

Acta Geographica Croatica	Volumen 33	47-57	Zagreb, 1998.
---------------------------	------------	-------	---------------

UDK 551.3.053 (497.5 Vel. Kapela)

# UTJECAJ KLIME I RELJEFA NA INTENZITET POVRŠINSKE KOROZIJE KARBONATA GORSKE SKUPINE VELIKE KAPELE

MLADEN PAHERNIK

## **Izvod:**

Istraživanje intenziteta površinske korozije u području gorske skupine Velike Kapele provedeno je metodom "standardnih vapnenačkih tableta". Kako spomenuta metoda ukazuje na zavisnost korozije i klimatskih elemenata izračunati su vertikalni gradijenti padalina za privjetrinske i zavjetrinske klimatološke stanice, te temperaturni vertikalni gradijenti u istraživanom prostoru. Eksponencijalnom korelacijskom analizom određena je međuzavisnost intenziteta korozije, kako gole vapnenačke površine, tako i subkutane korozije sa nadmorskom visinom, odnosno količinom prosječnih godišnjih padalina i temperaturom zraka.

## **Ključne riječi:**

Površinska korozija, padaline, temperatura zraka, standardne vapnenačke tablete, gorska skupina Velike Kapele

## CLIMATE AND RELIEF INFLUENCE ON THE CARBONATE SURFACE CORROSION INTENSITY IN THE VELIKA KAPELA MOUNTAIN GROUP

## **Abstract:**

*The research of surface corrosion intensity in the area of Velika Kapela mountain group was performed by the method of standard limestone tablets. Since this method points at interdependence between corrosion and climatic elements, the participation vertical gradient for the windward and leeward located meteorological stations and temperature vertical gradient in the research area were calculated. Using the exponential correlation analysis, the interdependence between the corrosion intensity (on bare limestone surface and subcutaneous corrosion) and altitude, respectively the annual precipitation and temperatures was determined.*

## **Key words:**

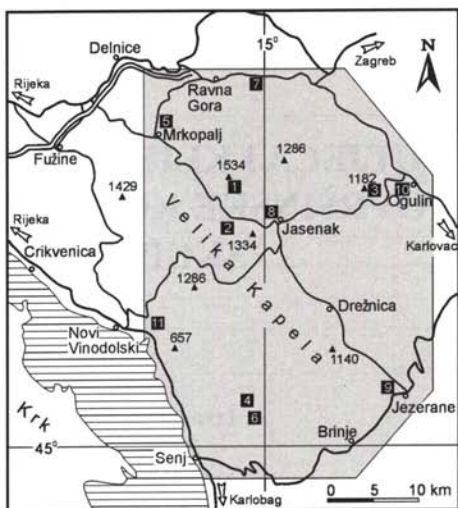
*Surface corrosion, percipitation, air temperature, standard limestone tablets, mountain group of Velika Kapela*

## UVOD

Gorsku skupinu Velike Kapele<sup>1</sup> smještenu u sjeverozapadnom dijelu gorskog sustava Dinarida karakteriziraju prelazne odlike dviju prirodnogeografskih makroregija gorske Hrvatske: Gorskog Kotara na sjeverozapadu i Like na jugoistoku. Sjeveroistočno od Velike Kapele prostire se Ogulinsko – Plašćanska zavalna polja, dok se na jugozapadu Velike Kapele nalazi megaregija Jadranske Hrvatske (Bognar, 1995). Ovim radom obuhvaćeno je šire područje Velike Kapele uključujući sjeverozapadni dio Ogulinsko – Oštarijske zavalne polja, dolinu Dobre, primorsku padinu, te dio prelaznog prostora prema Ličkoj zavalna polja. Tako omeđeni prostor, na kojem su provedena istraživanja, ima površinu od 1370 km<sup>2</sup> (sl. 1).

Razvojem klimatske geomorfologije javlja se, krajem pedesetih godina ovog stoljeća, više radova vezanih za problematiku mjerenja recentne korozije karbonata<sup>2</sup>. Već u samom početku istraživanja korozijskih procesa nastala su podvojena mišljenja o intenzitetu korozije u klimatski toplijim krajevima – tropima (LEHMANN, et al., 1956), odnosno u hladnijim subpolarnim predjelima (CORBEL, 1957). Oba mišljenja pozivala su se na dominantni učinak temperature. U tropima temperatura utječe na povećanu biološku aktivnost, a njome i na veću proizvodnju CO<sub>2</sub>, a u hladnijim klimama dovodi do većeg uravnoteženja koncentracije CO<sub>2</sub> u padalinama i zraku.

Razvojem i primjenom različitih metoda za određivanje krške denudacije (GAMS, 1987) došlo se do značajnih rezultata, kako o intenzitetu korozije u pojedinim klimatskim pojasevima, tako i o specifičnosti krškog procesa unutar manjih, ali bioklimatski različitih



Sl. 1. - Geografski položaj istraživanog područja s lokalitetima provedenog mjerenja

1. Bjelolasica; 2. Samarske stijene; 3. Klek; 4. Alino bilo; 5. Mrkopalj; 6. Krivi put; 7. Stara Sušica; 8. Jasenak; 9. Jezerane; 10. Ogulin; 11. Ledenice

Fig. 1. - Geographical position of the investigated area with the position of investigated locations

