

NEVEN BOČIĆ – MLADEN PAHERNIK – SANJA FAIVRE

## GEOMORFOLOŠKA OBILJEŽJA SJEVERNOG VELEBITA

Neven Bočić  
Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek  
Marulićev trg 19/II  
HR 10000 Zagreb  
nbocic@geog.pmf.hr

UDK: 551.435.8(234Velebit)  
Pregledni članak  
1.10.2019.

Mladen Pahernik  
Hrvatsko vojno učilište "Dr. Franjo Tuđman"  
Centar za obrambene i strateške studije "Janko Bobetko"  
Ilica 256b  
HR 10000 Zagreb  
mladen.pahernik@morh.hr

Sanja Faivre  
Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek  
Marulićev trg 19/II  
HR 10000 Zagreb  
sfavire@geog.pmf.hr

U članku se prikazuju geomorfološka obilježja područja sjevernog Velebita s posebnim naglaskom na Nacionalni park Sjeverni Velebit. Temeljne morfometrijske i morfogenetske analize nekad rađene analogno, načinjene su korištenjem digitalnih tehnologija te nadopunjene novim analizama i terenskim radom. Od općih morfometrijskih metoda korištene su hipsometrija, analiza nagiba padina, analiza vertikalne raščlanjenosti te ekspozicije padina.

Morfogenetska analiza temelji se na specifičnim morfometrijskim te terenskim istraživanjima. U okviru morfogeneze analiziran je morfostrukturni reljef, a od egzogenih utjecaja najveća je pažnja posvećena krškim, glaciokrškim i fluviokrškim reljefnim oblicima.

Analiza krškog reljefa na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit, jednog od temeljnog fenomena Parka, pokazala je da je više od polovice njegove površine (50,6

%) predstavljeno krškim depresijama (ponikve i uvale), što govori o izuzetno jakoj i dugotrajnoj denudaciji.

Uz krške procese, pojačanoj denudaciji značajno su pridonijeli glacijalni procesi koji su u vrijeme posljednjeg glacijalnog maksimuma znatno preoblikovali krške reljefne oblike i generalno utjecali na geomorfološku evoluciju Sjevernog Velebita.

Oledba Sjevernog Velebita, osim na krške reljefne oblike, utjecala je povremeno na intenziviranje fluvijalnih te postojanje limničkih procesa, stoga je poznavanje geomorfoloških obilježja Sjevernog Velebita i Nacionalnog parka Sjeverni Velebit od iznimnog značenja, kako za očuvanje georaznolikosti, tako i za njegovu daljnju turističku valorizaciju i promociju.

*Ključne riječi:* geomorfologija, krš, glaciokrš, reljef, Sjeverni Velebit

## *Uvod*

Geomorfologija je znanstvena disciplina koja se bavi istraživanjem reljefa zemljine površine, tj. njegovih obilježja, nastanka i razvoja te dinamike<sup>1</sup>. Trenutačna obilježja reljefa rezultat su aktivnog međudjelovanja endogenih i egzogenih procesa koje je uvelike određeno uvjetima u prostoru, posebice geološkom građom i klimatskim obilježjima.

Prostor čitavog Velebita, pa tako i Sjevernog Velebita, poznat je po svojoj reljefnoj raznolikosti. Geomorfoloških radova koji se sveobuhvatno bave geomorfologijom Sjevernog Velebita nema puno. Najstariji poznati pregled općih geomorfoloških obilježja dao je Bernhard Bauer 1935. godine<sup>2</sup>. U okviru toga rada naglašava se i utjecaj glacijacije na oblikovanje reljefa. Reljefna obilježja primorske padine Velebita (uključujući njegov sjeverni dio) obrađena su i u geografskoj studiji Veljka Rogića iz 1958.<sup>3</sup> Sveobuhvatni suvremeni prikaz geomorfologije ovog područja daje Sanja Faivre 1991<sup>4</sup>. i 1994a<sup>5</sup>. Pregled novijih spoznaja o geomorfološkim obilježjima reljefa Sjevernog Velebita daju Neven Bočić i suradnici<sup>6</sup> te N. Bočić i Mladen Pahernik<sup>7</sup> s naglaskom na glacijalni reljef. Opis geomorfoloških obilježja ovog područja objavljuje i Uroš Stepišnik 2018.<sup>8</sup> s naglaskom na krški reljef, a Neven Buzjak sa suradnicima daje prikaz značaja

<sup>1</sup> A. BOGNAR, 1999a, 43–52.

<sup>2</sup> B. BAUER, 1935, 1–49.

<sup>3</sup> V. ROGIĆ, 1958, 8–119.

<sup>4</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>5</sup> S. FAIVRE, 1994a, 1–101.

<sup>6</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012a, 6.

<sup>7</sup> N. BOČIĆ – M. PAHERNIK, 2017, 14–15.

<sup>8</sup> U. STEPIŠNIK, 2018, 21–43.

georaznolikosti<sup>9</sup>. Značajne podatke o strukturnim geomorfološkim obilježjima ovog područja prvi je dao Eduard Prelogović istražujući neotektonske pokrete na ovom prostoru<sup>10</sup>. Daljnja strukturno geomorfološka istraživanja Sjevernog Velebita provodi S. Faivre<sup>11 12 13</sup>, a potom ih proširuje na cijeli Velebit<sup>14 15</sup>.

S obzirom na to da cijeli Velebit uglavnom obilježavaju krške karakteristike, posebno su značajni radovi koji dovode u vezu strukturu geomorfoloških značajki i prostorni raspored ponikava<sup>16 17</sup>, u literaturi često smatranih dijagnostičkim krškim oblicima<sup>18</sup>.

Iako je krški reljef glavno geomorfološko obilježje Sjevernog Velebita, ne postoji puno radova o kršu, okršavanju i krškim oblicima. Najopsežniji takav rad je disertacija Dražena Perice<sup>19</sup> koji obrađuje krški reljef Velebita. Nekoliko radova bavi se grižinama<sup>20 21</sup> te ponikvama, posebno njihovim prostornim rasporedom i gustoćom<sup>22 23 24</sup>. O geomorfološkim obilježjima Krasnog polja piše U. Stepišnik<sup>25</sup>.

Već prvi geomorfološki radovi, oni Hinka Hranilovića<sup>26</sup> i Artura Gavazzija<sup>27</sup>, a zatim i Borivoja Ž. Milojevića<sup>28</sup> te B. Bauera<sup>29</sup> utvrđuju utjecaj glacijacije na reljef Sjevernog Velebita. Oštro protivljenje idejama o glacijaciji na području Velebita izrazio je Josip Poljak<sup>30</sup>.

<sup>9</sup> N. BUZJAK *et al.*, 2017, 16–17.

<sup>10</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>11</sup> S. FAIVRE, 1994a, 1–101.

<sup>12</sup> S. FAIVRE, 1994b, 9–24.

<sup>13</sup> S. FAIVRE, 1996, 156–169.

<sup>14</sup> S. FAIVRE, 1999, 1–360.

<sup>15</sup> S. FAIVRE, 2007, 21–40.

<sup>16</sup> S. FAIVRE – P. REIFFSTECK, 1999, 129–142.

<sup>17</sup> S. FAIVRE – P. REIFFSTECK, 2002, 139–154.

<sup>18</sup> D. FORD – P. WILLIAMS, 2007, 1–562.

<sup>19</sup> D. PERICA, 1998, 1–220.

<sup>20</sup> D. PERICA *et al.*, 2001, 31–58.

<sup>21</sup> D. PERICA – T. MARJANAC, 2009, 259–274.

<sup>22</sup> S. FAIVRE, 1992a, 13–24.

<sup>23</sup> S. FAIVRE, 1992b, 135–143.

<sup>24</sup> Ch. BALLUT – S. FAIVRE, 2012, 59–74.

<sup>25</sup> U. STEPIŠNIK, 2015, 85–99.

<sup>26</sup> H. HRANILOVIĆ, 1901, 93–133.

<sup>27</sup> A. GAVAZZI, 1903, 174–175.

<sup>28</sup> B. Ž. MILOJEVIĆ, 1922, 294–297.

<sup>29</sup> B. BAUER, 1935, 1–49.

<sup>30</sup> J. POLJAK, 1947, 125–148.

Prvi suvremeni dokazi o oledbi Velebita utvrđeni su za područje južnog Velebita<sup>31 32</sup>. Na području Sjevernog Velebita geomorfološke tragove glacijacije utvrdili su i kartirali Andrija Bogнар i suradnici<sup>33 34</sup>, a sedimentološke dokaze utvrdili su Josipa Velić i suradnici<sup>35</sup>. Također, u literaturi se može pronaći pregled literature o istraživanju geomorfoloških tragova pleistocenske oledbe na Sjevernom i Srednjem Velebitu<sup>36</sup> te prikaz novijih spoznaja o oledbi Sjevernog Velebita<sup>37</sup>. Ulogu oledbe na razvoj krša, s posebnim naglaskom na speleološke objekte, istražuju Bočić i suradnici<sup>38 39 40</sup>. O speleološkim istraživanjima i speleogeneze ovog područja napisano je dosta radova, ali to izlazi iz okvira ovog članka. Ovdje možemo navesti samo neke radove koji povezuju speleološke objekte i površinsku geomorfologiju<sup>41 42 43</sup>. Postoji i niz radova koji se bave hidrogeološkim obilježjima ovog prostora, ali to također izlazi iz okvira ovog članka. Ipak, važno je naglasiti rad Andreja Stroja koji uz obradu hidrogeoloških obilježja utvrđuje i njihovu povezanost sa speleogenezom i površinskim reljefom<sup>44</sup>. Nekoliko radova bavi se i utjecajem periglacialnih uvjeta na razvoj reljefa na području Velebita, uključujući i njegov sjeverni dio<sup>45 46</sup>.

Cilj ovoga rada pregled je geomorfoloških značajki područja Sjevernog Velebita, tj. primarno sinteza dosadašnjih istraživanja, ali uz značajne nadopune pojedinih aspekata. Poseban naglasak stavljen je na Nacionalni park Sjeverni Velebit.

Analize prethodno rađene analognim metodama sada su provedene digitalnom analizom reljefa i nadopunjene terenskim radom. Naglasak je na

<sup>31</sup> L. NIKLER, 1973, 109–112.

<sup>32</sup> S. BELIJ, 1985, 1–68.

<sup>33</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>34</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991b, 181–196.

<sup>35</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>36</sup> S. FAIVRE – A. BOGNAR, 2013, 711–714.

<sup>37</sup> M. ŽEBRE – U. STEPIŠNIK, 2018, 44–63.

<sup>38</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012b, 27–28.

<sup>39</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012c, 409–433.

<sup>40</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2013, 170–172.

<sup>41</sup> M. KUHTA – D. BAKŠIĆ, 2001, 193–198.

<sup>42</sup> N. BUZJAK *et al.*, 2014, 17–23.

<sup>43</sup> M. TALAJA, 2016, 31–37.

<sup>44</sup> A. STROJ, 2010, 1–259.

<sup>45</sup> D. PERICA *et al.*, 2002, 5–29.

<sup>46</sup> D. PERICA *et al.*, 2010, 271–282.

morfometrijskim i morfogenetskim obilježjima reljefa<sup>47 48</sup>. Opća morfometrijska analiza obuhvatila je analizu visina, nagiba padina, vertikalne raščlanjenosti i ekspozicije padina. U okviru hipsometrijske analize podaci su grupirani u kategorije od po 200 m. Nagibi padina određeni su metodom najveće visinske razlike unutar susjedstva 3 x 3 kvadrata<sup>49</sup>, a kategorizirani su u standardnih šest kategorija nagiba koji se koriste u geomorfologiji<sup>50</sup>. Vertikalna raščlanjenost, visinska razlika po jediničnoj površini, mjerena je u jediničnim površinama 1 km<sup>2</sup> tj. u krugovima radijusa 564 m<sup>51</sup>. Izražena je u m/km<sup>2</sup>, a podaci su svrstani u standardne geomorfološke kategorije<sup>52</sup>.

