledenjačke doline Vilinac – Doljanka  
(u prvom planu Trostruki kuk)*

Gornji dio ledenjačke doline ima tipičan “U” profil dok je središnji dio otvoreniji zbog bočno položenih uvala i prijevoja (Prilog 1, sl. 35a). Bočne padine nekadašnje ledenjačke doline danas su uglavnom prekrivene koluvijalnim materijalom.



Sl. 35a. Profili ledenjačke doline (Vilinač-Doljanka)



Sl. 35b. Lokacijska karta ledenjačke doline Vilinac – Doljanka (strelice označavaju smjer kretanja leda)

Morfološka obilježja Muharnice omogućavaju stvaranje većeg broja manjih ledenjačkih dolina od kojih su danas očuvani samo pojedini dijelovi (Prilog 1). Led je pritjecao s viših područja V. Sljemena, Snježnice i Sedla. Na svom putu koristio je i preoblikovao brojna krška udubljenja poput dubokih ponikava i uvala npr. uvala Gašparovina, uvala Vala, ponikva Lomivrat i dr. S platoa Muharnice led se strmo spuštao preko ledenjačkog pregiba u dolinu Doljanke. Završna morena ovog ledenjaka nalazi se na nadmorskoj visini od oko 600 m u području Stupari (sl. 36).

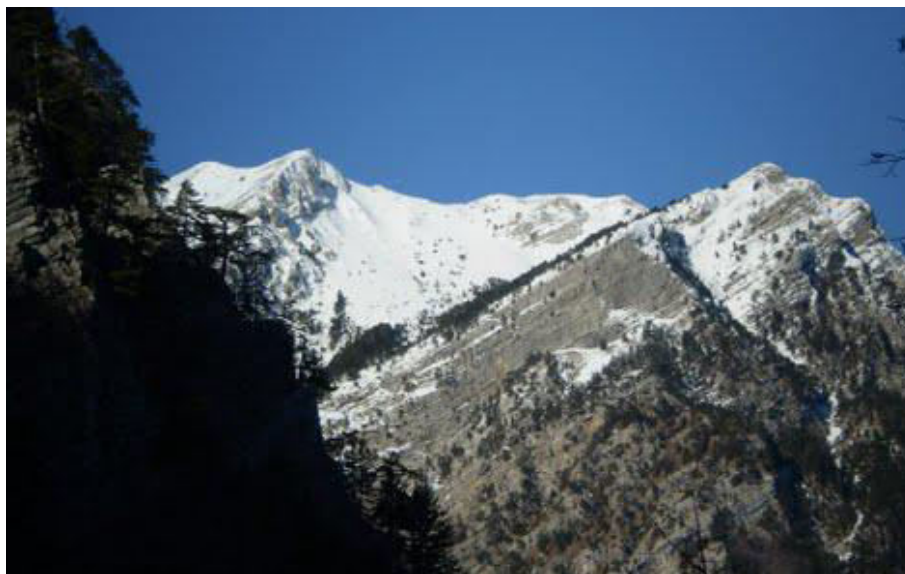


*Sl. 36. Završna morena u dolini Doljanke (Stupari)*

Na padinama kanjona javljaju se recentne jaruge, a brojni bujični tokovi vrše pretaloživanje morenskog materijala (fluvioglacialni materijal duž korita). Morenski materijal može se vidjeti na više mjesta (Stupari, Krkača) na nadmorskim visinama od oko 600 do 650 m. Debljina naslaga kreće se oko 20 m (na području Krkača), odnosno oko 30 m (kod Stupara) ovisno o morfologiji terena.

Sjeveroistočna padina hrpta Veliko Sljeme (1941 m) strmo se pušta prema uvali Drijenač koja je nekad imala funkciju cirka (sl. 37). Razvijen je u rasjedno predisponiranoj uvali. Omeđen je strmim stranama V. Sljemena (1921 m) i Branisovca (1700 m). Padine su zasute koluvijalnim

materijalom. Dno uvale dubine oko 500 m također je zapunjeno koluvijalnim i morenskim materijalom. Danas su ovdje aktivni krionivalni procesi. U nastavku uvale Drijenač jasno je vidljiva ledenjačka dolina usmjerena prema dolini Doljanke.

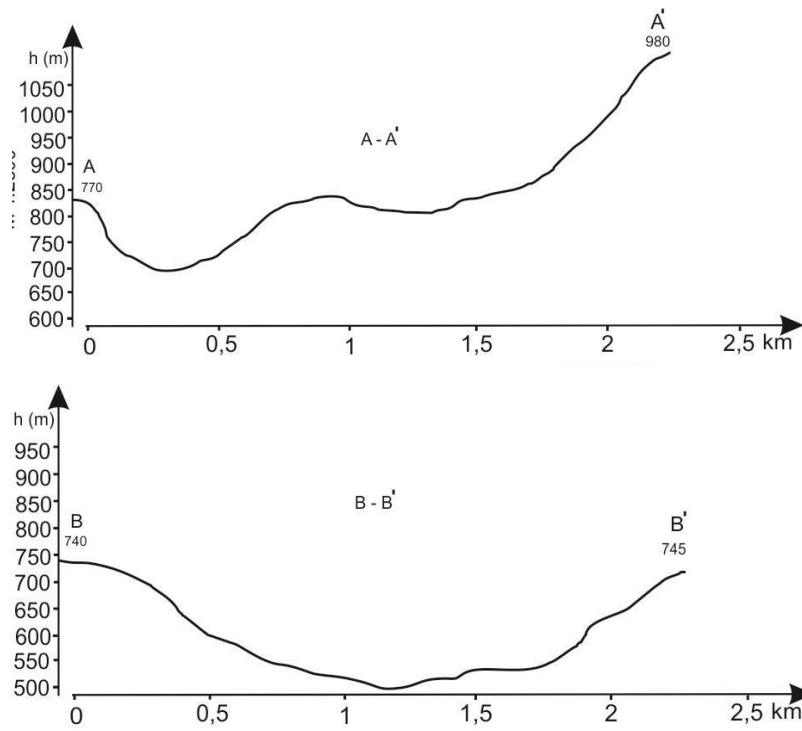


Sl. 37. Cirk Drijenač

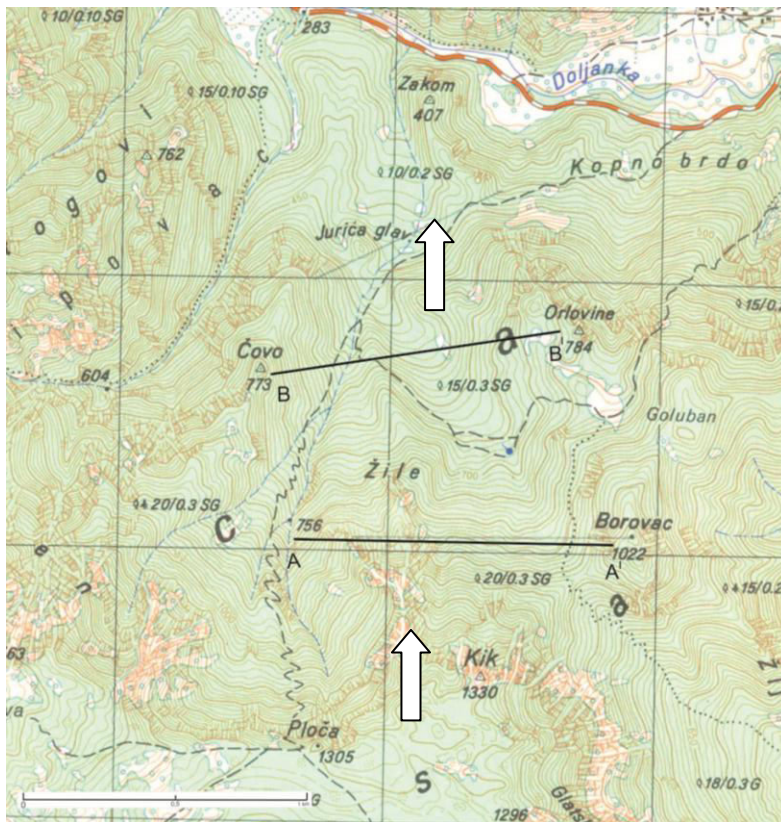
(Foto: A. Tanar)

Tragovi morena u koritu Doljanke upućuju na smjer kretanja leda. Obrisi su izraženi u dijelu ispod cirka u dužini od oko 1,2 km. Na kraju doline u koritu rijeke Doljanke (lokalitet Podgrad) nalazi se stadijalna morena. Istaložena je u dužini od oko 600 m na nadmorskoj visini od 280 m. Tragovi glacijalnog materijala nalaze se s obje strane korita što svejdoči o doseg i obimu morene.

Nizvodno (lokalitet Zakom) se nastavlja pružanje završne morene. Prostire se u dužini od oko 500 m, na nadmorskoj visini od 270 m. Ona predstavlja završetak ledenjačke doline Plasa-Doljanka koja je oblikovana na SI padini platoa Plasa (ispod vrha Ploča, 1300 m). Dužina iznosi oko 1,4 km. Ima tipičan „U“ profil (sl. 38).



Sl. 38a. Poprečni profil ledenjačke doline Plasa-Doljanka



Sl. 38b. Lokacijska karta ledenjačke doline Plasa-Doljanka (strelice označavaju smjer kretanja leda)



Područje je obraslo šumom što onemogućuje detaljniju analizu (sl. 39). Donji dio se sužava do 200 m. Dno ledenjačke doline prekriveno recentnim bujičnim materijalom koji se akumulira ispred završne morene. Danas je pod snažnim utjecajem fluvijalne erozije.



*Sl. 39. Ledenjačka dolina Plasa-Doljanka*

Paralelno s pružanjem središnje (Vilinac–Doljanka) na zapadu je oblikovana druga ledenjačka dolina (M. Vilinac–Jelovci). Pruža se od izvorišta (M. Vilinac, 1960 m) prema sjeverozapadu (Jelovci, 1560 m), (Prilog 1). Gornji dio ledenjačke doline dug je oko 2 km. Nastavak ledenjačke doline gubi pravilan oblik. Led se lepezasto širio prema sjeveru i sjeverozapadu. Na krajnjem SZ Muharnice, greben V. Vitlenice (1495 m) usmjerio je pružanje leda jednim krakom prema dolini Doljanke (Krkača), a drugim prema Dugom polju (Prilog 1). Uz rub grebena na nadmorskoj visini od 1400 m istaložena je bočna morena u dužini od oko 800 m. Najveći dio prostora zapadne Muharnice gravitira zavalu Dugog polja (vidi poglavlje 7.1.2. – Zapadni smjer egzracije).

### 7.1.2 Zapadni smjer egzracije (zavala Dugog polja)

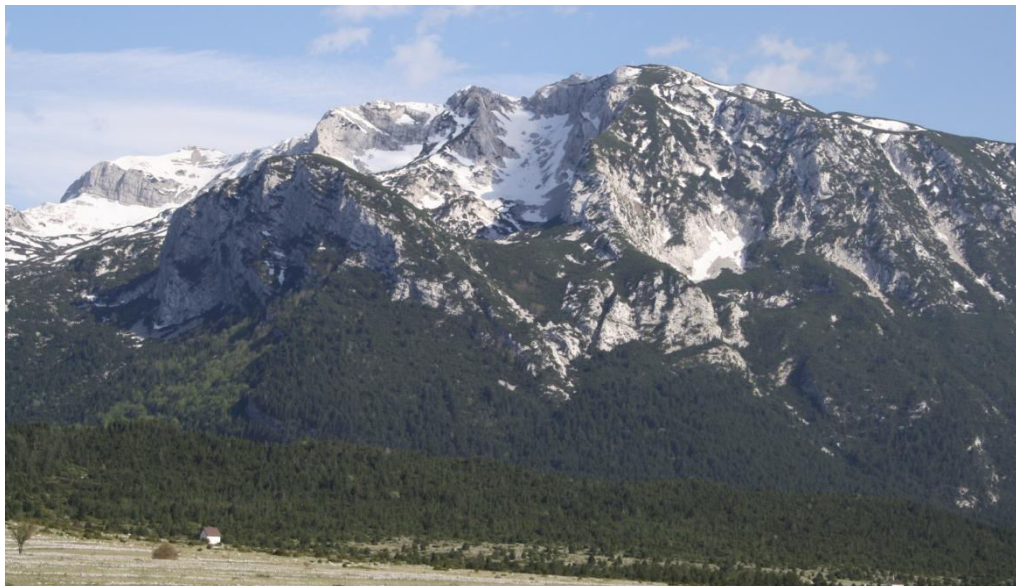
Zavali Dugog polja gravitira prostor zapadne Muharnice i središnjeg platoa Čvrsnice. Zbog nagiba platoa Mejdani (zapad Muharnice) u smjeru JZ – SI egzracijski smjerovi kretanja leda usmjereni su prema sjeveru i sjeverozapadu. U tom smjeru razvijene su ledenjačke doline. Platoi su disecirani nizom razvijenih uvala i ponikava dubine i do 150 m (ponikva Lokva, Dolovi i dr.), prijevoja, glavica i sl. (sl. 40). U inicijalnoj fazi oledbe ovakvi oblici doprinijeli su razvoju ledenjačkog leda. Izvorišta ledenjačkih jezika predstavljaju akumulacije leda u fosilnim ledenjačkim ponikvama (Lokva, Dolovi) i cirkovima (Prilog 1). Rubovi ponikava i uvala su preoblikovani u skladu s kretanjem leda te se javljaju blago zaobljene pregrade, istaknute glavice, mutonirane stijene i sl. Dna ponikava i uvala danas su zapunjena glaci-fluvijalnim materijalom što usporava propusnost podloge. U skladu s morfologijom terena kretanje leda usmjereno je prema zavali Dugog polja (zapad) i kanjonu Dive Grabovice (istok). Danas su ovdje prisutni krionivalni, padinski i procesi fluvijalne erozije (sočnica). Ovaj prostor je obrastao vegetacijom klekovine bora krivulja.



Sl. 40. Plato između hrptova Vilinac – V. Čvrsnica

Najveće izvorište ledenjačkog leda bili su cirkovi na sjevernoj padini hrpta V. Čvrsnice (dužine 6,18 km). Utvrđeno je 7 dobro očuvanih cirkova (tab. 8. br. 9-16). Svi osim bočnog (Kotao) imaju sjevernu ekspoziciju. Na nekim dijelovima bočne strane su velikim dijelom destruirane te cirkovi oblikuju jedinstvenu formu i funkcioniraju kao jedan cirk (Pločno, Kapci), (Prilog 1, sl. 41). Cirkovi su razvijeni na visinama od 1680 do 2220 m (računajući visinu dna cirka). Dimenzije im se kreću od 120-490 m širine, 250-500 m dužine te 250-420

m dubine. Razvijeni su u nizu jedan do drugog. Cirk Pločno je površinom od 0,25 km<sup>2</sup> najveći cirk sa sjeverne strane hrpta. Razvijen je ispod istoimenog vrha (2226 m). Svi cirkovi imaju slična obilježja, strme padine (32°-55°), široko otvoreni prema platou, razvijeno dno s pregradom na izlaznom rubu (sl. 41).



*Sl. 41. Cirkovi na hrptu V. Čvrsnice*

Na padinama su razvijeni sipari, a dno je prekriveno recentnim koluvijskim materijalom (krupni fragmeni stijena i sitni material) u kombinaciji sa zaostalim ledom (sl. 42a,b). Naime, u cirkovima je evidentno cjelogodišnje zadržavanje leda manjih dimenzija (sl. 42a,b).



a)

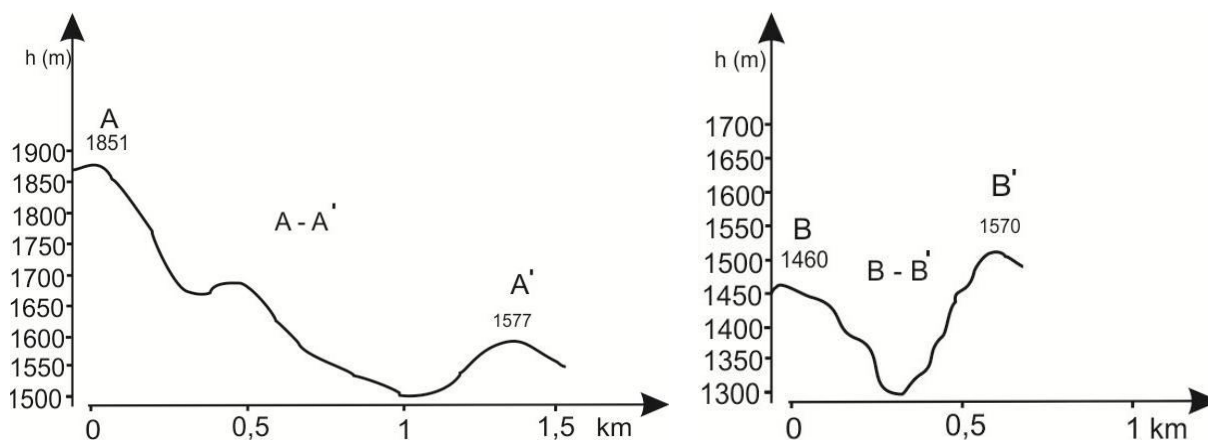


b)

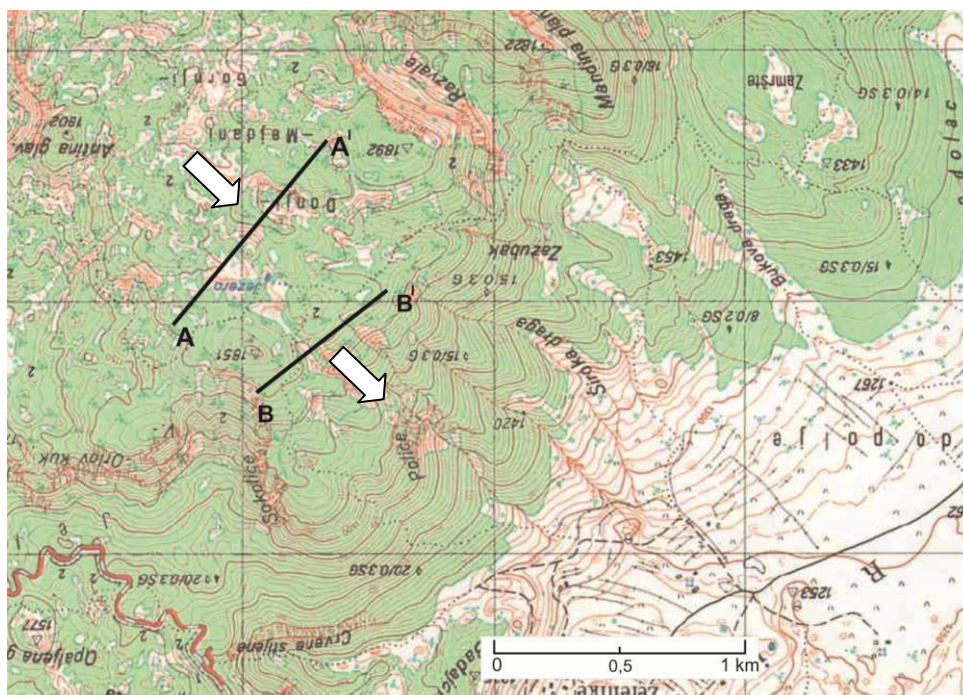
*Sl. 42. Unutarnji dio cirkova*

Tragovi egzaracije upućuju na spajanje leda iz cirkova s akumuliranim ledom na platou. Tako je formirano glavno izvorišno područje za ledenjačke doline u zavali Dugog polja. Na kontaktu platoa i zavale utvrđeni su tragovi 10 ledenjačkih dolina. Usmjerene morfološki predglacijalnog reljefa na visinama od oko 1500 m.n.v. spajaju se u veće forme.

Na padinama platoa Mejdani utvrđene su 3 ledenjačke doline (Prilog 1). Dužina im varira od 500 do 800 m i kraće su od ostalih zbog deformacije terena (rasjedni strmci). Padina je danas također obilježena gustom mrežom jaruga.



Sl. 43a. Profil ledenjačke doline Mejdani-Risovac



Sl. 43b. Lokacijska karta ledenjačke doline Mejdani-Risovac (strelice označavaju smjer kretanja leda)

Zapadne padine platoa disecirane su ledenjačkim dolinama između strmca Sokolice (1851 m) i vrha Opaljane glavice (1577 m). Spajaju se u veću ledenjačku dolinu podno vrha Orlov kuk (1718 m), (sl. 43). Na izlazu iz uvale nalazi se rasjedni strmec visine oko 200 m koji oblikuje viseću ledenjačku dolinu. Njim se ledenjačka dolina spušta u donji dio koji završava u zavali.

Čitav prostor je obrastao gustom šumom što otežava precizno utvrđivanje međusobnih morfoloških procesa.



a)

b)

*Sl. 44. Ledenjački materijal u podini:*

- a) Podinska morena na sjeverozapadnoj padini Muharnice
- b) Podinska morena na zapadnoj padini Muharnice (Ilijina kosa)

Prema sjeverozapadnim padinama Muharnice (Ilijina kosa) pruža se dijelom istaknuta ledenjačka dolina dužine od oko 700 m. U podini je utvrđen morenski materijal (kršje, blokovi, manje zaobljeni blokovi, valutice), (sl. 44a,b). Na površini od oko 800 m<sup>2</sup> nataložene su naslage čeone morene. Debljinu naslaga teško je odrediti jer je danas dobrim dijelom razorena poprečnim jarugama.

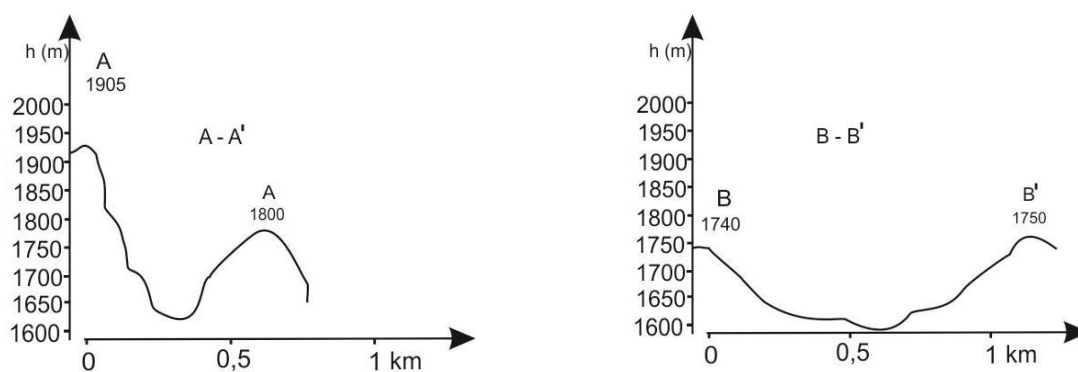


*Sl. 45. Profil sedimenta u SZ dijelu Dugog polja (polje Brčanj)*

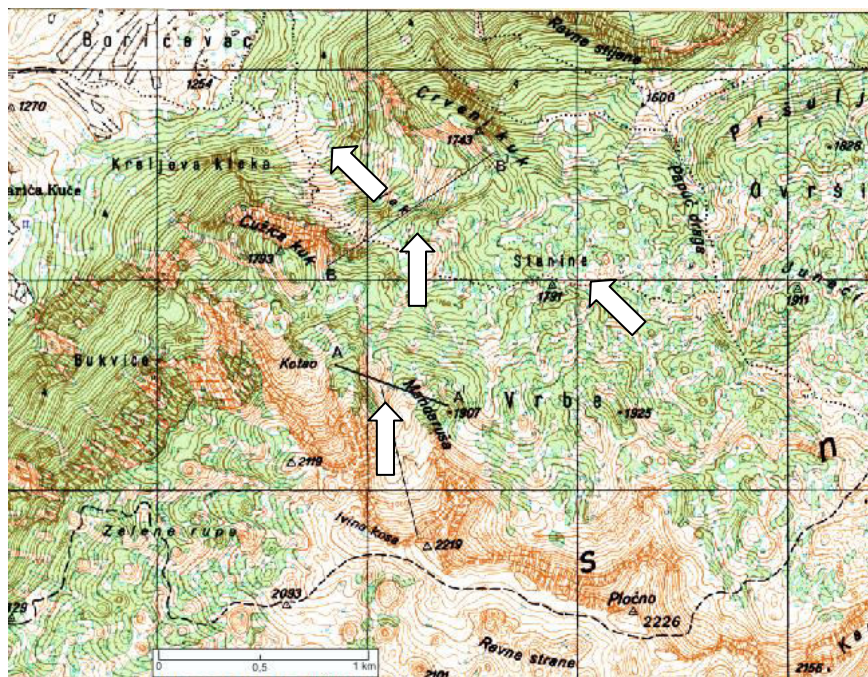
Donji dio padine u polju Brčanj (1200 m.n.v.) prekrivaju fluvio-glacijalne plavine (pijesak i šljunak), (sl. 45).

Prema morfološkim tragovima s okolnih padina (Muharnica, Vran, Hrbine) ovaj prostor predstavlja akumulacijsku zonu (plavljenje polja prisutno je i danas). Položaj polja, sedimenti i široko rasprostranjeni ledenjački tragovi ukazuju na pretaloživanje ledenjačkog materijala u polju i njegovo ujezerivanje usljed povlačenja i otapanja ledenjaka. Slični sedimenti (sl. 49b) primjećeni su južnije, u središnjem dijelu zavale na lokalitetu Risovac. Ukazuju na sličan proces taloženja.

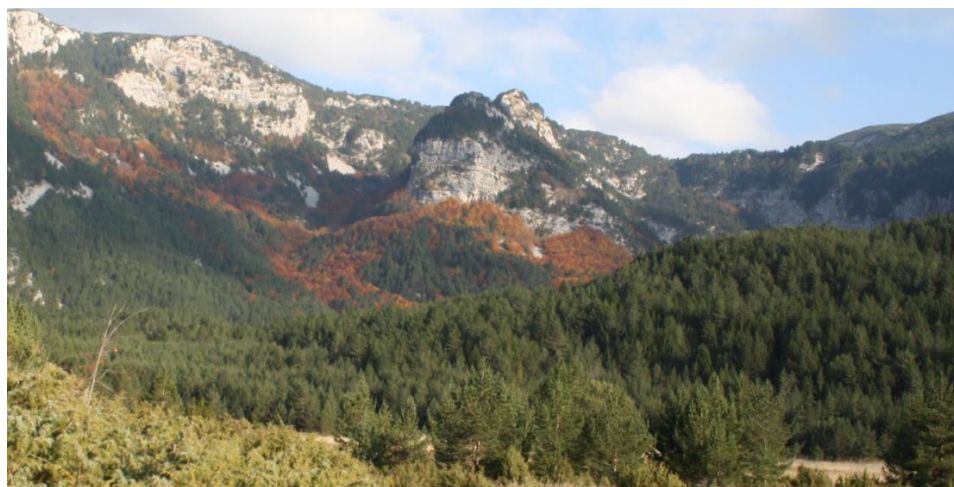
Prijelaz sa središnjeg platoa prema zavali Dugog polja obilježen je tipičnim visećim ledenjačkim dolinama. To je posljedica najvećeg broja ledenjačkih pregiba na padini (rasjedni strmci, sl. 47). Na tom potezu razvijeno je 7 ledenjačkih dolina dužine od oko 1000-1800 m. Segmenti svih ledenjačkih dolina imaju sličnu morfologiju. Gornji dio je široko otvoren prema platou gdje su najčešće razvijene ponikve ili uvale (Prigoni, Lokava i dr), (Prilog 1.). Široko otvoren gornji dio ledenjačke doline (oko 1 km) prema Borićevcu ukazuje na koncentraciju više ledenjačkih jezika (Prilog 1., sl. 41). Poprečni profil pokazuje široko razvijeno dno ledenjačke doline i dijelom blago zaobljen rub s platoa što ukazuje na pritjecanje ledenjačkih jezika s različitih strana (iz cirk i s platoa), (sl. 46).



Sl. 46a. Profili ledenjačke doline prema Borićevcu



Sl. 46b. Lokacijska karta ledenjačke doline prema Borićevcu (strelice označavaju smjer kretanja leda)



Sl. 47. Viseće ledenjačke doline (Masna Luka)

U donjem dijelu, ispod ledenjačkih pregiba uglavnom se spajaju u formiranim terminalnim bazenima (Masna luka, Borićevac). Prema morfološkim obilježjima može se pretpostaviti da je terminalnom bazenu Masna luka usmjeren najveći dio platoastog ledenjaka. Po rubovima bazena uz morenske naslage utvrđeni su konglomerati i slabo vezane breče (izvor Jelinak). Na njihovom kontaktu pojavljuju se ocjediti izvori. U najnižim dijelovima (1200 m) dolazi do zadržavanja prispjelih voda zbog prisustva sitnog pijeska, mjestimično gline i ilovače. Danas su ovdje razvijene vlažne livade s močvarnom vegetacijom. Terminalnom morenom (Prilog 1.) je terminalni bazen podijeljen na dva dijela, Luka i Bare. Debljina naslaga kreće se između

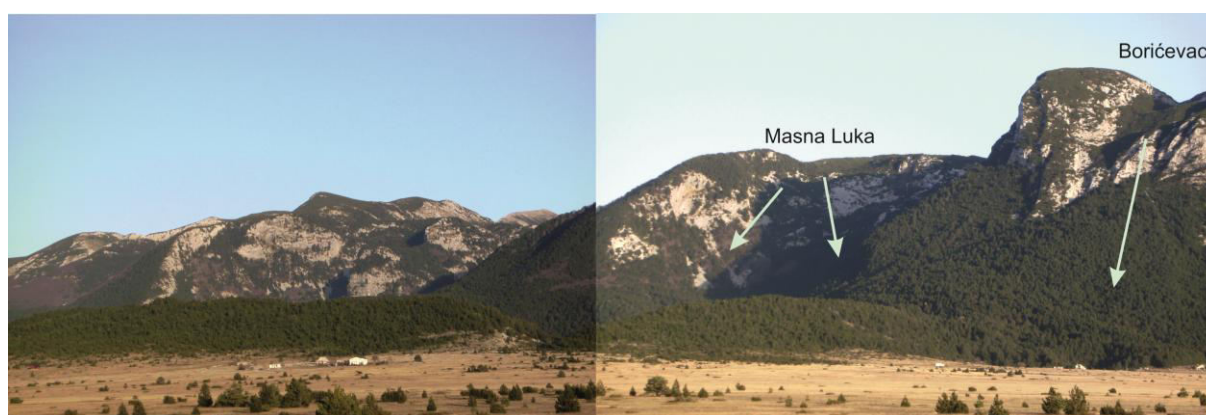
5-10 m. Prekrivena je gustom vegetacijom, a na mjestima se mogu utvrditi naslage kršja i blokovi (sl. 48).



*Sl. 48.* Eratički blok u Masnoj Luci

Južno, s druge strane Crvenog kuka (1741 m) nalazi se terminalni bazen Borićevac. Njemu su orijentirane ledenjačke doline iz cirkova i dijelom s platoa (Prilog 1., sl. 41).

U središnjem dijelu Dugog polja, ispred terminalnih bazena Masna Luka i Borićevac u dužini od oko 5 km istaložene su čeone morene (sl. 49).



*Sl. 49.* Čeone morene u središnjem dijelu zavale Dugog polja

Najveću udaljenost (oko 3 km) od masiva imaju čeone morene ispred terminalnog bazena Masna Luka. To ukazuje na najveću koncentraciju leda (ledenjačkih jezika) sa središnjeg platoa Čvrsnice. Morenski materijal je danas pod sve većim utjecajem denudacije tako da se debljina naslaga kreće između 20 i 70 m. Sastavljena je uglavnom od kršja i blokova promjera max. 50 cm. Na površini se mogu uočiti manja udubljenja kao rezultat periglacialnih procesa. Područje oko morena prekriveno je glaciofluvijalnim materijalom, a oko jezera osim



lakustrijskih (prah i glina) utvrđeni su i fluvioglacialni sedimenti (nevezani i slabo vezani oblutci i kršje, sitni pjesak i prah). Jugozapadni krak (Borićevac) djelomično je razoren (prema Blidinjskom jezeru). Cijela morena je disecirana naknadnim fluvijalnim procesima.

### 7.1.3 Južni smjer egzaracije (kanjon Drežanke)

Južni smjer egzaracije određen je pružanjem hrpta Velike Čvrsnice (2226 m), Velikog Jelinka (2170 m) i Male Čvrsnice (2039 m). Vršni dio hrpta V. Čvrsnice diseciran je dubokim ponikvama (sl. 50). Zbog jake kriofrakcije rubovi i padine prekriveni su koluvijalnim materijalom. Ovdje se danas snijeg i led zadržava gotovo cijele godine.



Sl. 50. Ponikve u vršnom dijelu hrpta V. Čvrsnice

Na južnim padinama hrpta Velika Čvrsnice u potpunosti je razvijen samo jedan cirk – Paka (sl. 51, tab. 8, br. 16). Smješten je na SI strani hrpta između Kuka (2100 m), prijevoja Kapci (2150 m) i Velikog Jelinka (2170 m). Otvoren je prema jugu (kanjonu Drežnice i uvali Gornje Bare), (Prilog 1.). Na bočnim padinama cirka razvijeni su sipari. Padine Velikog Jelinka (desno) predstavljene su strmcom čiji je kontakt s blažim dijelom padine pokriven velikom količinom koluvijalnog materijala. Visina dna cirka kreće se između 1800 do 1900 m nadmorske visine. Dno je prekriveno velikom količinom koluvijalnog materijala koji je dijelom obrastao borom krivuljem (*lat. pinus mungo*). Na izlazu se nalazi ledenjački pregib visine 40 m u čijem se nastavku nalazi ledenjačka dolina dužine od oko 1 km (Prilog 1., sl. 51). Morfološki izdvojena dolina završava u uvali Razvale. Tragovi egzaracije upućuju na

kretanje leda u dva pravca: južno i jugoistočno prema kanjonu Gornje Drežnice te južno i jugozapadno prema dolini Gornjih Bara.