1. Bjelolasica; 2. Samarske stijene; 3. Klek; 4. Alino bilo; 5. Mrkopalj; 6. Krivi put; 7. Stara Sušica; 8. Jasenak; 9. Jezerane; 10. Ogulin; 11. Ledenice

prostora. Tako su najpouzdaniji podaci o koroziji karbonata dobiveni metodom mjerenja tvrdoće vode i padalina odnosno površinskog otjecanja. Korelacijom tvrdoće vode i količine padalina te protoka tekućica u krškim područjima utvrđena je značajna povezanost tih parametara u različitim dijelovima svijeta (DOUGLAS, 1968); (PULINA, 1974); (LANG, 1977); te u prostoru Dinarida (GAMS, 1967, 1981); (KUNAVER, 1978); (PAHERNIK, 1997). Dosad objavljeni radovi daju veliki broj kvantitativnih podataka o intenzitetu korozije unutar pojedinih porječja, a na prostoru

<sup>1</sup> Zbog kompleksne orografske strukture obilježene nizom gorskih hrptova, uglavnom dinarskog pravca pružanja, koji su međusobno odvojeni dubljim udolinama odnosno zavalama polja u kršu Velika Kapela predstavlja gorsku skupinu borano – blokovske navlačene unutrašnje genetske grade (Bognar, 1987).

<sup>2</sup> Pod pojmom korozije karbonata vlada veliko šarenilo pojmova, jer postoji čitav niz istovjetnih naziva, koji sa većom ili manjom točnošću karakteriziraju samu pojavu: korozija karbonata, krška denudacija, intenzitet okršavanja, pa čak i erozija karbonata, odnosno kemijska erozija.

dinarskoga krša najviše je istražen njegov sjeverozapadni dio. Prema istraživanjima Gamsa (1981) najveći intenzitet korozije (preko  $100 \text{ m}^3 (\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3) / \text{km}^2 / \text{god.}$ ) je u porječju izvorišnih dijelova Kupe i Soče. Vrijednosti dobivene unutar poriječja Zagorske Mrežnice iznose  $76 \text{ m}^3 (\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3) / \text{km}^2 / \text{god.}$ , odnosno unutar poriječja Ogulinske Dobre  $94 \text{ m}^3 (\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3) / \text{km}^2 / \text{god}$  (PAHERNIK, 1997).

Metode računanja korozije karbonata putem analize tvrdoće vode i riječnog protoka daju ukupnu vrijednost korozije u poriječju, ali ne i intenzitet dubinske korozije na samom tlu. Najprimjerenija metoda za utvrđivanje površinske i dubinske korozije obavlja se putem karbonatnih tableta te mjerenjem visine otopljene karbonatne površine pomoću mikroerozijskog metra. Komisija za kršku denudaciju je na 7. međunarodnom speleološkom kongresu u Engleskoj - Sheffield 1977. izradila studiju o mjerenju intenziteta korozije pomoću "standardnih tableta" pod vodstvom prof. dr. I. Gamsa. Dugogodišnja mjerenja korozije vapnenačkim tabletama pokazala su da su tablete najviše izgubile na težini u humidnoj sutropskoj, te gorskoj umjerenjoj klimi (GAMS, 1985). U prostoru Dinarida mjerenja su vršena na više lokaliteta (KUNAVER, 1978); (GAVRILOVIĆ, 1986); (GAMS, 1985), ali ne i na području Republike Hrvatske. Spomenuta istraživanja ukazala su na pad intenziteta korozije iznad cca 1000 metara nadmorske visine odnosno općenito iznad gornje granice šumskog pojasa.

Podaci o snižavanju karbonata dobiveni pomoću mikroerozijskog metra na području Kanina (KUNAVER, 1978) iznose od 0,017 do 0,075 mm godišnje, ovisno o mikrolokaciji mjerne točke. Mjerenja vršena u Furlaniji pokazala su snižavanje u granicama od 0,01 do 0,04 mm / god. (FRANCO, FORTI, ULCIGRAI, 1994). Razlike u intenzitetu korozije autori objašnjavaju prvenstveno petrografskim osobinama karbonata.

Istraživanje površinske korozije u gorskoj skupini Velike Kapele ima za cilj odrediti intenzitet pojave u pojedinim hipsometrijskim razredima, te utjecaj klimatskih elemenata na intenzitet korozije.

## METODE ISTRAŽIVANJA

Od velikog broja dosad poznatih metoda za određivanje intenziteta korozije (GAMS, 1987) u ovom je radu korištena metoda karbonatnih tableta. Metoda određivanja krške denudacije (korozije) pomoću karbonatnih tableta, zbog svoje jednostavnosti, te zadovoljavajućih rezultata, često je primjenjivana metoda u proteklih tridesetak godina. Dobiveni rezultati intenziteta korozije metodom karbonatnih tableta ovisno o bioklimatskim osobinama okoliša u kojima su postavljene. Vrijednosti intenziteta korozije izračunatih pomoću standardnih tableta odnose se na površinsku koroziju čistog vapnenca pri čemu nisu uključene razlike u litološkim osobinama karbonata, odnosno geološkim i morfološkim osobinama istraženog prostora.