Ekspozicija je utvrđena kao orijentiranost padina u odnosu na osam glavnih i sporednih strana svijeta<sup>53</sup>. Kao izvor podataka korišten je DEM (*Digital elevation model*) rezolucije 5 x 5 m, izrađen na temelju visinskih podataka DGU<sup>54</sup>. Specijalna morfometrijska analiza obuhvatila je analizu prostornog rasporeda i gustoće ponikava, analizu krških depresija te analizu grebena.

Izvor podataka za analizu ponikava bila je topografska karta 1:25000, a njihova prostorna gustoća određena je *kernel* metodom<sup>55</sup> i izražena kao broj ponikava/km<sup>2</sup>. Krške depresije definirane su na temelju razlika površina DEM-a i modificiranog DEM-a kojem su sve depresije "ispunjene" do njihovog najnižeg ruba<sup>56</sup> funkcijom *Fill* u sklopu hidroloških analiza programskog paketa ArcGIS.

S obzirom na to da Lipovo polje i Štirovača samo manjim dijelom pripadaju istraživanom području, njihove depresije nisu automatski generirane na ovakav način nego su izdvojene ručno, na temelju topografskih karata.

Hidrološke funkcije *Flow direction* i *Flow accumulation* korištene su i prilikom generiranja sloja grebena, pri čemu nisu vizualizirane najviše vrijednosti ćelija koje predstavljaju drenažnu mrežu, već najmanje koje predstavljaju sustav grebena<sup>57</sup>.

<sup>47</sup> I. GAMS *et al.*, 1985, 1–80.

<sup>48</sup> K. PAVLOPOULOS *et al.*, 2009, 1–236.

<sup>49</sup> M. PAHERNIK, 2007, 3–22.

<sup>50</sup> S. LOZIĆ, 1995, 17–28.

<sup>51</sup> M. PAHERNIK, 2005, 1–378.

<sup>52</sup> S. LOZIĆ, 1996, 41–50.

<sup>53</sup> M. PAHERNIK, 2007, 3–22.

<sup>54</sup> DGU, 2017.

<sup>55</sup> B. W. SILVERMAN, 1986, 1–175.

<sup>56</sup> L. W. MARTZ – J. GARBRECHT, 1998, 843–855.

<sup>57</sup> S. K. JENSON – J. O. DOMINGUE, 1988, 1593–1600.

Sve morfometrijske analize (opće i specifične) izrađene su korištenjem programskog paketa ArcGIS 10.4 i pokrivaju prostor Sjevernog Velebita (Sl. 1a) dok se prikazani numerički podaci odnose na prostor NP Sjeverni Velebit.

Interpretacijom i usporedbom svih općih i specifičnih morfometrijskih karata, geoloških te topografskih i orto-foto karata izrađena je karta morfolineamenata i morfostruktura. Trase morfolineamenata određene su ponajviše čestinom pojavljivanja na pojedinačnim morfometrijskim kartama. U okviru egzogene geomorfologije razmatraju se sljedeće morfogenetske kategorije reljefa: krš, glaciokrš i fluviokrš.

### *Obuhvat istraživanoga područja*

Sjeverni Velebit obuhvaća najsjeverniji dio planine Velebit. Najčešće se definira kao područje sjeverno od Bakovačke doline. Često se u okvir Sjevernog Velebita svrstava i Senjsko bilo. Ono u ovom radu nije obuhvaćeno. Ovim istraživanjem obuhvaćeno je područje Nacionalnog parka Sjeverni Velebit, prošireno prostorom primorske padine na zapadu te vršnog dijela prema istoku do Lipovog polja (Sl. 1a). Nacionalni park Sjeverni Velebit proglašen je 1999. godine na površini od 109 km<sup>2</sup> vršnog dijela Sjevernog Velebita.

Prema geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske<sup>58</sup> ovaj prostor pripada mezogeomorfološkoj regiji 2.1.7. Gorski hrbat – masiv Velebit te u okviru njega subgeomorfološkoj regiji 2.1.7.3. Gorski masiv Sjevernog Velebita s udolinom Bakovca koja je okružena trima subgeomorfološkim regijama: 2.1.7.1. Gorski hrptovi Senjsko bilo i Crni vrh s Melničko - Kuterevskim pobrđem, 2.1.7.2. Niz zavala Oltari – Krasno – Lipovo polje i 2.1.7.4. Gorski hrbat Srednjeg Velebita s Bužimskim i Perušičkim pobrđem.

U geotektonskom smislu, cijelo područje Velebita nalazi se u jugozapadnom rubu strukturne jedinice Dinarik uz njen rasjedni kontakt (Velebitski rasjed) sa strukturnom jedinicom Adrijatik<sup>59 60</sup>.

Geološka građa istraživanog područja prikazana je na Osnovnoj geološkoj karti, listovima Rab i Otočac<sup>61 62 63 64</sup>. Također, detaljan prikaz geoloških obilježja

<sup>58</sup> A. BOGNAR, 1999b, 7–29.

<sup>59</sup> M. HERAK, 1991, 35–117.

<sup>60</sup> E. PRELOGOVIĆ *et al.*, 2004, 155–161.

<sup>61</sup> P. MAMUŽIĆ *et al.*, 1966.

<sup>62</sup> P. MAMUŽIĆ *et al.*, 1969.

<sup>63</sup> B. SOKAČ *et al.*, 1976.

<sup>64</sup> I. VELIĆ *et al.*, 1976.



NP Sjeverni Velebit dat je u Geološkom vodiču kroz Park<sup>65</sup>. Na Sl. 1b prikazana je pregledna geološka karta pripremljena na temelju geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000<sup>66</sup>.

Najstarije stijene istraživanog područja su karbonatne naslage srednjeg trijasa, klastične naslage srednjeg i gornjeg trijasa te dolomitne naslage gornjeg trijasa koje izgrađuju jezgre antiklinala u dnu zavale Štirovača i podno Padeške kose. Na njih se nastavljaju vapnenci i dolomiti gornje, srednje i donje jure koji prevladavaju na površini na sjevernom dijelu istraživanog područja. U dva uska pojasa na primorskoj padini, tj. uz priobalnu zonu, na površini se pojavljuju vapnenci i dolomit donje krede te rudistni vapnenci gornje krede.

Najmlađe predkvartarne naslage Sjevernog Velebita su karbonatne breče, tzv. Jelar naslage<sup>67</sup> ili prema novijim mišljenima Velebitske breče<sup>68 69</sup>. To su tercijarne (ovisno o izvoru, njihova starost se procjenjuje na eocen-oligocen ili oligocen – miocen) karbonatne breče sastavljene od klasta starijih (pretežito jurskih i krednih) karbonatnih stijena. Dobro su cementirane, izrazito podložne okršavanju te vrlo otporne na mehaničko trošenje i eroziju. Upravo jedinstvenost ovih karbonatnih breča ima značajnu ulogu na oblikovanje reljefa ovog područja.

Klimatska obilježja imaju značajnu ulogu u geomorfološkom oblikovanju Velebita<sup>70</sup>. Prema podacima Klimatskog atlasa Hrvatske<sup>71</sup> na najvišoj meteorološkoj postaji u Hrvatskoj, na Zavižanu (1594 m), srednja godišnja temperatura zraka za razdoblje 1961. – 1990. iznosi 3,5°C, a za razdoblje 1971. – 2000. iznosi 3,8°C.

Ukupne godišnje količine oborina za istu postaju su 1898,8 mm za razdoblje 1961. – 1990., tj. 1983,4 mm za razdoblje 1971. – 2000.

Maksimalne godišnje visine snježnog pokrivača iznose više od 200 cm, a najveća visina od 320 cm zabilježena je u ožujku 1984.

### *Morfometrijska obilježja*

#### *Hiposometrija*

Šire područje Sjevernog Velebita obuhvaća visinski raspon od 0 do 1699 m (Mali Rajinac, najviši vrh Sjevernog Velebita) (Sl. 2a). Na primorskoj strani

<sup>65</sup> I. VELIĆ – J. VELIĆ, 2009, 1–143.

<sup>66</sup> HGI, 2009.

<sup>67</sup> S. BAHUN, 1974, 35–51.

<sup>68</sup> I. VLAHOVIĆ *et al.*, 2005, 333–360.

<sup>69</sup> I. VELIĆ – J. VELIĆ, 2009, 1–143.

<sup>70</sup> D. PERICA – D. OREŠIĆ, 1999, 1–50.

<sup>71</sup> K. ZANINOVIĆ, 2008, 1–200.



visinski pojasevi su izduženi pravcem sjever-jug, a pravilno se smjenjuju prema istoku do visine od oko 1000-1200 m. Dalje prema istoku izduženost visinskih pojaseva se mijenja u približno dinarsku orijentaciju. Vršni dijelovi (iznad 1400 m) obuhvaćaju razmjerno veliku površinu širine preko 6 km bez jasnog isticanja glavnog grebena, što znači da Sjeverni Velebit ima značajke gorskog masiva.

Područja Nacionalnog parka Sjeverni Velebit rasprostire se u rasponu od 512 m (u dolini Zale drage na primorskoj padini) do 1676 m (najviši vrh Nacionalnog parka - Veliki Zavižan). Prosječna visina Nacionalnog parka iznosi 1263 m. Razredi niže visine obuhvaćaju i manje površine, a više od 2/3 (67,3 %) područja zauzimaju visinski razredi 1200-1400 m (30,1 %) i 1400-1600 m (37,2%) (Sl. 3a).

### *Nagibi padina*

Nagibi padina izvrsni su pokazatelji dinamike egzogenih procesa, ali i geomorfološki markeri morfostrukturnih obilježja i aktivne tektonike.

Šire područje Sjevernog Velebita obilježeno je velikim nagibima padina (Sl. 2b). Najniže kategorije (1., 2. i djelomično 3.) najvećim dijelom vežu se za područja: (i) primorske padine, gdje čine nekoliko paralelnih nizova koji se šire sa snižavanjem nadmorske visine, (ii) područja dna uvala i zaravni (Lomska i Apatišanska duliba, Jezera, Begovača, Lubenovac, Ledena draga, dolina Bakovca) te (iii) dna okolnih krških polja i većih depresija (Krasno i Lipovo polje, Štirovača). Sva ostala područja, posebno vršni dijelovi, obilježeni su vrlo velikim nagibima.

Na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit nagibi padina kreću se u rasponu od 0° do 81,6°. Maksimalna vrijednost rezultat je računalne analize DEM-a rezolucije 5 x 5 m.

U stvarnosti postoje nagibi i preko te vrijednosti, ali zbog male površine se ovom metodom ne mogu razlučiti. Prosječni nagib padina u cijelom Parku relativno je visokih 22,4°, pri čemu je najzastupljenija 4. kategorija nagiba (12-32°) s čak 72,1 % (Sl. 3b).

### *Vertikalna raščlanjenost*

Vertikalna raščlanjenost reljefa Sjevernog Velebita je značajna (Sl. 2c). Od šest kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa na širem području Sjevernog Velebita zastupljene su samo 4. i 5. kategorija (umjereno i izrazito

raščlanjen reljef), dok se 3. kategorija (slabo raščlanjen reljef) pojavljuje samo sporadično u istočnom dijelu (dna polja i poneki manji dijelovi krških zaravni).