*Sl. 51. Cirk Paka*

Padine hrpta i plato Male Čvrsnice obilježeni su mrežom ponikava i uvala koje su tijekom glacijalne faze imale akumulacijsku ulogu. Na padini hrpta ponikve su stepeničasto položene, a neke od njih otvorene su prema nižoj, južnoj strani. Danas su pod utjecajem kricionalnih i fluvijalnih (sočnica) procesa koji destruiraju rubove i stvaraju niže pregibe (sl. 21). Na dnu ponikava uočavaju se blokovi, poluzaobljeno kršje i pjesak. Dna nekih ponikava predstavljaju otvorene jame (ponore) po čijim rubovima ima ostataka cementiranog kršja (sl. 52).



*Sl. 52. Dno ponikve (južne padine Čvrsnice, 1700 m)*

Morfologija platoa Male Čvrsnice ima slična obilježja kao središnji plato masiva (vidi 7.1.2 Zapadni smjer egzaracije). Uz ponikve i uvale, kao bazu za akumulaciju i potom širenje leda i stvaranje platoastog ledenjaka, tu su i razvijeni cirkovi uz hrbat Velikog Jelinka. Tragovi egzaracije upućuju na lepezasto širenje leda po platou za razliku od usmjerenog kretanja ledenjačkih jezika na padinama hrpta V. Čvrsnice (Prilog 1).

S južnih padina hrpta V. Čvrsnice led se dijelom kretao prema dolini Gornje Bare (1400-1500 m), a dijelom prema kanjonu Drežnice. Usmjeren je poprečno položenim hrptom Velikog (1535 m) i Malog Drvara (1453 m). U uvalama Gornje i Donje Bare utvrđeni su tragovi podinske morene ukupne površine od oko 2 km<sup>2</sup>. Debljina naslaga se kreće od 5 do 20 m (sl. 53).



Sl. 53. Podinska morena u uvali Gornje Bare

Na padinama šireg područja Čvrsnice utvrđene su mutonirane stijene. Prema tragovima egzaracije može se zaključiti da se led s padine hrpta koncentrirao u uvalu Gornje Bare od kud se, podijeljen grebenom Zelina kosa (1416 m) račvao prema Donjim Barama (1340 m) s jedne strane i uvali Škrge (1250 m) s druge strane.



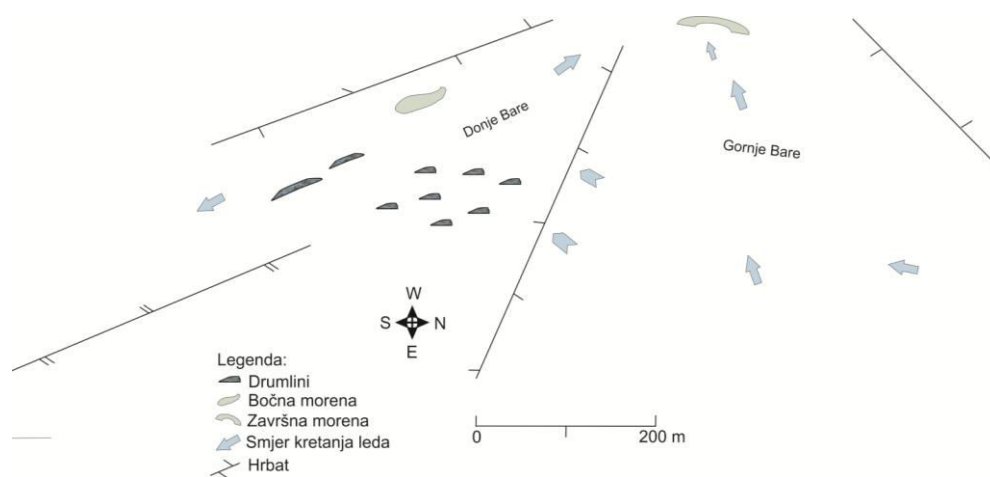
Sl. 54. Drumlin u Donjim Barama

Led koji se kretao prema Donjim Barama oblikovao je drumline (sl. 54, 55) pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok i sjever-jug (sl. 56) u podinskoj moreni. Morfološki je dobro izraženo

10-tak drumlina različitih dimenzija (sl. 55). Uglavnom su dužine oko 10 m, a debljina naslaga od 1 do 10 m.



Sl. 55. Podinska morena i drumlini u Donjim Barama



Sl. 56. Položaj i smjer drumlina - skica

U uvali Škruga utvrđen je veći broj eratičkih blokova (sl. 57) u središnjem dijelu uvale. Dimenzije su različite od 0,5 m do 1,5 m.

U nastavku uvale, na području Glavica (Svinjača) akumulirane su čeone morene (sl. 57) na površini od oko 2 km. Debljina naslaga iznosi oko 50 m. Sastoji se od kršja i blokova promjera do 50 cm te praha i gline (sl. 93). Morena je velikim dijelom destruirana. Površinski dio izložen je recentnom kriofrakcijskim i nivalnim procesima. U morenskom materijalu oblikovane su plitke ponikve od oko 5 m dubine.



*Sl. 57. Položaj eratičkih blokova (Škruga) i čeone morene (Glavice)*

Jugoistočno od Donjih Bara utvrđena je ledenjačka dolina dužine oko 3 km usmjerena prema kanjonu Gornje Drežnice. Dno je recentno preoblikovano fluvijalnom erozijom. U središnjem dijelu doline nalazi se niz ocjeditih izvora koji kasnije formiraju stalni tok, prtok Drežnice.

Sjevernim padinama kanjona Drežnice usmjereno je kretanje leda s hrpta V. Čvrsnice i platoa M. Čvrsnice. Na izrazito strmim padinama nagiba do 55° nisu utvrđeni tragovi ledenjačkih dolina. Cijelo je područje danas gusto disecirano dubokim jarugama (sl. 58).



*Sl. 58. Južne padine masiva (kanjon Dražnice)*

Danas su ispod strmaca razvijeni koluvijalni zastori. U širem području korita Drežanke vidljive su debele naslage ledenjačkog, fluvio-glacijalnog i koluvijalnog materijala. Na lokacijama Striževo (300 m.n.v.) i Zagreblje (350 m.n.v.) utvrđene su razorene čeone morene (Prilog 1). Debljinu naslaga vrlo je teško odrediti zbog visokog stupnja denudacije (intenzivni fluviodenudacijski procesi). Disecirane su jarugama.

#### 7.1.4 Istočni smjer egzaracije (kanjon Neretve)

Istočni smjer egzaracije usmjeren je prema kanjonu rijeke Neretve dijelom direktno, a dijelom preko kanjona Dive Grabovice. Izvoršte leda predstavljale su ponikve i uvale na platoima (M. Čvrsica i Plasa) te cirkovi podno Pesti brda. Utvrđena su tri dobro očuvana cirka sjeverne ekspozicije (Prilog 1) u čijem su nastavku razvijene doline dužine od oko 500 m. Na padinama cirkova danas su razvijeni sipari. Južne padine kanjona Dive Grabovice (M. Čvrsnica) izrazito su strme do vertikalne ( $>55^\circ$ ). Strmci su izraženi u vršnom dijelu gdje su utvrđeni ledenjački pregibi. Ove padine su gusto disecirane jarugama (Prilog 1) na dnu kojih su razvijene proluvijalne plavine.



Sl. 59. Ledenjačka dolina u kanjonu Neretve (iznad naselja Kremenac)

Oko 1 km prije ušća Dive Grabovice u Neretvu, SI stranom M. Čvrsnice, u dužini od oko 2 km pruža se ledenjačka dolina. Dalje u nastavku na istočnim padinama kanjona Neretve utvrđene su još tri dobro očuvane ledenjačke doline (Prilog 1). Slične su dužine kao i prethodna opisana ledenjačka dolina na padinama Dive Grabovice (oko 2 km), (sl. 59). Dna ledenjačkih dolina povezana su danas s kanjonom Neretve brojnim aktivnim jarugama.



a)



b)

*Sl. 60. Fluvioglacijalne plavine u kanjonu Drežanke (a) i Dive Grabovice (b)*

Na padinama Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke i Neretve nalazimo velike količine glaciofluvijalnog materijala djelomično prekrivenog recentnim padinskim materijalom (sipari). Nešto niže u koritima navedenih tekućica debele su naslage fluvioglacijalnog materijala (Prilog 1, sl. 60a, b).

## 7.2 Hrbat Čabulje

Na području hrpta Čabulje površine 253 km<sup>2</sup> utvrđeni tragovi ledenjačkog reljefa također upućuju na razvoj tri tipa oledbe: cirkni, dolinski i platoasti. Pravac pružanja vršnog grebena SZ-JI definirao je kretanje ledenjaka u dva smjera: prema sjeveru (kanjonu Drežanke) i prema jugu (primarno prema zavali Ladina). Vršni dio Čabulje obilježen je slabo do umjereno raščlanjenim reljefom (sl. 18). Nadmorska visina varira od 1200 do 1600 m. Najviši vrh Čabulje je V. Vljajna (1776 m).

Veliki broj ponikava na hrptu Čabulje vrlo su vjerovatno bila izvorišta leda iz kojih je nastao platoasti tip ledenjaka. To potkrepljuju i brojni iznimno zaobljeni reljefni oblici tog područja.

### 7.2.1 Sjeverni smjer egzaracije (Kanjon Drežanke)

Sjeverni egzaracijski smjer obuhvaća najveći dio vršnog dijela Čabulje, cijelu sjevernu padinu usmjerenu prema Drežanki te jedan vrlo mali segment istočno orjentirane padine. Vršni platoasti dio moguće je podijeliti na istočni (manji) i zapadni (veći) dio koji su odijeljeni grebenom Nožanj.

Zapadno od hrpta Nožanj, tj. središnji do Čabulje (Jadovača, 1515 m; Poljana, 1474 m; Rupe, 1493 m; Crvenak, 1400 m) ima obilježja platoa s denivelacijom od 50 do 100 m. Temeljno obilježje platoa je velika gustoća ponikava na čijim se dnima nalaze ostaci ledenjačkog materijala. Na krajnjem zapadnom dijelu Čabulje, u području Rosnih poljana utvrđena je čeona morena na nadmorskoj visini od oko 1350 m (sl. 61). Tragovi egzaracije upućuju na vjerovatno kretanje leda generalno između grebena prema istoku i jugu.



*Sl. 61.* Čeona morena na zapadnom dijelu Čabulje (Rosne poljane, 1350 m.n.v.)

Između hrptova Vlajna (južna padina) i Nožanj razvijene su uvale Dolovi i Vanjača. Ovalnog oblika izdužene su u smjeru SZ-JI prateći pružanje hrptova. Uvala Dolovi duga je oko 1,7 km na čijem se dnu nalaze brojne ponikve. U nastavku uvale Dolovi nalazi se uvala Vanjača dužine od oko 2,5 km koja se pruža do strmih padina doline Drežanke (sl. 62). Na tom su kontaktu utvrđene dvije ledenjačke doline čija su dna prekrivena ledenjačkim materijalom.

Na sjeverozapadnim padinama Čabulje pronađeni su očuvani segmenti 6 ledenjačkih dolina (Prilog 1).



*Sl. 62.* Uvala Dolovi i Vanjača (Čabulja)



Na SI padini grebena V. Vlajna (1776 m) nalazi se dobro očuvani cirk (sl. 63, tab. 9) čije su padine vrlo strme (oko 40°) mjestimično i vertikalne (sl. 64). Na izlaznom dijelu cirka nalazi se pregib visine oko 30 m (sl. 64). Dno cirka danas je prekriveno koluvijalnim materijalom (sl. 63).

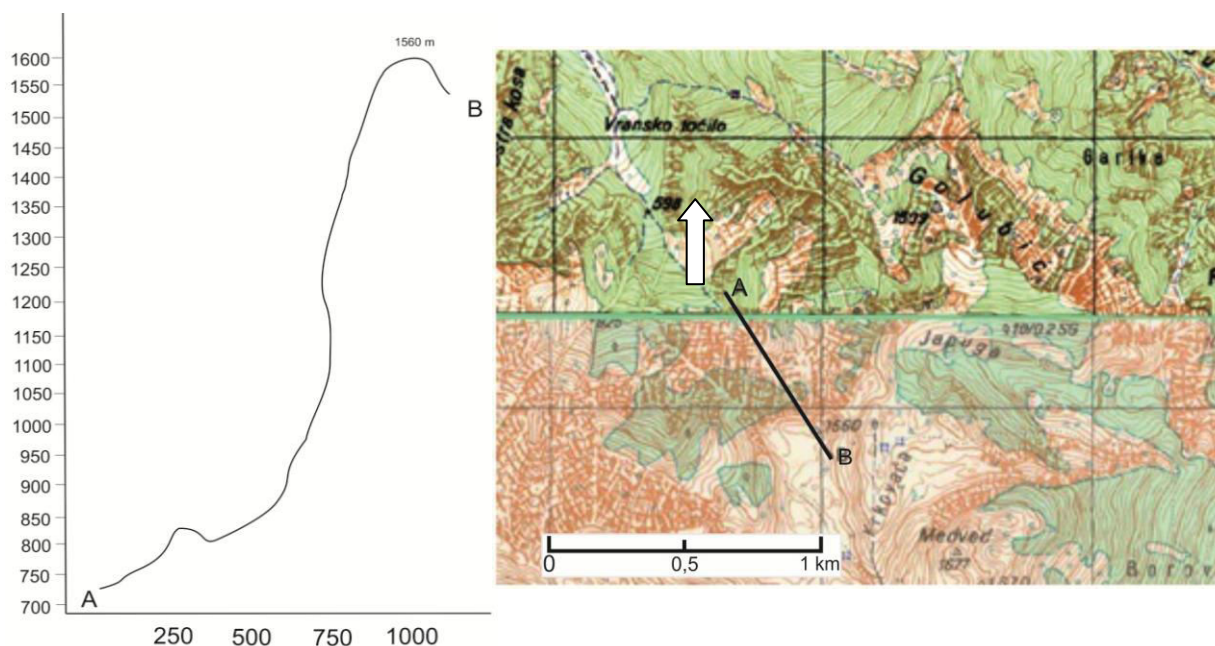
**Tab. 9.** Morfometrijske karakteristike cirka

| Red. br. | Naziv  | Dužina (m) | Širina (m) | Površina (km <sup>2</sup> ) | Dubina (m) | Visina najniže točke (m) | Ekspozicija |
|----------|--------|------------|------------|-----------------------------|------------|--------------------------|-------------|
| 1.       | Vlajna | 500        | 250        | 0,125                       | 760        | 800                      | S           |



**Sl. 63.** Cirk Vlajna

S obzirom na položaj i morfologiju područja može se pretpostaviti da je u nastavku cirka bila oblikovana ledenjačka dolina. Pretpostavka o pružanju navedenog ledenjačkog jezika temelji se na pronađenim debelim naslagama fluvioglacijskog materijala na području lokalne baze (lokalitet Perutac).



Sl. 64. Profil cirka Vlačina

Na istočnoj padini Čabulje utvrđeni su tragovi jedne ledenjačke doline. Formirana je u nastavku fosilne ledenjačke ponikve na rubu grebena ispod vrha M. Vlačine. Ponikva ima ovalni oblik širine 230 m i dužine 180 m i zaobljen pregib visine 30 m prema istoku. Kretanje snijega i leda niz padine prema dnu ponikve (vapnenačka podloga) intenzivno je i danas. Posljedica takvog kretanja je ravna do gotovo izglačana i ogoljela površina. Sjeveroistočni rub pregiba probijen je uskim (oko 20 m) koritom prema nekadašnjoj ledenjačkoj dolini. Usljed bržeg otapanja snijega i leda (JI ekspozicija) okršavanje je intenzivnije, a fluvijalna erozija izraženija što za posljedicu ima širenje korita i pretaloživanje materijala. Ledenjačka dolina dugačka je oko 800 m. Padine su obilježene aktivnim siparima. Na izlazu iz ledenjačke doline akumuliran je fluvioglacialni i koluvijalni materijal (vidi poglavlje 10. Granulometrijska analiza, točka br. 4), (sl. 65).



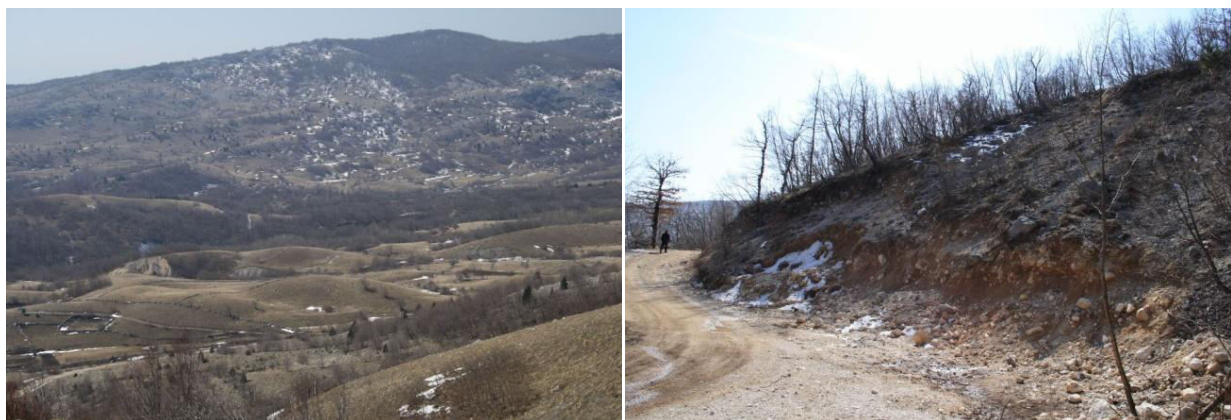
*Sl. 65. Ledenjačka dolina (istočne padine Čabulje)*

Na temelju utvrđenih tragova može se pretpostaviti da je intenzivan egzaracijski proces oblikovao ledenjačku dolinu tijekom maksimuma oledbe, usljed prihranjivanja ledom s platoastog ledenjaka.

Iz vršnih dijelova Čabulje led se kretao prema jugu što dokazuju brojne pronađene morene (Prilog 1).

### 7.2.2 Južni smjer egzracije (uvala Ladina)

Južni smjer egzracije definiran je pružanjem hrpta kojim je kretanje leda usmjereno prema uvalama Gornji (1350 m.n.v.) i Donji Doci (1300 m.n.v.), (sl. 67) i prema uvali Pod kukom. Ovo su glavna akumulacijska područja iz kojih se led kretao položitim padinama prema uvali Ladina.



a) Morene na rubu Ladine (950 m.n.v.)

b) Morena na lokaciji Grab (830 m.n.v.)

Sl. 66. Naslage morena na južnim padinama Čabulje

Cijela južna padina od hrpta Pod kukom na zapadu, do hrpta V. Brdo na istoku, prekrivena je čeonim morenama (Prilog 1). Danas su one u velikoj mjeri razorene dubokim jarugama (sl. 66a). Ledenjački materijal pretaložen je bujičnim tokovima u uvalu Ladina.

Tab. 10. Položaj čeonih morena na Čabulji

| <i>Red. br.</i> | <i>Morena (lokalitet)</i> | <i>Nadmorska visina (m)</i> |
|-----------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1.              | Donji dabio               | 1250                        |
| 2.              | Rosne poljane             | 1350                        |
| 3.              | Crnačka Ladina            | 1011                        |
| 4.              | Široka kosa               | 980                         |
| 5.              | Donji Doci                | 1300                        |
| 6.              | Vijarak                   | 1100                        |
| 7.              | Bogodolska Ladina         | 950                         |
| 8.              | Kalunine                  | 1400                        |

Velike količine i raspored morenskog materijala (Prilog 1, tab. 10) počevši od čeone morene na lokalitetu Ladina (980 m.n.v.) visine do 7 m (vidi Poglavlje 8., sl. 91) te na lokalitetu Grab (830 m.n.v.) visine do 5 m (sl. 66b) do 1300 m.n.v. na lokaciji Ravne glavice gdje je debljina naslaga oko 10 m upućuju na proces taloženja kroz nekoliko faza.



*Sl. 67.* Uvala Gornji Doci (1400 m.n.v.)

## 8. Granulometrijska obilježja sedimentnih tijela

Istraživanjem su utvrđene naslage nastale sedimentacijom vučenog i nošenog glacijalnog materijala. Sastav sedimenata čine uglavnom ulomci vapnenačkih i dolomitnih fragmenata (stijena i kršja) zatim šljunka, pjeska, praha i gline. Kako bi se utvrdio sastav i obilježja materijala uzorkovani sedimenti podvrgnuti su granulometrijskoj analizi.

Granulometrijski sastav materijala čine čestice različite veličine i oblika. Njihova veličina ima veliki utjecaj na odnose i fizičke značajke materijala. Granulometrijski sastav predstavlja sadržaj zrna različitih veličina u određenoj količini materijala. Kroz granulometriju vidljiva su određena obilježja i moguća je klasifikacija materijala (Selimović, 1985). Rezultati se predstavljaju grafičkim putem u vidu granulometrijske krivulje. U dijagramu se na apscisi vrše očitavanja promjera zrna  $D$ , a na ordinati udio pojedinih zrna koja su prošla kroz određene veličine sita (Selimović, 1985).

### 8.1 Granulometrijska analiza prema lokacijama uzorkovanog materijala

Proučavanjem akumuliranih sedimenata na različitim lokacijama u okviru istraživanog područja pokušat će se doći do podataka vezanih uz porijeklo sedimenata. Za analizu granulometrijskog sastava i oblika zrna uzorkovano je 13 točaka. Na temelju terenske analize prilikom geomorfološkog kartiranja glacijalnih tragova u reljefu određeno je 6 lokacija za uzorkovanje sedimentnog materijala na području Čabulje i 7 na području Čvrsnice (sl. 68). Uzorci pripadaju grupi glacijalnih i fluvio-glacijalnih sedimenata.



Sl.68. Lokacije uzorkovanih sedimenata

## 8.1.1 Čabulja

Od ukupno 6 uzorkovanih točaka na području Čabulje, 4 se nalaze na južnim i jugoistočnim padinama, a 2 u dolini rijeke Drežanke.

### 8.1.1.1 Lokalitet: Ladinski potok (sl. 69)

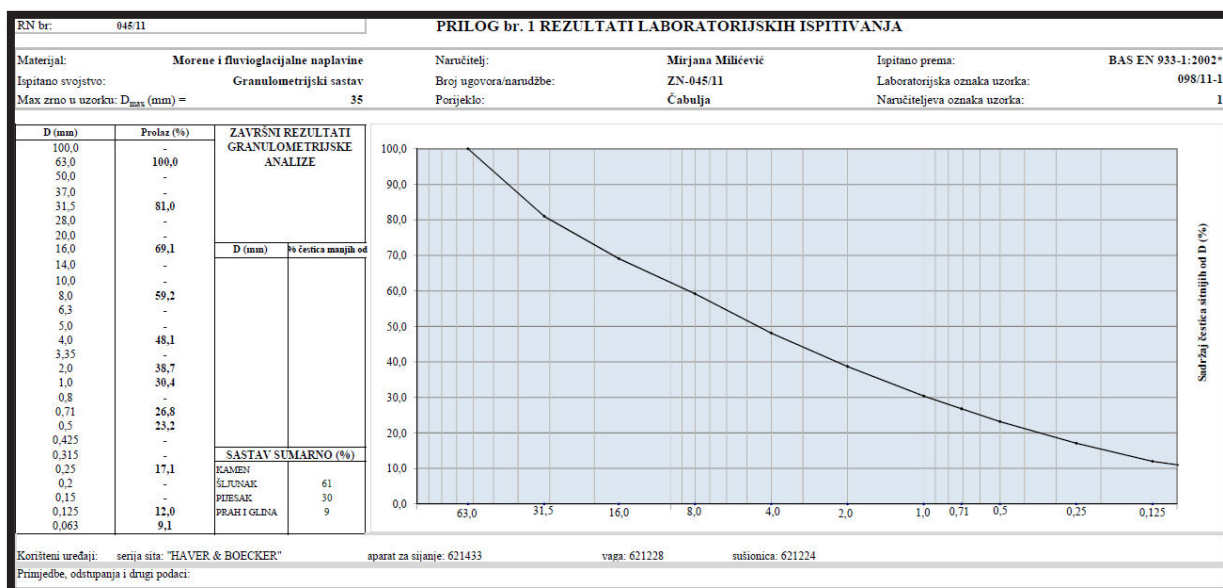
Prvi uzorkovani materijal uzet je na južnim padinama Čabulje u krajnjem dijelu uvale Ladina (980 m.n.v.). To je akumulacijsko područje glacijalnog materijala trenutno disecirano bujičnim tokovima što dovodi do njihovog pretaloživanja. Uzorkovani sedimenti uzeti su u podini morene na dubini od oko 5 m. Granulometrijskom analizom utvrđen je sastav materijala (sl. 70). Najveći udio ima šljunak od čak 61%, zatim pjesak 30% i prah 9%. Ovakav sastav ukazuje na nekoherentnost materijala. Ako je udio šljunka iznad 50% može se svrstati u kategoriju krupnozrnatih materijala. Zbog malog udjela praha i gline materijal nije podložan gravitacijskom tečenju bez jakog potiska (led).

Analiza stupnja ravnomjernosti čestica izvršena je prema udjelu efektivnog promjera zrna ( $D_{60}$ ,  $D_{10}$ ). Iz omjera količine zrna datog promjera  $D_{60}$  (8.5) i  $D_{10}$  (0.125) stupanj

ravnomjernosti iznosi 68. To pokazuje neranomjerno granulirano tlo što je odlika glacijalnog materijala. Koeficijent oblika zrna iznosi 0,27 što ga kategorizira u poluuglata do poluzaobljena zrna.



Sl. 69. Ladinjski potok – lokacija uzorka 1.



Sl. 70. Granulometrijski sastav uzorka 1.

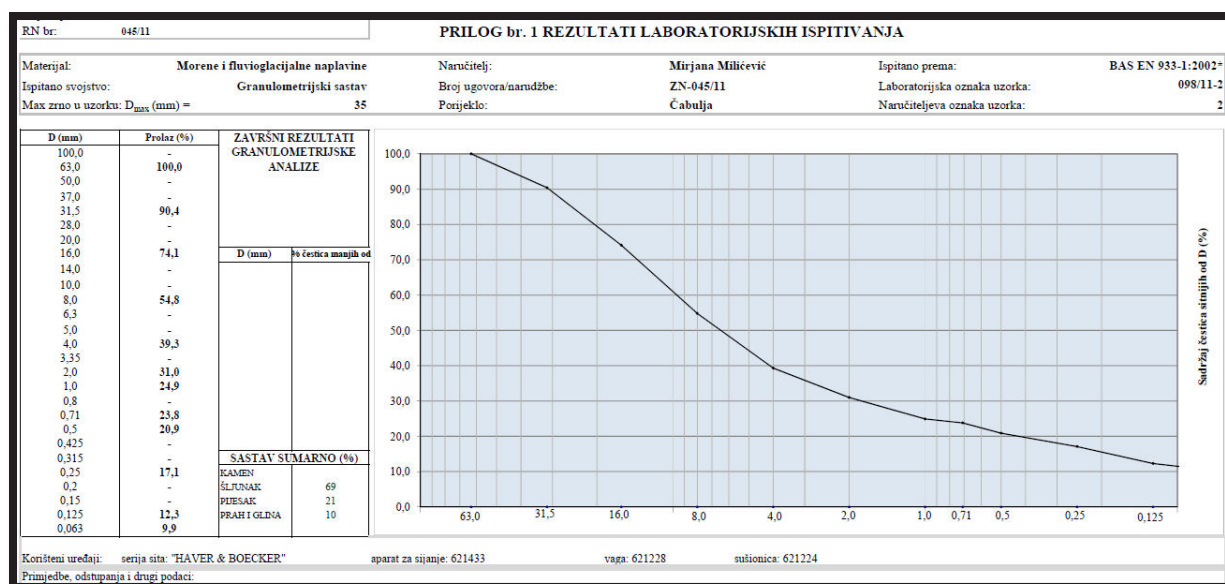
### 8.1.1.2 Lokalitet: Uvala Ladina (sl. 71)



Uzorak je uzet iz morenskog materijala na dubini od oko 2 m. Akumulirani materijal nalazi se na obodnom dijelu uvale (1 080 m.n.v.). Granulometrijska analiza pokazuje visok udio šljunka (69%) te nešto manje pjeska (21%) i praha (10%), (sl. 72). Položaj akumulacijskog materijala i njegova granulometrija ukazuju na vrlo veliku podudarnost s materijalom s lokacije 1. na krajnjem južnom dijelu uvale. Može se pretpostaviti da je riječ o istom materijalu (isti izvor i put transporta). Stupanj ravnomjernosti iznosi 80 ( $D_{60} - 10$ ,  $D_{10} - 0,125$ ) što ukazuje na negranulirani materijal odnosno moguće glacijalno podrijetlo materijala. Index zaobljenosti zrna u uzorku iznosi 0,25. Uglati oblik zrna ukazuje na kraći put prijenosa.



*Sl. 71.* Sjeverni rub uvale Ladina - lokacija uzorka 2.



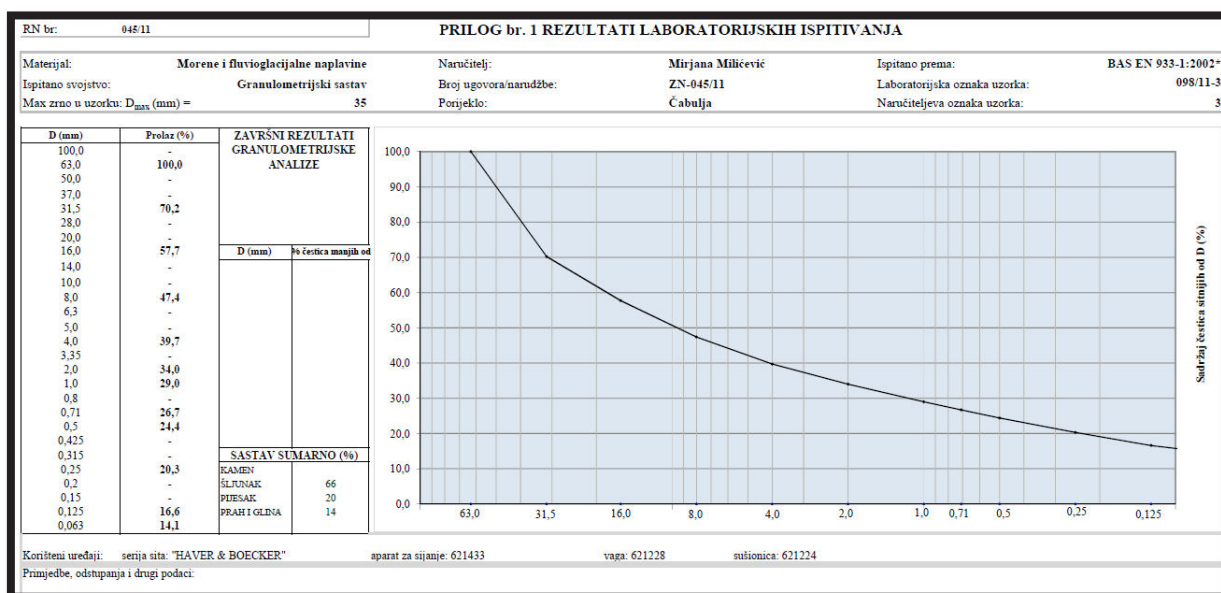
Sl. 72. Granulometrijski sastav uzorka 2.

### 8.1.1.3 Lokacija: Uvala Bandurica (sl. 73)

Uzorkovanje je izvršeno u uvali Bandurice (1 240 m.n.v.) na južnim padinama uzvišenja Bosiljine. Materijal je uzorkovan s dubine od oko 1 m. Granulometrijska analiza pokazuje krupnozrnasti sastav materijala s najvećim udjelom šljunka (66%), zatim pjeska (20%) i praha (14%), (sl. 74). Tijekom uzimanja uzoraka, prema nekoherentnosti materijala, primjećena je moguća sličnost s glacijalnim podrijetlom. Na to ukazuje i visok stupanj (360) neravnomjernosti čestica. Naime, više od polovine stijenskih fragmenata ima veličinu veću od 18 mm, a tek 10% ima promjer 0,05 mm. Prema vrijednosti koeficijenta oblika zrna od 0,38 moguć je duži put prijenosa materijala čime je uvjetovana poluzaobljenost fragmenata.



Sl. 73. Udolina Bandurice - lokacija uzorka 3.



Sl. 74. Granulometrijski sastav uzorka 3.