U prostoru gorske skupine Velike Kapele, zbog korelacije sa dosad objavljenim podacima o intenzitetu površinske korozije u prostoru Dinarida, postavljene su karbonatne tablete istog litološkog sastava kao i u citiranim radovima. Korištena je vapnenačka jezgra iz kamenoloma pokraj Lipice u Republici Sloveniji, iz koje su izrezane 2 - 3 mm debele pločice - tablete. Tablete imaju okrugli oblik, promjera 4.1 cm, površine  $30 \text{ cm}^2$  i mase između 8 i 11 grama. Vapnenac iz kojeg su izrađene tablete gornje kredne je starosti (senon), a udio  $\text{CaCO}_3$  iznosi od 97.9 do 98.7 % (GAMS, 1985).

Prije postavljanja tableta izvršeno je njihovo označavanje i vaganje s točnošću od pet decimala grama, te su ostavljene na terenu iznad nenatkrigitog prostora u dva položaja:

- u zraku, približno 150 cm iznad tla
- u tlu, na dubini od 5 - 10 cm

Nakon dvije godine uzorci su pokupljeni i izvršeno je ponovno vaganje te je izračunato ukupno smanjenje težine pojedinih tableta u  $\text{mg } 10^{-3}/\text{cm}^2/\text{dan}$  pomoću formule (GAMS, 1985):

$$\text{Korozija vapnenca} \left( \frac{\text{m}^3/\text{km}^2/\text{god}}{\text{m}^3/\text{km}^2/\text{god}} \right) = \frac{\text{mg } 10^{-3}/\text{cm}^2/\text{dan} * 365}{2.71 * 100} \quad (1)$$

Tako su dobivene vrijednosti o intenzitetu korozije u  $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{god}$ , odnosno snižavanju vapnenačke površine u milimetrima tijekom tisuću godina ( $\text{mm } 10^{-3}$  god).

Mjesta postavljanja tableta određena su prvenstveno blizinom meteoroloških stanica zbog pouzdanije korelacije dobivenih podataka površinske korozije s klimatskim podacima (količina godišnjih padalina i temperature zraka). Za različite hipsometrijske razrede, srednje vrijednosti godišnje količine padalina i temperature zraka su interpolirane.

## ANALIZA KLIMATSKIH ELEMENATA

Prosječne godišnje količine padalina i temperature zraka u gorskoj skupini Velike Kapele izračunate su prema podacima klimatoloških stanica: Crikvenica, Delnice, Jasenak, Ogulin, Senj, Stara Sušica, Zalesina, Vrelo

Tab. 1. - Srednje vrijednosti temperature zraka i padalina (1981-1991).

Tab. 1. - Average values of air temperature and precipitation (1981-1991)

1	2	3	6
Klimatološka postaja	Nadmorska visina (m)	Temperature zraka (°C)	Padalina (mm)
Crikvenica	3	14.1	1209.5
Delnice	698	7.1	2179.8
Jasenak	618	7.1	2331.9
Ogulin	325	9.8	1466.9
Senj	5	14.6	1138.5
Stara Sušica	742	6.6	1916.5
Zalesina	750	6.3	1885.5
Vrelo Ličanke	756	6.9	2451.7
Skrad	668	8.6	1599.3

Izvor: Arhiva HMRZ RH, Zagreb

Ličanke i Skrad (tab. 1). Podaci se odnose za razdoblje od 1981. do 1991. godine.

Gorska skupina Velike Kapele gotovo je okomita na smjer ciklonalnih putanja koje prisojnoj strani donose najveće količine padalina. Tako ona predstavlja značajnu orografsku barijeru uz koju se padaline povećavaju sa porastom nadmorske visine. Prešavši najviše gorske hrptove dolazi do opadanja količine padalina. Godišnje količine padalina na primorskoj padini kreću se od 3042 mm na Viševici do 2332 mm u Jasenku. Prelaskom preko reljefne barijere dolazi do smanjenja količine padalina. Tako Ogulin primi godišnje 1467 mm, a Vrbovsko 1600 mm padalina. Podaci ukazuju na proporcionalnost porasta godišnje količine padalina sa nadmorskom visinom na primorskoj i kontinentalnoj padini Velike Kapele, ali faktor proporcionalnosti nije jednak na privjetrinskoj odnosno zavjetrinskoj padini. Tako su količine padalina jugoistočno od zamišljene linije Višnjevica (1366 m) - Bjeloloasica (1534 m) - Crni vrh (1110 m) - Mala Kapela (1129 m) veće od onih na istim nadmorskim visinama sjeverozapadno od nje. Stoga je račun korelacije, između godišnje količine padalina i nadmorske visine, posebno proveden za stanice na privjetrini odnosno zavjetrini. Računati su linearni korelacijski odnosi sa dvije varijable oblika:

$$y = a x + b \quad (2)$$

Metodom najmanjih kvadrata određeni su koeficijenti regresija za

$$\text{a) privjetrinu} \\ y = 1.5631 x + 1223,6 \quad (3)$$

$$\text{b) zavjetrinu} \\ y = 1.0057 x + 1146 \quad (4)$$

O vrlo čvrstoj linearnoj korelacijskoj vezi između promatranih pojava govore i koeficijenti korelacije, koji za privjetrinske stanice iznosi  $r = 0.9619$ , a za zavjetrinske stanice  $r = 0.9822$ .

Dobiveni pravci regresija poslužili su za izračunavanje godišnjih količina padalina u pojedinim hipsometrijskim razredima i

vertikalnog gradijenta padalina koji iznosi za privjetrinu 156.3 mm / 100 m, a zavjetrinu 94.6 mm / 100 m.