Na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit zastupljene su samo 4. i 5. kategorija raščlanjenosti reljefa, i to u omjeru 54,5 % : 45,5 % (Sl. 3c). Minimalna raščlanjenost reljefa u Parku iznosi 108 m/km<sup>2</sup>, a maksimalna čak 664 m/km<sup>2</sup> (granica 5. i najviše 6. kategorije je 800 m/km<sup>2</sup>). Prosječna vertikalna raščlanjenost reljefa u Parku je 309 m/km<sup>2</sup>, što odgovara 5. kategoriji – izrazito raščlanjen reljef.

Ovako velika vertikalna raščlanjenost reljefa posljedica je, a istovremeno i dobar pokazatelj, i endogenih i egzogenih utjecaja na oblikovanje reljefa. Okršavanje i razvoj dubokih ponikava doprinijelo je povećanju raščlanjenosti, međutim, i aktivna tektonika imala je tu veliko značenje.

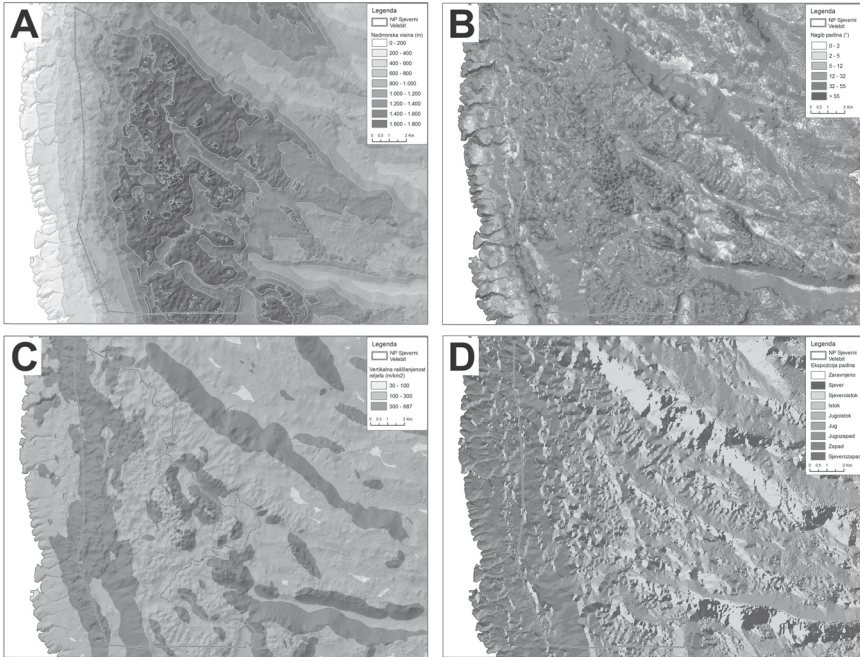
Tri najrasprostranjenije zone najviše vertikalne raščlanjenosti markiraju tri najznačajnije rasjedne zone (Velebitski, Bakovački te rasjed Krasno-Lipovo polje), dok i ostala manja područja 5. kategorije ukazuju na morfolineamente različitog reda veličine.

### *Ekspozicija padina*

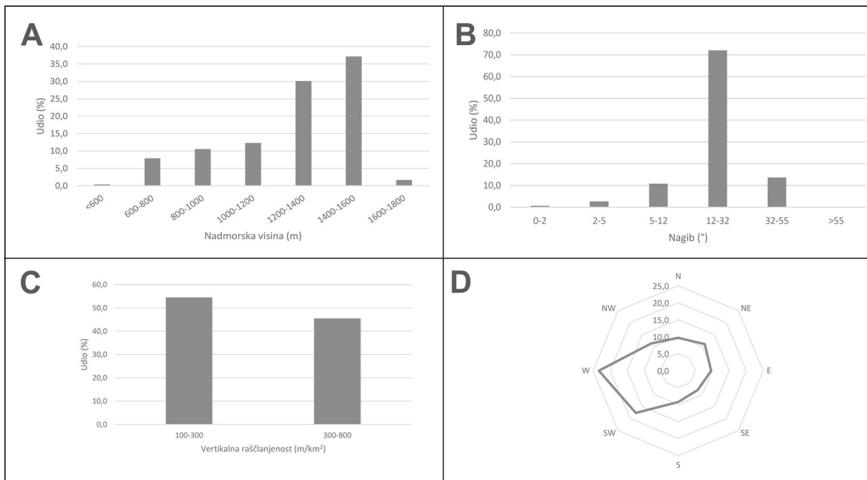
Ekspozicija, tj. orijentiranost padina u odnosu na strane svijeta, na području Sjevernog Velebita posredno ukazuje na morfostrukturni, ali i egzogeni značaj.

U prostornom rasporedu ekspozicija ističu se tri zone (Sl. 2d): (i) zapadna (primorska) u kojoj dominiraju zapadne ekspozicije, (ii) istočna (lička) zona gdje dominiraju sjeverne i sjeverozapadne ekspozicije te (iii) središnja zona gdje su ekspozicije padina pod utjecajem zapadnog (primorskog) i istočnog (ličkog) dijela. Utjecaj zapadne zone vidljiv je u zadržavanju pružanja lineamenata pravcem sjever-jug, ali se ekspozicija mijenja u nasuprotnu - I i ISI. Utjecaj istočne zone vidljiv je u pojavi lineamenata dinarske orijentacije sa sjevernom i sjeverozapadnom ekspozicijom.

Na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit prevladavaju zapadna ekspozicija (23,3 %) i jugozapadna (17,6 %) (Sl. 3d) što odgovara njegovu prevladavajućem smještaju na primorskoj padini Velebita. Ekspozicija padina ima iznimno veliki utjecaj na egzogene procese. Sjeverne ekspozicije dulje su pod utjecajem snijega, dok su južne padine izloženije procesima koji su uvjetovani dnevnom temperaturnom amplitudom s maksimumom iznad, a minimumom ispod 0°C.



Sl. 2. Opće morfometrijske karte istraživanog područja: A) hipsometrijska karta, B) karta nagiba padina, C) karta vertikalne raščlanjenosti reljefa, D) ekspozicija padina



Sl. 3. Distribucija općih morfometrijskih vrijednosti istraživanog područja: A) hipsometrija, B) nagibi padina, C) vertikalna raščlanjenost reljefa, D) ekspozicija padina

### *Morfogenetska obilježja*

Morfogeneza obuhvaća postanak i razvoj reljefa. Reljef je posljedica međudjelovanja unutarnjih (endogenih) i vanjskih (egzogenih) sila i procesa koje istražuju endogena (strukturna) i egzogena geomorfologija.

### *Strukturna geomorfološka obilježja*

Istraživano područje dio je strukturne jedinica Dinarika i to uz sam rasjedni kontakt sa susjednom jedinicom Adrijatika<sup>72</sup>. Sjeverni Velebit (bez Senjskog bila) predstavlja izdignutu morfostrukturu koja je s tri strane omeđena aktivnim rasjedima pružanja S-J (Velebitski rasjed), ZSZ-IJI (Bakovački rasjed) i SZ-JI (rasjed Krasno-Lipovo polje). Prema podacima Prelogovića, sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta dosežu i do 1600 m<sup>73 74</sup>.

Osnovne geomorfološke karakteristike Sjevernog Velebita, ali i planine u cjelini, uzrokovane su izdizanjem duž Velebitskog rasjeda koji se pruža Velebitskim kanalom, paralelno s glavnim orografskom osi Velebita i reversnog je karaktera<sup>75</sup>. To je 4-6 km široka rasjedna zona koja ovdje obuhvaća i područje velebitske primorske padine, a ima vidljiv vertikalni pomak od oko 1200 m<sup>76</sup> što se reflektira u reljefu kao zona velikog nagiba padina (orijentiranih prema zapadu) sa stepeničastom izmjenom relativno blažih terena i strukturno uvjetovanih strmaca.

Južnu granicu Sjevernog prema Srednjem Velebitu čini trasa Bakovačkog rasjeda orijentirana ZSZ-IJI. Procijenjeni vertikalni pomak ovog rasjeda iznosi oko 1500 m<sup>77</sup>. Ovaj rasjed u reljefu se ogleda kao ravna, duboko usječena (mjestimično više od 500 m) duboka dolina Bakovačkog potoka.

Rasjed Krasno – Lipovo polje dinarske je orijentacije (SZ-JI), a u reljefu se ogleda nizom markantnih oblika vezanih za Krasno polje (dinarska orijentacija polja, strme padine Nadžak bila) i Lipovo polje (također dinarska orijentacija polja te ponorna zona rijeke Like).

Osi bora (tj. antiklinorija) sjeverno od Bakovačkog rasjeda ima približno dinarsko pružanje dok antiklinoriji južno od Bakovačkog rasjeda (Srednji

<sup>72</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>73</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1975, 97–108.

<sup>74</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>75</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>76</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>77</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

Velebit) imaju gotovo meridionalno pružanje. To ukazuje na rotacije struktura Sjevernog u odnosu na Srednji Velebit i to u smjeru obrnutom od kazaljke na satu te pomake struktura Sjevernog Velebita prema jugozapadu<sup>78 79</sup>.

Prelogović i suradnici<sup>80</sup> su na temelju terenskih mjerenja izračunali orijentacije regionalnog stresa na prostoru Sjevernog Velebita. U priobalnoj zoni orijentacija stresa iznosi 20/25 – 200/205°, na ličkoj strani 340 – 160°, na području središnjeg dijela Sjevernog Velebita približno S – J. Ovi podaci se podudaraju s onima Faivre i Reiffstecka<sup>81 82</sup> koji su dobiveni analizom prostornog rasporeda ponikava za područje cijelog Velebita.

Na temelju više pokazatelja (gustoća ponikava, drenažna mreža, vertikalna raščlanjenost i geološka građa) Faivre<sup>83 84</sup> je izvršila morfostrukturnu diferencijaciju šireg prostora sjevernog Velebita na tri morfostrukturne jedinice: Sjeverni Velebit, Senjsko Bilo i Melničko –Kuterevsko pobrđe.

Za prve dvije dana je podjela na jedinice nižeg reda, pa se tako jedinica Sjeverni Velebit (područje koje se obrađuje i u ovom radu) sastoji od sljedećih cjelina: Gorski blok Jezera – Bok, Gorski blok Begovača, Gorski blok vršnog dijela sjevernog Velebita, Primorska padina sjevernog Velebita, Udolina Lomska duliba – Ledena draga – Konjska draga, Dolina Bakovca.

Važno je napomenuti da na primorskoj padini postoje dvije više-manje zaravnjene predgorske stepenice<sup>85</sup> tj. pedimenta, koje Bognar<sup>86</sup> interpretira kao višu i stariju (gornji eocen – donji neogen), slabije očuvanu te nižu i mlađu, dobro očuvanu, razinu zaravnavanja (donji pliocen).

U ovom radu provedena je morfostrukturna diferencijacija Sjevernog Velebita s još jednom nižom hijerarhijskom razinom.

Na temelju morfometrijskih analiza izdvojene su morfostrukture i njima granični morfolineamenti (Sl. 4).

Orijentacija (SSZ-JJI i SE-JZ), strmi nagibi i njihova SE ekspozicija te svinuti oblik trase pojedinih lineamenta upućuju na mogućnost da se neke morfostrukture ili njihovi dijelovi transportiraju suprotno od dosad iznesenih

<sup>78</sup> E. PRELOGOVIĆ, 1989, 133–147.

<sup>79</sup> E. PRELOGOVIĆ *et al.*, 1998, 39–42.

<sup>80</sup> E. PRELOGOVIĆ *et al.*, 1998, 39–42.