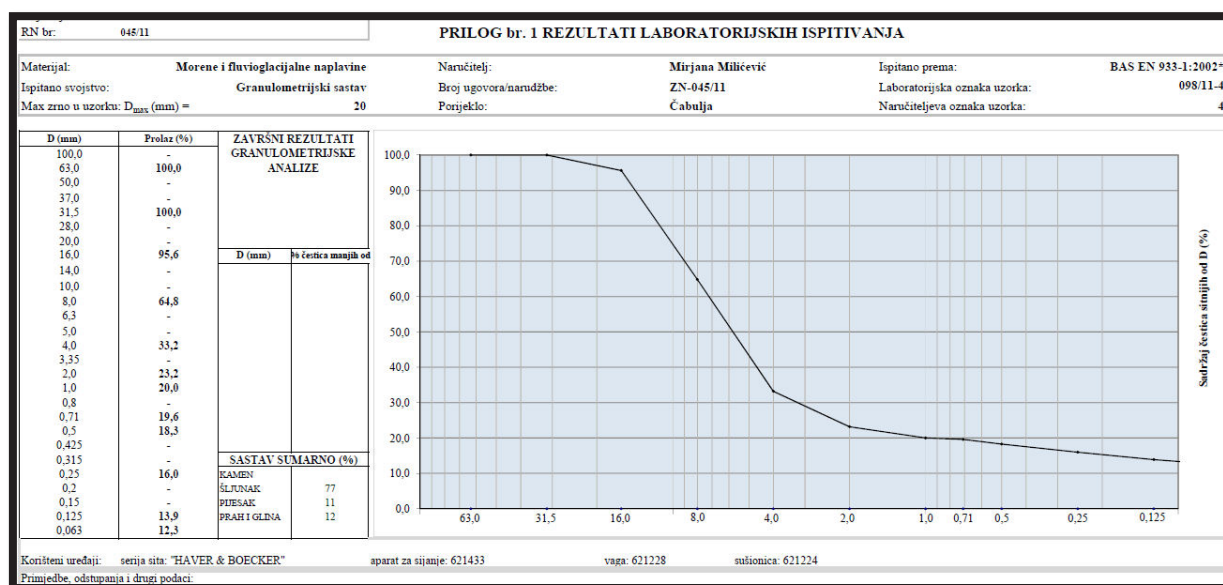
#### 8.1.1.4 Lokacija: Vilino polje (sl. 75)

Uzorkovanje je izvršeno na lokaciji Vilino polje (920 m.n.v.) na istočnim padinama Čabulje. Lokacija uzorkovanja nalazi se u podnožju cirka. Granulometrijski sastav uzorka pokazuje udio šljunka od 77%, pijeska 11% te praha i gline 12% (sl. 76). Indeks koeficijenta zrna iznosi 0,19 što ulazi u kategoriju uglastih fragmenata. Minimalna promjena sferičnosti zrna ukazuje na relativno kratak put prijenosa čestica. Izvorišno područje ovih sedimenata vjerovatno je

evidentirani cirk koji se nalazi na udaljenosti od oko 2 km. Stupanj ravnomjernosti iznosi 56 ( $D_{60} - 4$ ;  $D_{10} - 0,125$ ) i ima odlike neravnomjerno granuliranog materijala.



Sl. 75. Vrdi - lokacija uzorka 4.



Sl. 76. Granulometrijski sastav uzorka 4.

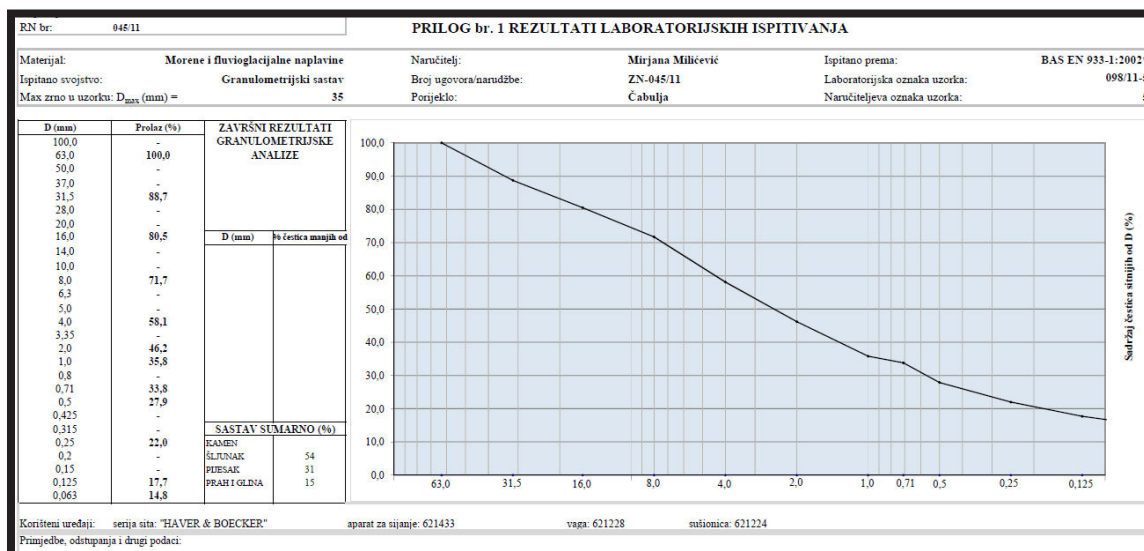
#### 8.1.1.5 Lokacija: Tramošnik (sl. 77)

Uzorkovanje je izvršeno na lokaciji Tramošnik (350 m.n.v.) u izvorišnom dijelu istoimenog povremenog (bujičnog) toka. Granulometrijski sastav uzorka na lokaciji Tramošnik čini šljunak (54%), pjesak (31%) i prah i glina (15%), (sl. 78). Ovakav omjer materijala s

veličinom ravnomjernosti od 125 ( $D_{60} - 5$ ;  $D_{10} - 0,04$ ) ukazuje na neravnomjerno granulirano tlo. Prema koeficijentu oblika zrna (0,30) materijal je kategoriziran u poluuglasti do poluzaobljeni što upućuje na mehaničku rastrožbu fragmenata i kraći put prijenosa. Navedene odlike imaju materijali glacijalnog podrijetla (morene).



Sl. 77. Tramošnik - lokacija uzorka 5.



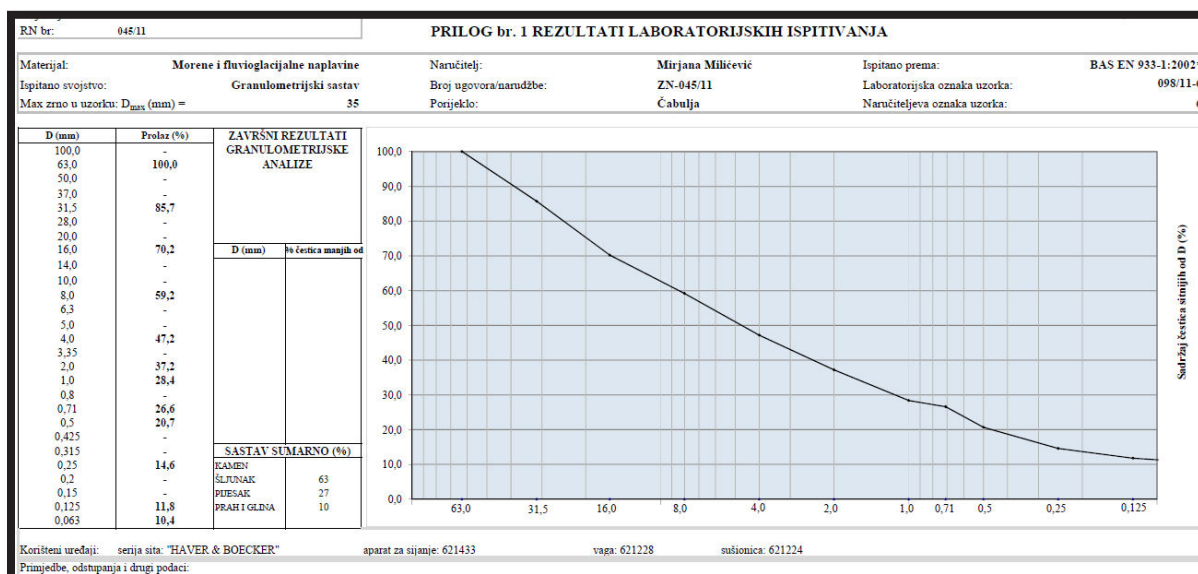
Sl. 78. Granulometrijski sastav uzorka 5.

### 8.1.1.6 Lokacija: Perutac (sl. 79)

Uzorak iz rubnog dijela doline rijeke Drežnice (Perutac, 200 m.n.v.) ima mješovitu strukturu krupnozrnatih čestica. Prema granulometrijskom sastavu udio šljunka čini 63% pijeska 27% i praha i gline 10% (sl. 80). Materijal je nekoherentan, slabe granulacije sa stupnjem ravnomjernosti 68 ( $D_{60} - 8,5$ ;  $D_{10} - 0,125$ ). Koeficijent oblika zrna ima vrijednost 0,28 što ga svrstava u poluuglata zrna. Primjetna je vrlo velika sličnost u granulometrijskom sastavu s materijalom s točke 1. Prema geomorfološkim obilježjima i prepostavljenom (analiziranom na terenu) procesu razvoja moguć je sličan razvoj sedimentacije materijala.



Sl. 79. Perutac - lokacija uzorka 6.



Sl. 80. Granulometrijski sastav uzorka 6.

## 8.1.2 Čvrsnica

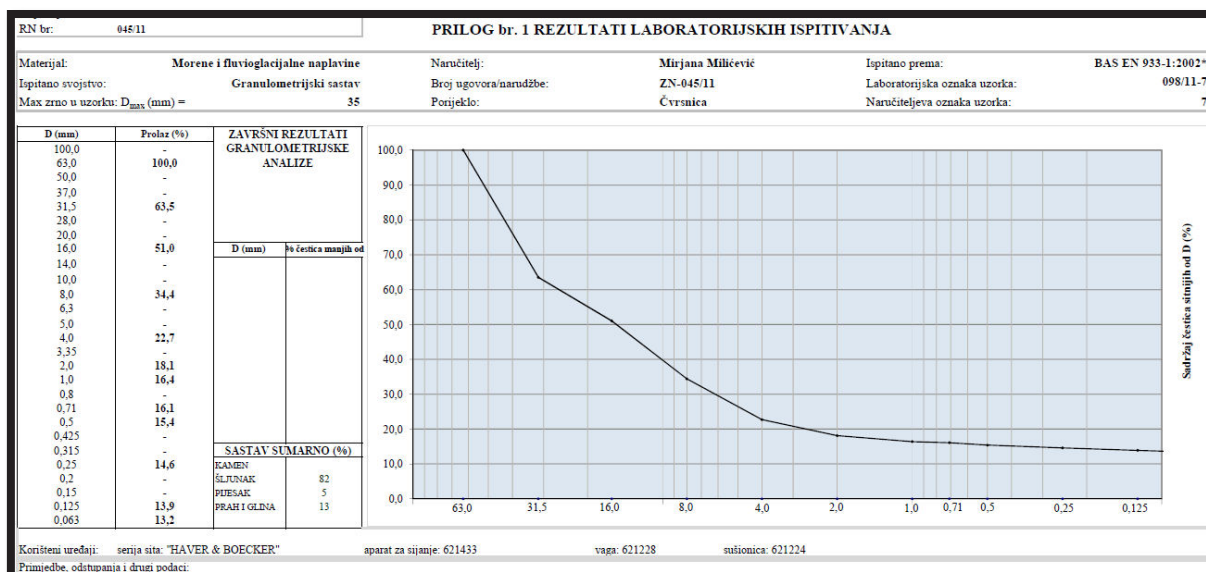
U okviru masiva Čvrsnice uzorkovano je 7 točaka. Lokacije uzorkovanja određene su na temelju terenski uočenih glacijalnih sedimenata. Uzorkovanje je izvršeno u dolinama rijeka Dive Grabovice (3 točke), Doljanke (2 točke) i Dugog polja (2 točke).

### 8.1.2.1 Lokacija: Neretva (brana) (sl. 81)

Točka uzorkovanja nalazi se u podini istočnih padina Male Čvrsnice (210 m.n.m.). Granulometrijski sastav materijala pokazuje visok udio šljunka (82%), nizak udio pjeska (5%) i praha i gline (13%), (sl. 82). Visoka koncentracija krupnih čestica (šljunak) može se objasniti utjecajem ispiranja, odnosno protočnosti vode kroz sediment. Stupanj ravnomjernosti pokazuje veličinu 300 ( $D_{60} - 27$ ;  $D_{10} - 0,09$ ) to jest visoku neravnomjerost sedimentacije u tlu što je odlika glacijalnih tala. Koeficijent oblika zrna iznosi 0,36 te spada u kategoriju poluuglastih do poluzaobljenih tala.



*Sl. 81.* Neretva (brana) - lokacija uzorka 7.



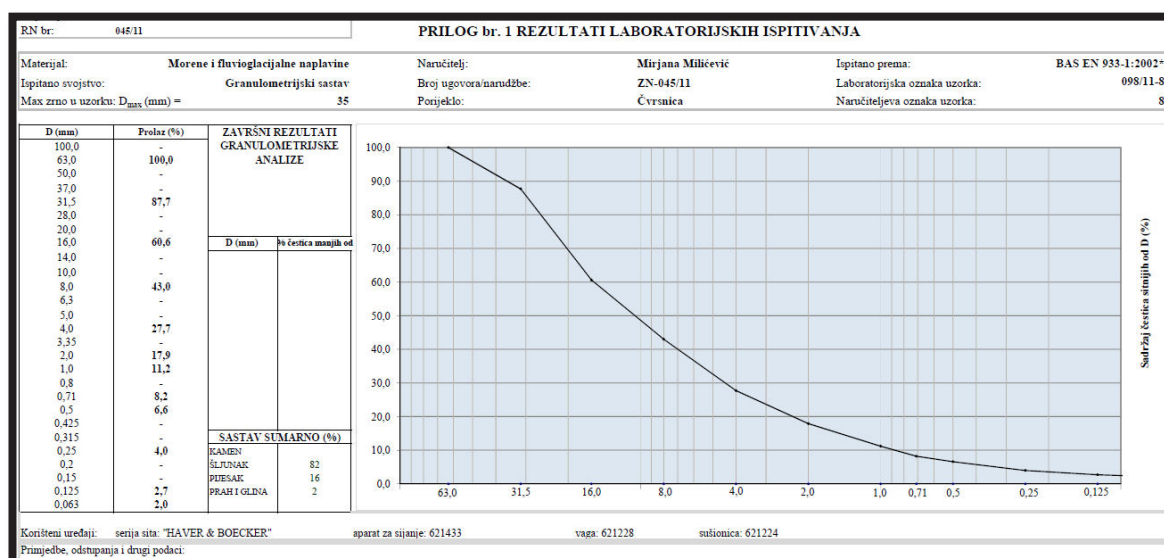
Sl.82. Granulometrijski sastav uzorka 7.

### 8.1.2.2 Lokacija: Diva Grabovica (brana), (sl. 83)

Uzorak materijala s lokacije Diva Grabovica (brana, 250 m.n.m.) po granulometrijskom sastavu vrlo je sličan komponentama s susjedne lokacije (točka 7.). Gotovo identičan omjer krupnozrnatog sastava s udjelom 82% šljunka, 16% pjeska i 2% praha i gline 2% posljedica je vjerovatno blizine uzorkovanih točaka (sl. 84). Položaj sedimenata upućuje na isto izvorišno područje i sličan proces sedimentacije što se odrazilo na sličnu strukturu sedimenta. Vrlo nizak udio praha i gline upućuje na ispiranje sedimenata. Prema stupnju ravnomjernosti veličine 20 ( $D_{60} - 17$ ;  $D_{10} - 0,85$ ) tlo se smatra neravnomjerno granulirano. Sferičnost fragmenata je minimalna, koeficijent oblika zrna iznosi 0,23.



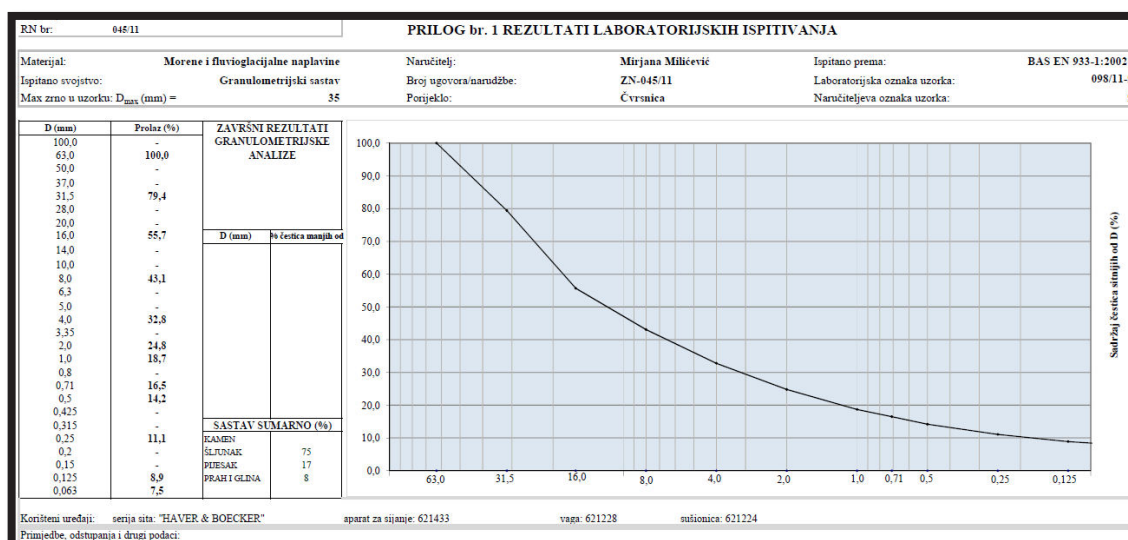


*Sl.83. Diva Grabovica (brana) - lokacija uzorka 8.**Sl. 84. Granulometrijski sastav uzorka 8.*

### 8.1.2.3 Lokacija: Diva Grabovica (sastavci), (sl. 85)

Sastav sedimenata na lokaciji Diva Grabovica (sastavci, 200 m.n.m.) pokazuje sličnost s prethodnim točkama. Visok udio krupnozrnatih fragmenata šljunka 75%, pjeska 17% i minimum praha i gline od 8% (sl. 86). Koeficijent oblika zrna ima vijednost 0,30 što je obilježja poluuglatih do poluzaobljenih klasta. Prema stupnju ravnomjernosti 85 ( $D_{60} - 17$ ;  $D_{10} - 0,20$ ) tlo se smatra naravnomjerno granuliranim.

*Sl.85. Diva Grabovica (sastavci) - lokacija uzorka 9.*



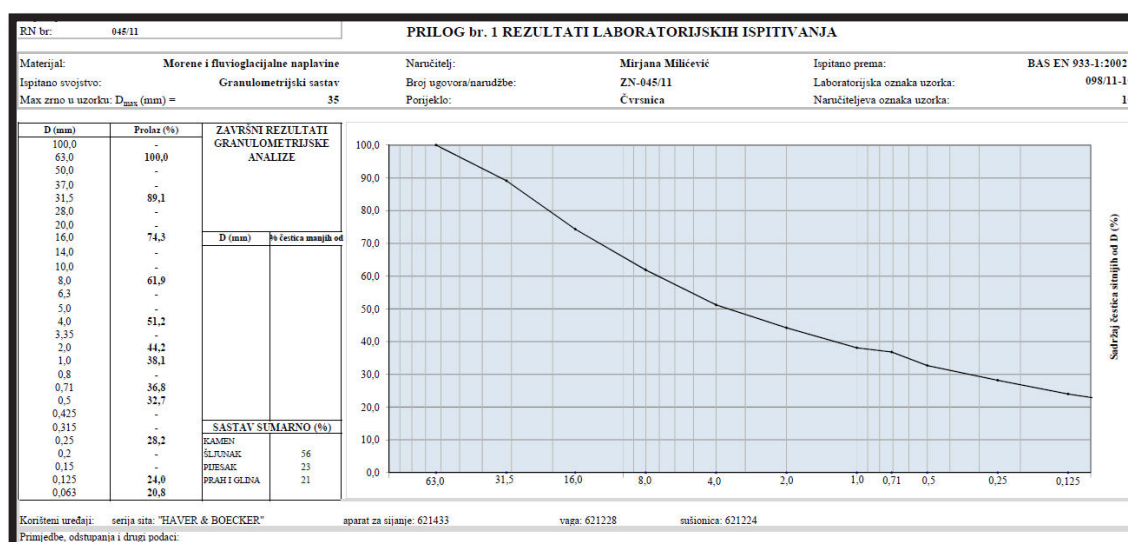
Sl.86. Granulometrijski sastav uzorka 9.

#### 8.1.2.4 Lokacija: Doljani I. (sl. 87)

Uzorak analiziranog materijala s lokacije Doljanka I. (280 m.n.m.) sastoji se od šljunka (56%), pijeska (23%) i praha i gline (21%), (sl. 88). Ovo nekoherentno tlo pokazuje odnos morenskog nanesenog materijala. Koeficijent oblika zrna iznosi 0,34 što spada u kategoriju poluuglatih do poluzaobljenih fragmenata. Stupanj ravnomjernosti je visok, iznosi 350 ( $D_{60} - 7; D_{10} - 0,02$ ).



Sl.87. Doljani I. - lokacija uzorka 10.



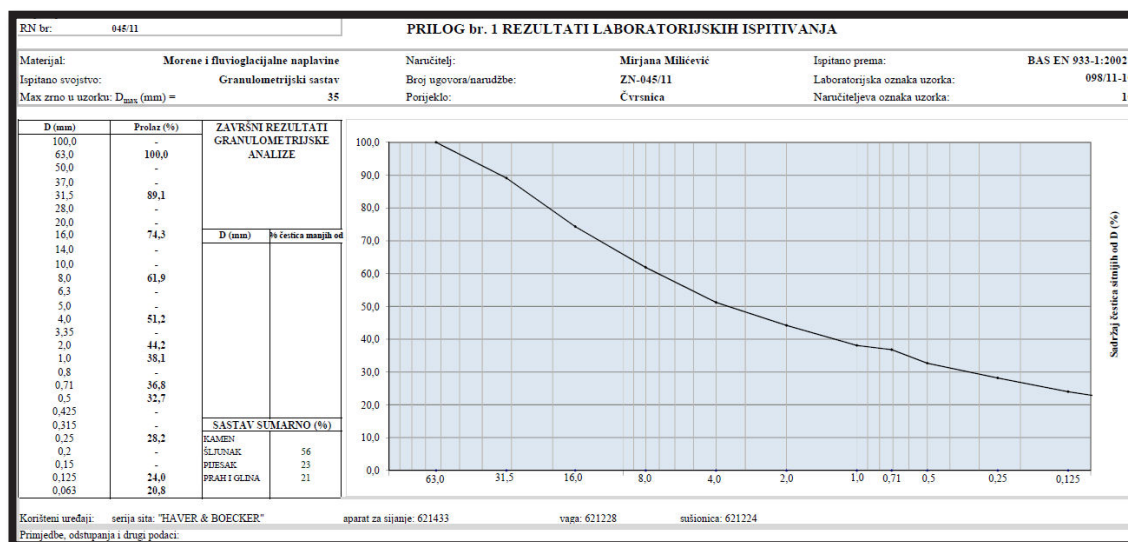
Sl.88. Granulometrijski sastav uzorka 10.

### 8.1.2.5 Lokacija: Doljani II. (sl. 89)

U uzorku s lokacije Doljani II. (560 m.n.m.) granulometrijski sastav čini 71% šljunka, 27% pijeska i 2% praha i gline (sl. 90). Analizom stupnja ravnomjernosti dobivena je veličina od 8,45 ( $D_{60} - 6$ ;  $D_{10} - 0,71$ ) što se smatra sedimentom umjereno neravnomjernog sastava. Ovo je jedina uzorkovana lokacija koja je pokazala stupanj djelomične ravnomjernosti sedimenta. Fragmenti čestica pripadaju grupi poluuglastih do poluzaobljenih s koeficijentom zrna 0,27.



Sl.89. Doljani II. - lokacija uzorka 11.



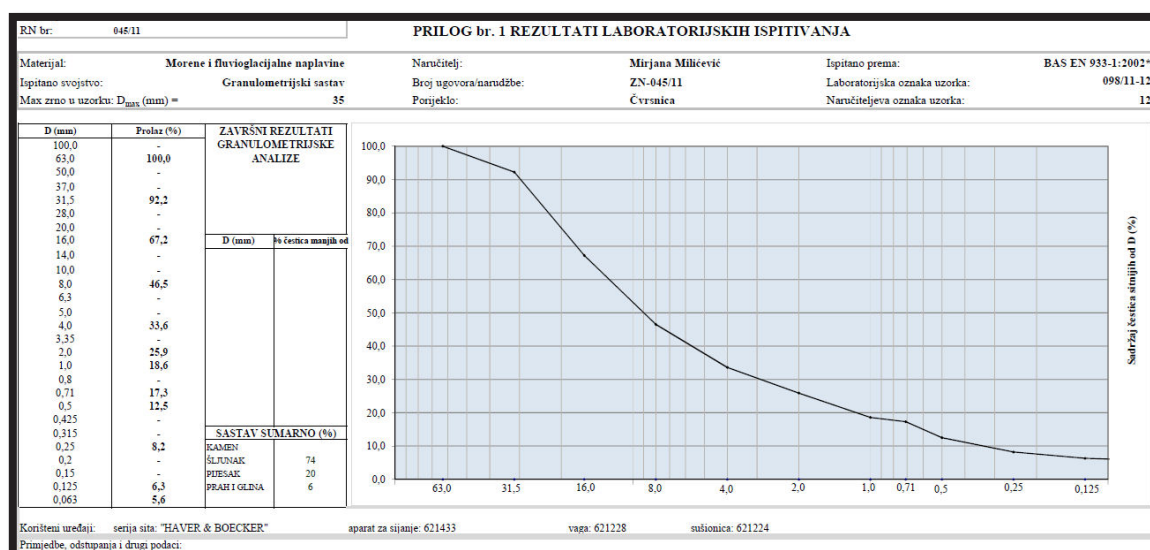
Sl.90. Granulometrijski sastav uzorka 11.

### 8.1.2.6 Lokacija: Risovac (sl. 91)

Uzorkovani materijal uzet je u Dugom polju (Risovac, 1250 m.n.m.) u podnožju cirkova na zapadnim padinama Čvrnsnice. Granulometrijski sastav udjela veličinskih čestica pokazuje omjer od 74% šljunka, 20% pijeska i 6% praha i gline (sl. 92). Sferičnost oblika zrna je djelomična. Koeficijent oblika zrna je 0,33 što zrna klasificira u poluuglate do poluzaobljene. Stupanj ravnomjernosti tla iznosi 37,14 ( $D_{60} - 13$ ;  $D_{10} - 0,35$ ) što ga čini neravnomjerno granuliranim tlom.



Sl.91. Risovac - lokacija uzorka 12.



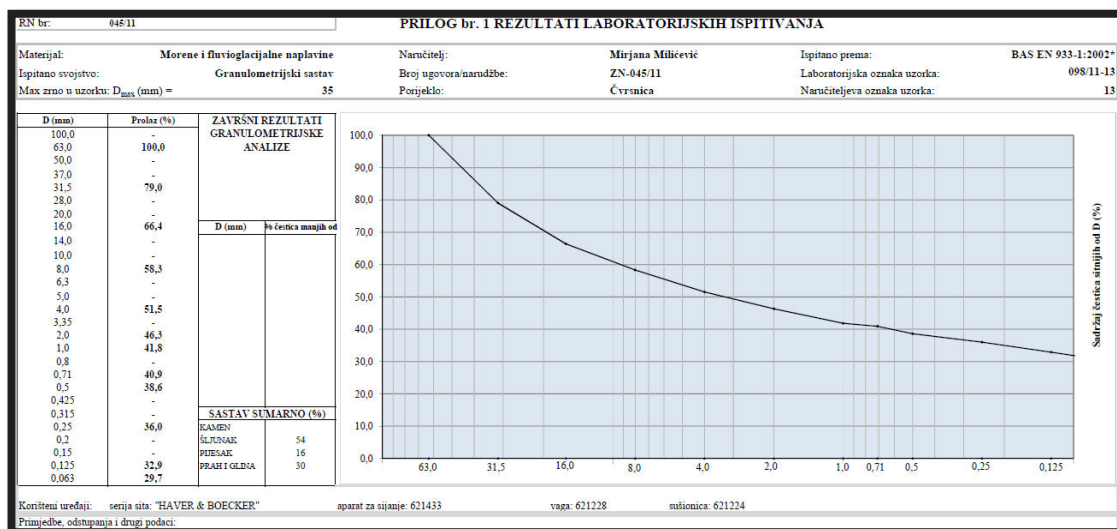
Sl.92. Granulometrijski sastav uzorka 12.

### 8.1.2.7 Lokacija: Blidinje (Glavice), (sl. 93)

Lokacija uzorkovanja nalazi se na krju ledenjačke doline (1230 m.n.m.). Uzorak s lokacije Blidinje (Glavice) ima omjer 54% šljunka, 16% pijeska i 30% praha i gline (sl. 94). Tlo je nekoherentnog sastava, neravnomjerno granulirano s visokim stupnjem ravnomjernosti 1000 ( $D_{60} - 9$ ;  $D_{10} - 0,009$ ). Koeficijent oblika zrna iznosi 0,28 što ga svrstava u poluuglata do poluzaobljena zrna.



SI.93. Blidinje (jezero) - lokacija uzorka 13.



SI.94. Granulometrijski sastav uzorka 13.

## 8.2 Zaobljenost zrna

Zaobljenost zrna je odnos kutova i bridova zrna prema polumjeru najvećeg mogućeg u zrno upisanog kruga. Uvelike ovisi o duljini prijenosa. Proporcionalna je dužini i intenzitetu prijenosa, veličini zrna i njihovoj gustoći, a obrnuto proporcionalna s tvrdoćom zrna. Tako valutice šljunka dobro su zaobljene već nakon 10-15 km prijenosa, za razliku od malog stupnja zaobljenosti kvarca (2 000 km – 5%). Ulomci tzv. mekših stijena (vapnenac) koji su prenošeni samo na kratke udaljenosti od njihovih izvornih područja obično nisu dostigli visoku fazu razvoja i ostaju približno isti, uglati ili poluuglati. Međutim, ulomci koji prijeđu duži put ili čak nekoliko faza razvoja pri prijenosu pokazuju puno viši stupanj zaobljenosti. Osnovna jednadžba (Prskalo, 2008) koja karakterizira mjeru zaobljenosti (koeficijent zaobljenosti zrna) prema Wadellu je:

$$\text{Index sferičnost} = \text{volumen zrna} / \text{volumen opisanog kruga}$$

Sferičnost zrna povećava se s približavanjem volumena zrna volumenu opisanog kruga. Kada su dva volumena ista volumen je 1, dok uska igličasta zrna imaju sferičnost 0. Pri opisu zaobljenosti zrna određene su klase zaobljenosti, a mjerna vrijednost kao koeficijent oblika zrna. U tablici 9 dati su formalni opisi uobičajenih klasa zaobljenosti kako se obično primjenjuju u okviru granulometrijske analize.

Tab. 9. Opisne i numeričke vrijednosti koeficijenta oblika zrna (Prskalo, 2008)

| <i>Klasa</i>                           | <i>Vrijednost zaobljenosti</i> | <i>Karakteristike</i>   |
|--|--------------------------------|---|
| <b>Vrlo uglati</b>                     | 0,0 – 0,15                     | Oštri rubovi i kutovi, malo ili nimalo tragova denudacije.  |
| <b>Uglati</b>                          | 0,15 – 0,25                    | Kutni, bez oštih rubova ali ne glatko zaobljeni. Pokazuju znakove blage denudacije ali zadržavaju prvobitni oblik. Lica nedirnuta dok su kutovi u rubovi do izvjesne mjere zaobljeni.                   |
| <b>Poluuglati<br/>do poluzaobljeni</b> | 0,25 – 0,40                    | Djelomično zaobljeni, koji pokazuju znatnu ali ne potpunu denudaciju. Prvobitni oblik im je još uvijek vidljiv ali rubovi i kutovi su zaobljeni do glatkih krivulja. Smanjeno područje prvobitnih lica. |
| <b>Zaobljeni</b>                       | 0,40 – 0,60                    | Zaobljeni ili zakrivljenog oblika, prvobitni rubovi i kutovi su izgladjeni do dosta širokih krivulja. Prvobitno lice je denudacija skoro potpuno uklonila. Moguć je opstanak nekih ravnih područja.     |
| <b>Vrlo zaobljeni</b>                  | 0,60 – 1,00                    | Prvobitna lica, rubovi i kutovi su uništeni denudacijom. Cijela površina sastoji se od širokih krivulja bez bilo kakvih ravnih područja.  |

Glacijalna tla, nastala mehaničkom rastrožbom stijena uglavnom imaju fragmente oštih rubova. Sferičnost zrna mijenja se pod utjecajem daljnjih procesa (egzaracija, prijenos ledom i taloženje) u razvoju tla. Prilikom prolaska duž raznih putanja unutar leda, glacijalni procesi mijenjaju karakteristike nanosa (veličinu čestica i oblik klasta, teksturu i oblik naslaga). Uz visoke potiske pri kretanju ledenjaka material se deformira.

Tab. 10. Granulometrijska analiza podataka

| Redni broj | Koeficijent oblika zrna | Šljunak (%) | Pijesak (%) | Prah i glina (%) |
|------------|-------------------------|-------------|-------------|------------------|
| 1.         | 0,27                    | 61          | 30          | 9                |
| 2.         | 0,25                    | 69          | 21          | 10               |
| 3.         | <b>0,38</b>             | 66          | 20          | 14               |
| 4.         | 0,19                    | 77          | 11          | 12               |
| 5.         | 0,30                    | 54          | 31          | 15               |
| 6.         | 0,28                    | 63          | 27          | 10               |
| 7.         | <b>0,36</b>             | 82          | 5           | 13               |
| 8.         | 0,23                    | 82          | 16          | 2                |
| 9.         | 0,30                    | 75          | 17          | 8                |
| 10.        | <b>0,34</b>             | 56          | 23          | 21               |
| 11.        | 0,27                    | 71          | 27          | 2                |
| 12.        | 0,33                    | 74          | 20          | 6                |
| 13.        | 0,28                    | 54          | 16          | 30               |

Analizom koeficijenta oblika zrna (tab. 10) u uzorku izdvojene su dvije kategorije:

- Uglati (0,15 – 0,25) – 3 točke
- Poluuglati do poluzaobljeni (0,25 – 0,40) – 10 točaka.

*Uglati oblik zrna* prema svojim obilježjima (Tab. 19) upućuje na kraći pređeni put prijenosa prilikom kojeg nije moguće oblikovati više sferičnosti. Uglavnom su to fragmeti koji imaju oblike blage sferičnosti ali ipak oštre rubove. Ovakva obilježja pokazuju uglavnom uzorci uzeti na lokacijama u podnožju formiranih cirkova.