Najviše padalina, preko 3000 mm godišnje, primi područje oko Bijelih (1334 m) i Samarskih stijena (1302 m), te Bjelolasice (1534 m). Izohijeta od 2400 mm padalina godišnje prekriva prostor viši od 800 metara apsolutne visine, dok manje od 2000 mm padalina godišnje primi primorska padina, dolina Dobre i Ogulinska zavala, te širi prostor Brinjskog polja, Jezerana i Drežnice.

Linearnom korelacijskom analizom podataka klimatoloških stanica o prosječnoj srednjoj temperaturi zraka i njihovoj nadmorskoj visini, dobivena je jednadžba pravca:

$$y = -0.0072x + 12.172 \quad (5)$$

te je izračunat vertikalni temperaturni gradijent od  $-0.72^\circ\text{C}/100\text{ m}$ .

Na temelju izračunatih vrijednosti određene su srednje godišnje temperature zraka veće od  $10^\circ\text{C}$  u prostoru primorske fasade do 300

metara nadmorske visine. Porastom nadmorske visine opada temperatura zraka, te na 600 m iznosi  $8^\circ\text{C}$ , a iznad 1000 m spušta se ispod  $5^\circ\text{C}$ . Vršni dijelovi gorskih masiva i hrptova Velike Kapele iznad 1300 m imaju srednju godišnju temperaturu zraka ispod  $3^\circ\text{C}$ .

Temeljem provedene analize godišnje količine padalina i temperature zraka, dobiveni su podaci za kvantitativnu analizu ovisnosti intenziteta korozije klimatskih elemenata na pojedinim mjernim točkama, odnosno mogućnost generaliziranja tog odnosa na čitav istražen prostor.

## REZULTATI I RASPRAVA

Standardne vapnenjačke tablete postavljene su na 11 mjernih mjesta u području Velike Kapele (sl. 1.). Na svim su mjernim točkama tablete postavljene u zraku (približno 150 cm od tla), dok su na 7 točaka tableta postavljane i u tlo, na dubinu od 5 do 10 cm (tab. 2).

Tab. 2. Prosječne vrijednosti intenziteta površinske korozije u gorskoj skupini Velike Kapele 1 - srednje vrijednosti (1981-1991); 2 - interpolirane vrijednosti (1981-1991).

Tab. 2. Average values of bare surface corrosion intensity in mountain group of Velika Kapela 1 - average values (1981-1991); 2 - interpolation values (1981-1991)

1	2	3	4	5	6	7	8
R.B.	Lokacija	Opis	Položaj (cm)	Apsolutna visina (m)	Padaline (mm/dan)	Temperature zraka ( $^\circ\text{C}$ )	Korozija (mm god $10^{-3}$ )
1.	Bjelolasica	Hrbat	+50	1 480	9,72 <sup>2</sup>	1.52 <sup>2</sup>	6,74
1.a	Bjelolasica	Hrbat	-10	1 480	9,72 <sup>2</sup>	1.52 <sup>2</sup>	7,28
2.	Samarske st.	Ponikva	+150	1 280	8,72 <sup>2</sup>	2.96 <sup>2</sup>	5,13
2.a	Samarske st.	Ponikva	-5	1 280	8,72 <sup>2</sup>	2.96 <sup>2</sup>	6,85
3.	Klek	SI padina	+100	1 180	6,33 <sup>2</sup>	3.68 <sup>2</sup>	4,58
4.	Alino bilo	Vrh	+150	1 120	7,28 <sup>2</sup>	4.11 <sup>2</sup>	4,41
5.	Mrkopalj	Polje u kršu	+150	820	7,22 <sup>1</sup>	6.27 <sup>1</sup>	3,60
5.a	Mrkopalj	Polje u kršu	-10	820	7,22 <sup>1</sup>	6.27 <sup>1</sup>	6,12
6.	Krivi Put	Ponikva	+10	820	6,38 <sup>2</sup>	6.27 <sup>2</sup>	3,76
6.a	Krivi Put	Ponikva	-10	820	6,38 <sup>2</sup>	6.27 <sup>2</sup>	3,48
7.	St. Sušica	J padina	+100	710	5,30 <sup>1</sup>	7.06 <sup>1</sup>	3,31
8.	Jasenak	Polje u kršu	+150	620	6,48 <sup>1</sup>	7.71 <sup>1</sup>	3,54
8.a	Jasenak	Polje u kršu	-10	620	6,48 <sup>1</sup>	7.71 <sup>1</sup>	4,85
9.	Jezerane	Polje u kršu	+100	490	4,94 <sup>2</sup>	8.64 <sup>2</sup>	2,93
10.	Ogulin	Polje u kršu	+150	320	4,07 <sup>1</sup>	9.87 <sup>1</sup>	1,81
10.a	Ogulin	Polje u kršu	-10	320	4,07 <sup>1</sup>	9.87 <sup>1</sup>	2,69
11.	Ledenice	Polje u kršu	+100	250	4,22 <sup>2</sup>	10.37 <sup>2</sup>	2,79
11.a	Ledenice	Polje u kršu	-10	250	4,22 <sup>2</sup>	10.37 <sup>2</sup>	4,80