<sup>81</sup> S. FAIVRE – P. REIFFSTECK, 1999, 129–142.

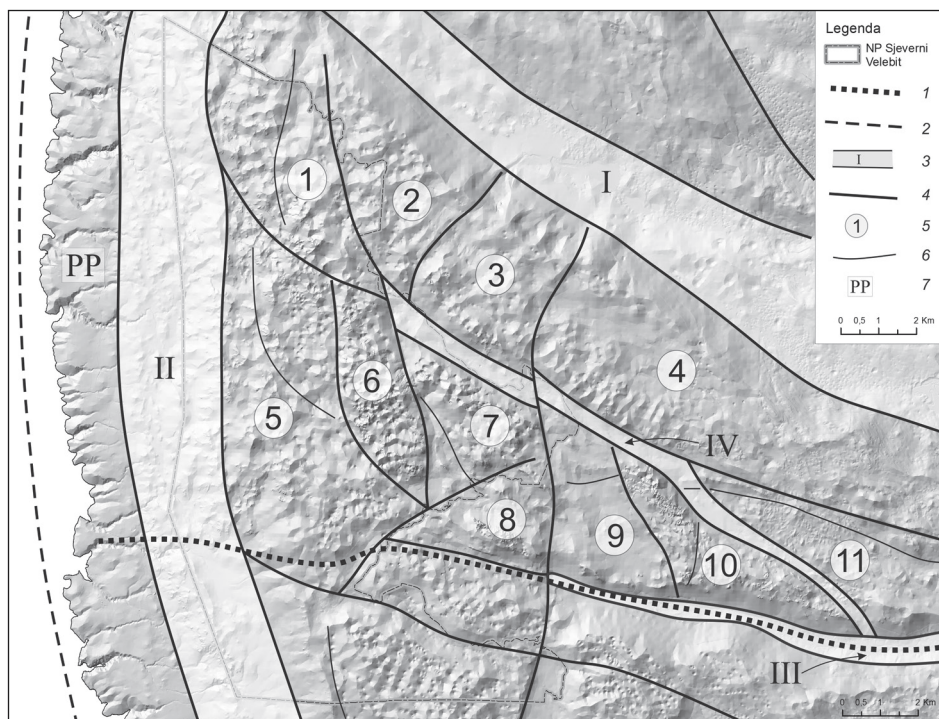
<sup>82</sup> S. FAIVRE – P. REIFFSTECK, 2002, 139–154.

<sup>83</sup> S. FAIVRE, 1994a, 1–101.

<sup>84</sup> S. FAIVRE, 1996, 156–169.

<sup>85</sup> V. ROGIĆ, 1958, 8–119.

<sup>86</sup> A. BOGNAR, 1992, 1–12.



Sl. 4. Karta glavnih morfolineamenata i morfostruktura Sjevernog Velebita. Legenda: 1 – granica Sjevernog i Srednjeg Velebita, 2 – glavni ogranak Velebitskog rasjeda, 3 – glavne rasjedne zone Sjevernog Velebita (I – zona Krasno – Lipovo polje, II – zona ogranka Velebitskog rasjeda na primorskoj padini, III – zona Bakovačkog rasjeda, IV – rasjedna zona Lomska duliba – Voda Begovača), 4 – morfolineamenti granični većim morfostrukturama, 5 – veće morfostrukture (1 – Bok-Zavižan, 2 – Plješivica-Pivčevac, 3 – Mali i Veliki – Rajinac, 4 – Apatišan-Veliki Konj, 5 – Smrčeve doline-Alan, 6 – Rožanski kukovi, 7 – Hajdučki kukovi-Lubenovac, 8 – Veliki i Mali Kozjak, 9 – Begovača, 10 – Kita Gavranuša, 11 – Konjska draga), 6 – manji lineamenti, 7 – niži primorski pediment Velebita. Napomena: stupanj detaljnosti nije ujednačen, detaljnije je razrađeno područje Nacionalnog parka Sjeverni Velebit.

stavova, tj. da se kreću generalno prema SE. Na to upućuju i najnovija strukturno-geološka istraživanja Tomljenovića i suradnika<sup>87 88</sup>.

<sup>87</sup> B. TOMLJENVIĆ, 2017, 86–87.

<sup>88</sup> B. TOMLJENVIĆ, 2018, 202–202.

*Egzogena geomorfologija**Krški reljef*

Na području Sjevernog Velebita zadovoljena su sva tri osnovna uvjeta za razvoj krškog reljefa. Područje je izgrađeno od karbonatnih topivih stijena, recentno i tijekom geološke prošlosti je izloženo tektonskim pokretima (što je dovelo do stvaranja brojnih pukotina i posljedično pukotinske poroznosti) te je smješteno u klimatski povoljnoj zoni sa značajnom količinom oborina (~2000 mm/god.) za odvijanje procesa okršavanja.

Najmanji, ali vrlo prepoznatljivi krški oblici Sjevernog Velebita su škrape i kamenice. Na području Velebita uz različite vrste škrapa (osobito česte žljebove i mrežaste škrape) i kamenica, zastupljena su i druga biokorozivska udubljenja<sup>89</sup>. Brojnost i raznolikost njihovih pojava veže se, kao i kod drugih krških pojava (npr. ponikava i jama), za vršni dio Sjevernog Velebita koji je izgrađen od karbonatnih (tzv. Jelar) breča. Posebno su dobro razvijene u zoni Hajdučkih i Rožanskih kukova gdje je najviše izražena raznolikost žljebastih škrapa, posebno onih zidnih i meandarskih.

Zbog podzemnog odvodnjavanja u kršu oblikuju se zatvoreni oblici – krške depresije. Na području Sjevernog Velebita prisutna su sva tri pojavna oblika: ponikve, uvale i polja u kršu (Sl. 5a). Ponikve ili vrtache su najčešći i prepoznatljiviji krški reljefni oblik pa se često smatraju dijagnostičkim krškim reljefnim oblikom<sup>90</sup>. Prema genetskoj klasifikaciji U. Saura<sup>91</sup>, na području Sjevernog Velebita prevladavaju ponikve tipa A (ponikve akcelerirane korozije), tj. podtip A1, tzv. *drawdown* ponikve. Kod ovakvih ponikava korozija je najintenzivnija u njihovom središnjem dijelu koje se uslijed krške denudacije spušta brže od okolnog područja. Takve ponikve obično su ljevkastog poprečnog presjeka. Međutim, na području Hajdučkih i Rožanskih kukova, u zoni izrazito tektonski izlomljenih karbonatnih breča, korozija središnjeg dijela još je intenzivnija pa su njihove strane velikih nagiba, a ponikve poprimaju bunarasti izgled, podsjećajući na urušne ponikve. Uslijed korozije one se i znatno proširuju pa pojedine veće ponikve dosežu promjer od 100 do preko 400 m. Dubine im se kreću u rasponu od 50 do 100 m. Najveće među njima imaju promjer od gotovo 800 m. Tako ponegdje dolazi do spajanja rubova susjednih ponikava. Stoga najveći dio vršne zone Sjevernog Velebita pripada ponikvastom tipu krša,

<sup>89</sup> D. PERICA *et al.*, 2001, 31–58.

<sup>90</sup> D. FORD – P. WILLIAMS, 2007, 339.

<sup>91</sup> U. SAURO, 2003, 41–52.

dok se u nekim dijelovima (npr. u Rožanskim kukovima) čak mogu prepoznati morfološke značajke poligonalnog krša<sup>92</sup>. U zoni između Krasnog i Lipovog polja razvijen je čitav niz urušnih ponikava. Preliminarna morfometrijska analiza četiri odabrane urušne ponikve pokazala je da njihova prosječna površina iznosi nešto manje od 70.000 m<sup>2</sup> te prosječni volumen od oko 100.000 m<sup>3</sup>. Njihova morfologija, a posebno morfogeneza nije dovoljno istražena, a njihov bi se postanak mogao dovesti u vezu s oscilacijom razine temeljnice u ponorskoj zoni rijeke Like u Lipovom polju.

Prostorni raspored i gustoća ponikava (Sl. 5c, 5d) nisu ujednačeni na cijelom području. Njihova brojnost i gustoća generalno se smanjuje od sjeveroistoka (>90 pon./km<sup>2</sup>) prema jugozapadu (0 pon./km<sup>2</sup>). Razloga za to je više. Od morfoloških razloga najveći je utjecaj nagiba padina. S obzirom na to da je primorska padina Velebita uglavnom strmijih nagiba te je oblikovana fluviokrškim razvojem, na njoj su ponikve rijetke. Vršni dio Velebita ima srednju gustoću ponikava. Maksimalna gustoća, dobivena digitalnom analizom, za područje Nacionalnog parka Sjeverni Velebit je 32,2 pon./km<sup>2</sup>. Gotovo identičan podatak dobila je Faivre 1992. analognom metodom i to za područje cijelog Sjevernog Velebita i Senjskog bila<sup>93</sup>. Iako se radi o izuzetno razvijenom kršu gdje bi se očekivala veća gustoća ponikava, manja gustoća ponikava upravo je posljedica tog intenzivnog okršavanja. Naime, radi se o području s relativno velikim (i dubokim) ponikvama, što za posljedicu ima smanjivanje njihove gustoće.

Analiza morfometrijskih podataka Nacionalnog parka Sjeverni Velebit pokazala je da su na području Parka zabilježene 902 ponikve (prosječna gustoća je 8,3 ponikva/km<sup>2</sup>), da se najviše pojavljuju u višim hipsometrijskim razredima (11,6 pon./km<sup>2</sup>), da se pojavljuju gotovo ujednačeno u svim razredima nagiba padina te da se pojavljuju na padinama svih ekspozicija, ali s naglaskom na istočnu (11,8 pon./km<sup>2</sup>) u odnosu na zapadnu ekspoziciju gdje im je gustoća najmanja (4,8 pon./km<sup>2</sup>). Iako tipični krški oblici, ponikve Sjevernog Velebita imale su i veliko geomorfološko značenje tijekom pleistocenske glacijacije. One su bile morfološka ishodišta akumulacije leda, a u postaglacialnom periodu, naime, otapanje leda ubrzalo je njihovu evoluciju te su pod utjecajem sočnice bile dodatno produbljene i proširene.

Uvale su izdužene ili nepravilne zatvorene krške depresije većih dimenzija koje su razvijene iznad vode temeljnice. Nastaju površinskom krškom

<sup>92</sup> P. WILLIAMS, 1972, 761–796.

<sup>93</sup> S. FAIVRE, 1992a, 13–24.



korozijom duž glavnih tektonski razlomljenih zona<sup>94</sup>. Možda najpoznatija krška uvala Sjevernog Velebita je izdužena Lomska duliba, sjeverno od Hajdučkih kukova. Južno od Hajdučkih kukova smještena je uvala Lubenovac koja je više nepravilnog ocrta. U južnom dijelu, tj. prijelaznoj zoni između Sjevernog i Srednjeg Velebita gotovo u nizu se proteže nekoliko tipičnih krških uvala – Bilensko Mirovo, Dundović Mirovo, Tudorevo, Bilenski padež, Šegotski padež i Dundović padež. Primorska padina u svom gornjem dijelu ima nekoliko nizova zatvorenih ili poluzatvorenih depresija. Međutim, mali je broj uvala tipične (jasno definirane) morfologije. Ističu se Varnjača, Raskrižje i Vukušić duliba, Inkeševac. Puno se češće javljaju djelomično otvorene udubine koje su vjerojatno rezultat intenzivnijeg okršavanja, fluvijalne i glacijalne erozije te ispunjavanja glacijalnim materijalom. Uvale Sjevernog Velebita imaju genetsku vezu i s glacijalnim procesima. Kao i ponikve, i uvale su bile preoblikovane glacijalnom erozijom (i akumulacijom), i predstavljale jezgre prikupljanja leda i nastanka ledenjaka.