*Poluuglati do poluzaobljeni oblik zrna* zastupljen je na preostalim točkama. Veća zaobljenost upućuje na duži put prijenosa materijala odnosno utjecaj nekoliko procesa do točke taloženja. Uzorkovani materijal ima obilježja materijala glacijalnog i fluvioglacijalnog porijekla. Najveću zaobljenost pokazao je materijal s lokacije 3., 7. i 10. (tab. 10). Točke 3. i 10. imaju



odlike morenskog sedimenta. Veća zaobljenost potvrđuje pretpostavljeno izvorišno područje i veću udaljenost od mjesta taloženja (duži put prijenosa). Izražena zaobljenost materijala s točke 7. (Neretva, most) može biti posljedica:

- a) Dužeg puta prijenosa iz izvorišnog dijela (plato Male Čvrsnice),
- b) Materijal nataložen za povišenog vodostaja Neretve (tijekom holocena).

Na ovakve pretpostavke ukazuje položaj sedimenata. Prvu tezu moguće je objasniti činjenicom o postojanju platoastog ledenjaka koji je prekrrio cijeli plato Male Čvrsnice. Ledenjački jezici su se spuštali s više starana, prema jugu (dolina Drežnice), sjeveru (dolina Dive Grabovice) i istoku (kanjon Neretve). Analizom na terenu nije primjećeno izraženo korito ili dolina ledenjačkog jezika prema sedimentima na točki 7. Duž cijele padine zastupljen je klasični padiski material. Nedostatak praha i gline u sastavu sedimenta posljedica je ispiranja materijala.

Na drugu tezu upućuje položaj sedimenata u rubnom dijelu doline uz korito Neretve (desna obala). Kanjon rijeke uvjetuje širinu korita koje na ovom dijelu ne prelazi 20 m. Izmjena razine vodostaja Neretve tijekom holocena vidljiva je na profilu sedimenata na lijevoj obali korita. Profil pleistocensko-holocenskih sedimenata pokazuje fluktuacije taloženja tijekom različitih faza sedimentacije. Granice između paketa različitih slojeva predstavljaju različite uvjete taloženja odnosno promjene u vodostaju rijeke. Usporedivši visinu obale na mjestu uzorkovanja s najvišom točkom na profilu (površinski dio) utvrđeno je da se nalaze na istoj razini. To znači da su fluvioglacialni nanosi mogući na visini od oko 30 m iznad današnjeg korita (sl. 95). Prema navedenom, može se pretpostaviti da su sedimenti na točki 7. fluvioglacialnog porijekla.



*Sl.95. Profil fluvioglacialnih sedimenata u koritu Neretve*

### 8.3 Stupanj ravnomjernosti tla

Ovisno o granulometrijskim obilježjima sediment se može klasificirati kao dobro, slabo ili nikako granuliran. Stupanj ravnomjernosti tla moguće je odrediti na temelju granulometrijske krivulje prema Hazenu (Selimović, 1985) i to odnosom:

$$C_n = D_{60}/D_{10}$$

gdje je:

$D_{60}$  – dijametar zrna koji odgovara prolazu kroz sito od 60%,

$D_{10}$  – dijametar zrna koji odgovara prolazu kroz sito od 10%

Dijametar je određen prema ustaljenim normativima pri analizi ravnomjernosti tla.

Ukoliko je:

$C_n < 5$  tlo se smatra ravnomjernim,

$C_n = 5 - 15$  tlo je umjereno neravnomjernog sastava i

$C_n > 15$  tlo se smatra neravnomjerno granulirano.

Tab. 11. Stupanj ravnomjernosti tla (%)

| Broj lokacije | $D_{60(mm)}$ | $D_{10(mm)}$ | $C_n$ |
|---------------|--------------|--------------|-------|
| 1.            | 8.5          | 0.125        | 68    |
| 2.            | 10           | 0.125        | 80    |
| 3.            | 18           | 0.05         | 360   |
| 4.            | 7            | 0.125        | 56    |
| 5.            | 5            | 0.04         | 125   |
| 6.            | 8.5          | 0.125        | 68    |
| 7.            | 27           | 0.09         | 300   |
| 8.            | 17           | 0.85         | 20    |
| 9.            | 17           | 0.20         | 85    |
| 10.           | 7            | 0.02         | 350   |
| 11.           | 6            | 0.71         | 8.45  |
| 12.           | 13           | 0.35         | 37.14 |
| 13.           | 9            | 0.009        | 1000  |

Odnos analiziranih dijametara za promatrane točke (tab. 11) pokazuje vrijednosti ( $C_n$ ) iznad 15. Prema postavljenim normativima tlo se smatra neravnomjerno granulirano što je

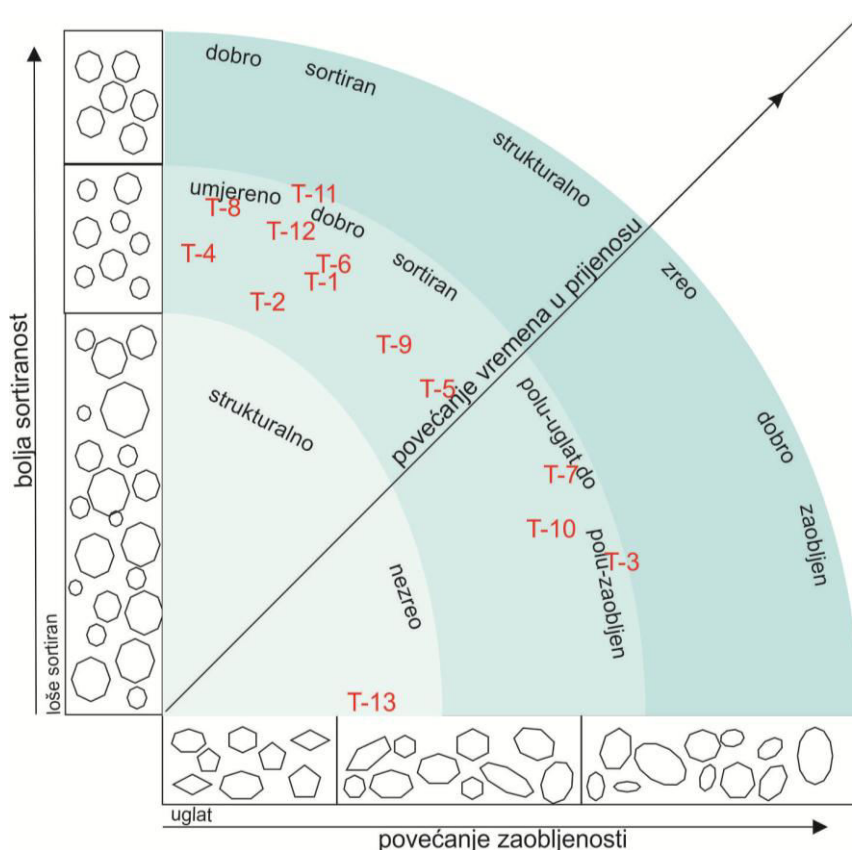
karakteristika glacijalnih tala. Iznimku čini samo točka 11 kod koje je vrijednost nešto niža (8.45). Budući je analiza sastava tla pokazala povećan udio krupnozrnatog materijala u odnosu na prah, vjerovatno je riječ o pretaloženom tlu koje je akumulirno i isprano vodom. Na taj način moguće je pojačano gubljenje sitnih čestica, a da pri tom ostale frakcije budu ravnomjernije sedimentirane.

Dakle, što je odnos (Cn) veći, to je material manje jednoličan to jest promjer zrna vrlo široko varira, a to je odlika glacijalnog tla.

## 8.4 Strukturna zrelost

Određivanje relativnog stupnja strukturne zrelosti materijala ima za cilj utvrditi moguću starost sedimenata. Na zrelost sedimenata najviše utječu klimatski uvjeti razgradnje stijena te prijenos i mineraloški sastav stijene izvorišnog područja. Tako je moguće mjeriti strukturnu zrelost, mineralošku zrelost i sastavnu zrelost materijala. Pri analizi izvršena je podjela za opisivanje zrelosti sedimenata na nezreo, poluzreo, zreo i super zreo (Prskalo, 2008.).

Strukturna zrelost se uglavnom mjeri prema veličini čestica, sortiranju i zaobljenosti čestica u sedimentu. Proces sazrijevanja smanjuje čestice pri čemu se grubi rubovi zaobljuju te vanjska površina zrna prelazi u glatku i zaobljeniju površinu. Tumačenje strukturne zrelosti postavljeno je tezom „što je veći razmak i interval vremena u mediju prijenosa, to nastali sediment postaje zreliji“.



Sl. 96. Strukturna zrelost uzorkovanih sedimenata

Položaj uzorkovanih točaka pri procesu oblikovanja i taloženja na ljestvici strukturne zrelosti zauzima pojas iznad razine strukturno nezrelog prema polu-umjereno zreom sedimentu (sl. 96). Budući je riječ o glacijalnom i fluvioglacijalnom materijalu nema većih odstupanja u položaju između točaka. U osnovi, glacijalni sediment je krajnje heterogen s obzirom da se

egzaracijom proizvode ulomci svih veličina i oblika. Međutim, način i vrijeme prijenosa može biti različito između lokacija. Relativno manje rezlike pri strukturnoj zrelosti uzorkovanih točaka mogu se naglasiti kod izrazito glacijalnog i fluvioglacijalnog sedimenta. Taloženje materijala ledom prolazi samo prijenos unutar ledenjaka bez dodatnih procesa kojim bi materijal bio bolje raspoređen i sortirano, dok taloženje uz naknadno hidrološko oblikovanje i sortiranje utječe na bolju sortiranost i zaobljenost te tako ima bolju predispoziciju za stvaranje strukturno zrelijih komponenti. Dakako, važan čimbenik je vrijeme taloženja prilikom čega na strukturnu zrelost utječu i ostali čimbenici.

## 9. UTJECAJ KLIME I PALEOKLIME NA RAZVOJ RELJEFA

### 9.1 Recentna klimatska obilježja

#### 9.1.1 Opći prikaz klimatskih obilježja

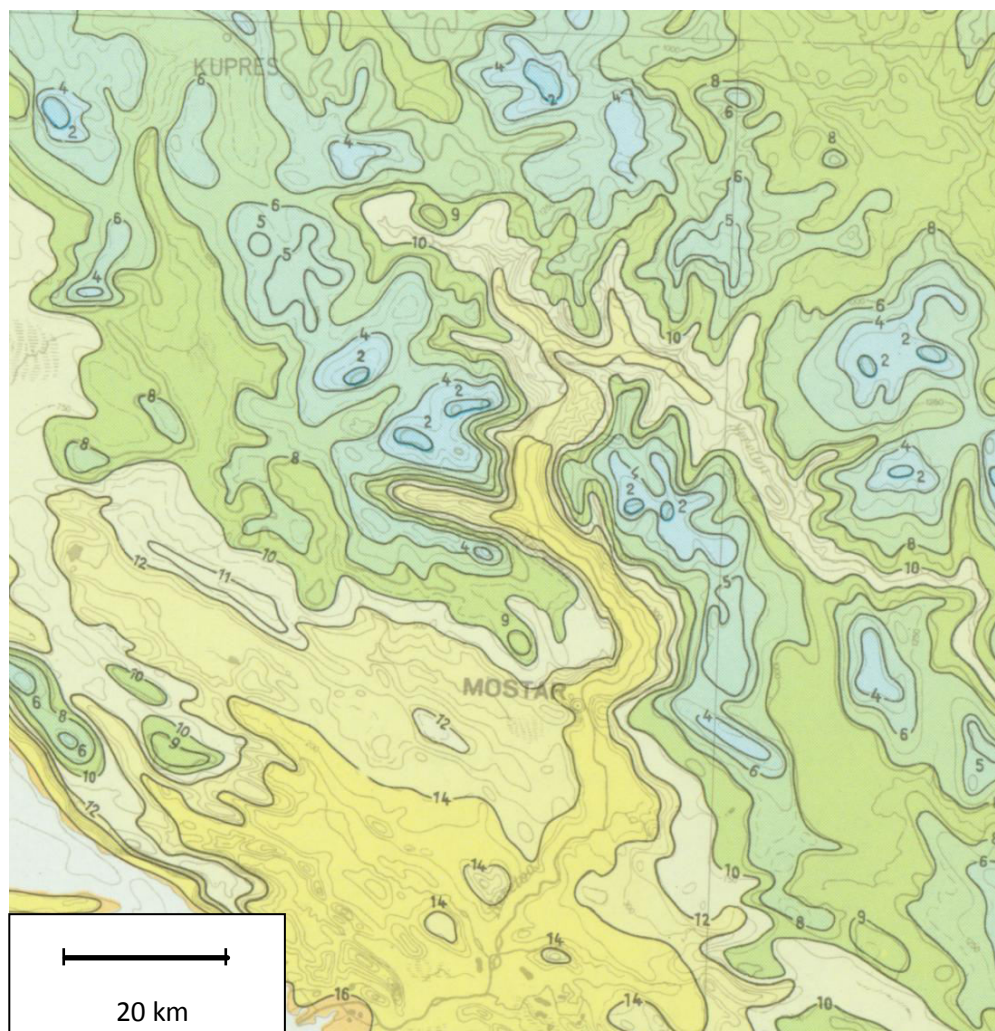
Klimatske značajke predstavljaju jedan od temeljnih čimbenika razvoja periglacialnih i glacijalnih reljefnih oblika. Poznavanje klimatskih obilježja istraživanog područja vrlo je važan element analize razvoja recentnih periglacialnih procesa, analizu geneze glacijalnog reljefa, odnosno analize paleoklimatskih obilježja istraživanog područja. Tako se posebna pozornost treba usmjeriti na kvantitativne metode geostatističke analize prostornog rasporeda osnovnih klimatotskih elemenata (temperature i padaline), te na rekonstrukciju istih u vrijeme pleistocena (Würma).

Cilj analize pojedinih klimatskih elemenata značajnih za periglacialne i glacijalne procese unutar gorskog masiva Čvrsnice i gorskog hrpta Čabulje je, na temelju geostatističkih analiza, izračun odgovarajućih prostornih modela traženih klimatskih parametara. Metodologija izrade takvih modela temelji se na postupcima analiza vrijednosti pojedinog klimatskog elementa s čimbenicima razmještaja tih vrijednosti u prostoru (npr. geografska širina i dužina, nadmorska visina i dr.), primjena odgovarajućeg statističkog modela za određivanje kvantitativnih veličina definiranih veza, te računanje vrijednosti samog modela. Tako definirane modele klimatskih elemenata moguće je jednostavno ugraditi u čitav niz geomorfoloških analiza.

Već u prvoj fazi analize klimatskih elemenata susreli smo se s problemom ne postojanja niti jedne klimatološke mjerne stanice unutar istraživanog područja (klimatološka stanica Jablanica je na samom rubu istraživanog područja), a na stanicama u neposrednoj blizini mjerenje je obavljano tijekom kraćeg razdoblja, odnosno mjerenju su prekinuta tijekom rata. Izuzetak čini samo klimatološka stanica Mostar s dugogodišnjim nizom praćenja klimatoloških elemenata. U svrhu analize općih klimatskih obilježja istraživanog područja korišteni su mjerni podaci stanica Mostar, Lištica (Široki Brijeg), Jablanica, Makljen i Bjelašnica (sl. 97) u razdoblju od 1961. do 1990. godine.

### 9.1.2 Temperatura zraka

Iz prikaza raspodjele srednjih godišnjih temperatura zraka u širem području istraživanja (sl. 97, 98) možemo govoriti o regionalnom padu temperature udaljavanjem od Jadranskog mora.

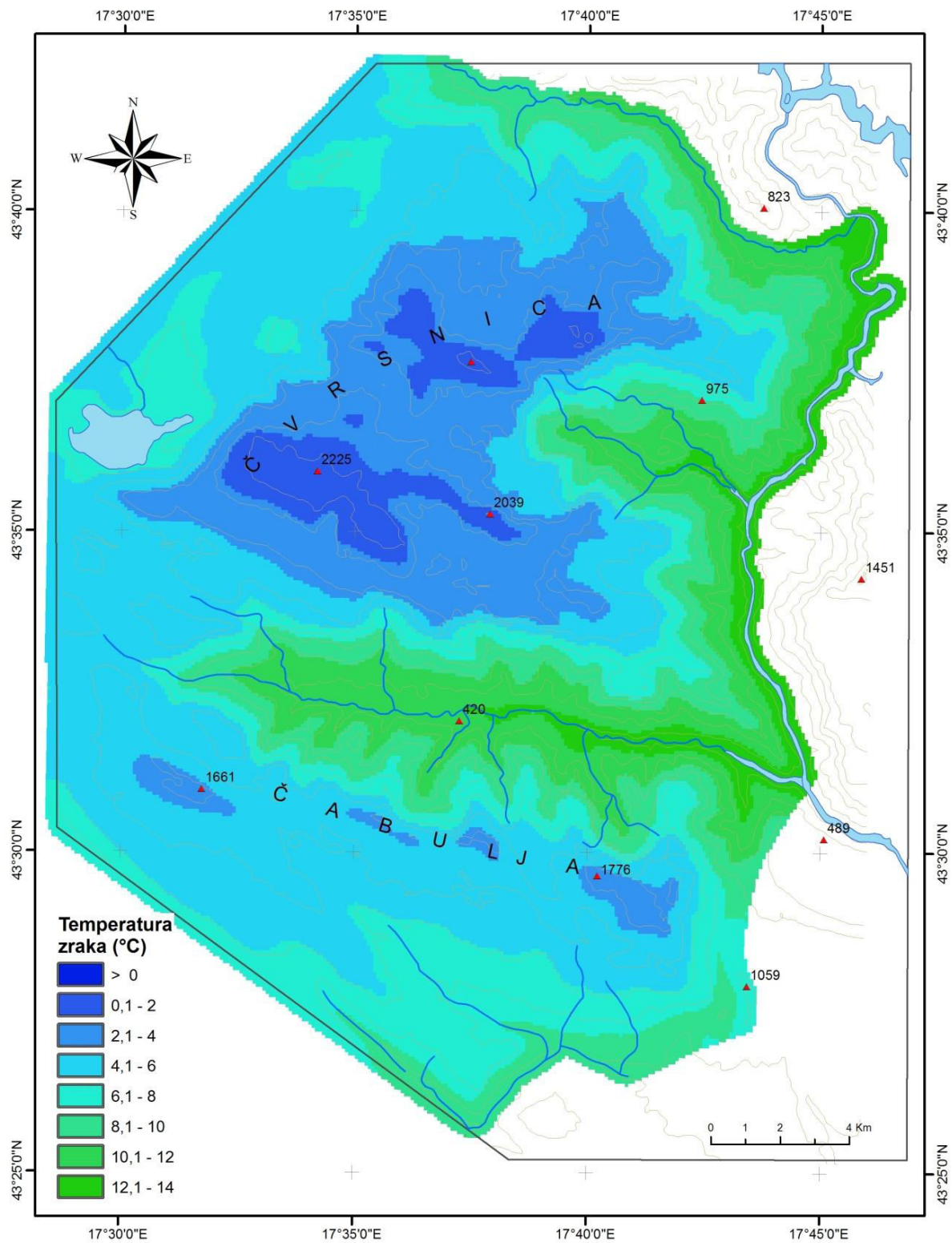


Sl. 97. Srednje godišnje temperature zraka; 1931.-1960. godina (Atlas klime SFRJ, Beograd)

Takva raspodjela temperatura posljedica je utjecaja reljefa. Dominira razlika između planinskog dijela visoke i zaravni niske Hercegovine gdje najviše dijelove planina iznad 2000 metara zatvara izoterma srednjih godišnjih temperatura zraka od 2°C dok su široke zaravni niske Hercegovine unutar izoterme od 14°C. Glavna anomalija opisane raspodjele temperature u promatranom području vezana je za dolinu Neretve (sl. 98). Njome izoterme od 10°C do 14°C ulaze duboko u unutrašnjost kontinenta. To se najčešće pripisuje termičkom utjecaju Jadranskog mora, ali Šegota (1988) ističe i djelovanju kotlinskog efekta – značajno zagrijavanje tijekom zimskih mjeseci uz veliki broj vedrih dana (bez magle).

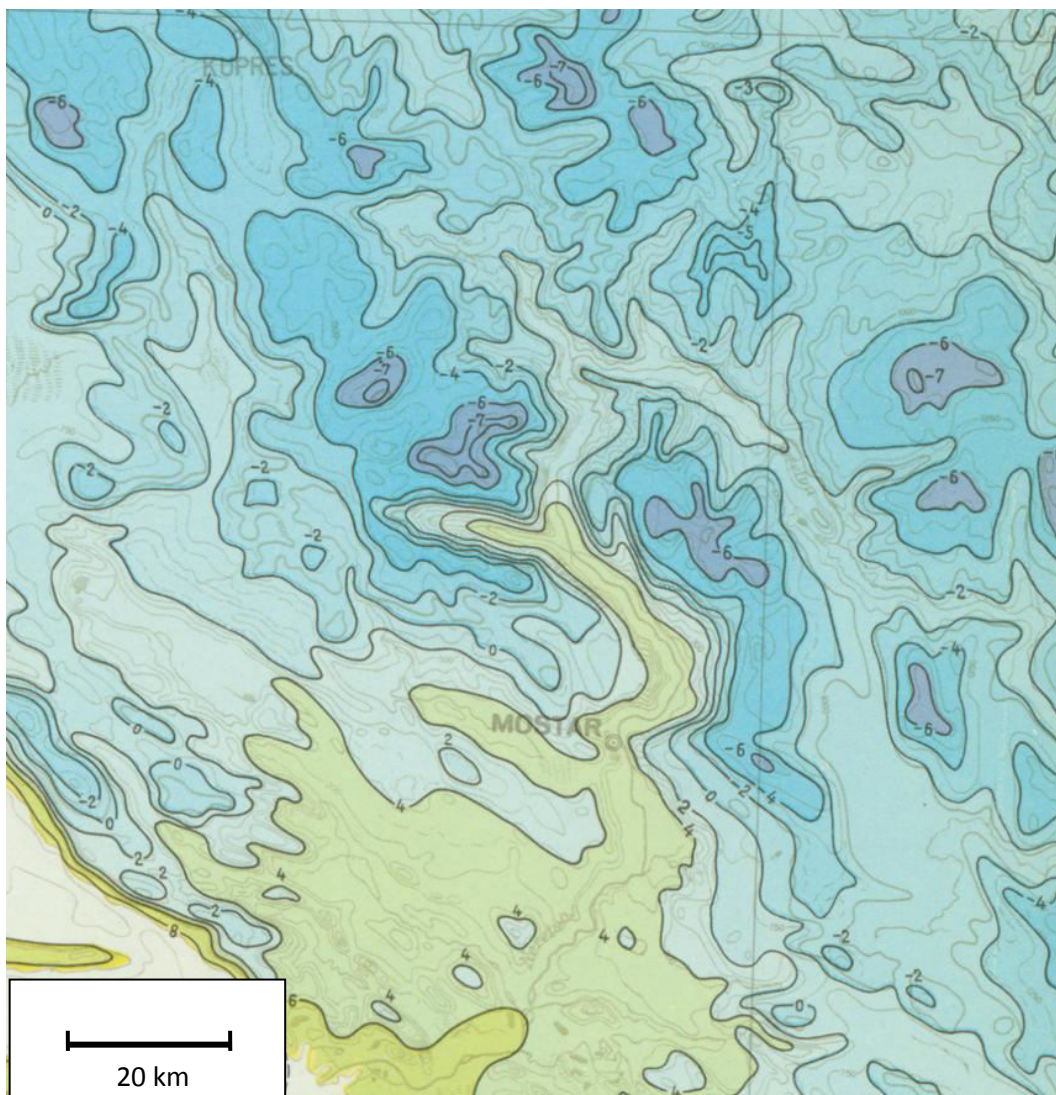


## SREDNJA GODIŠNJA TEMPERATURA ZRAKA (1961 - 1990)



Sl. 98. Srednja godišnja temperature zraka; 1961.-1990. godina  
(Izvor podataka: Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo)

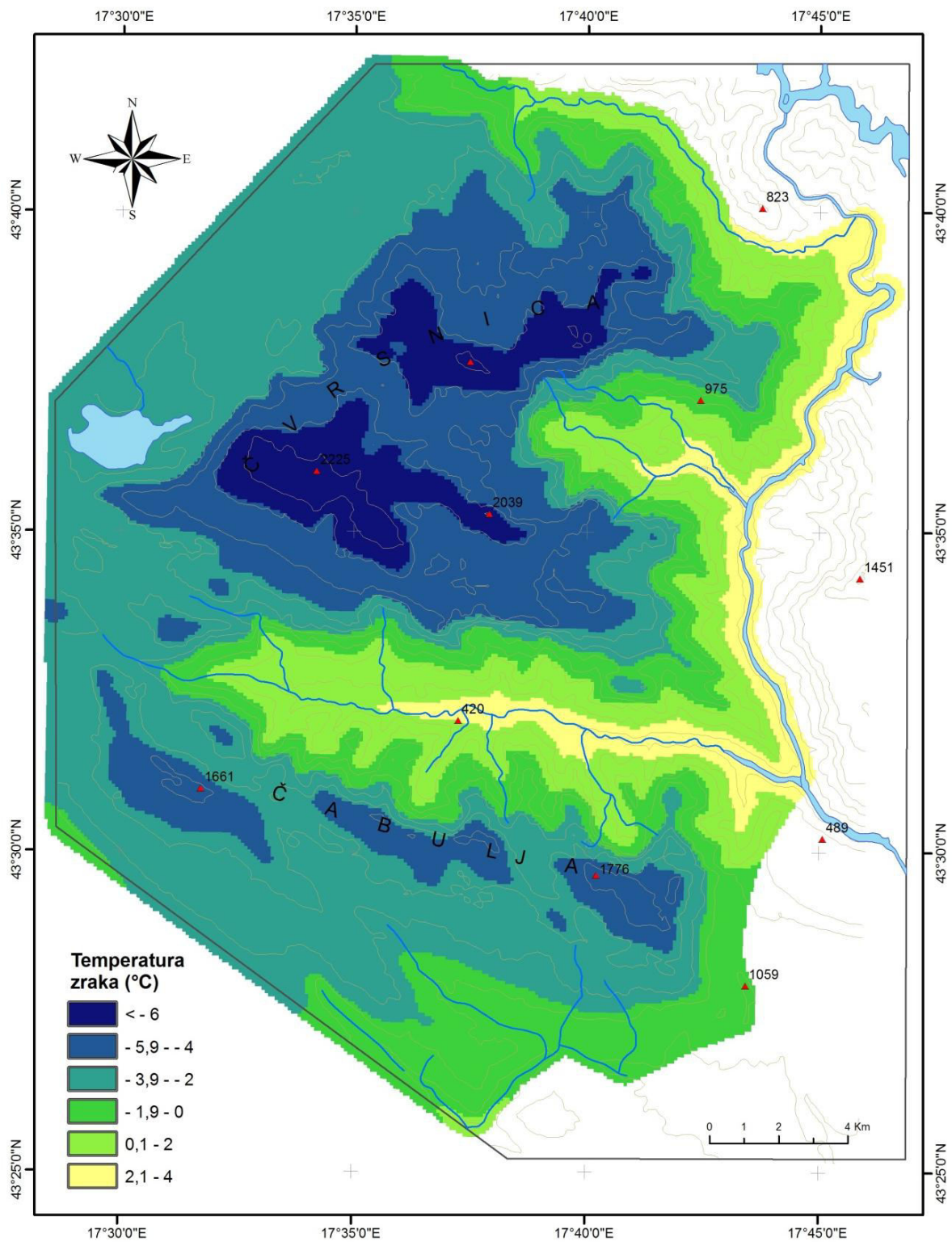
Dolinom Neretve pritiče topli zrak i u dolinu Drežanke, Dive Grabovice te Doljanke u samo podnožje Čvrsnice i Čabulje. Kao direktna posljedica takvog rasporeda temperature je veliki broj gusto poredanih izoterma između doline Neretve i najviših vrhova Čabulje i Čvrsnice (sl. 98). Tako razlika srednjih godišnjih temperatura zraka na zračnoj udaljenosti od samo 5 km iznosi oko 12°C.



Sl. 99. Srednje siječanske temperature zraka; 1931.-1960. godina (Atlas klime SFRJ, Beograd)

Za još detaljniji pregled raspodjele temperature promotrimo dva ekstremna mjeseca, siječanj (sl. 99) i srpanj (sl. 100). U oba mjeseca primjećujemo sličnost s globalnim rasporedom pružanja izoterma kao i kod godišnjeg rasporeda.

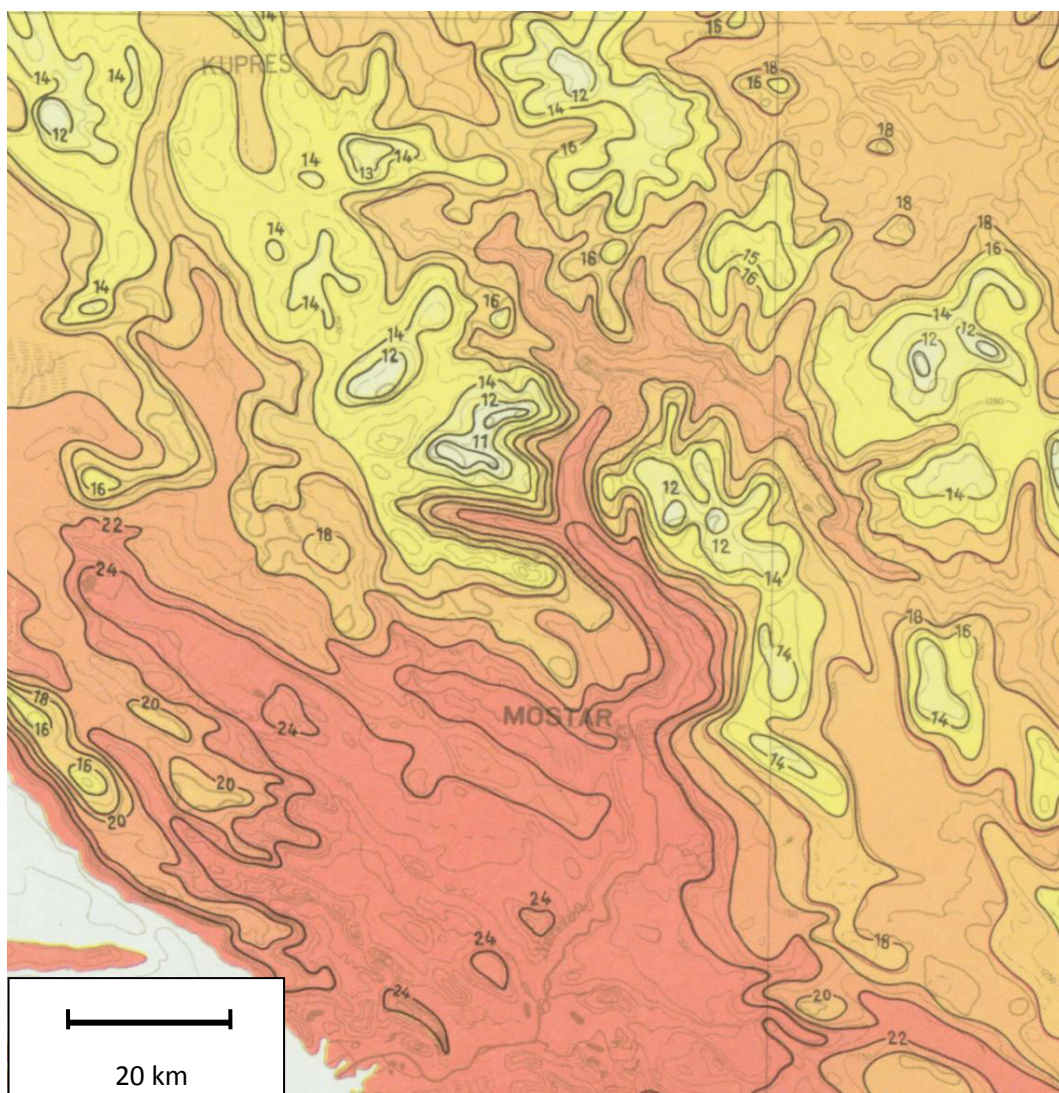
## SREDNJA TEMPERATURA ZRAKA SIJEČNJA (1961 - 1990)



Sl. 100. Srednje siječanjske temperature zraka; 1961.-1990. godina

(Izvor podataka: Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo)

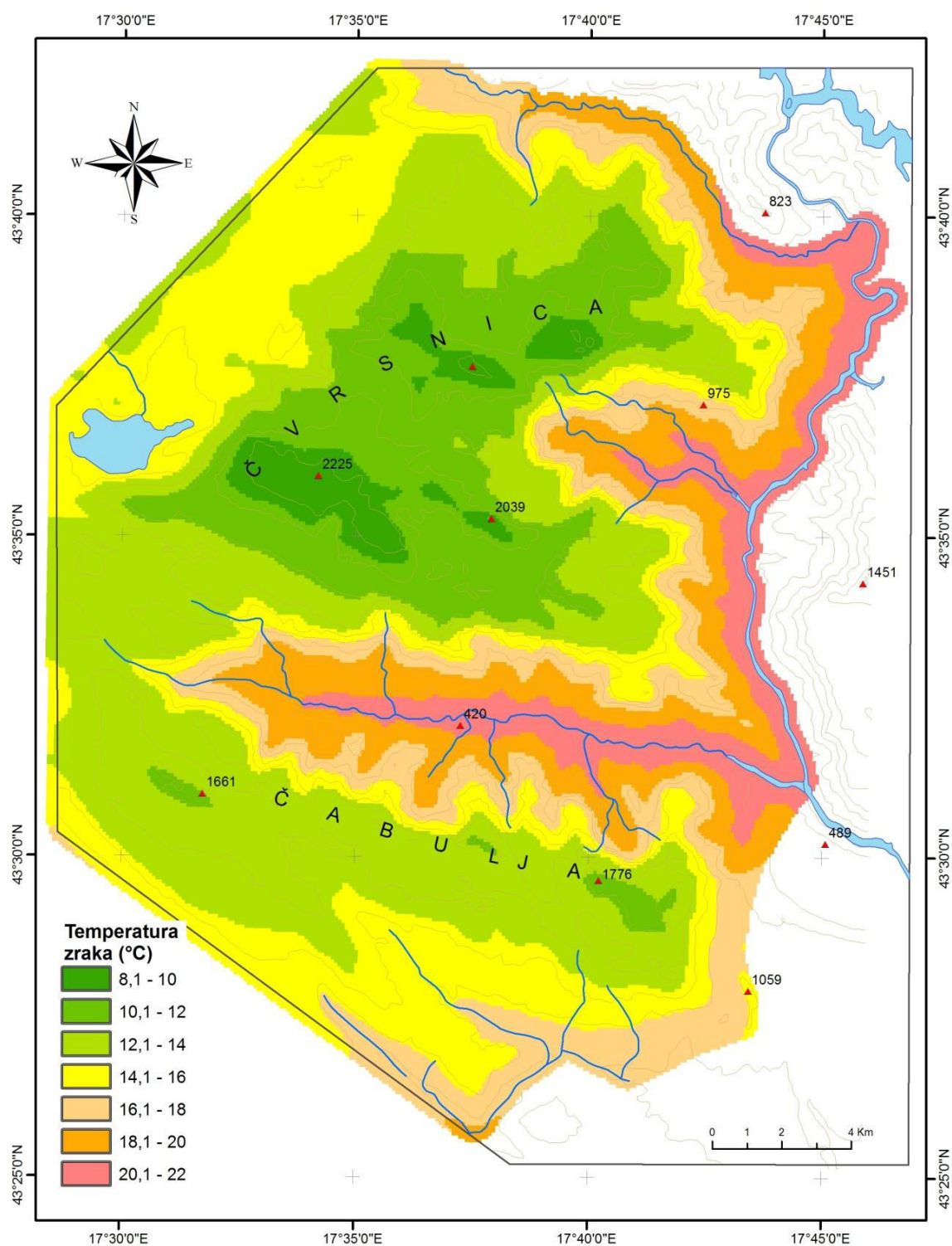
Za srednje temperature siječnja valja izdvojiti izotermu od  $-7^{\circ}\text{C}$  koja zatvara hipsometrijski razred od 2000 metara na Čvravnici, te izotermu od  $0^{\circ}\text{C}$  kao indikator modifikacijskog utjecaja reljefa na temperaturu zraka. Uočava se opće pravilo da gorski reljef potiskuje nultu izotermu na jug, a u riječnim dolinama prodire na sjever. Tako su i pozitivne vrijednosti srednjih siječanjskih temperatura zraka unutar istraživanog područja u dolini Neretve, Drežanke, te u manjem dijelu Dive Grabovice.