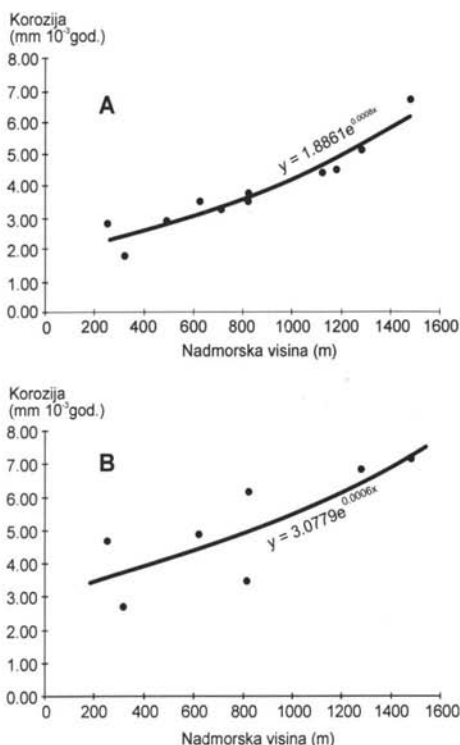
Analizom dobivenih vrijednosti intenziteta korozije na 11 mjernih mjesta u području Velike Kapele, uočavaju se za 35 do 40 % veće vrijednosti korozije na tabletama postavljenim pod pedološki horizont, u odnosu na one postavljene u zraku što ukazuje na važnost djelovanja subkutane korozije. Kako je velikim dijelom Kapela pod šumskom vegetacijom, odnosno bogatim pedološkim horizontom ova činjenica je vrlo bitna prilikom određivanja ukupne korozije tog prostora. Podaci također ukazuju na smanjivanje razlika između korozije golog vapnenca i subkutane korozije s porastom nadmorske visine. Te razlike iznose: 2.01 mm 10<sup>-3</sup> god. u Ledenicama (250 m); 1.31 mm 10<sup>-3</sup> god. u Jasenku (620 m); te samo 0.54 mm 10<sup>-3</sup> god. na Bjelolasci (1534 m). Pojava se može objasniti dugotrajnim snježnim pokrivačem, odnosno tanjim i duže zamrznutim tlom, te znatno reduciranoj vegetaciji u višim hipsometrijskim razredima.

Kako bi se odredila veza između intenziteta površinske korozije i nadmorske visine izrađeni su dijagrami rasipanja u kojima je os x predstavljena nadmorskom visinom mjernih mjesta, a os y površinskom korozijom u mm 10<sup>-3</sup> god (sl. 2). Veća raspršenost točaka unutar dijagrama subkutane korozije u odnosu na točke dijagrama korozije gole površine je zbog kompleksnijih geokoloških uvjeta koji utječu na intenzitet subkutane korozije kao što su vrsta, tekstura i debljina pedološkog horizonta, prisustvo humusa, tip vegetacije, te geomorfološke osobine terena, nagib padine, ekspozicija itd.

Dijagrami rasipanja odnosa nadmorske visine i intenziteta korozije ne pokazuju linearni trend veze, već se u računanju treba poslužiti paraboličnom funkcijom kako bi se kvantitativno odredila ovisnost varijable y (intenzitet korozije) o varijabi x (nadmorska visina). Računana je eksponencijalna funkcija oblika:

$$y = ae^{bx} \quad (5)$$

jer je najbolje prilagođena točkama raspoređenja u dijagramu, a suma kvadratnih



Sl.2. - Odnos intenziteta površinske korozije i nadmorske visine

A - Korozija gole površina; B - Subkutana korozija

Fig. 2. - Relationship of surface corrosion intensity and altitude

A - Bare surface corrosion; B - Subcutaneous corrosion

odstupanja točaka po koordinatama do parabole je minimalna. Zbog uočene razlike u intenzitetu korozije gole vapnenjačke površine i subkutane korozije odvojeno su računani pripadajući relacijski koeficijenti:

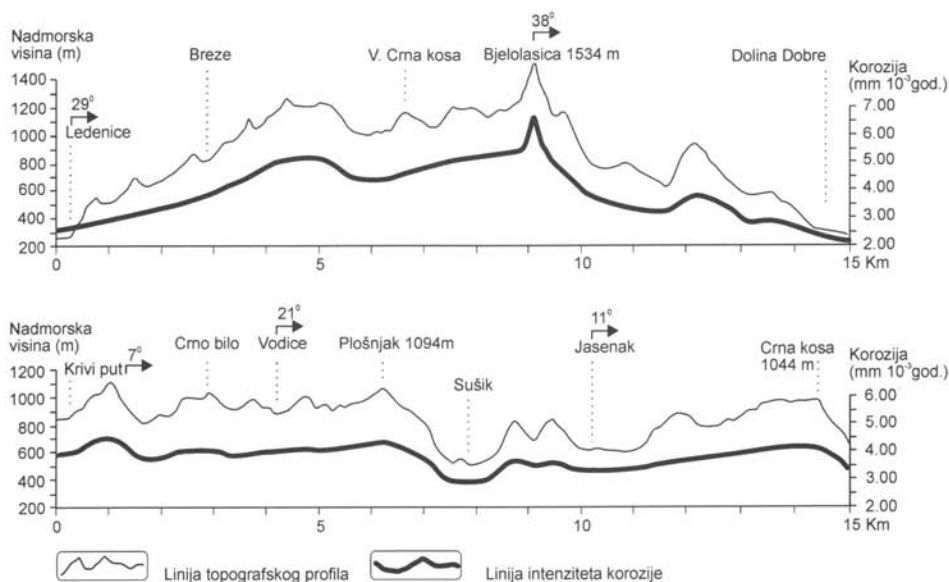
a) gola vapnenjačka površina

$$y = 1.8861e^{0.0008x} \quad (6)$$

b) subkutana korozija

$$y = 3.0779e^{0.0006x} \quad (7)$$

Čvrstu stohastičku vezu pokazuje korelacijski koeficijent u slučaju padalina i korozije gole vapnenjačke površine ( $r = 0.87$ ). Manji korelacijski koeficijent padaline - subkutane korozija ( $r = 0.53$ ) upućuje na veći broj čimbenika koji utječu na njen intenzitet.