U širem području nalaze se tri zavale krških polja – najvećih depresija u kršu. Najbliže masivu Sjevernog Velebita je Krasno polje izduženo oko 4 km dinarskim pravcem. Dno mu se nalazi na 600 m nadmorske visine. Prema geomorfološkim značajkama pripada piedmondskom tipu polja<sup>95</sup>. Dalje prema jugoistoku nalazi se oko 9 km dugo Lipovo polje, također orijentirano dinarskim pravcem. Iako je od njega relativno dobro orografski odvojeno, funkcionalno je dio sustava Ličkog polja i to njegov najniži ponorski dio. U Lipovu polju, na visini od oko 480 m, ponire rijeka Lika, najdulja dinarska ponornica, dok je Ličko polje prosječno na 560 m nad morem<sup>96</sup>. U dnu samog polja razvijen je fluvijalni morfogenetski tip reljefa s markantnim meandrima rijeke Like. S druge strane, samo Lipovo polje ima i određene morfološke značajke ponorske doline. Štirovača (s Klepinom dulibom) je krška depresija meridionalnog pružanja, a većim dijelom se nalazi na prostoru Srednjeg Velebita. Međutim, njezin sjeverni dio se nalazi u okviru Nacionalnog parka Sjeverni Velebit. Duljine je oko 8 km, a njezina najniža točka se nalazi na oko 1045 m<sup>97</sup>. Međutim, Štirovača nema sve karakteristike krškog polja. Ponajviše je uočljiv nedostatak zaravnjenoga dna. Sam središnji dio Štirovačke depresije je okršen, a brojni tokovi koji se stvaraju na zapadnom obodu depresije poniru čim dođu u relativno zaravnjeno dno. Ova

<sup>94</sup> J. ČALIĆ, 2011, 32–42.

<sup>95</sup> U. STEPIŠNIK, 2015, 85–99.

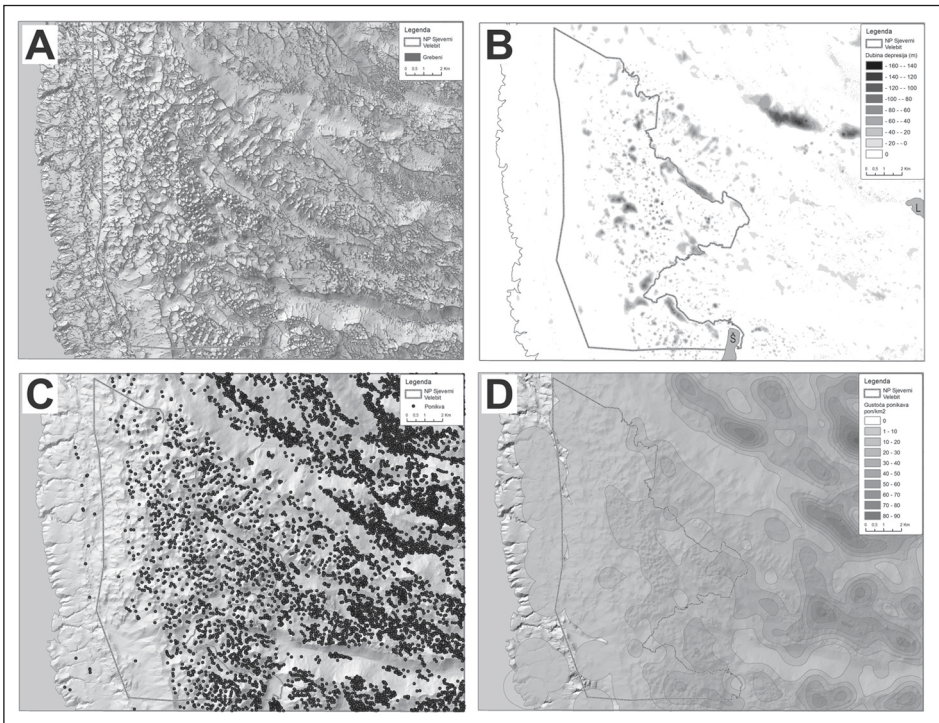
<sup>96</sup> D. PEJNOVIĆ, 1987, 91–111.

<sup>97</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012c, 409–433.

pak karakteristika upućuje na to da je morfoevolucijski Štirovača na prijelazu iz krškog polja u veliku kršku uvalu.

Na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit prevladavaju ponikve, uvale su nešto manje zastupljene (ali su površinski znatno veće od ponikava), a u granicama Parka se nalazi i najsjeverniji dio Štirovače. Ukupna površina svih krških depresija u Parku iznosi 55,2 km<sup>2</sup> što je više od polovice njegove ukupne površine (tj. 50,6 %). Ukupni volumen svih depresija na području Parka (ovdje nije uračunat dio Štirovače koji se nalazi u sastavu Parka) iznosi 1,1 km<sup>3</sup>, što je specifičnih 10 mil. m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> površine Parka. Drugim riječima, to znači da je iz krških depresija po svakom km<sup>2</sup> Parka prosječno denudirano oko 10 m stijena. Ovi podaci također govore o izuzetnoj okršenosti i snažnoj krškoj denudaciji na ovom prostoru.

Uz depresije, krška područja prepoznatljiva su i po tzv. rezidualnim uzvišenjima. To su uzvišenja koja su preostala u reljefu zbog intenzivne denudacije okolnog prostora. Sjeverni Velebit poznat je i prepoznatljiv po jednoj specifičnoj vrsti rezidualnih uzvišenja – kukovima. Za njihovo formiranje potrebno je nekoliko uvjeta. Najvažniji je litološki sastav podloge, tj. da je prostor izgrađen od izrazito topivih stijena koje su istovremeno otporne na fizičko trošenje tako da se na njima razvijaju strme padine bez intenzivnijih padinskih procesa. Upravo su takve karbonatne (Jelar) breče. Sljedeći uvjet je njihovo neotektonsko izdizanje i stvaranje duboke vadozne zone što ubrzava površinsku denudaciju i procjeđivanje vode u podzemlje. To dovodi do stvaranja dubokih ponikava na sjecištima tektonskih pukotina. Zbog povećane brzine okršavanja središnjih dijelova ponikava njihova se dna produbljuju te između ponikava zaostaju rezidualna uzvišenja (Sl. 5a). Na obodima ponikava, osobito njihovim spojevima, zaostaju najotporniji dijelovi – kukovi (rezidualna uzvišenja strmih stjenovitih strana). Ovaj proces za posljedicu ima i izuzetnu mikrorasčlanjenost reljefa koju najbolje prikazuje podatak da najveća visinska razlika između dna ponikve i vrha susjednog kuka iznosi oko 200 m, na otprilike jednakoj zračnoj udaljenosti. Primorsku padinu obilježavaju prvenstveno humci (ili glavice). To su rezidualna uzvišenja stožastog izgleda sa zaobljenim vrhom. Uglavnom su bez strmih stjenovitih strana. Humci se ovdje pojavljuju kao rezidualni ostatci na strukturno uvjetovanim hrptovima. Stoga se najčešće javljaju u nizovima koji su paralelni ili pod blagim kutom u odnosu na pružanje same primorske padine. Primorska je padina stoga stepeničastog ocrta, s ponekom uvalom i preoblikovanim dolinskim oblicima (poluzatvorene uvale) između koji se pružaju nizovi humaka.



Sl. 5. A) karta grebena, B) karta krških depresija (Š – Štirovača, L – Lipovo polje), C) karta lokacija ponikava (piktogram), D) karta gustoće ponikava istraživanog područja

Procjeđivanjem vode u krško podzemlje voda nastavlja sa svojim denudacijskim djelovanjem stvarajući podzemne reljefne oblike – špilje i jame (speleološke objekte). Na području Sjevernog Velebita prevladavaju jame, strmi i vertikalni speleološki objekti. Od velikog broja istraženih jama čak su četiri dublje od 1000 m (Tabl. 1). Glavne morfološke značajke ovih jama su velika strmina, tj. mala duljina u odnosu na dubinu, vrlo duboke vertikale (npr. vertikala Divke Gromovnice u Jamskom sustavu Velebita s dubinom od 513 m najdublja je unutarnja vertikala na svijetu) i razmjerno mali broj horizontalnih kanala. Horizontalni ili kosi kanali, kada su i prisutni, su uski i vijugavi vadozni kanjonski provodnici. Freatičkih kanala ima vrlo malo. Jedini veći freatički kanal zabilježen je u Gavranovoj jami na Begovači<sup>98</sup>. Za ovakvu speleomorfologiju ključni su sljedeći speleogenetski uvjeti:

<sup>98</sup> N. BOČIĆ, 2001, 3–6.

1. hidrogeološki odnosi, tj. poniranje rijeka Like i Gacke te njihov podzemni tok prema moru. Na taj način je u središnjem dijelu Sjevernog Velebita stvorena duboka vadozna zona (>1400 m) s vertikalnom komponentom cirkulacije,
2. geološka građa tj. prevladavajuća litostratigrafska jedinica, su Jelar breče koje su izuzetno podložne okršavanju (vidjeti pod ponikve),
3. neotektonska aktivnost, tj. izdizanje koje je također utjecalo na stvaranje duboke vadozne zone, te na ispucalost stijenske podloge i stvaranja sekundarne proznosti i
4. pleistocenska glacijacija koja je omogućila povećan dotok vode u podzemlje u razdobljima neposredno nakon glacijala.

Tabl. 1. Najdublje jame Sjevernog Velebita (izvor: G. Rnjak, 2019<sup>99</sup>, dopunjeno)

<i>Naziv jame</i>	<i>Dubina (m)</i>
Jamski sustav Lukina jama –Trojama	1431
Slovačka jama	1324
Jamski sustav Velebita	1026
Jama Nedam	1021
Meduza	706
Patkov gušt	553
Jama Olimp	537
Ledena jama u Lomskoj dulibi	536
Lubuška jama	529
Sirena	401
Paž	400
Xantipa	323

### *Glaciokrški reljef*

Glaciokrš je krški reljef preoblikovan glacijalnim procesima<sup>100</sup>. Taj odnos često nije jednostran, što je posebno vidljivo na području Sjevernog Velebita gdje je krška podloga jasno definirala razvoj glacijalnih procesa<sup>101 102</sup>. Na Sjevernom Velebitu vidljivi su brojni denudacijski i akumulacijski oblici povezani s

<sup>99</sup> G. RNJAK, 2019.

<sup>100</sup> M. VERESS *et al.*, 2019, 1–516.

<sup>101</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>102</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991b, 181–196.

glacijalnom erozijom. Od denudacijskih reljefnih oblika do sada su zabilježeni: cirkovi, ledenjačke doline, viseće doline, arête (hrptovi preoblikovani djelovanjem leda) te vrhovi koji su bili iznad leda (tipa nunatak) i mutonirne stijene.

Najpoznatiji cirkovi su oni na padini Nadžak bila nad Krasnim poljem<sup>103</sup>. Iako nema klasičnu morfologiju, cirkom se može smatrati prostrana ponikva Icinac između vrhova Veliki Zavižan (1676 m), Vučjak (1644 m) i Veliki Pivčevac (1676 m) koja je imala funkciju prikupljanja leda za Lomski ledenjak. Sličnu funkciju imala je i prostrana krška depresija Lubenovac<sup>105 106</sup>. Nekoliko je morfološki dobro očuvanih cirkova između Golubića i Begovačkih kukova. U vrijeme većeg obuhvata oledbe imali su funkciju prihranjivanja Begovačkog ledenjaka, a za vrijeme manjeg obuhvata zadržali (predstavljali) su manje samostalne cirkne ledenjake.