Sl. 110. Srednje srpanjske temperature zraka; 1931.-1960. godina (Atlas klime SFRJ, Beograd).

Tijekom srpnja vidljiva je veća opisana temperaturna razlika između dolina i vršnih gorskih dijelova Čvravnice i Čabulje u odnosu na zimski period godine (sl. 110). To ide u prilog činjenici da se utjecaj zagrijanosti podloge vrlo brzo smanjuje s nadmorskom visinom (Šegota, 1988). Vrući, zagrijani zrak niske Hercegovine tako prodire duboku u dolinu Neretve, ali se brzo hladi uz padine gorskih hrptova i masiva (sl. 111).

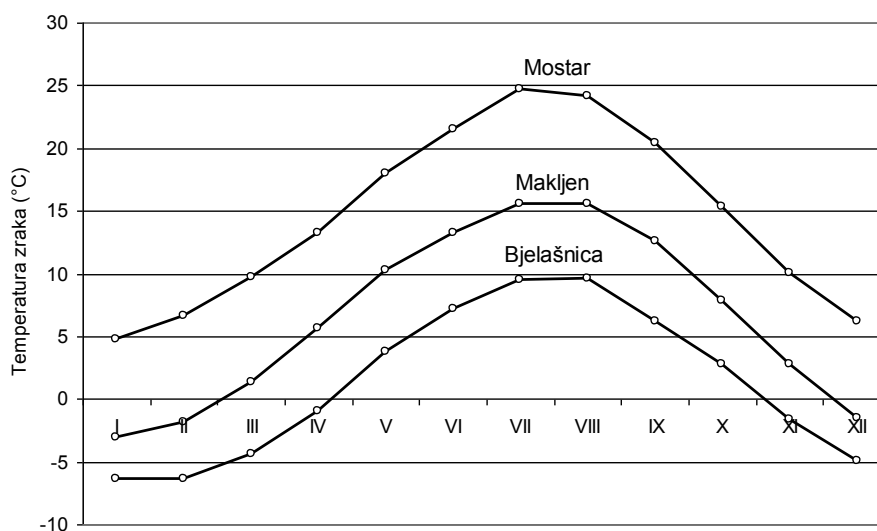
## SREDNJA TEMPERATURA ZRAKA SRPNJA (1961 - 1990)



Sl. 111. Srednje srpanjske temperature zraka; 1961.-1990. godina

(Izvor podataka: Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo)

Vertikalnu raspodjelu temperature u širem području istraživanja najbolje je razmotriti usporedbom srednjih mjesečnih temperatura, odnosno godišnjih hodova na pojedinim stanicama različitih visinskih pojaseva. Za primjer su izdvojene tri stanice, Mostar na nadmorskoj visini od 99 metara, prijevoj Makljen 970 metara, te Bjelašnica 2067 metara. Iz dijagrama hoda godišnje temperature zraka na odabranim stanicama (tab. 12, sl. 68) jasno se uočava sustavna razlika između hipsometrijski nižih i viših stanica. Tako su sve srednje mjesečne temperature zraka u stanici s višom nadmorskom visinom manje u odnosu na srednje mjesečne temperature zraka stanice s nižom nadmorskom visinom.



Sl. 112. Godišnji hod temperature zraka u Mostaru, Makljenu i Bjelašnici; 1961.-1990. godina

Pri tome je između Mostara i Bjelašnice veća razlika tijekom ljetnih mjeseci (srpanj 15,2°C) nego zimskih (siječanj 11,2°C). To se može prvenstveno objasniti jakim zagrijavanjem konkavnog reljefa Mostarske kotline u ljetnim mjesecima, ali i postojanjem temperaturne inverzije tijekom zimskih mjeseci. Slični odnosi u razlici srednjih mjesečnih temperatura postoje i između Bjelašnice i Makljenja, ali najveće razlike uočene su u proljetnim mjesecima (svibanj 6,5°C). Posljedica je to prodora, već u proljeće jako zagrijanog zraka dolinom Neretve prema sjeveru dok viši slojevi zraka još uvijek zaostaju u zagrijavanju.

Promotrimo li i odnose srednjih godišnjih amplituda temperatura zraka kao razliku između srednje vrijednosti najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca u godini za promatranu stanicu vidimo da se one također smanjuju s porastom nadmorske visine. Tako su najveće vrijednosti u Mostaru 19,9 °C, zatim na Makljenu 18,7 °C, a najniže na Bjelašnici 16°C. Veće amplitude

nižih stanica također možemo pripisati jačem ljetnom zagrijavanju zaravni niske Hercegovine nego planinskog zaleđa, a tek u manjem dijelu kao posljedicu zimskih razlika u temperaturi.

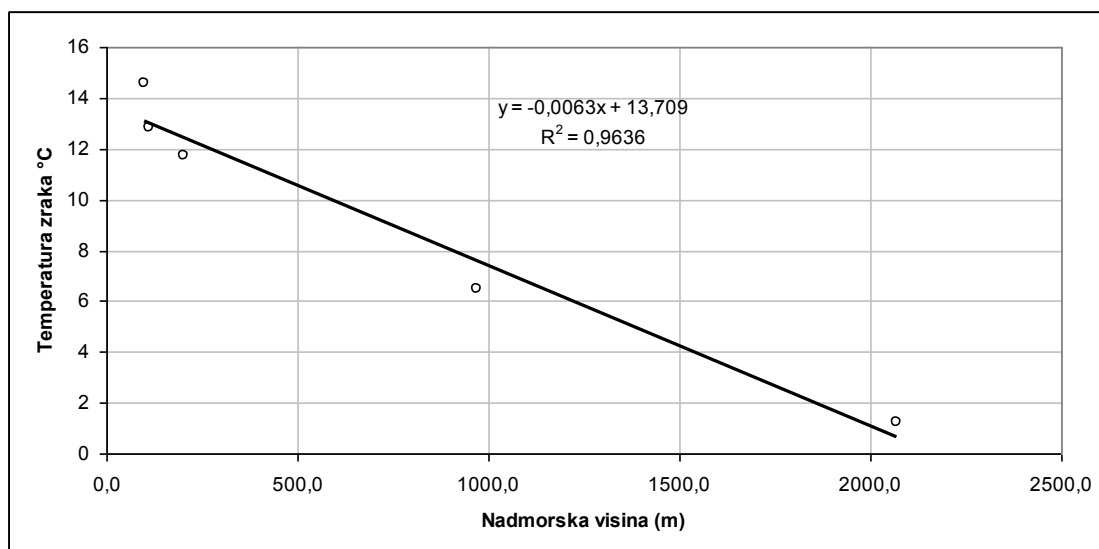
*Tab. 12. Srednje mjesečne temperature zraka u odabranim stanicama; 1961.- 1990.*

| <i>Meteorološka stanica MOSTAR</i>                  |          |           |            | <i>Visina 99,0</i>   |          |           |            |             |           |          |           |            |              |
|---|----------|-----------|------------|----------------------|----------|-----------|------------|-------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|
| <i>Mjesec</i>                                       | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i>            | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>Sred.</i> |
| <i>1961-'90</i>                                     | 4,8      | 6,6       | 9,7        | 13,3                 | 18       | 21,5      | 24,7       | 24,2        | 20,4      | 15,3     | 10,1      | 6,2        | 14,6         |
| <i>Meteorološka stanica ŠIROKI BRIJEG (LIŠTICA)</i> |          |           |            | <i>Visina 111,0</i>  |          |           |            |             |           |          |           |            |              |
| <i>Mjesec</i>                                       | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i>            | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>Sred.</i> |
| <i>1961-'90</i>                                     | 3,4      | 4,9       | 8,0        | 11,9                 | 16,3     | 19,8      | 22,6       | 22,2        | 18,4      | 13,3     | 8,4       | 4,5        | 12,8         |
| <i>Meteorološka stanica JABLANICA</i>               |          |           |            | <i>Visina 202,0</i>  |          |           |            |             |           |          |           |            |              |
| <i>Mjesec</i>                                       | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i>            | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>Sred.</i> |
| <i>1961-'90</i>                                     | 1,6      | 3,7       | 7,3        | 11,7                 | 16,2     | 19,1      | 21,2       | 20,6        | 16,8      | 12       | 7,1       | 2,7        | 11,7         |
| <i>Meteorološka stanica MAKLJEN</i>                 |          |           |            | <i>Visina 970,0</i>  |          |           |            |             |           |          |           |            |              |
| <i>Mjesec</i>                                       | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i>            | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>Sred.</i> |
| <i>1961-'90</i>                                     | -3,1     | -1,8      | 1,3        | 5,6                  | 10,3     | 13,3      | 15,6       | 15,6        | 12,6      | 7,9      | 2,8       | -1,5       | 6,5          |
| <i>Meteorološka stanica BJELAŠNICA</i>              |          |           |            | <i>Visina 2067,0</i> |          |           |            |             |           |          |           |            |              |
| <i>Mjesec</i>                                       | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i>            | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>Sred.</i> |
| <i>1961-'90</i>                                     | -6,4     | -6,4      | -4,4       | -1                   | 3,8      | 7,2       | 9,5        | 9,6         | 6,2       | 2,8      | -1,6      | -4,9       | 1,2          |

*Izvor: Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo*

Iz dijagrama godišnjeg hoda temperatura zraka (sl. 112) odabranih stanica uočava se i pomicanje ekstrema u kasnije mjesece na Bjelašnici. Tako je mjesec s najvišom srednjom mjesečnom temperaturom u Mostaru srpanj, a na Bjelašnici kolovoz. Mjesec s najnižom temperaturom u Mostaru je siječanj, dok su na Bjelašnici najniže vrijednosti srednje mjesečne temperature jednake i za siječanj i za veljaču (tab. 12).

Iz gore iznesenog možemo zaključiti da unutar šireg područja istraživanja postoje jasni proporcionalni odnosi između porasta nadmorske visine i pada vrijednosti temperature zraka, te porasta nadmorske visine i smanjivanje vrijednosti srednjih godišnjih amplituda temperature zraka.



*Sl. 113.* Korelacija između srednje godišnje temperature zraka i nadmorske visine promatranih stanica šireg područja istraživanja

Na temelju odnosa vrijednosti temperature zraka i reljefa u promatranim klimatološkim stanicama (tab. 12) određen je piktogram parova vrijednosti (sl. 113) te linijski trend ovisnosti nadmorske visine klimatoloških stanica i srednje godišnja temperatura zraka tih stanica.

U daljnjoj je analizi, temeljem metode najmanjih kvadrata izračunata jednadžba pravca linearnog trenda srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka:

$$y = -0,0063x + 13,709$$

Značajan koeficijent korelacije  $R^2 = 0,96$  ukazuje na čvrstu vezu između promatranih parametara. Istom metodom izračunate su i vrijednosti unutar pojedinih hipsometrijskih razreda i za zimski (siječanj) i ljetni (srpanj) mjesec u godini.

**Siječanj:**

$$y = -0,0053x + 3,6949$$

$$R^2 = 0,92$$

**Srpanj:**

$$y = -0,0066x + 22,444$$

$$R^2 = 0,96$$

Na temelju dobivenih jednadžba izračunate su odgovarajuće temperature zraka na pojedinim nadmorskim visinama istraživanog područja (tab. 13), te nadmorska visina pružanja izoterme  $0,0^\circ\text{C}$  za srednje godišnje vrijednosti na 2176 metara, te za prosječne temperature mjeseca siječnja na 697 metara nadmorske visine.



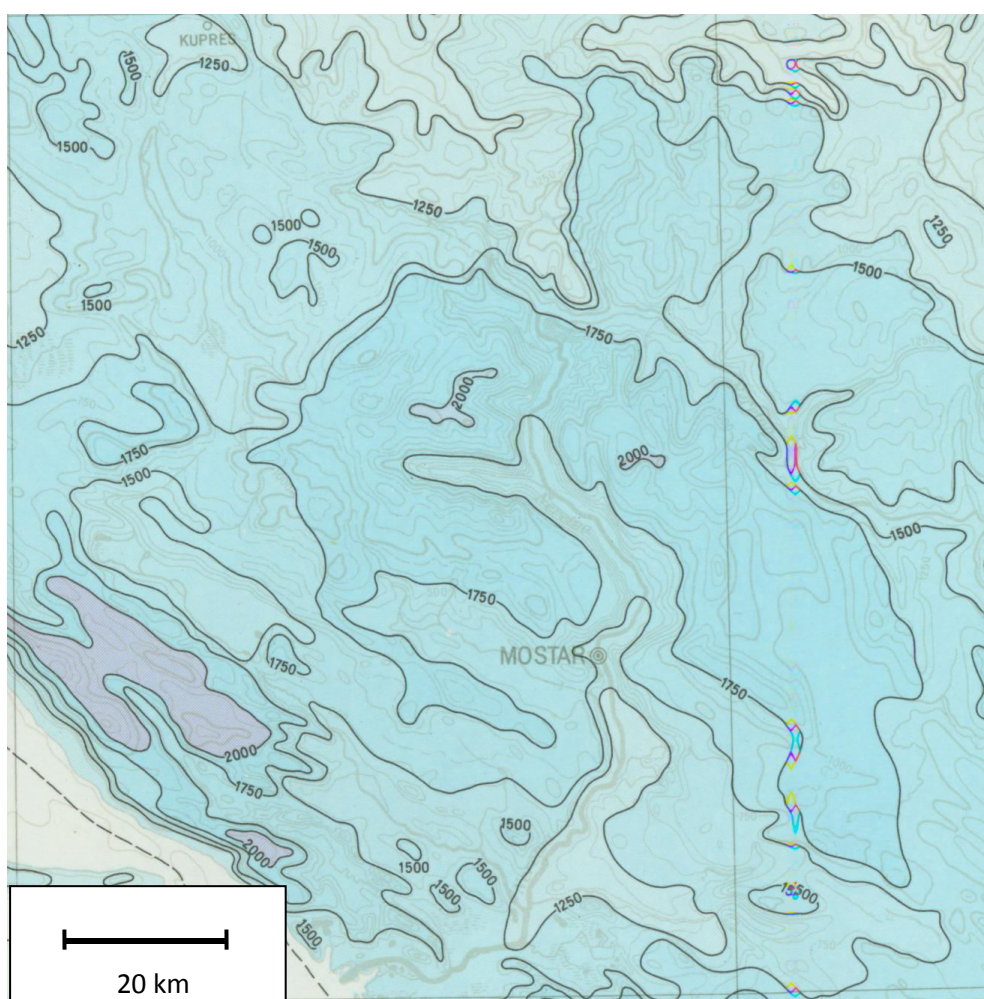
*Tab. 13.* Izračunate vrijednosti srednjih godišnjih te siječanjskih i srpanjskih temperatura zraka na pojedinim visinama unutar istraživanog područja

| <i>Metara</i> | <i>Godina</i> | <i>Siječanj</i> | <i>Srpanj</i> |
|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|               | <i>C°</i>     | <i>C°</i>       | <i>C°</i>     |
| 500           | 10,6          | 1,0             | 19,1          |
| 1000          | 7,4           | -1,6            | 15,8          |
| 1500          | 4,3           | -4,3            | 12,5          |
| 2000          | 1,1           | -6,9            | 9,2           |
| 2500          | -2,0          | -9,5            | 5,9           |

Primjenom formule linijskog trenda odnosa nadmorske visine i temperature zraka, gdje se za svaku vrijednost X uzima pojedina ćelija DEM-a s vrijednošću atributa nadmorske visine, izračunata je prosječna godišnja temperatura zraka u dotičnoj ćeliji GRID-a. Analizom susjedstva, računanjem srednje vrijednosti susjednih ćelija generalizirana je postojeća karta, te su uklonjeni oštri lomovi i sitni detalji pružanja izoterma vezanih uz pojedine manje reljefne oblike. Na temelju izračunatog modela prostornog rasporeda temperature zraka izvučene su izoterme na svakih 1°C. Isto metoda primijenjena je i u izračuna srednjih godišnjih temperatura zraka za mjesec siječanj i srpanj (sl. 100, 101, 102).

### 9.1.3 Padaline

Za padaline su poznata opća prirodna svojstva vezana uz prostornu i vremensku promjenjivost. Tako i kartografski prikaz srednjih godišnjih količina padalina u širem istraživanom prostoru (sl. 114) ukazuje na složen utjecaj klimatskih čimbenika na njihov prostorni raspored. Pri tome se prvenstveno očituje utjecaj reljefa, gdje ne postoji jasna korelacijska veza između porasta nadmorske visine i povećanja godišnje količine padalina.



Sl. 114. Prostorni raspored srednjih godišnjih suma padalina u širem području istraživanja u razdoblju 1931. – 1960. (Atlas klime SFRJ, Beograd).

Uočava se postojani porast godišnje količine padalina od cca 37 l/m<sup>2</sup> padalina na 100 m od niske Hercegovine preko Mostara do najviših gorskih masiva i hrptova Čabulje, Čvrsnice i Prenja. Prelaskom preko njih godišnja količina opada s nadmorskom visinom, i taj negativni trend nastavlja se bez obzira na porast nadmorske visine prelaskom preko riječnih dolina

Neretve i Rame. Tako su i godišnje količine padalina u Mostaru (99 metara) veće za 544 l/m<sup>2</sup> od Makljena (970 metara), odnosno za 407 l/m<sup>2</sup> veće od Bjelašnice (2067 metara) (tab. 14).

Tab. 14. Srednje mjesečne količine padalina (l/m<sup>2</sup>) u odabranim stanicama; 1961.- 1990.

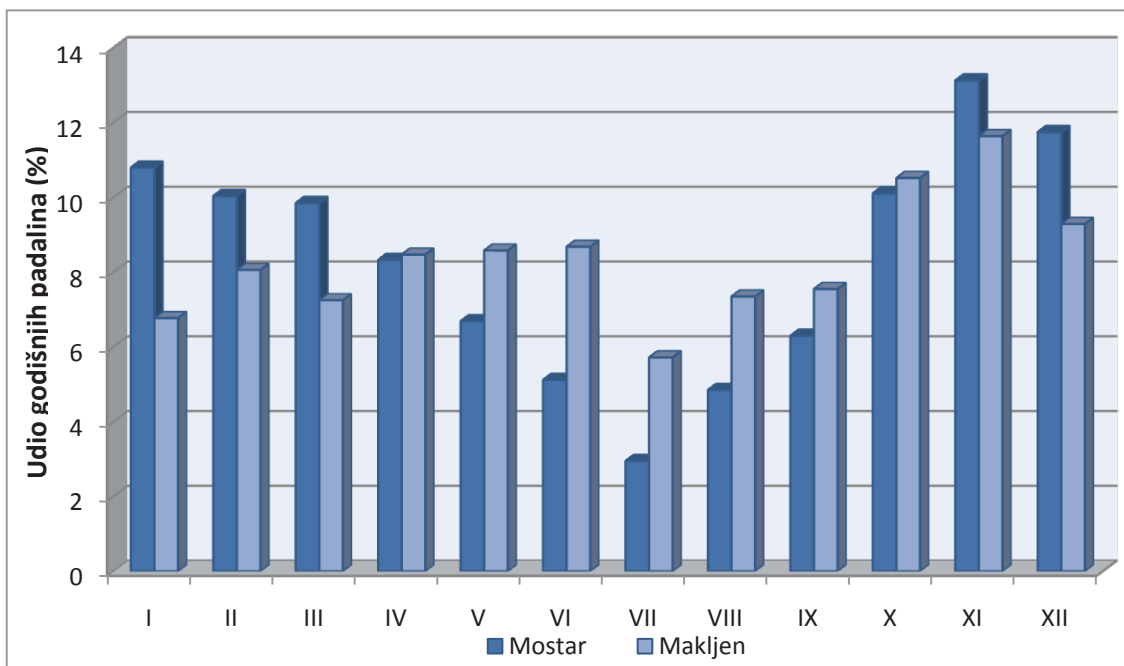
| Meteorološka stanica MOSTAR                  |     |     |     | Visina 99,0   |     |              |     |      |     |     |     |     |      |
|--|-----|-----|-----|---------------|-----|--------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| Mjesec                                       | I   | II  | III | IV            | V   | VI           | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Suma |
| 1961-'90                                     | 165 | 153 | 150 | 127           | 102 | 78           | 45  | 74   | 96  | 154 | 200 | 179 | 1523 |
| Meteorološka stanica ŠIROKI BRIJEG (LIŠTICA) |     |     |     |               |     | Visina 111,0 |     |      |     |     |     |     |      |
| Mjesec                                       | I   | II  | III | IV            | V   | VI           | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Suma |
| 1961-'90                                     | 174 | 175 | 169 | 138           | 101 | 76           | 44  | 76   | 102 | 174 | 232 | 199 | 1660 |
| Meteorološka stanica JABLANICA               |     |     |     | Visina 202,0  |     |              |     |      |     |     |     |     |      |
| Mjesec                                       | I   | II  | III | IV            | V   | VI           | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Suma |
| 1961-'90                                     | 158 | 175 | 182 | 148           | 104 | 93           | 52  | 97   | 113 | 183 | 272 | 225 | 1802 |
| Meteorološka stanica MAKLJEN                 |     |     |     | Visina 970,0  |     |              |     |      |     |     |     |     |      |
| Mjesec                                       | I   | II  | III | IV            | V   | VI           | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Suma |
| 1961-'90                                     | 66  | 79  | 71  | 83            | 85  | 84           | 56  | 72   | 74  | 103 | 114 | 91  | 979  |
| Meteorološka stanica BJELAŠNICA              |     |     |     | Visina 2067,0 |     |              |     |      |     |     |     |     |      |
| Mjesec                                       | I   | II  | III | IV            | V   | VI           | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Suma |
| 1961-'90                                     | 82  | 83  | 84  | 80            | 88  | 111          | 84  | 98   | 96  | 118 | 110 | 83  | 1116 |

Izvor: Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo

Ovakav prostorni raspored godišnjih količina padalina ukazuje na jasno postojanje kišne sjene iza sjevernih padina gorskih masiva Čvrsnice i Prenja. Razlog tomu valja tražiti u činjenici da najznačajnija količina padalina u ove prostore dolazi s toplim zračnim masama iz afričkog kopna (Sahare). Prelaskom preko Sredozemnog mora, tople i suhe zračne mase primaju veliku količinu vlage. Nailaskom na Dinarske planine one se izdižu, hlade i izlučuju padaline. Tako JI fasada gorskih uzvišenja Dinarida dobiva najveću količinu padalina, koja opada prema unutrašnjosti.

Istraživani prostor zatvoren je izohijetom od 1750 l/m<sup>2</sup> padalina godišnje koja se pruža na visina od oko 500 metara. Najviši dijelovi gorskog masiva Čvrsnice na visinama iznad 1900 metara zatvara izohijeta od 2000 l/m<sup>2</sup> padalina godišnje. Najmanju količinu padalina, ispod 1750 l/m<sup>2</sup> primi dolina Drežanke i Neretve nizvodno od ušća Dive Grabovice. Na temelju tih podataka možemo odrediti i opći vertikalni gradijent padalina u istraživanom područja od 60 l/m<sup>2</sup> padalina na 100 m nadmorske visine (sl. 114). Zbog spomenute prostorne i vremenske

varijabilnosti padalina, te nepostojanje referentne klimatološke stanice u višem dijelu istraživanog područja nije bilo moguće napraviti detaljnu analizu padalina istraživanog područja za duži vremenski niz mjerenja.



Sl. 115. Postotni udjeli ukupne količine padalina unutar pojedinog mjeseca za stanice Mostar i Makljen u razdoblju 1961. – 1990.

Za potrebe analize recentnih nivalnih i periglacialnih procesa provedena je analiza raspodjele padalina tijekom godine. Za usporedbu je odabrana privjetrinska stanica Mostar (99 mnv), te stanica u kišnoj zavjetrini, prijevoj Makljen (970 mnv). Na temelju podataka iz tablice 13 izračunati su postotni udjeli ukupne količine padalina unutar pojedinog mjeseca za odabrane stanice (sl. 115).

Obje promatrane stanice imaju minimum padalina tijekom ljeta (srpanj), a maksimum početkom zime (studeni). Godišnja amplituda kao razlika padalina najsušnijeg i najvlažnijeg mjeseca iznosi  $155 \text{ l/m}^2$  u Mostaru, a samo 58 mm na Makljenu. Usporedbom visina stupaca jasno se uočavaju veći udjeli ukupne količine padalina od siječnja do travnja u Mostaru, zatim od travnja do listopada na Makljenu, te opet do prosinca u Mostaru (sl. 115). Generalno uzevši, možemo reći da na kišnoj privjetrini dominiraju zimski mjeseci s većim postocima udjela godišnje količine padalina u odnosu na ljetne mjesece unutar ukupnih godišnjih količina padalina. Tako će najveće količine padalina upravo u zimskim mjesecima primiti južne ekspozicije gorskog hrpta Čabulje, gorskog hrpta Pločnog i platoa Male Čvrsnice.

### 9.1.4 Rezultati mikroklimatskih mjerenja

Za potrebe detaljnije analize raspodjele temperature zraka i padalina postavljeni su mjerni instrumenti za praćenje mikroklimatskih obilježja na pet lokacija unutar istraživanog područja. Kao mjerni uređaji korišteni su HOBOR<sup>®</sup> Data Loggers tvrtke Onset. Za mjerenje temperature zraka korišteni su uređaji HOBOR<sup>®</sup> U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger - U23-001 i HOBOR<sup>®</sup> U23 Pro v2 External Temperature Data Logger - U23-004 s slijedećim obilježjima senzora temperature:

- radno područje senzora: -40 ° do 70 ° C,
- točnost: ± 0.21 ° C od 0 ° do 50 ° C,
- rezolucija: 0,02 ° C na 25 ° C,
- stabilnost: <0.1 ° C godišnje.

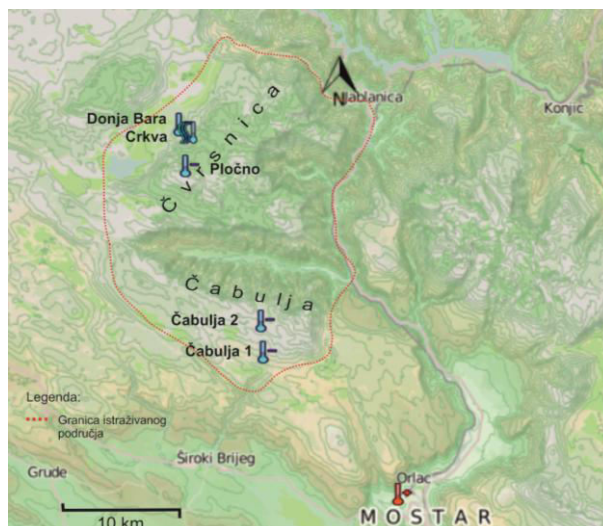
Na jednoj mjernoj točki, kod crkve Sv. Ilije u Masnoj luci postavljen je i kišomjer tipa HOBOR<sup>®</sup> Data Logging Rain Gauge - RG3 s uređajem HOBOR<sup>®</sup> Data Logging Rain Gauge - RG3. Uređaj mjeri količinu i intenzitet padalina, te dodatno i temperaturu zraka. Obilježja ovog senzora su:

za mjerenje padalina:

- najveća količina padalina: 12,7 cm po satu,
- točnost: ± 1,0% (20 mm / sat),
- rezolucija: 0,2 mm,
- radna temperatura: 0 ° do +50 ° C,
- kućište: aluminijsko promjera 15,24 cm,

za temperaturu:

- radno područje senzora: -20 ° do 70 ° C,
- točnost: ± 0.47 ° C na 25 ° C,
- rezolucija: 0,10 ° C na 25 ° C,
- stabilnost: <0.1 ° C godišnje.



Sl. 116. Točke mjernih stanica

Prostornim razmještajem uređaja (sl. 116) unutar istraživanog područja omogućeno je prikupljanje podataka tijekom dnevnih i mjesečnih kretanja temperature zraka unutar različitih hipsometrijskih razreda na profilu od Mostara (99 m) preko južnih padina Čabulje do najviših dijelova Čvrsnice (Pločno 2226 m). Na južnim padinama gorskog hrpta Čabulje postavljena su dva uređaja. Jedan na visini od 982 m, a drugi na visini od 1301 m, čime su se pokrile zone cirkova i završnih morena otkrivenih u tom području. Osim samog tijeka kretanja dnevnih i mjesečnih temperatura zraka zanimala nas je i jačina korelacijske veze između srednjih mjesečnih temperatura zraka i nadmorskih visina mjernih uređaja na promatranom profilu. Zbog kratkog razdoblja motrenja tijekom jedne godine mikroklimatskim mjerenjima pokušalo se dobiti relativan odnos temperatura zraka na različitim hipsometrskim pojasevima istraživanog područja te vertikalni gradijenti temperature, odnosno jednadžba pravca regresije s ciljem usporedbe s vrijednostima prosječnih godišnjih temperatura zraka. Jaka korelacijska veza opravdala bi računanje srednjih godišnjih vrijednosti dobivene metodom korelacije na promatranim stanicama opisanom u prethodnom poglavlju. Raspored mjernih uređaja na profilu Masna luka – Pločno imao je za cilj utvrditi vrijednosti temperaturnih inverzija u dubljim depresijama istraživanog područja. Kako su za nastanak i akumulaciju leda tijekom pleistocena od primarne važnosti bile depresije u višim područjima Čvrsnice namjera je izmjeriti recentan intenzitet temperaturne inverzije u pojedinim godišnjim dobima.

Dijagrami dnevnih hodova temperature zraka za mjerne stanice Mostar, Čabulja 1, Čabulja 2 i Pločno u razdoblju od svibnja 2011. do travnja 2012. jasno ukazuju na pad temperature zraka s porastom nadmorske visine (sl. 117). Promatramo li odnos mjesečnih vrijednosti vertikalnih gradijenata temperature između mjernih postaja Mostar i Čabulja 1 (tab. 15) uočavaju se veće

vrijednosti u toplijim u odnosu na hladnije mjesece. To se može pripisati ljetnom jakom zagrijavanju Mostarske kotline što pridonosi izrazitom opadanju temperature s visinom, a time i većim vrijednostima vertikalnog gradijenta.