Sl.3. Profili intenziteta površinske korozije Velike Kapele

Fig. 3. Profiles of surface corrosion intensity of Velika Kapela

Na temelju dobivenih jednadžbi prišlo se računanju intenziteta površinske korozije u pojedinim hipsometrijskim katovima. Uvid u različiti intenzitet površinske korozije Velike Kapele daju nam profili od primorske padine, preko najviših gorskih masiva i hrptova do Ogulinske zavale polja (sl. 3). Linija intenziteta korozije koja prati liniju topografskog profila ukazuje na pozitivnu vezu spomenutih parametara. Zanimljivo je da u prostoru Velike Kapele nije izmjereno opadanje intenziteta korozije iznad 1 000 metara, kao u drugim dijelovima Dinarida. Razlog valja tražiti u velikim šumskim prostranstvima, jer je predplaninski vegetacijski pojas ograničen samo na najviše dijelove Bjelolasice i Kleka zajednicom klekovine bora (*Pinethum mughi*), a pravog planinskog pojasa i nema. Upravo stoga što gornja granica šume završava na najvišim dijelovima Velike Kapele, tamo ne dolazi do smanjenja intenziteta površinske korozije. Može se reći da šumska vegetacija nema samo značajan udio u korozivskom procesu putem biogenih

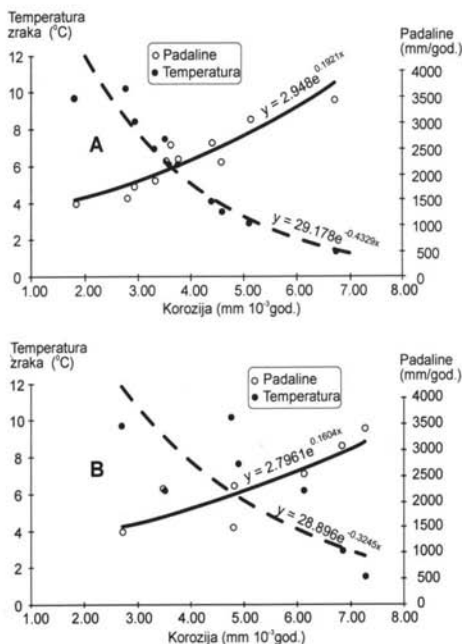
procesa, odnosno pojačanom produkcijom CO<sub>2</sub>, već se ona očituje i u značajnim klimatskim uvjetima koji u njoj vladaju. Zbog te je činjenice potrebno provesti analizu klimatskih elemenata koji utječu na intenzitet korozije, poglavito padalina i temperature zraka (sl. 4). Izračunata je pozitivna eksponencijalna funkcija za koroziju gole površine i padalina:

$$y = 2.948e^{0.1921x} \quad (8)$$

odnosno negativna funkcija za koroziju i temperaturu zraka:

$$y = 29.178e^{-0.4329x} \quad (9)$$

Negativna korelacijska veza intenziteta korozije i temperature zraka posljedica je neproporcijalnog odnosa između nadmorske visine i spomenutog parametra, te se temperatura zraka, na osnovu spomenute veze, ne može tumačiti kao negativan čimbenik intenziteta korozije. Veći koeficijenti korelacije između temperature zraka i korozije ( $r = 0.94$ ), nego padalina i korozije ( $r = 0.83$ ) ukazuju na manju promjenu intenziteta korozije s promjenom temperature zraka nago padalina.



Sl. 4. - Odnos intenziteta površinske korozije i klimatskih elemenata (padalina i temperature zraka)

A - Korozija gole površine; B - Subkutana korozija

Fig. 4. - Relationship of surface corrosion intensity and climatic elements (precipitation and air temperature)

A - Bare surface corrosion; B - Subcutaneous corrosion

Korelacijski odnosi subkutane korozije i klimatskih elemenata definirani su funkcijama:

$$y = 2.7961e^{0.1804} \quad (\text{za padaline}) \quad (10)$$

$$y = 28.896e^{-0.3245} \quad (\text{za temperature zraka}) \quad (11)$$

Kod tableta postavljenih u tlo uočen je antropogeni utjecaj na intenzitet korozije. Tablete postavljene u Ledeničkom, Jasenačkom i Mrkopaljskom polju pokazuju veće vrijednosti subkutane korozije nego na ostalim mjernim točkama, jer su postavljene i u obrađivano tlo.