Ledenjačke doline razmjerno su slabo razvijene, prvenstveno zato što nije bilo inicijalne fluvijalne dolinske mreže na temelju koje bi se preoblikovanjem razvila mreža ledenjačkih dolina. Naime, maksimalna debljina leda procijenjena je na oko 200 m. Akumulaciju snijega i leda te kretanje ledenjaka determinirao je paleo krški reljef (predglacijalni reljef) te se led kretao krškim depresijama (ponikvama i uvalama)<sup>107 108</sup>.

Jedna od najrazvijenijih ledenjačkih dolina je dolina Lomskog ledenjaka od Lomske dulibe do Ledene drage. Slična je, ali manjih dimenzija, ledenjačka dolina u današnjoj Vranjkovoj dragi. Ledenjačka dolina Apatišanskog ledenjaka<sup>109</sup> vrlo je slabo izražena. Slično je i s vrlo slabo izraženom (ali ipak prisutnom) dolinom Begovačkog ledenjaka između Begovačkih kukova i Kite Gavranuše. Iako slabije morfološki istaknute, ledenjačke doline razvijene su i s primorske strane. Najbolji primjer je dolina Mirovskog (Alanskog) ledenjaka<sup>110</sup>.

U literaturi dosad nisu zabilježene viseće doline na ovom području čija dna i "ušća" zaostaju na višoj razini od dna glavnog ledenjaka. Nekoliko dobro razvijenih i očuvanih primjera nalazi se na području Malog Rajinca, a čini se da su imali funkciju transporta leda iz zone Apatišanskog prema Lomskom ledenjaku. Od rezidualnih erozijskih oblika mogu se uočiti međulednjački

<sup>103</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>104</sup> U. STEPIŠNIK, 2015, 85–99.

<sup>105</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>106</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>107</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>108</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>109</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>110</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

hrptovi (arête) (npr. Begovački kuk i Golubić) te dijelovi uzvišenja koji su ostajali uglavnom iznad razine leda (npr. Veliki i Mali Kozjak, Grabovo rame i Vratarski kuk na Begovači).

Od akumulacijskih reljefnih oblika na Sjevernom Velebitu nalazimo morene<sup>111 112</sup>, drumline i eskere<sup>113 114</sup>, eratičke blokove<sup>115 116 117 118</sup> te jezerske naslage<sup>119 120</sup>, glacijalne debrite i fluvioglacialne plavine<sup>121</sup>. Akumulacije tla zabilježene su na brojnim lokacijama duž Sjevernog Velebita<sup>122 123 124 125 126</sup>, a značajne količine registrirane su na području Jezera, Apatišanke dulibe, Lomske dulibe, Begovače, Lubenovca, Tudoreva, Bilenskog Mireva, podno Alančića i dr.

Drumlini i eskeri po prvi puta su na ovom području opisani u radu Velića i suradnika<sup>127</sup>, a nakon toga su još utvrđene neke lokacije s potencijalno razvijenim drumlinima. Najveći drumlin nalazimo na području Begovače visine preko 30 m<sup>128</sup>. Jezerske naslage također su na području Bilenskog Mireva utvrdili Velić i suradnici<sup>129</sup>, a prema analogiji najvjerojatnije su prisutni bar još u Lubenovcu, Lomskoj dulibi i Begovoj dragi. Eratički blokovi, kao vrlo dobri pokazatelji glacijalnog transporta utvrđeni su na području Jezera, Bilenskog Mireva, Lomske dulibe, Lubenovca i dr., a najviše ih je do sada utvrđeno na Begovači (Sl. 6). Kao terminalni bazeni glavnih ledenjaka mogu se detektirati lokaliteti Begova draga, Kotal, Ledena draga, Medvedak iznad Lipovog polja, Bilensko Mirovo i dr.

<sup>111</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>112</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>113</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>114</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012b, 27–28.

<sup>115</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>116</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>117</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>118</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012b, 27–28.

<sup>119</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>120</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>121</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>122</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

<sup>123</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>124</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2017, 77–96.

<sup>125</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012b, 27–28.

<sup>126</sup> M. ŽEBRE – U. STEPIŠNIK, 2018, 44–63.

<sup>127</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.

<sup>128</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012b, 27–28.

<sup>129</sup> J. VELIĆ *et al.*, 2011, 1–16.



Sl. 6. Eratički blokovi na Begovači (A) (foto: N. Bočić) i na Jezerima (B) (foto: K. Bočić)

Glacijalni debriti zabilježeni su na primorskoj padini, a najbolje sačuvane fluvioglacijane plavine vidljive su na južnim obodima Krasnog polja<sup>130 131 132</sup>. Osim površinskih, zabilježeni su i špiljski sedimenti glacijalnog i fluvioglacijalnog porijekla.

Od lokaliteta se ističu Ledena jama u Lomskoj dulibi, Gavranova jama na Begovači te Ledenica u Štirovači<sup>133 134</sup>.

Na ovom području utvrđeni su sljedeći tipovi ledenjaka: cirkni, dolinski i platoasti<sup>135</sup>. S obzirom na to da je utjecaj oledbe bio prostorno i vremenski varijabilan, njezin obuhvat nije jednostavno odrediti. Na temelju ostataka glacijalne erozije i akumulacije izrađena je karta pretpostavljenog prostornog obuhvata ledenog pokriva u posljednjem glacijalu (Sl. 7). Karta prikazuje pretpostavljeni obuhvat leda koji je ostavio najizraženije tragove u reljefu, a njegova površina iznosi oko 75 km<sup>2</sup>. Maksimalni obuhvat vrlo je vjerojatno zauzimao i znatno šire područje.

Osim nastanka i širenja ledenjaka, krške značajke imale su utjecaj i u postglacijalnom razdoblju. Povlačenjem ledenjaka ponovno je došlo do intenziviranja krških procesa. Međutim, taj proces nije bio svugdje jednak. Generalno možemo razlikovati tri različite postglacijalne zone. U primorskoj tj. zapadnoj zoni, na oblikovanje reljefa uglavnom je utjecalo površinsko otjecanje čijim je djelovanjem nastao niz poprečno usječenih jaruga. U središnjem, vršnom

<sup>130</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.

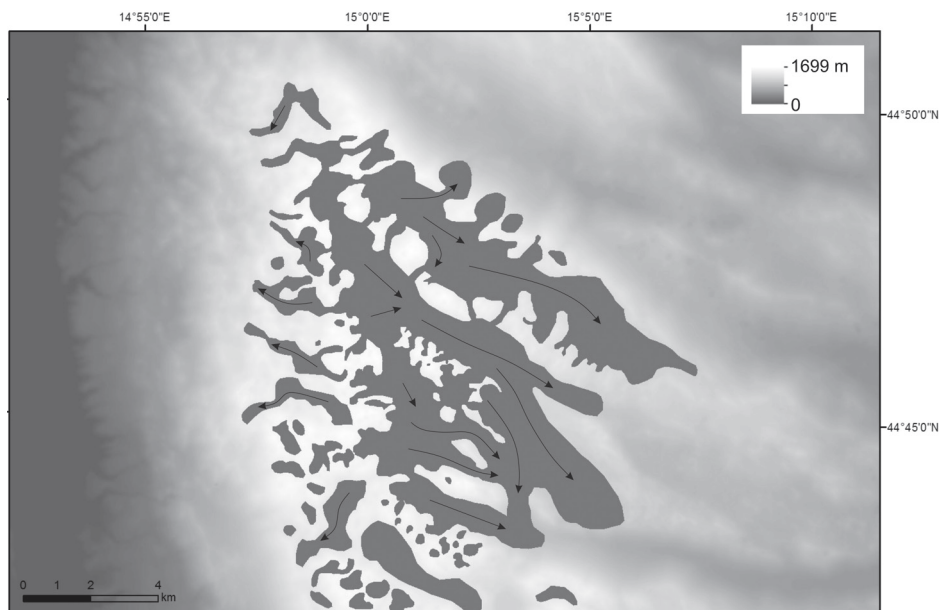
<sup>131</sup> S. FAIVRE, 1991, 1–75.

<sup>132</sup> U. STEPIŠNIK, 2015, 85–99.

<sup>133</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2012c, 409–433.

<sup>134</sup> N. BOČIĆ *et al.*, 2013, 170–172.

<sup>135</sup> A. BOGNAR *et al.*, 1991a, 27–39.



Sl. 7. Karta pretpostavljenog obuhvata glaciokrša Sjevernog Velebita (strelice prikazuju pretpostavljeni smjer kretanja leda)

dijelu otjecanje vode koja je potjecala od kopnjenja ledenjaka bilo je usmjereno isključivo autogenim načinom u krško podzemlje. Na taj se način povećala podzemna krška denudacija, a posljedica su bile produbljivanje ponikava te razvoj brojnih i dubokih krških jama. Najsloženija situacija je bila na istočnoj, tj. unutrašnjoj strani. Neki dijelovi odvodnjavani su površinski prema Krasnom polju ili kroz Bakovačku dolinu, dok su neki dijelovi odvodnjavani izravno u krško podzemlje.

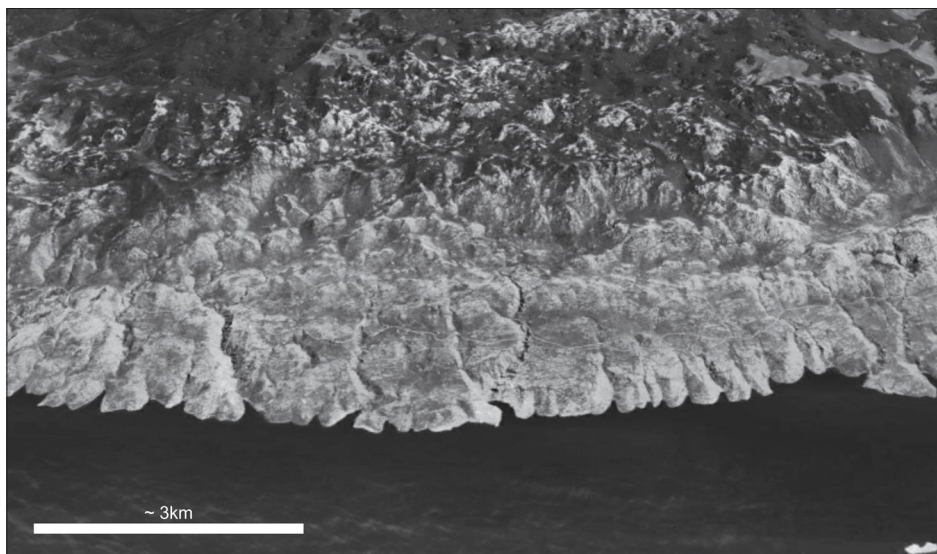
### *Fluviokrš*

Ponekad se fluviokršom smatraju isključivo (*sensu stricto*) tereni oblikovani na dolomitnoj podlozi<sup>136</sup>, međutim u širem smislu fluviokrš je morfogenetski tip reljefa nastao međudjelovanjem krške korozije te fluvijalne i padinske erozije<sup>137</sup>. Fluviokrš je na području Sjevernog Velebita razvijen na primorskoj padini, a tome su najviše pogodovale dva temeljna čimbenika. Jedan

<sup>136</sup> J. ROGLIĆ – I. BAUČIĆ, 1958, 129–138.

<sup>137</sup> N. BOČIĆ, 2009, 149–170.