Sl. 117. Dnevni hodovi temperature zraka na promatranim mjernim točkama u razdoblju od svibnja 2011. do travnja 2012. godine

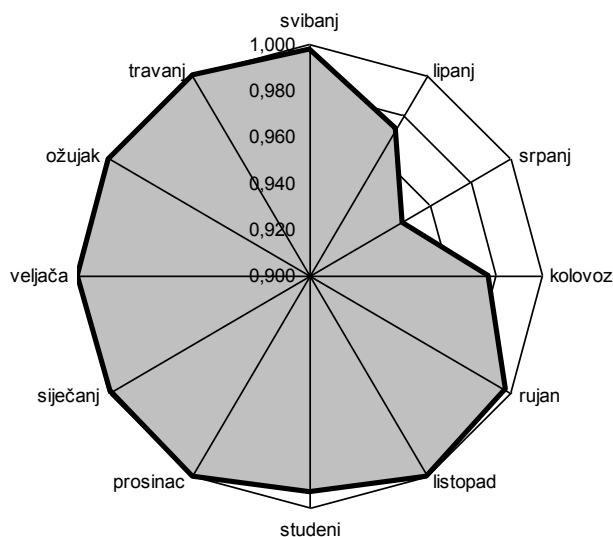




*Tab. 15. Mjesečni vertikalni gradijenti temperature zraka između promatranih mjernih točaka za razdoblje od svibnja 2011. do travnja 2012. godine*

| <i>Stanice</i>        | <i>V</i> | <i>VI</i> | <i>VII</i> | <i>VIII</i> | <i>IX</i> | <i>X</i> | <i>XI</i> | <i>XII</i> | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i> | <i>Prosjeak</i> |
|-----------------------|----------|-----------|------------|-------------|-----------|----------|-----------|------------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|
| Mostar / Čabulja 1    | 0,77     | 0,92      | 0,88       | 0,78        | 0,72      | 0,66     | 0,46      | 0,59       | 0,65     | 0,48      | 0,76       | 0,64      | 0,69            |
| Čabulja 1 / Čabulja 2 | 0,61     | 0,30      | 0,07       | 0,29        | 0,56      | 0,66     | 0,30      | 0,56       | 0,59     | 0,45      | 0,78       | 0,63      | 0,48            |
| Čabulja 2 / Pločno    | -        | -         | -          | -           | -         | -        | 0,51      | 0,61       | 0,65     | 0,48      | 0,74       | 0,64      | 0,60            |

Manje anomalije mjesečnih vrijednosti vertikalne raspodjele temperature zraka uočavaju se između mjernih točaka Čabulja 1 i Čabulja 2. Relativna visinska razlika između njih iznosi 319 metara i u ljetnim mjesecima često dolazi do manje temperaturne inverzije, te su u nižoj mjernoj točki srednje dnevne temperature zraka za nekoliko °C niže od onih na višoj mjernoj postroji (npr. prva polovica srpnja – sl. 117). Uzrok toga moguće je objasniti lokalnim mikrolokacijskim čimbenicima. Lokacija mjerne točke Čabulja 2 vezana je za otvorenu padinu južne ekspozicije gorskog hrpta Čabulje. Nasuprot njoj, mjerna točka Čabulja 1 nalazi se također na južnoj padini, ali u manjem dolinskom udubljenju i u sjeni susjednog gorskog hrpta Bile. Tako je tijekom vrućih ljetnih dana otvorena padina kod mjerne točke Čabulja 2 više pod utjecajem direktnog Sunčevog zračenja nego niža. To dovodi do pojave vrlo malih vertikalnih gradijenata temperature zraka u ljetnim mjesecima između ovih promatranih točaka. Nastupom hladnijeg dijela godine, s općim smanjenjem potencijalnog trajanja sijanja Sunca i povećanom oblačnošću te razlike nestaju. To nas upućuje na činjenicu da će i vrijednosti vertikalnog gradijenta temperature zraka odstupati od srednje vrijednosti više u toplom dijelu godine u odnosu na hladniji. Zbog toga su izračunati koeficijenti korelacije srednjih vrijednosti mjesečnih temperatura zraka i nadmorske visine promatranih mjernih točaka. Iako su te razlike male i očitavaju se tek na drugoj decimali vrijednosti koeficijenta korelacije one idu jasno u prilog gore iznesenoj činjenici (sl. 118).



*Sl. 118.* Koeficijenti korelacije srednjih vrijednosti mjesečnih temperatura zraka i nadmorske visine promatranih mjernih točaka.

U završnom dijelu analize vertikalnih gradijenta temperature zraka stavljeni su u odnos nadmorske visine mjernih točaka i srednje vrijednosti temperature zraka u promatranom razdoblju (tab. 16).

*Tab. 16.* Srednje mjesečne temperature zraka promatranih mjernih točaka

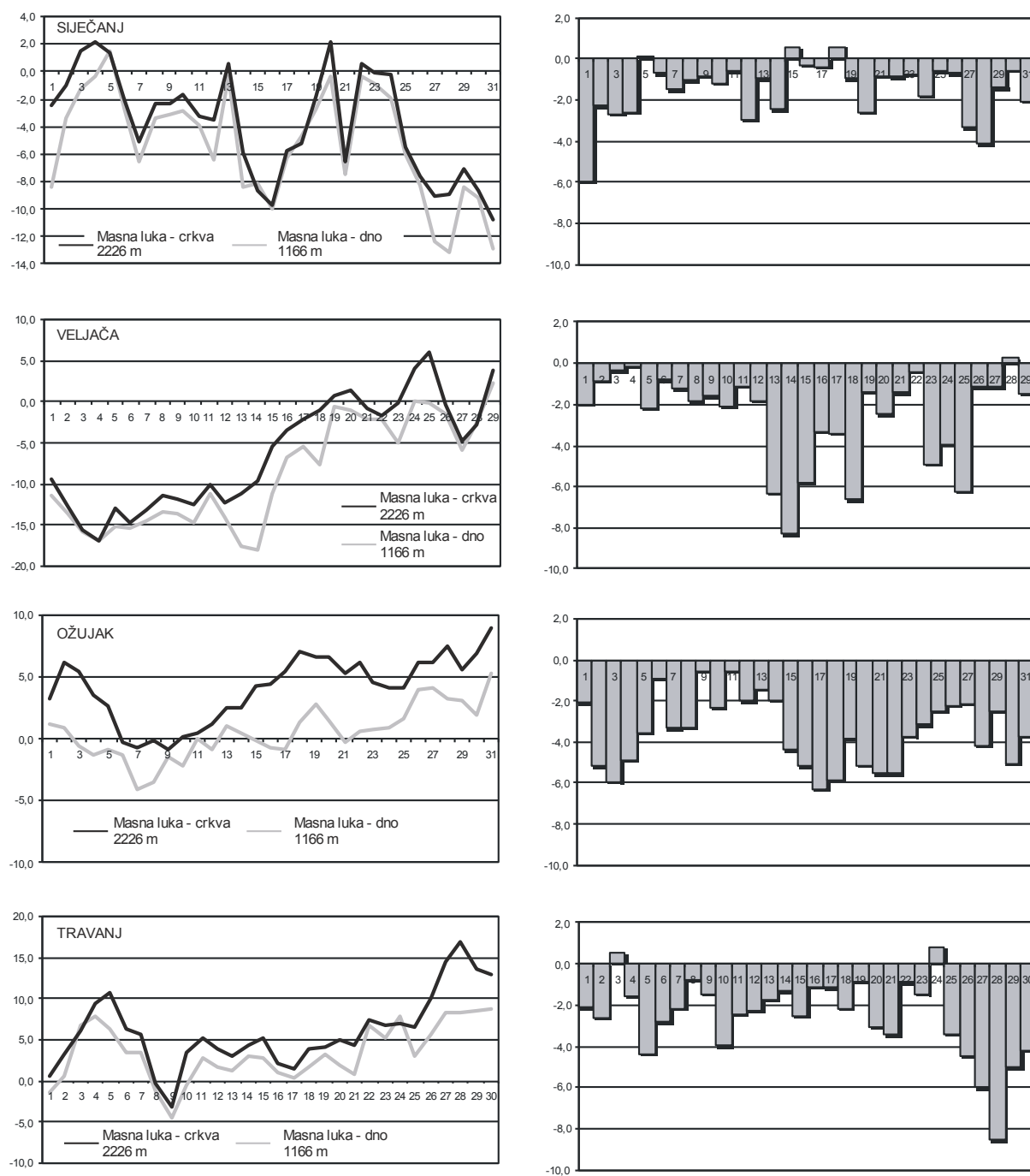
| Mjeseci  | Mostar<br>99 m | Čabulja 1<br>982 m | Čabulja 2<br>1301 m | Pločno<br>2226 m |
|----------|----------------|--------------------|---------------------|------------------|
| Svibanj  | 19,6           | 12,8               | 10,9                | *                |
| Lipanj   | 24,7           | 16,5               | 15,6                | *                |
| Srpanj   | 24,9           | 17,2               | 17,0                | *                |
| Kolovoz  | 27,2           | 20,3               | 19,4                | *                |
| Rujan    | 24,9           | 18,5               | 16,7                | *                |
| Listopad | 15,2           | 9,4                | 7,3                 | *                |
| Studeni  | 10,3           | 6,2                | 5,2                 | 0,5              |
| Prosinac | 7,8            | 2,6                | 0,8                 | -4,8             |
| Siječanj | 4,8            | -1,0               | -2,9                | -8,5             |
| Veljača  | 1,7            | -2,5               | -3,9                | -8,3             |
| Ožujak   | 13,5           | 6,8                | 4,3                 | -2,5             |
| Travanj  | 13,2           | 7,5                | 5,5                 | -0,4             |
| Srednjak | <b>15,6</b>    | <b>9,5</b>         | <b>8,0</b>          | <b>-4,0</b>      |

\* nema podataka

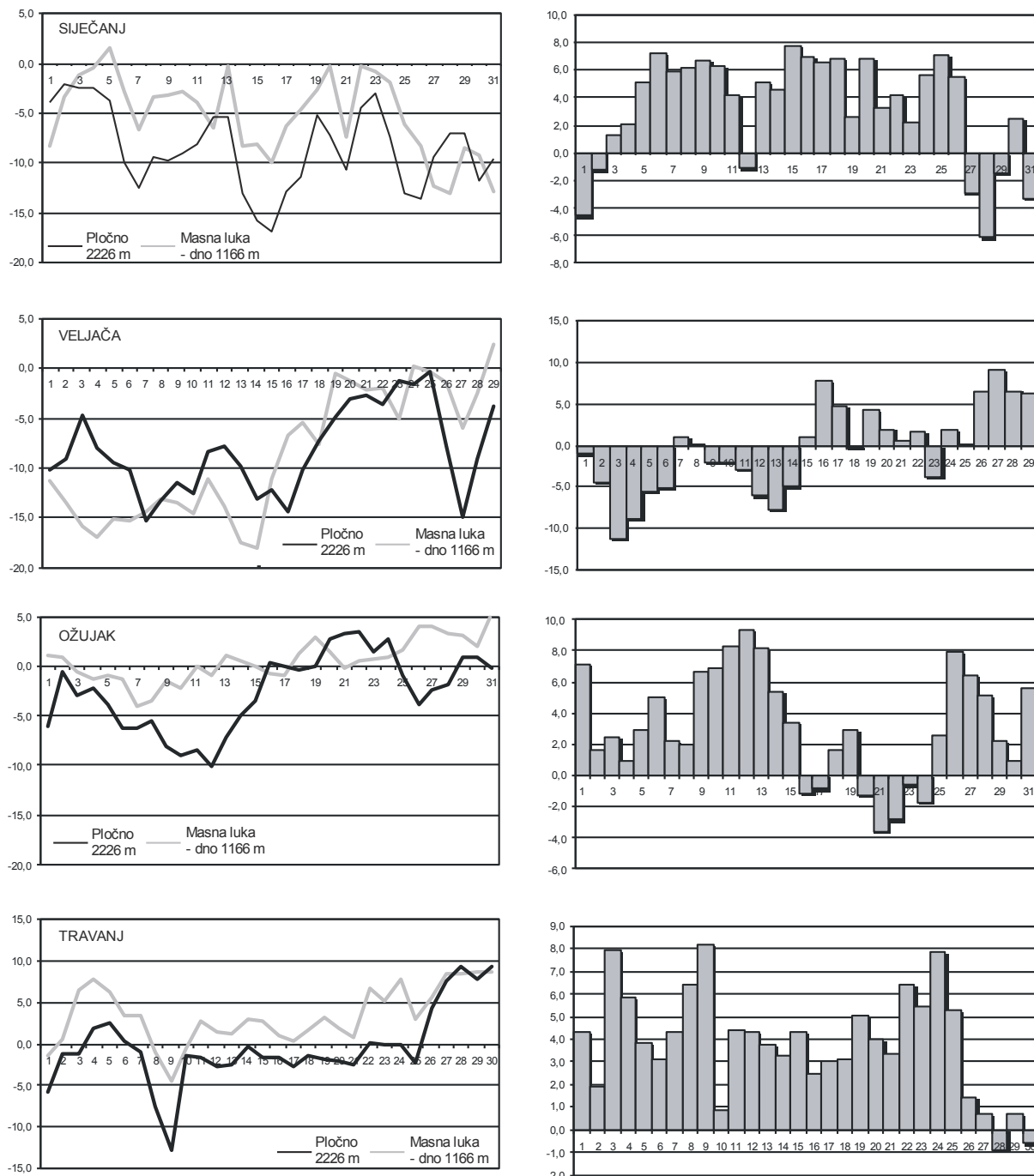
Zbog kratkog niza mjerenja mjerna točka Pločno nije uzeta u korelacijsku analizu godišnjih vrijednosti. Dobivena velika vrijednost koeficijenta korelacije od 0,99 potvrđuje postojanje čvrste linijske korelacijske veze između pada srednjih vrijednosti temperature zraka s porastom nadmorske visine. Ta činjenica ide u prilog izračunatim vrijednostima nadmorske visine pojedinih srednjih godišnjih izoterma na temelju okolnih stanica izvan istraživanog područja.

Drugi dio mikroklimatskih mjerenja temperature zraka odnosio se na utvrđivanje trajanja i intenzitete temperaturne inverzije u višim dijelovima istraživanog područja. Odabrana je depresija – terminalni bazen Masna luka (Donja bara) na čije su dno (1166 m) i JZ padinu depresije kod crkve Sv. Ilije (1185 m) postavljeni mjerni uređaji. Kako je to područje u podnožju gorskog hrpta Pločno (2006 m) i ta mjerna stanica uključena je u analizu dobivenih rezultata mjerenja.

Dijagrami srednje mjesečne temperature zraka s temperaturnim razlikama za mjerne točke Masna luka - dno (1166 m) i Masna luka - crkva (1185 m) za prva četiri mjeseca 2012. godine jasno ukazuju na postojanost i čestinu temperaturne inverzije u promatranoj depresiji. Od promatranih 121 dana samo 6 dana (5%) srednja dnevna temperatura zraka bila je niža na visinski višoj točki (sl. 119). Tako su na visinskoj razlici od 19 metara zabilježene maksimalne dnevne vrijednosti razlika temperature u mjesecu siječnju od  $-6^{\circ}\text{C}$ ; veljači  $-8,3^{\circ}\text{C}$ ; ožujku  $-6,3^{\circ}\text{C}$ ; travnju  $-8,6^{\circ}\text{C}$ . Usporedimo li i srednje dnevne temperature između dna Masne luke i Pločnog (sl. 120) vidimo da i na visinskoj razlici od 1060 metara postoji izražena temperaturna inverzija. Tako je srednja dnevna temperatura zraka bila niža na visinski nižoj mjernoj točki tijekom mjeseca siječnja 7 dana s maksimalnom vrijednošću od  $-6,1^{\circ}\text{C}$ ; veljači 13 dana s maksimalno  $-11,2^{\circ}\text{C}$ ; ožujku 7 dana s maksimalno  $-3,6^{\circ}\text{C}$  i u travnju 2 dana s maksimalno  $-0,9^{\circ}\text{C}$ . Valja istaknuti da između mjernih postaja Pločno i Čabulja 2 (južne padine Čabulje) s visinskom razlikom od 925 metara nije zabilježen niti jedan dan s inverznom temperaturom razlikom.



Sl. 119. Srednje mjesečne temperature zraka s temperaturnim razlikama za mjerne točke Masna luka - dno (1166 m) i Masna luka - crkva (1185 m) u razdoblju siječanj – travanj 2012. godine.



Sl. 120. Srednje mjesečne temperature zraka s temperaturnim razlikama za mjerne točke Masna luka - dno (1166 m) i Pločno (2226 m) u razdoblju siječanj – travanj 2012. godine.

Na temelju rezultata provedenih mjerenja tijekom prva četiri mjeseca 2012. godine možemo zaključiti da postoji intenzivna inverzija temperature u dubokim konkavnim oblicima reljefa osobito na višim nadmorskim visinama. Kako je glavni uzrok nastanka većine ovih slučajeva temperaturne inverzije brzo i jako ohlađivanje površine Zemlje u odnosu na zrak neposredno

iznad nje, govorimo o radijacijskoj ili prizemnoj inverziji termičkog tipa. Šegota (1988) ističe slijedeće uvijete za postanak jake termičke inverzije:

- duge noći kada dugovalna radijacija tla nadvladava slabo kratkovalno zračenje apsorbirano danju
- vedrina kako bi se protuzračenje atmosfere smanjilo na minimum
- malene količini vodene pare u zraku
- nezatno miješanje ohlađenog zraka s višim toplijim
- snježni pokrivač kao reflektor većeg dijela kratkovalne radijacije tijekom kratkog dana, odnosno kao odličan radiator koji tijekom noć

*Tab. 17. Mjesečne temperature zraka u zimskim mjesecima 2011/2012 godine na mjernim točkama Masna luka dno (1166 m) i Masna luka crkva Sv. Ilije (1185 m)*

| <i>Masna Luka</i>   | <i>Prosinac</i> | <i>Siječanj</i> | <i>Veljača</i> | <i>Srednjak</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Donja Bara (1166 m) | -1,4            | -5,3            | -8,8           | -3,7            |
| Crkva (1185 m)      | -0,2            | -3,8            | -6,2           | -1,5            |

Iz iznesenog možemo zaključiti da će mikroklimatski uvjeti za postojanje temperaturne inverzije biti u svim depresijama istraživanog područja. To znači da će u konkavnim oblicima reljefa biti i do nekoliko stupnjeva niža srednja godišnja temperatura zraka nego na konveksnim oblicima odnosno padinama unutar istih visinskih pojaseva. Iz podataka mjesečnih temperatura zraka za zimske mjesece 2011/2012 godine (tab. 17) na mjernim točkama Masna luka dno (1166 m) i Masna luka crkva Sv. Ilije (1185 m) možemo izračunati da je temperatura zraka padala od ruba prema dnu depresije za  $-1,2^{\circ}\text{C}$  na svakih 10 metara dubine.

## 9.2 Rekonstrukcija paleotemperaturnih obilježja

Smatra se da je srednja temperatura würmskog glacijala bila niža od današnje za oko 10°C (Perica, Orešić, 1995; 1999; Šegota, Filipčić, 1996; Riđanović, 1963). Zahlađenje je nastupilo postupno, u prvoj fazi klima je bila relativno svježja i vlažna, a na kraju vrlo hladna i sušnija. Optimalni uvjeti za oledbu stvoreni su prije približno 70 000 godina. Najjače zahlađenje bilo je prije oko 25 000 do 18 000 godina, a nakon toga uslijedilo je naglo zatopljenje (Šegota, Filipčić, 1996).

Analize paleotemperature zraka odnose se na proračunu H. Posera (1947) koji je na temelju intenziteta otapanja zamrznutog tla za područje Panonske nizine odredio prosječnu godišnju temperaturu od -2°C u maksimumu virmskog ledenog doba. Na ta se istraživanja nadovezuje rad A. Klein (1953) koja je izračunala srednje mjesečne i godišnje temperature zraka za Zagreb. Razlike između tih i vrijednosti današnjih temperatura u Zagrebu poslužile su kao osnova za računanje temperatura u pleistocenu i unutar našeg istraživanog područja. Na temelju parova vrijednosti modificiranih temperatura zraka za pleistocen na pojedinim nadmorskim visinama dobivena je jednadžba pravca linearne korelacije:

$$y = -158,73x + 49,048$$

na temelju koje su izračunate vrijednosti paleotemperature za Wurm u pojedinim visinskim pojasevima istraživanog područja odnosno karta pleistocenske glacijacije (sl. 121).

*Tab. 18. Površina pojedinih razreda izračunate srednje godišnje temperature zraka za Würm*

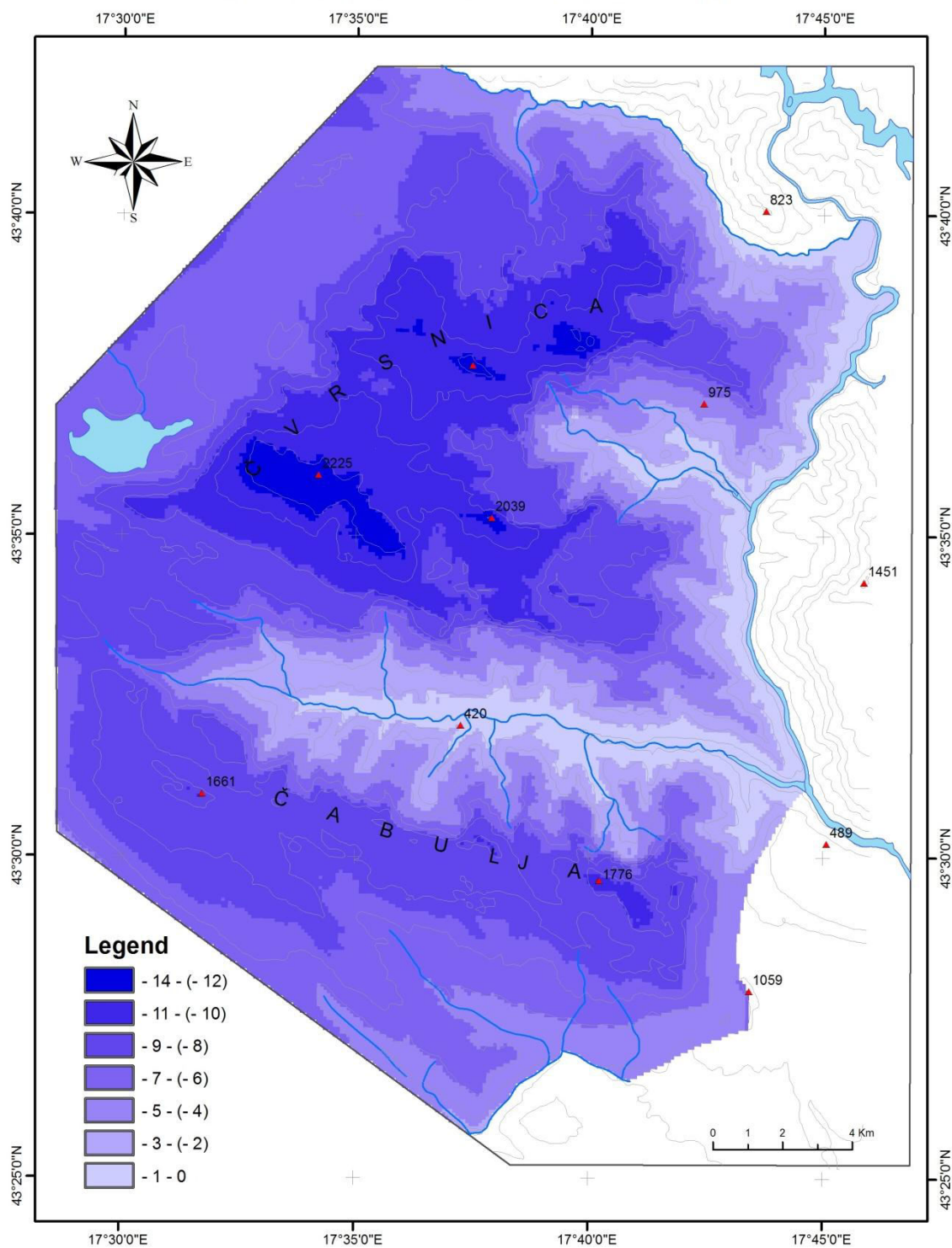
| <i>Razred</i> | <i>Površina km<sup>2</sup></i> |
|---------------|--------------------------------|
| -14 - (-12)   | 8,51                           |
| -11 - (-10)   | 66,55                          |
| -9 - (-8)     | 151,05                         |
| -7 - (-6)     | 129,95                         |
| -5 - (-4)     | 67,96                          |
| -3 - (-2)     | 54,49                          |
| -1 - 0        | 34,93                          |

Prema ovoj metodi izračuna prosječnih temperatura zraka za vrijeme maksimalne pleistocenske glacijacije prosječna godišnja temperatura iznad 2000 metara bila je niža od  $-12^{\circ}\text{C}$ , a glavna cirkna područja iznad 1000 metara zatvarala je izoterma od  $-6^{\circ}\text{C}$ .

Izračunata površina pojedinih razreda srednje godišnje temperature zraka za Würm data je u tablici 18.



## APROKSIMIRANA SREDNJA GODIŠNJA TEMPERATURA ZRAKA ZA WURM



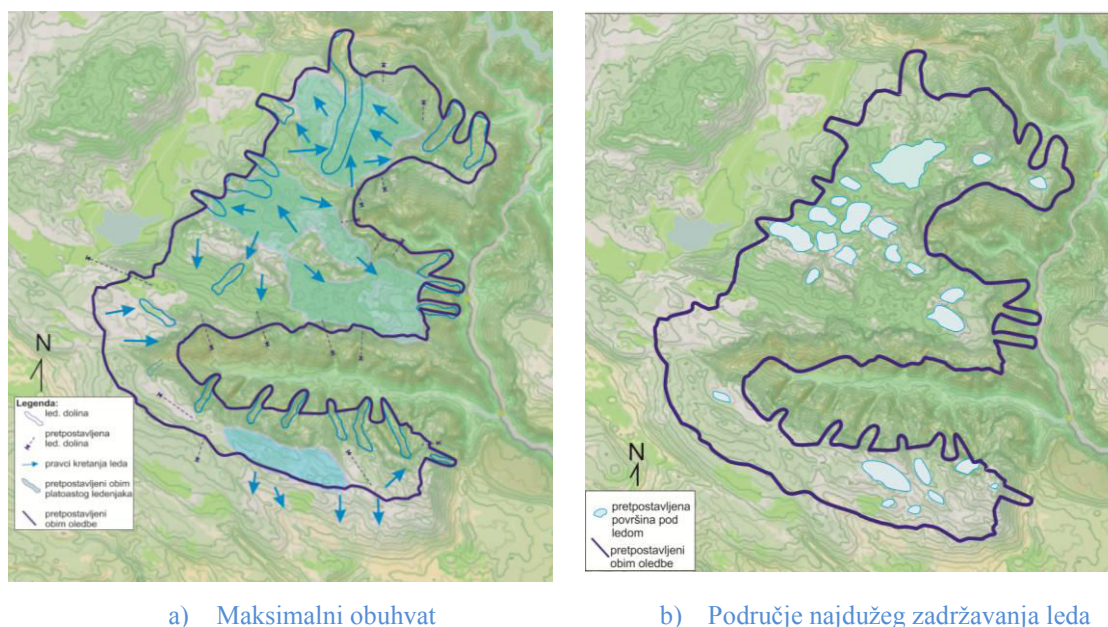
Sl. 121. Aproximirana srednja godišnja temperature zraka za Würm

## 10. DISKUSIJA

Rekonstrukcija pleistocenske oledbe temelji se na preostalim, postojećim ledenjačkim morfološkim oblicima. Jasno izraženi cirkovi, ledenjačke doline i morene zasigurno svjedoče o postojanju pleistocenske oledbe. Na temelju završnih morena može se vrlo dobro definirati prostorni obuhvat oledbe.

Faza maksimalne oledbe definirana je na temelju očuvanih završnih morena i iznosi oko 200 km<sup>2</sup> (sl. 127a). U pojedinim dijelovima istraživanog područja ledenjaci su se spuštali vrlo nisko do dna riječnih dolina na nadmorskoj visini od oko 260 m. Dio završnih morena danas nije u potpunosti očuvan. Na temelju dobro očuvanih ledenjačkih oblika moguće je govoriti o prostornom obuhvatu oledbe te pretpostaviti fazu povlačenja ledenjaka. Tijekom povlačenja došlo je do smanjenja obima oledbe te je led egzistirao u cirkovima, dubljim uvalama i ponikvama na površini od oko 50 km<sup>2</sup> što predstavlja povlačenje na ¼ prostornog obuhvata oledbe (sl. 127b).

Sličan proces analizirao je Đurović (2011) na Durmitoru gdje pretpostavlja povlačenje kroz tri faze: starija faza koja obuhvaća 54% površine, mlađa faza s 34% površine te takozvana *cirkna faza* u kojoj se led potpuno povlači i egzistira na dnu cirkova.



Sl. 127. Prostorni obuhvat oledbe pretpostavljen na temelju ledenjačkih morfoloških oblika

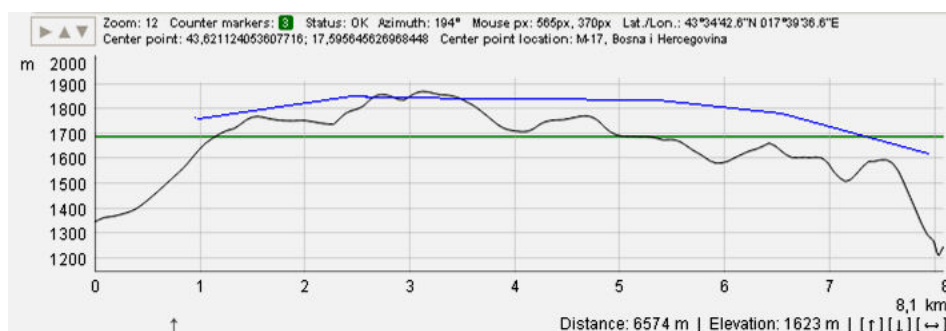
Na temelju komparativne analize koju je proveo Milivojević (2007) recentnog ledenjaka u Alpama (Tauer) i fosilnog ledenjačkog reljefa na planinama JI Dinarida: Bioč (2397 m), Volujak (2216 m) i Maglić (2386 m), koji se prema visini, položaju, strukturno-geološkoj osnovi i vertikalnoj raščlanjenosti reljefa mogu usporediti s istraživanim područjem dolazi do sljedećih zaključaka:

- Pouzdanost Heferove metode određivanja visine snježne granice primijenjena na planinama JI Dinarida potvrđena je njenom primjenom na ledenjak Tauer u Alpama.
- Utvrđeno je da snježna granica direktno ovisi o morfologiji i ekspoziciji padina.
- Na padinama južne ekspozicije oblikuju se cirkovi veće površine i široki ledenjaci. Na južnim padinama cirkovi mogu biti oblikovani samo u slučaju velike količine leda koja se nije mogla brzo otopiti. Za takvu akumulaciju neophodno je uz povoljne klimatske uvjete i postojanje veće predglacijalne depresije.
- Tip ledenjaka direktno ovisi o morfologiji predglacijalnog reljefa.

Unutar istraživanog područja utvrđena su tri tipa ledenjaka: platoasti, cirkni i dolinski. Na masivu Čvrsnice i hrptu Čabulje utvrđena su četiri platoasta ledenjaka. U središnjem i istočnom dijelu platoa Muharnice egzistirao je platoasti ledenjak površine od oko 18 km<sup>2</sup>, na središnjem platou Čvrsnice površine od oko 16 km<sup>2</sup>, na platou M. Čvrsnice od oko 10 km<sup>2</sup>, a u središnjem dijelu hrpta Čabulje također od oko 10 km<sup>2</sup>.

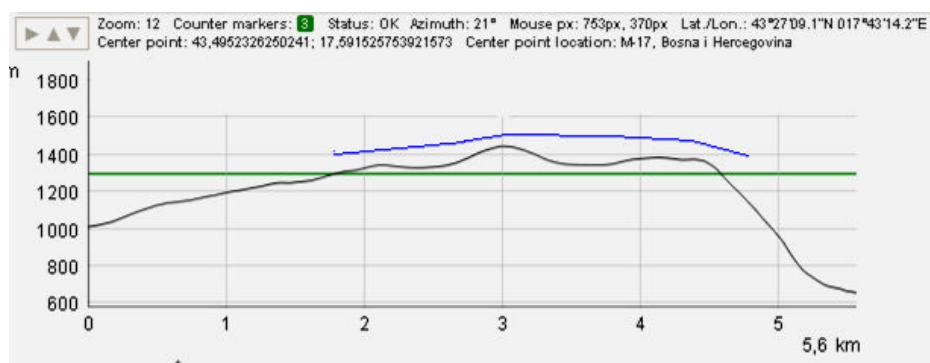
Širenje leda na početku oledbe prema Šegota i Filipčić (1996) uvjetovano je pojačanom atmosferskom cirkulacijom koja je rezultirala povećanjem količine padalina za najmanje oko 20% od kojih je glavninu predstavljao snijeg. Može se pretpostaviti da su tada oblikovane glavne baze ledenjaka. Količina i oblikovanje akumulacije, odnosno ledenjaka ovisila je i o predglacijalnom reljefu. Istražujući glacijaciju Dinarida na području Crne Gore Hughes i dr. (2011) pretpostavljaju postojanje najopsežnije glacijacije tijekom srednjeg pleistocena. Neki od najvećih pleistocenskih ledenjaka (Prokletje) oblikovali su ledenjake dužine i preko 35 km (Milivojević i dr., 2008; Hughes, Woodward, 2009). Ledenjački reljef Durmitora na zapadu te Orjena na jugu također ukazuje na postojanje znantne količine akumuliranog leda (Menković i dr., 2004). U fazi mlađeg pleistocena obim glacijacije je manji te tada nastaju cirkovi i ledenjačke doline, dok su holocenski ledenjaci manjeg obima i kratkih udaljenosti. U periodu najjačeg zahlađenja, usljed niže temperature zraka (i do -14°C) dolazi do smanjenog isparavanja iz mora te sukladno s tim i manje količine padalina (Šegota i Filipčić, 1996). Prema karti Europe Klein (1953) u periodu najhladnijeg razdoblja würmske oledbe količina padalina bila je manja za 20 do 80% (Bognar i Faivre, 2006). U području Dinarida (u

planinskom dijelu) padaline su bile manje za 30-40% u odnosu na danas s naglaskom da su krute padaline imale puno veći udjel u količini padalina (Bognar i Faivre, 2006). Takvi uvjeti pogodovali su akumulaciji leda. Najveći dio istraživanog područja (iznad 1500 m) s izotermom paleotemperature od - 8°C pogodovao je razvoju i opstanku ledenjaka. Analizirajući područja regionalno, sukladno morfološkim obilježjima terena i uz dovoljnu količinu padalina u vršnom dijelu masiva Čvravnice zatvarajući izotermu od - 9°C stvoreni su optimalni uvjeti za razvoj i opstanak platoastih ledenjaka. U skladu s morfološkom konfiguracijom terena led je koncentriran u uvale i ponikve gdje je povećanjem obima došlo do spajanja i formiranja jedinstvene cjeline platoastog ledenjaka. Veličina akumuliranog leda uglavnom je ovisila o prihranjivanju kroz padaline i pritjecanju gravitacijski usmjerenih ledenjačkih jezika iz cirkova. Pretpostavljena količina leda bila je dovoljna da pokrene ledenjačke jezike u pravcu sjevera (kanjoni rijeka), sjeverozapada (Brčanj, Rosne poljane), sjeveroistoka (kanjon Neretve), juga (kanjoni rijeka, uvale Ladina, Bogodol), jugozapada (Glavice, Bandurice) i prema jugoistoku (Diva Grabovica, Neretva, Vrđi). Platoasti ledenjaci se mogu smatrati centrima oledbe. Imajući u vidu nadmorsku visinu dna platoa koja se kreće od oko 1570 m i 1600 m može se pretpostaviti da je debljina leda iznosila oko 100 m do 150 m u maksimumu oledbe (sl. 128). Ovolika količina leda bila je viša od visine prijevoja i mogla se nesmetano kretati niz bočne padine.