Međusobna analiza vrijednosti intenziteta korozije pojedinih mjernih mjesta i klimatskih elemenata ukazuje na veći intenzitet korozije na primorskoj padini (Ledenice) u odnosu na kontinentalnu (Ogulin), iako mjerne točke imaju približno jednake količine prosječnih godišnjih padalina. Uzrok ovakvoj pojavi moguće je objasniti prvenstveno višim

temperaturama zraka u primorskom pojasu. Veće vrijednosti korozije, od linije trenda dobivene su na Kleku. Razlog treba tražiti u odnosu interpolirane i stvarne količine padalina na vrhu Kleka (1182 m), odnosno dodatnoj količini vlage vezane za nisku naoblaku koja često prekriva masiv Kleka. Sa druge strane nešto niže vrijednosti korozije od linije trenda zabilježene su u Samarskim stijenama, te većini polja u kršu. Padaline u području Samarskih stijena izračunate su prema privjetrinskom vertikalnom gradijentu (156,3 mm/100 m) za čitav prostor Velike Kapele, a lokacija postavljanja tablete, odnosno mjerna točka nalazila se na zavjetrinskoj, SI padini Samarskih stijena. Manjak količine padalina na zavjetrinskoj padini, u odnosu na privjetrinu bitan je mikroklimatski čimbenik u kojem valja tražiti uzrok slabijeg intenziteta korozije na mjernoj točki Samarskih stijena. U Mrkopaljskom i Jasenačkom polju nema šumske vegetacije, čime je direktno smanjen biogeni proces kao bitan čimbenik intenziteta korozije, odnosno pojačan je negativan utjecaj vjetra na odnošenje kišnih kapi i snijega sa površine postavljenih tableta. Svakako da te pojave imaju direktan utjecaj na izmjereni manji intenzitet korozije, od izračunate linije trenda u poljima u kršu. Zanimljivo da je na lokalitetima vezanim za polja u kršu kod mjerenja sa većim brojem tableta uočeno znatno rasipanje rezultata, čak i preko 35 %.

## ZAKLJUČAK

Analiza intenziteta korozije vapnenca u području gorske skupine Velike Kapele i klimatskih elemenata (padalina i temperature zraka) pokazala je čvrstu korelacijsku vezu eksponencijalnog tipa. Porastom nadmorske visine raste i godišnja količina padalina, odnosno intenzitet površinske korozije. Zbog privjetrinske i zavjetrinske fasade, s obzirom na smjer kretanja glavnih ciklonalnih putanja (iz pravca sjeverozapada), porast padalina većeg



je intenziteta na primorskoj nego na kontinentalnoj padini velike Kapele. Ta se nejednakost proporcionalno odnosi i na različiti intenzitet korozije u jednakim hipsometrijskim katovima spomenutih fasada Velike Kapele.

Utvrđene anomalije intenziteta površinske korozije posljedica su mikroklimatskih osobina na pojedinim mjernim točkama. Prvenstveno se to odnosi na ekspoziciju mjerne točke, reljefnim oblicima, tipu vegetacije i sl. Intenzitet korozije i temperatura zraka pokazuju negativan korelacijski trend, jer s porastom nadmorske visine intenzitet korozije raste, a temperatura zraka pada. Spomenuti odnosi klimatskih elemenata s nadmorskom visinom, odnosno intenzitetom korozije upućuju na činjenicu primarne zavisnosti korozije s količinom padalina, te sekundarno s temperaturom zraka, odnosno i s temperaturom vode i tla.

Istraživanje površinske korozije vapnenca u području Dinarida pokazalo je značajan pad intenziteta pojave u hipsometrijskom pojasu od 900 do 1100 metara. Kako na tim nadmorskim visinama prestaje šumski vegetacijski pojas može se reći da je pad korozije uvjetovan smanjenjem produkcije  $\text{CO}_2$  biokemijskim

procesima, odnosno padom temperature kao značajnim mikroklimatskim čimbenikom u višim hipsometrijskim razredima. Kako u području Velike Kapele šumski vegetacijski pojas, pretežito zajednice bukovih šuma (ass. *Fagetum croaticum*), prekriva i najviše dijelove gorskih masiva i hrptova nije uočen pad intenziteta korozije niti na najvišoj mjernoj točki Bjelolasci (1500 m). Može se reći da iako voda nižih temperatura (npr. snježnica) ima veću moć apsorbiranja  $\text{CO}_2$ , a time i veću agresivnost na vapnenca, pad intenziteta korozije iznad granice šume vezan je prvenstveno za nedostatak veće količine biomase i viših temperatura koje pospješuju njeno raspadanje i produkciju  $\text{CO}_2$ .

Usporedna analiza intenziteta korozije gole površine i subkutane korozije jasno je, preko koeficijenata korelacije, ukazala na veći broj čimbenika koji utječu na intenzitet subkutane korozije. Manji koeficijenti korelacije subkutane korozije i nadmorske visine ukazuju na manju povezanost klimatskih čimbenika u objašnjavanju procesa, odnosno povećavaju udio ostalih čimbenika u ukupnom intenzitetu pojave.