Sl. 8. Duboko usječene doline i posljedično razvedena obala primorske strane Sjevernog Velebita  
(izvor: Google Earth)

su povećani nagibi padina, što utječe na povećanje udjela površinskog otjecanja, a drugi su koptjenje ledenjaka koji su bili orijentirani prema primorskoj strani. Kao rezultat, ovdje su se razvili površinski tokovi koji su usijecali međusobno paralelne duboko usječene doline (Sl. 8). Njihova reljefna izraženost povećava se smanjivanjem nadmorske visine (a time ujedno i nagiba)<sup>138</sup>. Viši dijelovi još su više pod utjecajem okršavanja te su ovdje još uvijek prisutni krški reljefni oblici (ponikve, uvale, humci). Pojačavanjem erozijskog učinaka u nižim nadmorskim visinama dubine ureza jaruga su sve veće<sup>139</sup>, a primjetna je gotovo potpuna odsutnost krških depresija (Sl. 5). Izdizanjem morske razine u postglacijalnim uvjetima došlo je do preplavlivanja donjeg dijela ovih jaruga<sup>140,141,142</sup>. Na taj način nastala je vrlo razvedena obala (koeficijent razvedenosti obale Sjevernog Velebita iznosi 1,47) s morskim zaljevima gdje su proluvijalne plavine jaruga preoblikovane u žala.

<sup>138</sup> S. FAIVRE, 1994a, 1–101.

<sup>139</sup> S. FAIVRE, 1994a, 1–101.

<sup>140</sup> E. FOUACHE *et al.*, 2000, 33–46.

<sup>141</sup> S. FAIVRE – E. FOUACHE, 2003, 521–537.

<sup>142</sup> M. SURIĆ, 2009, 181–199.

Na širem području Sjevernog Velebita prisutni su još i fluvijalni (Lipovo polje) te periglacialni, nivalni i padinski utjecaj na višim dijelovima. Također, u priobalnoj zoni značajan je i marinski utjecaj na razvoj reljefa. Obrada ovih tipova utjecaja izlazi iz okvira ovog rada.

### *Zaključak*

Temeljni uvjeti za razvoj reljefa Sjevernog Velebita bili su karbonatna građa, intenzivna tektonika te specifični klimatski uvjeti. Karbonatna građa omogućila je razvoj tipičnog krškog reljefa, a prevladavajući oblici su ponikve, kukovi i škrape.

Zbog svoje velike topljivosti te otpornosti na mehaničko trošenje, posebnu važnost na razvoj krških reljefnih oblika imaju karbonatne (Jelar) breče. Intenzivna tektonika omogućila je izdizanje ovog područja, ali i stvaranje pukotinskih sustava što je stvorilo uvjete za pojačanu površinsku i podzemnu denudaciju. Povoljni klimatski i topografski uvjeti omogućili su nastanak i širenje ledenjaka tijekom pleistocenske glacijacije te su, unatoč kasnijem okršavanju, ostali sačuvani mnogi erozijski i akumulacijski glacijalni oblici.

Postojanje duboke vadozne zone omogućilo je, posebno u postglacijalnim uvjetima, jaku podzemnu cirkulaciju što je za posljedicu imalo nastanak i razvoj brojnih dubokih jama upravo na Sjevernom Velebitu. Primorska padina obilježena je pak postupnim prelaskom od viših okršanih dijelova do nižih područja gdje dominiraju fluviokrška obilježja.

Područje Sjevernog Velebita iznimno je geomorfološki raznoliko. Stoga je potrebno daljnje geomorfološko istraživanje i kartiranje posebno sa svrhom inventarizacije, vrednovanja i kvalitetnog upravljanja ovim područjem. Iz tih razloga se predlaže izrada detaljne geomorfološke karte i geomorfološkog vodiča kako bi se georaznolikost i vrijednost reljefnih oblika što bolje približila brojnim posjetiteljima Nacionalnog parka Sjeverni Velebit.

### *Literatura*

Stjepan BAHUN, Tektogeneza Velebita i postanak Jelar naslaga, *Geološki vjesnik*, 27, 1974, 35–51.

Christèle BALLUT – Sanja FAIVRE, New data on the dolines of Velebit Mountain: An evaluation of their sedimentary archive potential in the reconstruction of landscape evolution, *Acta Carsologica*, 41/1, 2012, 59–74.

- Bernhard BAUER, *Über die Landformen des nördlichen Velebit, Jahresberichte des Bundes-Real-gymnsium Knittelfeld*, 1935.
- Srdan BELIJ, Glacijalni i periglacijalni reljef južnog Velebita, *Posebna izdanja Srpskog geografskog društva*, 61, 1985, 1–68.
- Neven BOČIĆ, Speleološka ekspedicija "Olimp 2000", *Speleo 'zin*, 14, 2001, 3–6.
- Neven BOČIĆ, *Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni* (disertacija), Sveučilište u Zagrebu, 2009.
- Neven BOČIĆ – Nenad BUZJAK – Sanja FAIVRE – Mladen PAHERNIK – Valentina VIDOVIĆ – Marko KOVAČ, Temeljna geomorfološka obilježja i geokološko vrednovanje reljefa sjevernog Velebita (Zbornik sažetaka - Znanstveno-stručni skup "Posebne vrijednosti dubokog krša"), Krasno, 2012a, 6-6.
- Neven BOČIĆ – Sanja FAIVRE – Marijan KOVAČIĆ – Nada HORVATINČIĆ, Uloga pleistocenske oledbe na razvoj krša na području Velebita (Zbornik sažetaka - Znanstveno-stručni skup "Posebne vrijednosti dubokog krša"), Krasno, 2012b, 27–28.
- Neven BOČIĆ – Sanja FAIVRE – Marijan KOVAČIĆ – Nada HORVATINČIĆ, Cave development under the influence of Pleistocene glaciation in the Dinarides – an example from Štirovača Ice Cave (Velebit Mt., Croatia), *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56/4, 2012c, 409–433.
- Neven BOČIĆ – Sanja FAIVRE – Marijan KOVAČIĆ – Nada HORVATINČIĆ, Influence of the Pleistocene glaciations on karst development in the Dinarides – examples from Velebit Mt. (Croatia), *Proceedings of 16th International congress of speleology*, Vol. 3, Brno, International Union of Speleology, 2013, 170–172.
- Neven BOČIĆ – Mladen PAHERNIK, Geomorfologija sjevernog Velebita i nove spoznaje o geomorfološkim tragovima pleistocenske glacijacije (Zbornik sažetaka i pripadajuća prezentacija - Znanstveno - stručni skup "Od istraživanja k dobrom upravljanju Nacionalnim parkom Sjeverni Velebit"), Krasno, 2017, 14–15.
- Andrija BOGNAR, Predgorske stepenice (pedimenti) gorskog hrpta južnog Velebita, *Senjski zbornik*, 19, Senj, 1992, 1–12.
- Andrija BOGNAR – Sanja FAIVRE – Josip PAVELIĆ, Tragovi oledbe na Sjevernom Velebitu, *Geografski glasnik*, 53, Zagreb, 1991a, 27–39.
- Andrija BOGNAR – Sanja FAIVRE – Josip PAVELIĆ, Glacijacija Sjevernog Velebita, *Senjski zbornik*, 18, Senj, 1991b, 181–196.
- Andrija BOGNAR – Sanja FAIVRE – Josip PAVELIĆ, Tragovi oledbe na Srednjem Velebitu, *Senjski zbornik*, 24, Senj, 1997, 1–16.
- Andrija BOGNAR, Geomorfologija i njezin razvoj u Hrvatskoj, *Zbornik radova 2. Hrvatskog geografskog kongresa*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 1999a, 43–52.
- Andrija BOGNAR, Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34, Zagreb, 1999b, 7–29.
- Andrija BOGNAR – Sanja FAIVRE, Geomorphological traces of the younger Pleistocene glaciation in the central part of the Velebit Mt., *Hrvatski geografski glasnik*, 68/2, Zagreb, 2006, 19–30.

- Andrija BOGNAR – Sanja FAIVRE – Nenad BUZJAK – Mladen PAHERNIK – Neven BOČIĆ, Recent landform evolution in the Dinaric and Pannonian Region of Croatia, u: Dénes LÓCZY – Miloš STANKOVIANSKY – Adam KOTARBA (ur.), *Recent Landform Evolution*, Springer, Heidelberg-London-New York, 2012, 313–344.
- Nenad BUZJAK – Vinka DUBOVEČAK – Dalibor PAAR – Neven BOČIĆ, The influence of karst topography to ice cave occurrence - example of Ledena jama in Lomska duliba (Croatia), *6th International Workshop on Ice Caves*, Carlsbad, National Cave and Karst Research Institute, 2014, 17–23.
- Nenad BUZJAK – Neven BOČIĆ – Florijan KVETEK, Georaznolikost i geobaština NP Sjeverni Velebit (Zbornik sažetaka-Znanstveno - stručni skup "Od istraživanja k dobrom upravljanju Nacionalnim parkom Sjeverni Velebit"), Krasno, 2017, 16–17.
- Jelena ČALIĆ, Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term, *Geomorphology*, 134/1–2, 2011, 32–42.
- DGU, *Specifikacija proizvoda – Topografski podaci 2.0*, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2017.
- Sanja FAIVRE, *Geomorfološke osobine Sjevernog Velebita* (diplomski rad), Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 1991.
- Sanja FAIVRE, Analiza gustoće ponikava na Sjevernom Velebitu i Senjskom bilu, *Senjski zbornik*, 19, Senj, 1992a, 13–24.
- Sanja FAIVRE, The analysis of the doline density on the Northern Velebit and Senjsko bilo, *Proceedings of the international symposium Geomorphology and Sea, Faculty of Science*, Department of Geography, Zagreb, 1992b, 135–143.
- Sanja FAIVRE, *Strukturno-geomorfološka obilježja Sjevernog Velebita i Senjskog bila* (magistarski rad), Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 1994a.
- Sanja FAIVRE, Strukturno-geomorfološka analiza tipova dolinske mreže Sjevernog Velebita i Senjskog bila, *Senjski zbornik* 21, Senj, 1994b, 9–24.
- Sanja FAIVRE, Neke temeljne strukturno-geomorfološke značajke Sjevernog Velebita i Senjskog bila, *Zbornik radova 1. Hrvatskog geografskog kongresa*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 1996, 156–169.
- Sanja FAIVRE, Landforms and tectonics of the Velebit mountain range (Outer Dinarides, Croatia) (doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 1999.
- Sanja FAIVRE, Analyses of the Velebit Mountain Ridge Crests, *Hrvatski geografski glasnik*, 69/2, Zagreb, 2007, 21–40.
- Sanja FAIVRE – Philippe REIFFSTECK, Spatial distribution of dolines as an indicator of recent deformations on the Velebit mountain range (Croatia), *Geomorphologie: relief, processus, environnement*, 2, 1999, 129–142.
- Sanja FAIVRE – Philippe REIFFSTECK, From doline distribution to tectonic movements example of the Velebit mountain range, Croatia, *Acta Carsologica*, 31/3, 2002, 139–154.
- Sanja FAIVRE – Andrija BOGNAR, Istraživanja geomorfoloških tragova pleistocenske oledbe na sjevernom i srednjem Velebitu, *Senjski zbornik*, 40, Senj, 2013, 711–714.