Sl. 128. Pretpostavljena visina leda na platoastom ledenjaku (Čvravnica)

Tamo gdje su prijevoji niži kretanje leda bilo je moguće i pri manjoj akumulaciji što je utvrđeno na morfološki vrlo sličnim područjima planina Durmitora (Đurović, 2011, Marović, Marković, 1972) i Bioča (Milivojević, 2007). Sličan odnos primjećen je na području hrpta Čabulje gdje je morfologija platoa disecirana plitkim uvalama na visinama od oko 1450 m nadmorske visine, a visine prijevoja prema sjevernoj padini nalaze se na visinama od 1500 do 1550 m (sl. 129). Platoasti ledenjak na Čabulji razvijen je također unutar izoterme od - 9°C.



Sl. 129. Pretpostavljena visina leda na platoastom ledenjaku (Čabulja)

Vapnenačka litološka podloga uvjetovala je pojavu okršenog reljefa u predpleistocenskom periodu kad su oblikovane ponikve koje predstavljaju bazu akumulaciji platoastog ledenjaka. Da je ovakva podloga povoljna za razvoj platoastog ledenjaka zaključili su Bognar i dr. (1991) istražujući tragove pleistocenske oledbe na Sjevernom Velebitu.

Egzaracijski oblici u vršnom dijelu predstavljeni su ledenjačkim dolinama i nizom cirkova. Veliki ledenjaci koji su se odvajali od vršnog platoastog ledenjaka formirali su i oblikovali ledenjačke doline prema smjeru kretanja. Na istraživanom području izražen je tipičan ledenjački reljef za razliku od ledenjačkih tragova na Velebitu gdje nisu izraženi cirkovi i ledenjačke doline već su njihovu ulogu imale uglavnom predpleistocenske uvale i ponikve (Perica, 2000).

Na izraženim hrptovima predpleistocenske jaruge napravile su prvi korak u oblikovanju ledenjačkih akumulacija. Oblikovani cirkovi na padinama hrptova imali su dvije funkcije:

- a) prihranjivanje platoastog ledenjaka u podnožju, npr. cirkovi Pločno, Kapci, Razvale i dr. (kratke ledenjačke doline),
- b) razvoj vlastitog ledenjaka, npr. Vilinac, Kotao i dr. (duge ledenjačke doline).

Dolinski ledenjak na Muharnici predstavljao je kompaktnu ledenu masu dugu oko 8 km. Izvorišni dio ovog ledenjaka čini relativno mala površina cirka Vilinac od 0,05 km<sup>2</sup> koja samostalno ne bi mogla održavati stalno prihranjivanje. Formiranju i održavanju ove mase pridonijela je morfološka predispozicija koja omogućuje prihranjivanje s nekoliko manjih bočnih ledenjaka. Ovakav proces pretpostavio je i Milivojević (2007) prema morfologiji ledenjaka na vršnom dijelu Bioča (Smrekovački ledenjak).

Položaj cirkova i njihov udio u prostoru ukazuje na vrlo razvijene glacialne procese tijekom pleistocena. Uočena je disperzija površine i brojnosti cirkova prema pripadajućoj ekspoziciji. Cirkovi su razvijeni na vertikali od 900 m (od 2 2000 m.n.m. do 1 300 m.n.m.). Od ukupnog broja cirkova (27) oko 77% pripada sjevernoj, a 11% južnoj ekspoziciji. Cirkovi sjeverne

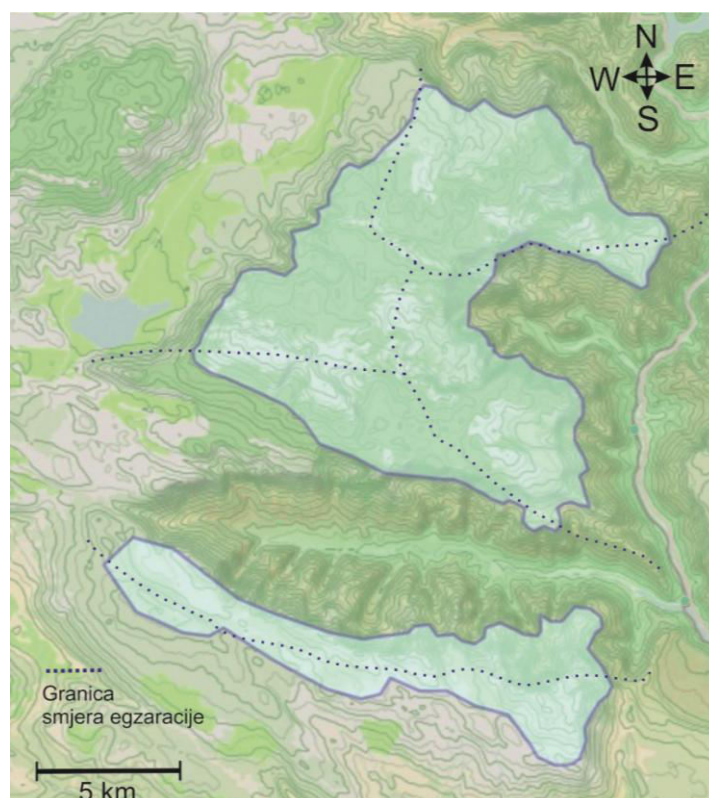
orijentacije su brojniji ali imaju manje površine od 0,05 km<sup>2</sup> do 1 km<sup>2</sup> (izuzev tektonski predisponiranog Drijenka s 2,46 km<sup>2</sup>). Nedostatak izravne sunčeve radijacije i cjelogodišnje zadržavanje snijega i leda glavni su razlozi egzaracijskih procesa i oblikovanja cirkova. Imajući u vidu utjecaj ekspozicije Roglić (1957 pr. 2005) je pretpostavio duže zadržavanje snijega i leda na sjevernim padinama Čabulje (dolina Drežanke), nižu snježnu granicu (ispod 1000 m) i razvijene cirkove. Na temelju ovih pretpostavki odredio je položja završne morene u dolini rijeke Drežanke (područje Perutca). Ova lokacija je pretpostavljena, ali nedovoljno istražena (zbog nepristupačnog terena) i nije utvrđena sa sigurnošću zbog čega nije ucrtana na karti ledenjačkog reljefa (Prilog 1.).

Na južnoj strani formiran je manji broj cirkova veće površine od 0,7 km<sup>2</sup> do 2,1 km<sup>2</sup>. To su rasjedno predisponirane depresije u kojima je zbog veće površine bilo moguće zadržavanje većeg obima leda koji se zadržavao tijekom toplijeg perioda. Ujedno je egzaracijsko djelovanje leda oblikovalo formu cirka. Ovakav proces razvoja cirkova na južnim ekspozicijama pretpostavio je Milivojević (2007) na padinama Volujaka i Bioča te kroz istraživanje ledenjačkog reljefa (2004) na planini Komovi u Crnoj Gori. Istodobno je zbog južne ekspozicije zagrijavanjem potaknuto kretanje leda i spiranje materijala s padina. Tako su na južnim padinama Čabulje primjećene znatne količine morenskih nanosa. U području istočnih i zapadnih ekspozicija cirkovi imaju manji udio u glacijalnom reljefu. To su uglavnom gravitacijske (slijevne) zone gdje su se ledenjački jezici kretali u širokom rasponu bez kanalizirane forme ledenjačke doline.

Na temelju aritmetičke sredine visinske raspodjele prostora pod utjecajem oledbe (Heferova metoda izračuna visine snježne granice) imajući u vidu klimatske uvjete tijekom faza maksimalne i minimalne oledbe te na temelju aproksimirane srednje godišnje temperature tijekom oledbe snježna granica na Čvrsnici kretala se u visinskom rasponu od 850 m do 1700 m nadmorske visine odnosno 1800 m tijekom minimuma oledbe (tab. 19., sl. 130).

**Tab. 19.** Pretpostavljene visine pleistocenske snježne granice

| Visina pretpostavljene pleistocenske granice (m) | Lokacije  |
|--|---|
| <b>1180, 1390</b>                                | Sjeverne padine Čvrsnice (Stupari, Podgrad u dolini Doljanke) |
| <b>1250</b>                                      | Južne padine Čvrsnice (kanjon Dive Grabovice)                 |
| <b>800</b>                                       | Sjeverne padine M. Čvrsnice (kanjon Dive Grabovice)           |
| <b>900</b>                                       | Istočne padine M. Čvrsnice (kanjon Neretve)                   |
| <b>1000</b>                                      | Južne padine M. Čvrsnice (dolina Drežanke)                    |
| <b>1800</b>                                      | Južne padine V. Čvrsnice (Bare)                               |
| <b>1600, 1700</b>                                | Zapadne padine Čvrsnice (jezero, Risovac)                     |
| <b>900</b>                                       | Sjeverne padine Čabulje (dolina Drežanke)                     |
| <b>1050</b>                                      | Istočne padine Čabulje (Vrđi)                                 |
| <b>1270, 1350, 1450</b>                          | Južne padine Čabulje (Bandurice, Ladine, Bogodol)             |

*Sl. 130.* Karta pretpostavljene pleistocenske snježne granice

Prilikom određivanja snježne granice važan segment čine ekspozicija reljefa i otvorenost prema zračnim masama. Na temelju toga snježna granica se može odrediti kao zona. Dobar pokazatelj tih fluktuacija vidljiv je na primjeru Čabulje gdje se na sjevernim padinama u

dubokom kanjonu Drežanke snijeg i danas zadržava puno duže (do kasnog proljeća) i niže (na 800-1000 m) nego u drugim djelovima. Snježna granica na Čabulji je određena u rasponu od 800 m do 1500 m nadmorske visine što je pretpostavio i Roglić (2005).

Prema istoj metodi na masivu Čvrsnice Šimunović (2008) je odredio visinsku snježnu granicu na izohipsi od 1600 m nadmorske visine. Zone kretanja snježne granice određene su na isti način na planinama koje su bile pod utjecajem pleistocenske oledbe: Čvrsnica od 1100 do 1700 m.n.v. (Roglić, 1959 pr. 2005), Prenj od 1180 do 1700 m.n.v. (Roglić, 1959 pr. 2005), Bioč od 1700 do 1900 m.n.v. (Milivojević, 2007), Komovi od 1800 do 1900 m.n.v. (Milivojević, 1998), Orjen od 1100 do 1300 m.n.v. (Riđanović, 1966). Na ostalim planinama snježna granica je određena jednom visinom kao na primjer na Sjevernom i Srednjem Velebitu - 1300 m.n.v. (Bognar i Faivre, 2006), Južnom Velebitu – 1200 m.n.v. (Belij, 1985), Biokovu – 1570 m.n.v. (Roglić, 1935 pr. 2005).

Značenje ekspozicije padina izraženo je kod razvoja fluvio-glacijalnih nanosa u dolinama rijeka. U istraživanju „Glacijalne erozije i akumulacije na planinama oko srednjeg toka rijeke Neretve“ Roglić (1957) je objasnio utjecaj ekspozicije na pojačanu egzarciju u reljefu dubokih kanjonskih dolina u masivu Prenja (rijeke Bijela, Idbar, Šištica), Čvrsnice (rijeke Doljanka, Diva Grabovica, Drežanka) i rijeke Neretve. Osim ekspozicije i reljefne predispozicije na količinu i intenzitet fluvio-glacijalnih naslaga u dolini utjecale su klimatske promjene tijekom oledbe. Do sličnih zaključaka došli su Đurović i Petrović (2007) istražujući posljedice razvoja dubokih riječnih kanjona u Dinaridima:

- Najviše kanjonskih dolina u južnim Dinaridima prelazi dubinu od 1000 m što se može potvrditi i u istraživanom području (dubina kanjona Neretve < 1300 m, Doljanke < 1400 m, Dive Grabovice < 1400 m, Drežanke < 1100 m)
- Na opći izgled i dubinu kanjona pored reljefne predispozicije utjecale su klimatske prilike tijekom pleistocena:
  - glacio-nivalni režim protoka,
  - količina protoka snježnice,
  - intenzitet bujičnih tokova
  - količina akumuliranog materijala.

U istraživanom području akumulirani fluvio-glacijalni materijal posljedica je pretaloživanja padinskog i glacijalnog (morenskog) materijala prilikom otapanja. Intenzitet taloženja



fluvioglacialnog materijala može se primjetiti na ušću rijeka gdje su oblikovane fluvioglacialne terase visine od oko 10 m do 30 m (Neretva kod Jablanice, ušće Drežanke).

Prema morfološkom obliku, širini i visini morenskih naslaga u Dugom polju može se pretpostaviti da je taloženje vršeno stalnim dotokom materijala kroz duži vremenski period. Geokronološki slijed intenzivne glacijacije na području Dinarida pretpostavili su Hughes i dr. (2011) istražujući ledenjačke tragove na području planinskog lanca u središnjem dijelu Crne Gore (Durmitor, Sinjajevina, Moračke, Maganik, Prekornica i Orjena na jugu). Usporedivši položaj morena i drugih ledenjačkih tragova sa sličnim indikatorima oledbe u Dinaridima (Grčkoj, Albaniji, Hrvatskoj) pretpostavljaju da je intenzivnija oledba bila u periodu Srednjeg Pleistocena. Tijekom mlađeg razdoblja dogodile su se još dvije oledbe manjih razmjera. Uzevši u obzir položaj istraživanog područja u središnjem dijelu Dinarida može se pretpostaviti sličan proces tijekom oledbe. U smjeni glacijala došlo je do djelomičnog razaranja postojećih morena i stvaranja poplavnih ravnica kakvu nalazimo u Dugom polju. Utvrđeni su dobro očuvani ostaci završnih morena. Nalaze se ispred uvala u kojima se akumulirao snijeg i led što potvrđuje pretpostavku da su nastale u tijeku zadnjeg stadija oledbe kad je led kopnio i povlačio se u uvale i ponikve. Na temelju njihove morfologije može se zaključiti da su završne morene utvrđene na terenu rezultat posljednje faze oledbe.

S druge strane na postojanje više faza oledbe odnosno na smjenu interglacijala ukazuje istraživanje ledenjačkih sedimenata koje je provela Prskalo (2008) u okolici Blidinjskog jezera. Riječ je o postojanju najmanje dvije faze oledbe s duljim vremenskim razmakom praćenim posebnim klimatsko-morfološkim procesima. U okviru istraživanja Prskalo (2008) je na temelju rezultata iz istražne sonde utvrdila da se na dubini od oko 26 m još uvijek nalazi sediment glacijalnog podrijetla (šljunak, breča, pjesak, prah). Prema ovom može se zaključiti da ledenjački sedimenti taloženi kroz nekoliko faza. Tijekom prve faze oledbe u maksimumu stvaranja leda zavala je zatrpana ledenjačkim materijalom kojeg su ledenjački jezici transportirali s obližnjih padina Čvrsnice i Vrana. Tijekom interglacijala, pojačanim udjelom sočnice morene su razorene i materijal je raspoređen u zavali na jednaku erozijsku bazu. Ranija istraživanja temeljena uglavnom na deskriptivnim metodama pretpostavila su postojanje glacijalnog jezera u zavali (sinklinali) Dugog polja u interglacijalnom periodu no, veličina i raspored sortiranja zrna ukazuju na stalno ispiranje materijala. Tako krupnije čestice s dubinom smanjuju svoje učešće dok udio sitnijih frakcija raste što znači da su sitnije čestice praha i gline procjeđivane površinskim vodama. Analiza istražne sonde utvrdila je nepostojanje podzemne vode na dubini od oko 30 m što govori o postojanju dubokih i dobro

otvorenih ponornih zona u jugoistočnom dijelu zavale (podina zapadnog strmca Čvrsnice) zbog kojih nije moguće zadržavanje stajaće vode. Izuzetak čini Blidinje jezero<sup>3</sup>. Na temelju ovog može se zaključiti smjena maksimalne i minimalne oledbe bez dužeg zadržavanja stajaće vode u jugoistočnom dijelu zavale.

Istraživanjem ledenjačkih sedimenata i njihovih oblika na Sjevernom Velebitu Velić i dr. (2011) utvrdili su sličan proces. Duže zadržavanje snježnice na većoj površini i stvaranje glacijalnog jezera bilo je onemogućeno zbog procjeđivanja kroz okršenu karbonatnu podlogu. Postojanje danas izraženih završnih morena ukazuje na zadnju fazu jače izražene oledbe. Relativno dobra očuvanost završnih morena može se objasniti ponornom zonom u predjelu rasjeda podno strmca Čvrsnice zbog čega nisu stvoreni uvjeti zadržavanja i protoka većih količina sočnice kojom bi morene bile razorene. U terminalnim bazenima u osjenjenom dijelu masiva Čvrsnice (Masna luka i Borićevac) zadržavanje leda je duže te dolazi do postupnog otapanja.

Završne morene u kanjonima rijeka nalaze se na nadmorskim visinama od oko 200 m (dolina Dive Grabovice), 270 m (donji dio doline Doljanke) i 650 m (gornji dio dolina Doljanke) i 350 m (dolina Drežanke). Uzmemo li u obzir položaj navedenih morena može se sa sigurnošću predvidjeti da je debljina leda i veličina ledenjaka bila znatna. U dosadašnjim istraživanjima ledenjačkih tragova oledbe na planinama u području Visoke Hercegovine nisu zabilježeni tragovi morena na nadmorskim visinama nižim od 500 m. Na blažim padinama hrpta Čabulje (južne) završne morene se nalaze na oko 850 i 1010 m (Crnačka i Bogodolska Ladina) te 1230 m (Bandurice). Ove morene su ujedno jedan od glavnih implikatora o glacijalnom modeliranju postojećih kanjona. U analizi padina kanjona potrebno je naglasiti utjecaj ekspozicije padine pri čemu je na sjeverno orijentiranim padinama zadržavanje snijega leda puno duže. Duboko usječene jaruge i obilje fluvioglacijalnog materijala u kojem su dijelom usječena korita ukazuju na važnost subglacijalne erozije podloge ledenjačkim vodama. Važnost modeliranja kanjona ledom i sočnicom istaknula je Marijanac (2012) objašnjavajući morfologiju kanjona Velike i Male Paklenice. Naime smatra da su, prema uzoru na kanjon ispred ledenjaka Mer de Glace (Alpe), uži dijelovi V. i M. Paklenice u potpunosti bili prekriveni ledom, a sočnica je oblikovala korito i dijelove padina.

Na padini, vrlo blizu vršnog dijela utvrđeni su dobro očuvani ostaci završnih morena. Nalaze se ispred uvala u kojima se akumulirao snijeg i led što potvrđuje pretpostavku da su nastale u

---

<sup>3</sup> U dijelu današnjeg Blidinjskog jezera ponorne zone su dijelom zatvorene antropogenim zahvatima zbog potrebe postojanja akumulacije vode tijekom toplijeg perioda.

tijeku zadnjeg stadija oledbe (holocenske morene) kad je led kopnio i povlačio se u uvale i ponikve. Na temelju njihove morfologije može se zaključiti da su završne morene utvrđene na terenu rezultat posljednje faze oledbe.

Na području pretpostavljene ledenjačke doline u Donjim Barama utvrđeni su drumlini. Položaj i smjer kretanja upućuje na moguće kretanje leda iz dva pravca, iz smjera Gornjih Bara (S) i s padina Vitrinjače (J). Istraživanje ledenjačkih sedimentnih tijela na Biokovu, Protrka i dr. (2011) i Sjevernom Velebitu, Velić i dr. (2011) gdje su također determinirani drumlini, tumače ih kao posljedicu formiranja sedimenata tijekom kretanja ledenjaka. Analizom uzorkovanih sedimenata zaključili su da je tijelo drumlina rezultat taloženja ledom pretaloženih stijenskih fragmenata što na neki način potvrđuje tezu o nastanku drumlina u okviru kretanja ledenjačkog jezika. Prema tomu, uz ovu konstataciju, morfološki položaj i oblik, uvale Gornje i Donje Bare mogu se smatrati dijelom ledenjačke doline kojom se kretao ledenjak s južnih padina Čvrsnice. Analizirajući starost drumlina na Sjevernom Velebitu, J. Velić i dr. (2011) pretpostavljaju da je oblikovanje sedimenata trajalo tijekom zadnje oledbe u würmu što se prema dobroj očuvanosti sedimenata može pretpostaviti i za promatrano područje. Slično objašnjenje nastanka i oblikovanja drumlina navodi i Lj. Marijanac (2012) gdje smatra da drumlini predstavljaju sedimentna tijela nastala prilikom povlačenja leda jer bi u protivnom prilikom mlađe glacijacije došlo do razaranja sedimentnog tijela.

Na karbonatnoj podlozi intenzivno je okršavanje što je vidljivo kroz brojne krške reljefne oblike (ponori, špilje, jame) usljed hladne pleistocenske klime i agresivne snježnice. Proces pleistocenskog okršavanja može se usporediti s današnjim krškim alpskim područjima iznad 3000 m. To je područje stalno ili periodično zamrznutog tla i zonalno podložnog otapanju (južna ekspozicija). Površinska okršenost prostora relativno srednjih visina (oko 2000 m) u odnosu na viša alpska područja je veća zbog stalne izmjene temperatura i korozije. Na području bez snjega kao termoizolatora pojačanom intenzitetu okršavanja doprinosi utjecaj jakih vjetrova (bura), (Perica i dr., 2002). Osobito su intenzivni procesi za vrijeme kratkih ljeta kad je i otapanje leda jače. Proces egzaracije na krškoj podlozi uništava (npr. škrape) ili preoblikuje (npr. ponikve ili uvale) na čijem se dnu usljed topljenja snijega i leda oblikuju novi oblici, odnosno speleološki objekti koji su imali funkciju ponora (Perica i dr, 2004). Tijekom maksimalnog zahlađenja, zbog izrazite dominacije egzaracije i periglacialnih procesa, brojni otvori, ali i kanali speleoloških objekata, koji su obavljali funkciju ponora (npr. na završetku slijepih dolina), zapunjeni su evakuiranim materijalom (Ford i Williams, 1994). Na temelju istraživanja koje su proveli Bočić i dr. (2012) u spilji Štirovača na Velebitu

može se zaključiti da su ponorne zone ili spilje zatrpane glacijalnim ili fluvioglacijalnim materijalom koji je smanjio ili u potpunosti zaustavio protjecanje vode što dovodi do stvaranja vodene površine u depresijama.

Pojava cementiranog padinskog materijala ukazuje na intenzivan kriogeni proces tijekom pleistocena. Izmjena razdoblja suhih i hladnih te vlažnih klima imala su veliki utjecaj na destruktivnu aktivnost periglacialnih (kriofrakcija i krimonivalno spiranje) i padinskih procesa (Bognar, 1992). Kriofrakcijski padinski materijal nataložen u podini padine sudjelovao je u procesu preobrazbe svojstva i oblika tijekom vlažnog razdoblja. Na temelju lokacije i izgleda materijala može se pretpostaviti slijed i procesi oblikovanja ovakvog reljefa. U uvali kod Vranića (Vrdi) moguće je zadržavanje vode sočnice i ujezerivanje jednog dijela na što ukazuje granulometrijski sastav točke 4. ali i cementirani koluvijalni materijal po rubu.

Tijekom pleistocena periglacialni procesi bili su dominantni u oblikovanju reljefa onih dijelova prostora koji nisu bili izloženi egzaraciji. Njihov razvoj uvjetovale su izmjene različitih klimatskih razdoblja. Tijekom prve polovice zahlađenja, koji obilježava povećanje količine padalina, njihovom oblikovanju pogodovalo je postupno povećanje podzemne vode u pukotinskom sustavu i površinsko otjecanje vode. Međutim, u drugom dijelu zahlađenja, koji obilježava sve jači pad temperature zraka i manja količina padalina, sve veće značenje pri oblikovanju suhih dolina imala je intenzivna periglacialna rastrožba i stvaranje permafrosta. Rastrožba je bila najintenzivnija na dolomitima i dolomitičnim vapnencima gdje je stoga nastao debeli pokrov relativno nepropusnog materijala, što je pogodovalo formiranju povremenih i stalnih tekućica. Nastanak permafrosta osobito je važan pri oblikovanju dolina na propusnim vapnenačkim kompleksima jer je spriječio podzemnu drenažu vode. No, pri zatopljenju, kada počinje prevladavati umjerena suha i polusuha klima (na nižim i središnjim dijelovima), dolazi do prestanka periglacialnog oblikovanja reljefa, otapanja permafrosta, a samim time postupno dolina imaju drugu funkciju (suhe doline). Identični uvjeti pogodovali su i oblikovanju visećih i slijepih suhih dolina. Viseće doline obično su svojim završetkom vezane za strmce (Karamanovi klanci), dok su slijepo doline redovito na svom, završetku oblikovale ponore (Dugo polje, Bare, Vitrinjača).

## ZAKLJUČAK

Tijekom pleistocenskog perioda područje Dinarida bilo je zahvaćeno snažnom oledbom. Na to upućuju tragovi pleistocenske oledbe koji su uprkos karbonatnoj podlozi koja dominira u istraživanom području dobro očuvani.

Na temelju utvrđenih tragova i pretpostavljenog kretanja leda na prostoru masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje može se izvesti nekoliko zaključaka:

- Obim oledbe u istraživanom području (513 km<sup>2</sup>) prema rekonstrukciji temeljenoj na kretanju snježne granice i području iznad i ispod te zone gdje su egzistirali kraci ledenjaka obuhvaća oko 200 km<sup>2</sup>. To je uglavnom vršni dio masiva i hrptova iznad 1000 m na osjenjenim te iznad 1700 m u južno eksponiranom području. Prilikom povlačenja leda područje stalne oledbe smanjeno je na gotovo pola i izolirano u područja koja su prema svojoj morfologiji još uvijek imala povoljne uvjete za održavanje ledenih površina.
- Tijekom maksimuma oledbe ledenjaci su bili brojni i dopirali su vrlo nisko do dna kanjonskih dolina (260 m, 300 m). Izvorišni dijelovi odnosno akumulacija leda određena je predglacijalnim reljefom. Tako su glavna akumulacijska područja određena pružanjem glavnih hrptova i ekspozicijom reljefa.
- Izdvojena su tri tipa ledenjaka: platoasti, cirkni i dolinski. Platoasti ledenjaci razvili su se na području visokih planinskih platoa diseciranih nizom uvala i ponikava koje čine bazu ledenjaka. Postojanje i razvoj cirknih ledenjaka određeno je prvenstveno predglacijalnim reljefom u kojem su korozijom stvorene uvale ili rasjedno predisponirane padine. Prilikom razvoja cirkova ključnu ulogu imala je uz povoljne klimatske prilike (količina padalina, temperatura i vjetar) i ekspozicija padina. Kako su cirkni ledenjaci na području masiva Čvrsnice formirani uglavnom na sjevernim ekspozicijama i orjentirani uglavnom prema bazama platoastih ledenjaka koje su prihranjivali ledom može ih se smatrati ključnim za obim i zadržavanje leda u tom području. Dolinski ledenjaci u ovom prostoru razvijeni su u manjem broju, a oblikovani su u postojećim uvalama koncentracijom leda s okolnih padina.
- Razvoj ledenjačkih procesa razlikovao se prema reljefu u kojem je došlo do akumulacije, odnosno predglacijalnom reljefu. U području gdje su već razvijene

duboke depresije egzaracijom su oblikovane i poprimile morfološki oblik ledenjačkog reljefa. Tako su veliki cirkovi imali dobre predispozicije za razvoj velikih ledenjaka. S druge strane padine hrptova disecirane su brojnim manjim rasjedima koji su dalje egzaracijom preoblikovani u cirkove, ali uglavnom manjih površina. Utvrđeni su nizovi takvih cirkova koji zbog obima nisu mogli razviti veću količinu leda pa su njihovi ledenjaci bili manjih dužina.

- Razvoj i obim oledbe uvelike je ovisio kako o vertikalnom raščlanjenosti tako i o ekspoziciji padina. Ledenjaci u dubokim depresijama, duboko usječenim padinama osobito sjeverne ekspozicije, odnosno osjenjenim područjima koja i danas zadržavaju snijeg i led cijelu godinu imali su veću količinu leda i egzistirali su puno duže od ostalih. Za razliku od njih, ledenjaci na padinama južnih ekspozicija brže se povlače i otapaju dok veća količina sočnice agresijom pretaložuje till ili destruktivno djeluje na litološku podlogu.
- Na morfološke promjene reljefa tijekom oledbe utjecala je litološka podloga. Čine ju dominantno karbonati (vapnenac i dolomit) koji su podložni bržem trošenju: mehaničkom koje stvara veće količine trošnog materijala (sipari, koluvij) i korozijom agresivne sočnice koja proširuje podzemne kanale te tako stvara uvjete za razvijenu podzemnu cirkulaciju voda.
- Bitne spoznaje, na temelju provedene analize, su da je utvrđeno postojanje te pretpostavljaju obim pleistocenske oledbe na masivu Čvrsnice i hrptu Čabulje. Također, na temelju rezultata istraživanja mogu se pretpostaviti osnovne faze razvoja oledbe.

## LITERATURA

1. Anđelković, M., 1978: Tektonska rejonizacija Jugoslavije, u: IX. Kongres geologa SFRJ, zbornik radova (ur. Čičić, S.), Sarajevo, 7-13.
2. Atlas klime SFRJ, 1969: Hidrometeorološki zavod SFRJ, Beograd.
3. Bate, S., 2008: A Reconstruction of Equilibrium Line Altitudes of the Little Ice Age Glaciers in Linnédalen, Western, University Centre in Svalbard, Term Project AG-212, 1-19.
4. Behlilović, S., 1964: Geologija Čabulje planine u Hercegovini, Posebna izdanja Geološkog glasnika, Sarajevo.
5. Belij, S., 1985: Glacijalni i periglacijalni reljef Južnog Velebita, Srpsko geografsko društvo, 61, Beograd.
6. Bočić, N., Faivre, S., Kovačić, M., Horvatinčić, N., 2012: Cave development under the influence of Pleistocene glaciation in the Dinarides – an example from Štirovača Ice Cave (Velebit Mt., Croatia), Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 56, 4, 409-433.
7. Bognar, A., 1990: Geotektonska evolucija i neke temeljne strukturnomorfološke osobine Dinarida, u: *V. Znanstveno posvetovanje geomorfologov Jugoslavije: Geomorfologija in ekologija: zbornik radova*, Krško, 18-23. Lipanj 1990., Ljubljana, 259-279.
8. Bognar, A., 1992: Pedimenti Južnog Velebita, Geografski glasnik, 54, 19-32.
9. Bognar, A., Faivre, S. 2006: Geomorphological Traces of the Younger Pleistocene Glaciation in the Central Part of the Velebit Mt., Hrvatski geografski glasnik, 68/2, 19-30.
10. Bognar, A., Faivre, S., Pavelić, J., 1991a): Tragovi oledbe na Sjevernom Velebitu, Geografski glasnik, 53, 27-39.
11. Bognar, A., Faivre, S., Pavelić, J., 1991b): Glacijacija Sjevernog Velebita, Senjski zbornik, 18, 181-196.
12. Bognar, A., Faivre, S., Pavelić, J., 1997: Tragovi oledbe na Srednjem Velebitu, Senjski zbornik, 25, 1-16.
13. Bognar, A., Pavličević, D., Pavelić, J., 1995: Glaciofluvijalne plavine u izvorišnom dijelu bazena porječja vodotoka Velike Paklenice, Paklenički zbornik

- 1, 43-47.
14. Bognar, A., Prugovečki, I., 1997: Glaciation Traces in the Area of the Risnjak Mountain Massif, *Geologica Croatica*, 50/2, 269-278.
  15. Bognar, A., Šimunović, V., 2005: Geomorfološke značajke Parka prirode Blidinje, u: *I. međunarodni znanstveni simpozij: Blidinje 2005: zbornik radova* (ur. Čolak, I.), Blidinje, 15. i 16. rujan 2005., PP Blidinje, 25-40.
  16. Bonacci, D., 1987: *Karst Hydrology – With Special Reference to the Dinaric Karst*, Springer-Verlag, New York.
  17. Buljan, R., Zelenika, M., Mesec, J., 2005: Park prirode Blidinje, prikaz geološke građe i strukturno-tektonskih odnosa u: *I. međunarodni znanstveni simpozij: Blidinje 2005: zbornik radova* (ur. Čolak, I.), Blidinje, 15. i 16. rujan 2005., PP Blidinje, 11-24.
  18. Cvijić, J., 1899: Glacijalne i morfološke studije o planinama Bosne, Hercegovine i Crne Gore, Glas - Srpska kraljevska akademija, Beograd.
  19. Cvitanović, A. 2002: Geografski rječnik, Hrvatsko geografsko društvo, Zadar.
  20. Čičić, S., 2002: Geološka karta Bosne i Hercegovine M 1:300 000, Institut za geologiju, Sarajevo.
  21. Ćorić, S., Filipović A., 2004: Uloga austrijskih geologa u BiH – prvi dio, Rudarsko-geološki glasnik, 8, HRGD, Mostar.
  22. Dedijer, J., 1905: Glacijalni tragovi Zelengore, Tovarnice i Maglića, Glas Sarajeva, LXIX, 5-18.
  23. Dedijer, J., 1907: Prilozi geološkoj istoriji Neretve, Glasnik Zemaljskog muzeja, Sarajevo, 12-17.
  24. Dedijer, J., 1909: Glacijacije Visočice u Južnoj Bosni, Glas Sarajeva, LXXIX, 21-27.
  25. Đurović, P. 2009: Reconstruction of the pleistocene glaciers of Mt. Durmitor in Montenegro, *Acta geographica Slovenica* 49/2, 263–289.
  26. Đurović, P., 2011: Reljef Durmitora u: *Zbornik radova: Zaštita prirode u XX st., 20-23.9.2011., Žabljak*, 159-168.
  27. Đurović, P., Petrović, A., 2007: Large Canyons in Dinaric and Prokletije Mountains Region of Montenegro, *Geographica Pannonica*, br. 11, 14-18.
  28. Đurović, P., Petrović, A., Simić, S. 2010: Utjecaj pleistocenske glacijacije na



- morfološku raznolikost uvala Durmitora i Žijova, Glasnik Srpskog geografskog društva br. 1, 17-34.
29. Faivre, S., 1991: Geomorfološke osobine dijela sjevernog Velebita od Oltara do Alana, diplomski rad, Geografski odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
  30. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1961. do 1991., podaci s Meteorološke postaje Bjelašnica, Sarajevo.
  31. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1961. do 1991., podaci s Meteorološke postaje Jablanica, Sarajevo.
  32. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1961. do 1991., podaci s Meteorološke postaje Makljen, Sarajevo.
  33. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1961. do 1991., podaci s Meteorološke postaje Mostar, Sarajevo.
  34. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1961. do 1991., podaci s Meteorološke postaje Široki Brijeg, Sarajevo.
  35. Federalni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1995. do 2005., podaci s Meteorološke postaje Mostar, Sarajevo.
  36. Ford, D., Williams, P., 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology, *Chichester, J. Wiley & Sons*, West Sussex.
  37. Gavrilović, Z., Stefanović, M., Brajković, M., Isaković, D. (2001): Identifikacija erozionih područja, Upravljanje vodnim resursima Srbije, monografija, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1-17.
  38. Herak, M., 1986: Nova koncepcija geotektonike Dinarida, *Acta geologica* 16/1, 1-42.
  39. Höfer, R., 1879: Gletscher und Eiszeitstudien, Sitz. Ber. D., Wiss., Wien.
  40. Hughes, P. D., Woodward, J. C., 2009: Glacial and periglacial environments, in J. C. Woodward (ed.), *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford University Press, Oxford, 353–383.
  41. Hughes, P. D., Woodward, J. C., Van Calsteren, P.C., Thomas, L.E., 2011: The glacial history of the Dinaric Alps, Montenegro, *Quaternary Science Reviews*, 30, 393-412.
  42. Ivanković, T. 1984: Hidrogeološka problematika podzemnih akumulacija u kršu na primjeru HE „Salakovac“, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Tuzli, 238.