## LITERATURA

- Bognar, A. (1987): Tipovi reljefa Hrvatske, Zbornik II. znanstvenog skupa geomorfologa SFRJ, Geografski odjel PMF-a, Zagreb, 21 - 44.
- Bognar, A. (1995): Fizičko - geografske pretpostavke regionalnog razvoja Hrvatske, Zbornik radova I hrvatskog geografskog kongresa, HGD, Zagreb, 51-65.
- Corbel, J. (1957): Les Karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques regions de comparaisons, Memoires et documents 12, Lyon, 514 pp.
- Douglas, I. (1968): Some hydrologic factors in the denudation of limestone terrains, Z. Geomorph. 12, Berlin - Stuttgart 241-255.
- Ford, D. & Williams, P. (1992): Karst geomorphology and hydrology, Chapman & Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 586 pp.
- Franco, C., Forti, F., Ulcigrai, F. (1994): Valori di abbassamento per dissoluzione di superfici carsiche, Acta Carsologica 23, Ljubljana, 56-62.
- Gams, I. (1967): Faktorji in dinamika korozije na karbonatnim kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa, Geografski vestnik 38, Ljubljana, 11-63.
- Gams, I. (1981): Chemical erosion of carbonates in Yugoslavia, Geographica Iugoslavica III, Ljubljana, 45-57.
- Gams, I. (1985): Mednarodne primjejalne meritve površinske korozije s pomočju standardnih vapneniških tablet, Zbornik I. Rakovca, Ljubljana, 361-386.
- Gams, I. (1987): Za kompleksno mjerenje krške denudacije, Zbornik II znanstvenog skupa geomorfologa SFRJ, Gospić, Zagreb, 45-54.
- Gavrilović, D. (1986): Uticaj klime na intenzitet kraškog procesa u Srbiji i Crnoj Gori, Naš krš XII, 21, Sarajevo, 9-15.
- Kunaver, J. (1978): Intenzivnost zakreševanja in njegovi učinki v zahodnih Julijskih Alpah - Kaninsko pogorje, Geografski vestnik L, Ljubljana, 33-50.
- Lang, S. (1977): Relationship between worldwide karst denudation (corrosion) and precipitation. Proc. 7th. Int. Speleological Congress, Sheffield, England, 282-293.
- Lehmann, H., Krommelbein, K. and Lotschert, W. (1956): Karstmorphologische, geologische und botanische Studien in der Sierra de los Organos auf Cuba. Erdkunde 8, 112-122.
- Pahernik, M. (1997): Recentni krški procesi i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa gorske skupine Velike Kapele, Magistarski rad PMF, Zagreb, 164 pp.
- Pulina, M. (1974): Denudacija chemiczna na obszarach krasu weglanonego. Prace geograficzne, No. 105, PAN - Institut geografii, Wroclaw, 159 pp.
- Sweeting, M. M. (1973): Present Problems in Karst Geomorphology, Z. Geomorph. N. F. 26, Berlin - Stuttgart, 1-5.

## SUMMARY

## CLIMATE AND RELIEF INFLUENCE ON THE CARBONATE SURFACE CORROSION INTENSITY IN THE VELIKA KAPELA MOUNTAIN GROUP

by MLADEN PAHERNIK

The research of surface karst denudation in the area of Velika Kapela mountain group was performed using the method of standard limestone tablets and by correlation of obtained parameters with climatic elements. This method gives results of pure limestone corrosion (limestone  $\text{CaCO}_3$  portion is 97,9-98,7%). It also excludes corrosion intensity differences caused by different limestone lithological properties and morphostructural properties of research area.

Using the analysis of average annual precipitation (1981.-1991.) from nine meteorological stations, the uneven growth of amount of precipitation on windward and leeward was noted. By correlation of altitude and annual precipitation windward (156.3 mm/100m) and leeward (94.6 mm/100 m) stations vertical gradients were calculated. The area between Bijele and Samarske stijene and Bjelolasica mountain is of the highest amount of annual precipitation (over 3000 mm/year). By correlation analysis of air temperature and altitude the vertical temperature gradient ( $-0.72^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ) was also calculated. At the altitudes over 1000 m average air temperatures decreases below  $5^\circ\text{C}$  and in the highest parts of mountainous massifs and ridges (over 1300 m high) is  $3^\circ\text{C}$ .

The obtained absolute values of bare surface corrosion intensity, which amounts from the lowest  $1.81\text{ mm}/10^{-3}\text{ years}$  near Ogulin and  $2.79\text{ mm}/10^{-3}\text{ years}$  near Ledenice, up to  $6.74\text{ mm}/10^{-3}\text{ years}$  on Bjelolasica mountain, points at strong positive connection with altitude. The difference of altitude correlation coefficients, bare surface ( $r = 0.86$ ) and subcutaneous

( $r = 0.53$ ) coefficients clearly points out that larger number of factors have influence on subcutaneous corrosion process (which has 35-40% higher intensity than the bare surface corrosion). The relative lower difference between the bare surface corrosion and subcutaneous corrosion noted at highest altitudes was ascribed to mountainous vegetational belt with less developed pedological horizon and influence of lower temperatures (e. g. frozen soil).

By analysis of corrosion intensity data (measured at 11 localities) and amount of precipitation, the positive exponential correlation connection between corrosion intensity and precipitation and also negative connection between air temperature and corrosion was noted. Although the measurements in the area of Dinarides showed significant decrease of corrosion intensity at higher hipsometric levels (connected with the upper vegetational border), in the research area this was not noted. It confirms connection of negative temperature effect above upper border of forest belt (which is in the area of Velika Kapela almost absent), so there is no decrease of corrosion intensity even at altitudes above 1400 m (Bjelolasica locality). Some diversities in bare surface corrosion intensity in the same hipsometric levels can be explained by microclimatic conditions (slope exposition, type of vegetation etc.). Further research should be directed to the measurements of corrosion intensity in various vegetational communities, soil types and analysis of other relevant karstification factors (lithology, tectonics, morphometrical properties etc.).