- Sanja FAIVRE – Eric FOUACHE, Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2000 years, *Z. Geomorph. N.F.*, 47, 4, 2003, 521–537.
- Derek FORD – Paul WILLIAMS, *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Wiley, Chichester, 2007.
- Eric FOUACHE – Sanja FAIVRE – Jean-Jacques DUFAURE – Vladimir KOVAČIĆ – Francis TASSAUX, New observations on the evolution of the Croatian shoreline between Poreč and Zadar over the past 2000 years, *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 122, 2000, 33–46.
- Ivan GAMS – Miloš ZEREMSKI – Milan MARKOVIĆ – Slobodan LISENKO – Andrija BOGNAR, *Uputstvo za izradu detaljne geomorfološke karte SFRJ 1: 100 000*, Beograd, 1985.
- Artur GAVAZZI, Trag oledbe na Velebitu, *Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva*, 14, 1903, 174–175.
- Milan HERAK, Dinaridi, mobilistički osvrt na genezu i strukturu, *Acta Geologica*, 21/2, 1991, 35–117.
- HGI, *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000*, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2009.
- Hinko HRANILOVIĆ, Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa, *Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva*, 19, Zagreb, 1901, 93–133.
- Susan K. JENSON – Julia O. DOMINGUE, Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54/11, 1988, 1593–1600.
- Vilko KLEIN, Morfografsko-morfostrukturno proučavanje Velebita na osnovi orbitalne snimke u boji m 1:200.000 s posebnim osvrtom na tragove paleotekućica, *Senjski zbornik*, 23, Senj, 1996, 1–18.
- Mladen KUHTA – Darko BAKŠIĆ, Karstification Dynamics and Development of the Deep Caves on the North Velebit Mt. – Croatia, *13th International Congress of Speleology*, Brazil, 2001, 193–198.
- Sanja LOZIĆ, Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 30, 1995, 17–28.
- Sanja LOZIĆ, Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 31, 1996, 41–50.
- Pavao MAMUŽIĆ – Ante MILAN – Boško KOROLIJA – Ivan BOROVIĆ – Željko MAJČEN, *Osnovna geološka karta 1: 100000*, list Rab, IGI Zagreb, SGZ Beograd, 1966.
- Pavao MAMUŽIĆ – Ante MILAN, *Tumač za Osnovnu geološku kartu 1: 100000*, list Rab, IGI Zagreb, SGZ Beograd, 1969.
- Lawrence W. MARTZ – Jürgen GARBRECHT, The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models, *Hydrological Processes*, 12, 1998, 843–855.
- Borivoje Ž. MILOJEVIĆ, Beleške o glečerskim tragovima na Raduši, Cincaru, Šatoru, Troglavu i Velebitu, *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 7-8, 1922, 294–297.

- Leon NIKLER, Nov prilog poznavanju oledbe Velebita, *Geološki vjesnik*, 25, 1973, 109–112.
- Mladen PAHERNIK, *Geomorfologija Gorskog kotara – primjena geografskog informacijskog sustava u istraživanju reljefa* (disertacija), Sveučilište u Zagrebu, 2005.
- Mladen PAHERNIK, Digitalna analiza padina otoka Raba, *Geoadria*, 12, 2007, 3–22.
- Kosmas PAVLOPOULOS – Niki EVELPIDOU – Andreas VASSILOPOULOS, *Mapping Geomorphological Environments*, Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York, 2009.
- Dane PEJNOVIĆ, Reljef Like, *Zbornik II. znanstvenog skupa geomorfologa SFRJ - Gospić*, Zagreb, 1987, 91–111.
- Dražen PERICA, *Geomorfologija krša Velebita* (doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 1998.
- Dražen PERICA – Danijel OREŠIĆ, Klimatska obilježja Velebita i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa, *Senjski zbornik*, 26, Senj, 1999, 1–50.
- Dražen PERICA – Tihomir MARJANAC – Irena MRAK, Vrste grižina i njihov nastanak na području Velebita, *Acta Geographica Croatica*, 34, 2001, 31–58.
- Dražen PERICA – Sanja LOZIĆ – Irena MRAK, Periglacialni reljef na području Velebita, *Geoadria*, 7/1, 2002, 5–29.
- Dražen PERICA – Tihomir MARJANAC, Types of karren and their genesis on the Velebit mountain, u: Angel GINÉS – Martin KNEZ – Tadej SLABE – Wolfgang DREYBRODT (ur.), *Karst rock features - Karren sculpturing*, Založba ZRC, Ljubljana, 2009, 259–274.
- Dražen PERICA – Nina LONČAR – Sanja LOZIĆ, The influence of nivation and cryofraction on periglacial relief formation on Velebit Mt. (Croatia), *Geologia Croatica*, 63/3, 2010, 271–282.
- Josip POLJAK, O zaleđenju velebita, *Geološki vjesnik*, 1, 1947, 125–148.
- Eduard PRELOGOVIĆ, Neotektonska karta SR Hrvatske, *Geološki vjesnik*, 28, 1975, 97–108.
- Eduard PRELOGOVIĆ, Neotectonic movements in the Northern part of Mt. Velebit and part of Lika (SW Croatia), *Geološki vjesnik*, 42, 1989, 133–147.
- Eduard PRELOGOVIĆ – Vlado KUK – Renato BULJAN, The structural fabric and seismotectonic activity of Northern Velebit: some new observations, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 10, 1998, 39–42.
- Eduard PRELOGOVIĆ – Boško PRIBIČEVIĆ – Željko IVKOVIĆ – Ivan DRAGIČEVIĆ – Renato BULJAN – Bruno TOMLJENOVIĆ, Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum-geological exploration, *Nafta*, 4, 2004, 155–161.
- Goran RNJAK (ur.), *Speleologija (II. Izmijenjeno i dopunjeno izdanje)*, SDV-HPS-HGSS, Zagreb, 2019, 1–793.
- Veljko ROGIĆ, Velebitska primorska padina, *Acta Geographica Croatica*, 2/1, 1958, 8–119.

- Josip ROGLIĆ – Ivo BAUČIĆ, Krš u dolomitima – između Konavoskog polja i morske obale, *Geografski glasnik*, 20, 1958, 129–138.
- Ugo SAURO, Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification, *Acta Carsologica*, 32/2, 2003, 41–52.
- Bernard Walter SILVERMAN, *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman and Hall, New York, 1986.
- Uroš STEPIŠNIK, Krasno polje on Velebit Mountain: morphographic and morphogenetic characteristics, *Hrvatski geografski glasnik*, 77/2, 2015, 85–99.
- Uroš STEPIŠNIK, Geomorfološke značilnosti Severnega Velebita, u: Uroš STEPIŠNIK (ur.), *Dinarski kras: Severni Velebit*, E-GeograFF, Sveučilište u Ljubljani, 2018, 21–43.
- Andrej STROJ, *Podzemni tokovi u zaleđu krških priobalnih izvora na području Velebitskog kanala* (doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2010.
- Branko SOKAČ – Stjepan BAHUN – Ivo VELIĆ – Ivan GALOVIĆ, *Tumač za Osnovnu geološku kartu 1: 100000*, list Otočac, IGI Zagreb, SGZ Beograd, 1976b.
- Maša SURIĆ, Reconstructing sea-level changes on the Eastern Adriatic Sea (Croatia) – an overview, *Geoadria*, 14(2), 2009, 181–199.
- Matea TALAJA, Prostorni raspored i morfološka struktura speleoloških objekata u Nacionalnom parku Sjeverni Velebit, *Speleolog*, 2016, 31–37.
- Bruno TOMLJENOVIĆ – Philipp BALLING – Bojan MATOŠ – Igor VLAHOVIĆ – Stefan SCHMID – Kamil USTASZEWSKI – Lovro BLAŽOK – Dino POSARIĆ – Andre ŠIROL, Structural architecture and tectonic evolution of the Velebit Mt. in the central part of the External Dinarides in Croatia (Book of Abstracts - XXI International Congress of the CBGA), Salzburg, 2018, 202-202.
- Bruno TOMLJENOVIĆ – Bojan MATOŠ – Igor VLAHOVIĆ – Dubravka KLJAJO – Branimir ŠAJATOVIĆ, Analiza sustava pukotina i rasjeda na području NP Sjeverni Velebit: prilog rekonstrukciji tektogeneze Velebita, Georaznolikost i geobaština NP Sjeverni Velebit (Zbornik sažetaka - Znanstveno - stručni skup "Od istraživanja k dobrom upravljanju Nacionalnim parkom Sjeverni Velebit"), Krasno, 2017, 86–87.
- Ivo VELIĆ – Stjepan BAHUN – Branko SOKAČ – Ivan GALOVIĆ, *Osnovna geološka karta 1: 100000*, list Otočac, IGI Zagreb, SGZ Beograd, 1976a.
- Ivo VELIĆ – Josipa VELIĆ, *Od morskih plicaka do planine – geološki vodič kroz Nacionalni park Sjeverni Velebit*, JU NP Sjeverni Velebit, Krasno, 2009.
- Josipa VELIĆ – Ivo VELIĆ – Dubravka KLJAJO, Sedimentary bodies, forms and occurrences in the Tudorevo and Mirovo glacial deposits of northern Velebit (Croatia), *Geologia Croatica*, 64/1, 2011, 1–16.
- Josipa VELIĆ – Ivo VELIĆ – Dubravka KLJAJO – Ksenija PROTRKA – Hrvoje ŠKRABIĆ – Zlatko ŠPOLJAR, A geological overview of glacial accumulation and erosional occurrences on the Velebit and the Biokovo Mts., Croatia, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 32/4, 2017, 77–96.
- Márton VERESS – Tamás TELBISZ – Gábor TÓTH – Dénes LÓCZY – Dmitry A. RUBAN – Jaroslav M. GUTAK, *Glaciokarsts*, Springer, Cham, 2019.

- Igor VLAHOVIĆ – Josip TIŠLJAR – Ivo VELIĆ – Dubravko MATIČEC, Evolution of Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics, *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleocology*, 220/3-4, 2005, 333–360.
- Paul WILLIAMS, Morphometric Analysis of Polygonal Karst in New Guinea, *GSA Bulletin*, 83/3, 1972, 761–796.
- Ksenija ZANINOVIĆ (ur.), *Klimatski atlas Hrvatske*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2008.
- Manja ŽEBRE – Uroš STEPIŠNIK, Poledenitev Severnega Velebita, u: Uroš STEPIŠNIK (ur.), *Dinarski kras: Severni Velebit*, E-GeograFF, Sveučilište u Ljubljani, 2018, 44–63.

## THE GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF NORTHERN VELEBIT

### Summary

In the article are presented the geomorphological features of the region of Northern Velebit with a special emphasis on the Northern Velebit National Park. The fundamental morphometric and morphogenetic analyses once done analogously were made with the use of digital technologies and supplemented with new analyses and fieldwork. Of the general morphometric methods, hypsometry, the analysis of the gradient of the slopes, the analysis of the vertical division and the exposure of the slopes were used. The morphogenetic analysis is based on specific morphometric and field investigations. Within the framework of the morphogenesis the morphostructural relief was analysed, and of the exogenous influences, the greatest attention was dedicated to the karstic, glacio-karstic and fluvio-karstic relief forms. The analysis of the karst relief in the Northern Velebit National Park region, one of the fundamental phenomena of the park, showed that more than half of its surface area (50.6%) is represented by karst depressions (sinkholes and valleys) which speaks of an exceptionally powerful and long-lasting denudation. Along with the karst processes, glacial processes which at that time of the last glacial maximum considerably reshaped the karst relief forms and generally influenced the geomorphological evolution of Northern Velebit contributed significantly to the increased denudation. The glaciation of Northern Velebit, apart from the karst reliefs occasionally influenced the intensification of fluvial and the existence of limnic processes. Therefore, the knowledge of the geomorphological features of Northern Velebit and the Northern Velebit National Park is of extreme significance both for the preservation of geodiversity and for its further touristic valorisation and promotion.

*Keywords:* geomorphology, karst, glacio-karst, relief, Northern Velebit