43. Ivanković, T., 1988: Studija o seizmotektonskim pokretima na području srednjeg toka Neretve (HE Grabovica i HE Salakovac), Elektroprivreda BiH, Sarajevo.
44. Katzer, F., 1926: Geologija Bosne i Hercegovine, sv. 1, Zemaljski muzej, Sarajevo.
45. Klein, A., 1953: Die Niederschläge in Europa im Maximum der letzten Eiszeit, Petermans Geographie Mitteilungen V. 97., Gotha
46. Kuhlemann, J., Milivojević, M., Krumrei, I., Kubik, P. W. 2009: Last glaciation of the Šara Range (Balkan peninsula): Increasing dryness from the LGM to the Holocene, Austrian Journal of Earth Sciences, Vol. 102, Vienna, 146-158.
47. Lozić, S., 2000: Kvantitativne geomorfološke značajke Sjeverozapadne Hrvatske, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
48. Marijanac, Lj., 2012: Pleistocene glacial and periglacial sediments of Kvarner, Northern Dalmatia and Southern Velebit Mt. – evidence of Dinaric glaciations, Doctoral Thesis, Department of geology, PMF, University of Zagreb, Zagreb.
49. Marijanac, Lj., Marijanac, T., 2004: Glacial history of Croatian Adriatic and Coastal Dinarides, u: Quaternary Glaciations – Extent and Chronology (ed. Ehlers, J., Gibbard, P.L.), Part I: Europe, Elsevier, Amsterdam, 19-26.
50. Marijanac, T., Marijanac, Lj., 2007: Dinaridski model glacijacije u: Okrugli stol Glacijal Bosne i Hercegovine – israživanje, vrednovanje i zaštita, 28.11.2011., [http://www.gfmo.ba/zakljucci\\_glacijal.pdf](http://www.gfmo.ba/zakljucci_glacijal.pdf)
51. Marijanović, P., Galić, A., Kustura, M., 2003: Morfološke i hidrogeološke odlike važnijih speleoloških objekata na području slivova Neretve i Trebišnjice u: Međunarodni znanstveni simpozij „Voda u kršu slivova Neretve, Cetine i Trebišnjice“: zbornik radova (ur. Galić, A.), Neum, 25.-27. 09. 2003., Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 54-68.
52. Marijanović, P., Prskalo, M., Galić, A., 2005: Geološke, geomorfološke i geomehaničke odlike PP Blidinje u: *I. međunarodni znanstveni simpozij: Blidinje 2005*: zbornik radova (ur. Čolak, I.), Blidinje, 15. i 16. rujan 2005., PP Blidinje, 41-55.
53. Marinčić, S., Matičec, D., 1990: Kinematika neotektonskih deformacija na području srednjeg toka rijeke Neretve, Geološki vjesnik, 43, 53-58.
54. Marković, M., 1983: Osnovi primijenjene geomorfologije, Geoinstitut, 8, Beograd.

55. Marković, M., 1998: Bosna i Hercegovina na starim zemljovidima, AGM, Zagreb.
56. Marović, M., Marković, M., 1972: Glacijalna morfologija Durmitora, Geoloski anali Balkanskog poluostrva, 37, 37-48.
57. Menković, L., Marković, M., Čupković, T., Pavlović, R., Trivić, B., Banjac, N., 2004: Glacial Morphology of Serbia Yugoslavia, with comments on the Pleistocene Glaciation of Montenegro, Macedonia and Albania, u: Quaternary Glaciations – Extent and Chronology (ed. Ehlers, J., Gibbard, P.L.), Part I: Europe, Elsevier, Amsterdam, 379–384.
58. Mihić, Lj., 1985: Neretva – priroda, čovjek, istorija, Opština Mostar, Mostar.
59. Milivojević, M., 2004: Glacijalna morfologija Komova, Glasnik srpskog geografskog društva, XLIII, br. 2, 45-60.
60. Milivojević, M., 2007: Glacijalni reljef na Volujaku sa Biočem i Magličem, Geografski institut „Jovan Cvijić“, knjiga 68., Beograd.
61. Milivojević, M., Menković, L., Čalić, J., 2008: Pleistocene glacial relief of the central part of Mt. Prokletije (Albanian Alps), Quaternary International, 190, 112–122.
62. Milojević, B.Ž., 1935: Čvrsnica, Hrvatski geografski glasnik, 6, 17-23.
63. Milojević, B.Ž., 1949: O tektonskim i petrografskim utjecajima na glacijalni reljef naših visokih planina, Glasnik SGD, 29/2, 21-27.
64. Milojević, B.Ž., 1953: O geografskim oblastima dinarskog krša, u: III. Kongres geografa SFRJ, zbornik radova, Sarajevo, 14-23. rujan 1953., Sarajevo, 41-44.
65. Mojičević, M., Laušević, M., 1973: Osnovna geološka karta i Tumač osnovne geološke karte, M 1:100 000, List Mostar, Institut za geološka istraživanja, Sarajevo.
66. Mrak, I., 2004: Minor karst landforms as an indirect method for datation- the case study valley Pod Košuto, Acta carsologica, 33/1, 45-59.
67. Musa, S., 2004: Primjena kartografskih metoda u morfostrukturnoj analizi reljefa Zapadne Hercegovine, GD FBiH, Sarajevo
68. Musa, S., 2005: Geomorfološke specifičnosti Parka prirode Blidinje u: *I. međunarodni znanstveni simpozij: Blidinje 2005*: zbornik radova (ur. Čolak, I.), Blidinje, 15. i 16. rujan 2005., PP Blidinje, 56-70.
69. Nikler, L., 1973: Nov prilog poznavanju oledbe Velebita, Geološki vijesnik 25, 109-112.

70. Pahernik, M., 2005: Geomorfološka obilježja Gorskog kotara, primjena GIS-a u istraživanju reljefa, doktorska disertacija, Geografski odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, 378.
71. Pahernik, M. 2006: Uvod u geografsko informacijske sustave, Ministarstvo obrane – Glavni stožer OS RH, Zagreb.
72. Pahernik, M., 2007: Digitalna analiza padina otoka Raba, *Geoadria*, 12/1, 3-22.
73. Papeš, J., 1988: Tektonska građa teritorije SR BiH, studija, Arhiv fonda za znanstveno-istraživački rad, Sarajevo.
74. Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A. 2009: Mapping Geomorphological Environments, Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg. pp 236.
75. Perica, D., Bognar, A., Lozić, S., 2002: Geomorphological Features of the Baške Oštarije karst polje, *Geoadria* 7/2, 23-34.
76. Perica, D., Lončar, N., Lozić, S., 2010: The influence of nivation and cryofraction on periglacial relief formation on Velebit Mt. (Croatia), *Geologia Croatica*, 63/3, 271-282.
77. Perica, D., Lozić, S., Mrak, I., 2002: Periglacialni reljef na području Velebita, *Geoadria* 7/1, 5-29.
78. Perica, D., Lozić, S., Mrak, I., Lončar, N., Trajbar, S., 2004: Utjecaj snijega i mraza na oblikovanje reljefa na području “NP Paklenica”, u: Simpozij povodom 55. godišnjice NP Paklenica: Paklenički zbornik, 2 (ur. Lukač, G.), Starigrad, 19.listopad 2004., 17-23.
79. Perica, D, Orešić, D., 1995: Klimatska obilježja Južnog Velebita, u: Simpozij povodom 45. godišnjice NP “Paklenica”: Paklenički zbornik, 1 (ur. Lukač, G.), Starigrad, 19-22. Listopada 1994., 17-24.
80. Perica, D, Orešić, D., 1999: Klimatska obilježja Velebita, *Senjski zbornik*, 26, 1-50.
81. Petrović, A. 2007: Pleistocenska glacijacija gornjeg toka Veruše u: zbornik radova (ur. Lješević, M.) PMF - Geografski institut, Beograd br. 55, 13-22.
82. Poser, H., 1947: Auftauftiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit, *Naturwissenschaften*, 34, 232-262.
83. Protrka, K., Velić, J., Škrabić, H., Velić, I., 2011: Glacijalna sedimentna tijela u Bukovačkoj dragi SZ Biokovo u: *Znanstveno-stručni skup “Biokovo na razmeđu milenija: razvoj PP u 21. stoljeću”*, knjiga sažetaka (ur. Protrka, K., Škrabić, H. i

- Srzić, S.), Makarska, 24.-26. studeni 2011.
84. Prskalo, M., 2008: Geomehaničke odlike blidinjske sinklinale u funkciji geološkog nastanka prostora, Doktorska disertacija, Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, Mostar.
  85. Riđanović, J., 1963: Prilog poznavanju reljefa primorskih krških planina, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
  86. Riđanović, J., 1964: Glacijalni relikti kao kriterij za kronološko određivanje morfogeneze prevladavajućih oblika krša, u: Zbornik VIIkongresa geografa SFRJ, Zagreb, 279-290.
  87. Riđanović, J., 1966: Orjen, Radovi Geografskog odsjeka, Sveučilište u Zagrebu, PMF, 5-103.
  88. Roglić, J., 1969: Geografski aspekt Dinarskog krša, Krš Jugoslavije, Vol. 6, 19-38.
  89. Roglić, J., 2004a: Odnos između površja i podzemlja Dinarskog krša, Krš i njegovo značenje – sabrana djela, GD Split, HGD Zadar i PMF Zagreb, 163-171.
  90. Roglić, J., 2004b: Odnos riječne erozije i krškog procesa, Krš i njegovo značenje – sabrana djela, GD Split, HGD Zadar i PMF Zagreb, 133-151.
  91. Roglić, J., 2005: Biokovo – geomorfološka istraživanja, Geomorfološke teme – sabrana djela, GD Split, HGD Zadar i PMF Zagreb, 109-185.
  92. Roglić, J., 2005: Geomorfološka istraživanja u gornjem poriječju Neretve, Ljetopis JAZU, 62, Zagreb, 307 -310; pretpisak u Geomorfološke teme - sabrana djela, GD Split, HGD Zadar i PMF Zagreb, 2005., str. 313–319.
  93. Roglić, J., 2005: Prilog poznavanju glacijacije i evolucije reljefa na planinama oko srednje Neretve, Geomorfološke teme – sabrana djela, GD Split, HGD Zadar i PMF Zagreb, 319-354.
  94. Selimović, M., 1985: Mehanika tla, Građevinski fakultet Univerziteta u Mostaru, Mostar.
  95. Slišković, I., Zelenika, M., 1998: Hidrogeološka studija Parka prirode Blidinje, Općina Posušje, Posušje.
  96. Slišković, I., Zelenika, M., Kovač, Lj., 2005: Hidrogeologija Parka prirode Blidinje i zaštita voda, u: *I. međunarodni znanstveni simpozij: Blidinje 2005: zbornik radova* (ur. Čolak, I.), Blidinje, 15. i 16. rujna 2005., PP Blidinje, 71-90.

97. Sofilj, J., Živanović, M., 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Prozor K33–12 (Basic geological map of SFRY 1:100,000. The Prozor sheet). Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1965–1971), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
98. Sofilj, J., Živanović, M., Pamić, J., 1980: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Prozor K33–12 (Basic geological map of SFRY 1:100,000. Geology of the Prozor sheet). Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1971), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
99. Šegota, T., 1988: Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb.
100. Šegota, T., Filipčić, A., 1996: Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb.
101. Šilić, Č., 2002: Endemične i rijetke biljke Parka prirode Blidinje, Matica hrvatska (Ogranak Čitluk), Čitluk.
102. Šimunović, V., 2008: Geomorfološke značajke prostora Županije zapadnohercegovačke, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
103. Uređenje bujica, Interna skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, pp. 27., 25.10.2009. [www.gradri.hr/adminmax/files/class/uredjenje\\_bujica](http://www.gradri.hr/adminmax/files/class/uredjenje_bujica).
104. Velić, J., Velić, I., Kljajo, D., 2011: Sedimentary bodies, forms and occurrences in the Tudorevo and Mirovo glacial deposits of northern Velebit (Croatia), *Geologia Croatica*, 64/1, 1-16.
105. Woodward, J. (ed.) 2009: *The Physical Geography of the Mediterranean*, Oxford University Press, Oxford.
106. Zelenika, R., 2000: Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.

## PRILOZI

1. Karta „Geomorfološki tragovi pleistocenske glacijacije za područje masica Čvrsnice i hrpta Čabulje“.

## SAŽETAK

Provedenim istraživanjem analizirani su morfološki tragovi pleistocenske glacijacije planinskog masiva Čvrsnice i hrpta Čabulje. Cilj istraživanja bio je utvrditi prostorni obuhvat glacijacije na temelju detaljnog kartiranja morfoloških tragova oledbe te evidentirati egzaracijske i akumulacijske reljefne oblike.

Temeljne hipoteze istraživanja su sljedeće: Obim područja obuhvaćen oledbom u vršnom dijelu iznad 1400 m; Razvijeni tipovi ledenjaka: platoasti, cirkni i dolinski; Reljefne predispozicije kao pokazatelj rasporeda, dosega i veličine ledenjaka; Točnost rekonstrukcije evolucije reljefa ovisi o egzaracijskim i akumulacijskim tragovima oledbe u recentnom reljefu; U procesu razvoja geomorfoloških oblika dominantnu ulogu imali su paleoklimatska obilježja.

Istraživano područje (513,45 km<sup>2</sup>) obuhvaća središnji dio planinskog sustava Visoke Hercegovine, između kanjonskih dolina Doljanke i Neretve na sjeveru i istoku, planinskih hrptova na zapadu (Vrana i Liba) i zaravni Brotnjo na jugu. Najvećim dijelom područje se nalazi na visini iznad 800 m.

Glavne strukture i rasjedi imaju dinaridski pravac pružanja. Uzdužni reversni rasjedi predstavljaju granice tektonskih jedinica (Mratnjača i Dinara). U litološkom sastavu prevladavaju okršene, karbonatne (vapnenci, dolomiti) naslage mezozojske starosti.

Na oblikovanje reljefa osim geoloških i strukturnih osobina utjecali su glacijalni, krški i padinski procesi. U vršnom planinskom prostoru dominantna je mrežasta struktura reljefa s nizom uzvišenja (hrptovi, glavice), udubljenja (ponikve, uvale) i platoa. Gorki masiv Čvrsnice podijeljen je hrptovima Sljemena, Vilinca i Velike Čvrsnice na platoe Plase, Muharnice i M. Čvrsnice. Hrbat Čabulje u središnjem dijelu ima izdvojen plato omeđen dolinama Vanjače i Rosnih poljana s bočnih strana. Upravo takva podloga predglacijalnog reljefa uz povoljne klimatske uvjete pogoduje akumuliranju snijega i leda odnosno stvaranju oledbe. Na temelju analize morfometrijskih parametara, rekonstrukciji klime tijekom pleistocenske oledbe i prostornog rasporeda ledenjačkih morfoloških oblika može se pretpostaviti maksimalno područje oledbe od oko 200 km<sup>2</sup> koje obuhvaća vršni dio gorskog masiva i hrptove. Utvrđeno je postojanje tri tipa pleistocenskih ledenjaka: cirkni, platoasti i dolinski. Tragovi cirknih ledenjaka utvrđeni su najvećim dijelom uz padine hrptova Vilinca, Velike i Male Čvrsnice i

hrpta Čabulje. Platoasti ledenjaci imali su regionalna obilježja, a pružanje i obim određen je kako prihranjivanjem ledom tako i pružanjem hrptova. Dolinski ledenjaci prate pružanje postojećih dolina, a prihranjuju se uglavnom ledom s okolnih padina (ledenjak Bare, Vanjača).

Kao posljedica egzaracijskog oblikovanja u recentnom reljefu utvrđeno je postojanje 26 dobro očuvanih cirkova. Najveći broj cirkova razvijen je na padinama hrptova sjeverne ekspozicije i ima manju površinu. Cirkovi južne orijentacije su veći, oblikovani u rasjedno predisponiranim uvalama. Utvrđene ledenjačke doline u gornjem dijelu imaju karakterističan „U“ profil, a njihova dužina i pravac pružanja određeni su istaloženim akumulacijskim ledenjačkim sedimentima (morene, glaciofluvijalni sedimenti). Postojanjem završnih morena na niskim nadmorskim visinama od oko 280 m pretpostavljeni su povoljni uvjeti za razvoj znatnih količina leda.

Granulometrijskom analizom akumuliranih naslaga na određenim, ravnomjerno raspoređenim lokacijama u većini uzoraka utvrđena je niska razina zaobljenosti zrna, gotovo dvije trećine krupnih čestica (šljunak) i relativno slaba sortiranost materijala što s obzirom na položaj upućuje na ledom pretaložen sediment (morene i glaciofluvijalne plavine).

Na područje djeluju dva klimatska tipa, kontinentalna klima dominira u sjevernom i vršnom dijelu dok submediteranska osim u južnom dijelu svoj utjecaj širi duž dubokih riječnih kotlina unutar planinskog prostora. Temperature osciliraju prema visinskim katovima. Izrazite su godišnje amplitude temperatura. Prosječna količina padalina iznosi oko 1 800 mm.

Na kraju je sintetiziranjem rezultata istraživanja pretpostavljen obim i razvoj oledbe i izrađena karta geomorfoloških tragova ledenjačkog reljefa u mjerilu 1: 50 000.



## SUMMARY

Upon completion of the research, morphological traces of Pleistocene glaciations of the massif of the mount Čvrsnica and Čabulja ridge have been analyzed. The goal of the research was to determine the areal range of glaciations, based on detailed mapping of the morphological traces of meltdown, and registration of the shapes formed by exoriation (the carving of the surface of glaciers by the effects of destructive movements inside and on the glacier itself) and accumulative geomorphologic shapes.

The area that research has been conducted on (513,45 km<sup>2</sup>) covers the central part of mountain range of high terrains of Hercegovina ("Hercegovina Alta"), located between canyon valleys of the river Doljanka and The Neretva on the north and on the east, mountain ridges on the west (Vran and Libo) and the plateau of Brotnjo on the south. With its most part, the covered area is located on 800 meters altitude (ASL).

The key structures and faults have the Dinaridic orientation line. Longitudinal reverse faults (trenches) are the barriers of tectonic units (Mratnjača and Dinara). In litho-logical system it is mainly karst, carbonic layers of Mesozoic origin (limestone, dolomites).

Apart from the geological and structural features; glacial, karst and slope processes have influenced geomorphologic formation of terrain. At high range mountain area, the network structure of terrain is predominant, with the chain of elevations (ridges, hilltops), hollows (karst sinkholes, karst depressions) and plateaus. The mountain range massif of Čvrsnica is divided by ridges of Sljeme, Vilinac and Velika Čvrsnica ("The Čvrsnica major"); onto plateaus of Plasa, Muharnica ("Fly keeping") and Mala Čvrsnica ("The Čvrsnica minor").

The ridge of Čabulja is in the central part, it has got separated plateau, divided and bounded by valleys of Vanjača and Rosna poljana ("Morning dew lea") by side lines. That same terrain of pre-glacial era is exactly the one that is good for accumulation of snow and ice, if climatic conditions are right, which is in fact, creation of meltdown erosion. Based on the analysis of morph metric parameters, reconstruction of the climate during the pre-glacial meltdown and areal distribution of glacier morphologic forms, it can be presumed that maximal area of meltdown erosion is around 200 km<sup>2</sup>, which covers the top part of mountain range massif and ridges. It has been determined that there are three types of glaciers: cirque, plateau and valley types. The traces of cirque glaciers are determined by the most part, alongside of the slopes of Vilinac, Minor and Major Čvrsnica and Čabulja ridges. Plateau glaciers had regional features,

and its direction line and range is determined by ice feed, as well as by stretching of the ridges. Valley ridges follow the direction line of existing valleys, and are fed by ice from surrounding slopes (glacier Bare, Vanjača).

As the outcome of the exoriation formation in recent terrain shapes it was determined that there are 26 well-preserved cirques. The largest number of cirques is developed on the slopes of ridges of north exposition and it has smaller area. Cirques of south orientation are larger, formed in karst depression predisposed by faults. Established glacial valleys in upper part have characteristically U-profile shapes, and its length and the direction line is determined by layers of accumulative glacial sediments (stratum, glacial-fluvial sediments). By existence of final strata on lower altitudes (around 280m ASL), the adequate conditions for development of sufficient amount of ice are presumed to be present.

By analysis with granulometry of accumulated layers on certain, equally disposed locations in major cases, relatively low level of the roundness of grains is present, with almost two thirds of larger particles is gravel and relatively low level of division of material is also present, which denotes sedimentation by ice (strata and glacial-fluvial fans).

The forces that affect this area are two climatic types: continental climate, which is dominant in northern and mountaintop range, whilst sub-Mediterranean climate has its effect in southern part, alongside of the deep river basins inside the mountain chain area. Temperatures oscillate in accordance with elevation points and vertical systems. There are distinctive annual amplitudes of temperature. Average annual rate of rainfall is about 1 800 mm.

At the end, the size and development of the meltdown erosion is presumed by synthetical analysis of generated test results and the map of geomorphologic traces of glacial relief has been made at 1: 50 000 ratio.

## ŽIVOTOPIS

Mirjana Milićević rođena 18. kolovoza 1974. godine u Čapljini, Bosna i Hercegovina. Na Pedagoškom fakultetu Sveučilišta u Mostaru diplomirala je 2004. Godine, a nakon toga upisala Poslijediplomski studij „Geografske osnove prostornog planiranja i uređenja na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu.

Od 1. siječnja 2005. godine zaposlena je kao znanstveni novak i u svojstvu asistenta u nastavi. Aktivno sudjeluje u organizaciji i izvođenju nastave, vježbi i seminara iz kolegija Opća kartografija, Primijenjena kartografija, Geografija BiH i Geografija krša.

Tijekom studiranja radila je kao demonstrator u nastavi na kolegijima Opća kartografija i Geografija BiH. Za posebno isticanje tijekom studiranja u akademskoj 2002./03. godini dobila je pohvalu za najboljeg studenta III godine studija i Rektorovu nagradu u akademskoj 2002/2003.

Od 2005. godine obnaša dužnost tajnika Studija zemljopis, a od 2013. imenovana je pročelnicom Studija zemljopis i pomoćnicom prodekana za znanost i međunarodnu suradnju Fakulteta.

Sudjeluje u radu Geografskog društva Hercegovine i radi kao koordinator u Institutu za turizam i okoliš Sveučilišta u Mostaru. Kao autor i koautor objavila je više radova objavljenih u domaćim i stranim časopisima i zbornicima radova, nekoliko poglavlja u monografiji i sveučilišnom udžbeniku, a aktivno sudjeluje na domaćim i međunarodnim znanstvenim skupovima.

## POPIS RADOVA

### SVEUČILIŠNI UDŽBENIK

1. Musa, S., Milićević, M., 2009: Opća kartografija - *Matematička kartografija*, Geografsko društvo Hercegovine, Mostar.

### RAD U KNJIZI

2. Milićević, M., 2008: Običaji i ljudi, u: *Mostar u slici i riječi*, (ur. Bešlić, Lj.) Stanek, Varaždin, 156-176. (monografija)
3. Musa, S., Milićević, M., 2009: Ruralni prostor kao geokološki resurs i čimbenik održivog razvoja BiH, u: *Ruralni prostor JI Europe između lokalizacije i globalizacije* (ur. Musa, S.), Geografsko društvo Hercegovine, Mostar, 135-151. (monografija)

### ZNANSTVENI RADOVI

1. Musa, S., Milićević, M., 2007: Razmještaj naselja u BiH, *Geografski glasnik*, Vol.1, 61-81.
2. Milićević, M., 2008: Socio-geografska preobrazba Mostarskog blata, *Geoadria*, vol. 9/1, 27-59.
3. Stiperski, Zoran; Lorber, Lučka; Heršak, Emil; Ptaček, Pavel; Górká, Zygmunt; Kołos, Arkadiusz; Lončar, Jelena; Faričić, Josip; Milićević, Mirjana; Vujaković, Ana; Hruška, Anita. Identity through Urban Nomenclature: Eight Central European Cities. // *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*. **111** (2011), 2; 149-167.

### ZNANSTVENI RADOVI U ZBORNICIMA RADOVA

1. Bognar, A., Milićević, M., 2007: Strukturnogeomorfološke odlike zavale Mostarsko blato, u: *IV. hrvatski geografski kongres: Geografsko vrednovanje prostornih resursa: zbornik radova* (ur. Bajs, Lj. i dr.), Poreč, 10. – 13. listopada 2007., Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 187-195.
2. Milićević, M., 2008: Komparativne prednosti za razvoj turizma u Hercegovini, u: *II. kongres geografa BiH: zbornik radova* (ur. Spahić, M.) GDFBiH, Sarajevo, 239-249.
3. Milićević, M., Prskalo, M., 2013: Utjecaj oledbe na morfologiju karbonatnog stijenskog kompleksa vršnog dijela Čvrsnice, Hercegovina – zemlja kamena, zbornik radova, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 132-149.

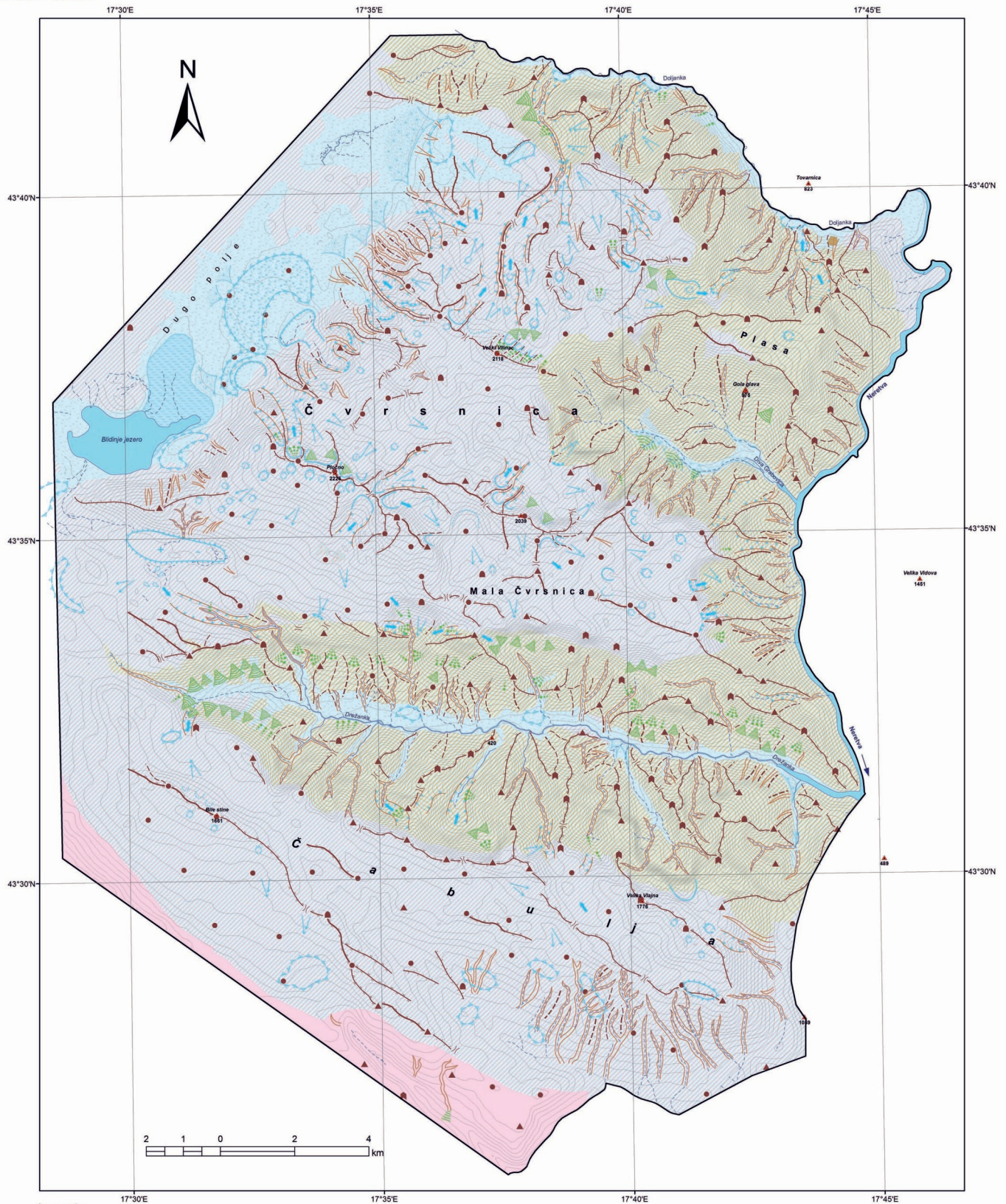
### STRUČNI RADOVI

1. Milićević, M., 2004: Nova hidroelektrana na izvorištu rijeke Tihaljine, *Geografski list*, Geografsko društvo FBiH, 75-80.
2. Milićević, M., 2010: Reljefna obilježja BiH, Škola, br.6., *Zavod za školstvo*, 89-98.





# GEOMORFOLOŠKA KARTA GLACIJALNOG RELJEFA GORSKOG MASIVA ČVRSNICE I GORSKOG HRPTA ČABULJE



## Legenda

|  |  |  |  |   |   |   |   |                              |  |
|--|--|--|--|---|---|---|---|------------------------------|--|
| <b>1. Padinski reljefni oblici</b><br><b>1.1. Denudacijski oblici</b>  |  | <b>1.2. Akumulacijski oblici</b>   |  | <b>2.2. Akumulacijski oblici</b>  |   | <b>3. Fluvio-glacijski reljefni oblici</b><br><b>2.1. Akumulacijski oblici</b>  |   | <b>5. Nevezani sedimenti</b> |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Uski raščlanjen greben</li> <li> Široki raščlanjen greben</li> <li> Uski nerasčlanjen greben</li> <li> Široki nerasčlanjen greben</li> <li> Uski greben nastao srastanjem dolinskih strana</li> <li> Široki greben nastao srastanjem dolinskih strana</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Mali vrhovi, ođiri i stjenoviti</li> <li> Mali vrhovi, stožasti</li> <li> Mali vrhovi, kupolasti</li> <li> Mali vrhovi, zaobljeni</li> <li> Sedlo</li> <li> Točila</li> <li> Jaruge</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Spjar</li> <li> Kolvijani zavrti</li> <li> Proluvijalne plovine</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Terminalni bazen u akumulacijskom materijalu</li> <li> Drumlini</li> <li> Faciala ledenjačke ponike</li> <li> Pravo ledenjačke konvergenije</li> <li> Pravo ledenjačke divergencije</li> <li> Generalni smjer kretanja leda</li> <li> Ledom modificirane doline</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Eratski blokovi</li> <li> Podnaska morena, uopće</li> <li> Podnaska morena sa uzvišenjima i udubljenjima</li> <li> Čečna morena, uopće</li> <li> Čečna morena, djelomično izmjerena - razorena</li> <li> Čečna morena, bitovska</li> <li> jezanski bazen nastao djelovanjem ledenjačke akumulacije</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Fluvio-glacijske terase izgrađene od pjeska i bljuna</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Periglacijski i glacijski</li> <li> Glacijski i fluvio-glacijski akumulacijski u kombinaciji s padinskim akumulacijama</li> <li> Glacijski, periglacijski i karstički</li> <li> Glacijski, periglacijski i padinski</li> <li> Fluvio-karstički</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Pjesak i bljunak</li> <li> Šljunak</li> </ul> |                              |  |