Istraživanje denudacije Dinarskog krša metodama standardnih vapnenečkih pločica i mikro-erozijskim metrom

Pfeifer, Amalija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:398981

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Istraživanja denudacije Dinarskog krša metodama standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijskim metrom

DIPLOMSKI RAD

Amalija Pfeifer

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Agroekologija - agroekologija

Istraživanja denudacije Dinarskog krša metodama standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijskim metrom

DIPLOMSKI RAD

Amalija Pfeifer

Mentor:

doc. dr. sc. Kristina Krklec

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Amalija Pfeifer**, JMBAG 0313013068, rođena dana 18.09.1993. u Murskoj Soboti,

izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

Istraživanja denudacije Dinarskog krša
metodama standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijskim metrom

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Amalije Pfeifer**, JMBAG 0313013068, naslova

Istraživanja denudacije Dinarskog krša metodama standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijskim metrom

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:		potpisi:
1. Doc. dr. sc. Kristina Krklec	mentor	_____
2. Izv. prof. dr. sc. Aleksandra Bensa	član	_____
3. Doc. dr. sc. Aleksandra Perčin	član	_____

ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj obitelji na danoj podršci tijekom mojeg obrazovanja.
Također zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Kristini Krklec na strpljenju i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

SADRŽAJ

1. Uvod 1

1.1 Cilj rada 3

2. Materijali i metode 4

3. Metode mjerenja intenziteta denudacije 5

3.1 Metoda standardnih vapnenačkih pločica 5

3.2 Mikro-erozijski metar 11

4. Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom različitih metoda .. 14

4.1 Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom standardnih vapnenačkih pločica 14

4.2 Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom mikro-erozijskog metra 21

5. Zaključak 23

6. Literatura 24

7. Životopis 27

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Amalije Pfeifer**, naslova

ISTRAŽIVANJA DENUDACIJE DINARSKOG KRŠA METODAMA STANDARDNIH VAPNENAČKIH PLOČICA I MIKRO-EROZIJSKIM METROM

Denudacija je proces snižavanja površine Zemlje, a koji uključuje procese trošenja i erozije. Glavni čimbenici koji utječu na intenzitet denudacije su klima i litologija. Na području Dinarida, prvenstveno izgrađenih od karbonatnih stijena, denudacija ne samo da mijenja debljinu karbonatnih stijena, već se mijenjaju hidraulika i kemijski uvjeti koji utječu na trošenje stijena i oblikovanje reljefa. Postoji nekoliko grupa metoda mjerenja denudacije površine, no na području Dinarida uglavnom se koriste metode mjerenja gubitka mase vapnenačkih pločica izloženih otapanju u različitim okolišima, te direktna mjerenja na izloženim površinama s mikro-erozijskim metrom. Cilj ovog rada bio je proučiti objavljena znanstvena istraživanja vezana za denudaciju Dinarskog krša, te dati pregled najvažnijih metoda i njihovih rezultata. Na intenzitet denudacije utječe više različitih čimbenika. Klima utječe na intenzitet denudacije tako što u humidnoj suptropskoj i gorskoj umjerenoj klimi dolazi do najvećeg trošenja, dok se u aridnoj i semiaridnoj klimi na površini pločice talože karbonatne soli i time se masa pločica povećava. Intenzitet korozije u različitim vrstama tla ovisi o različitom sastavu, strukturi, vlažnošću tla i količini CO_2. Rezultati mjerenja su međusobno različiti zbog specifičnosti svakog mjesta.

Ključne riječi: denudacija, vapnenačke pločice, mikro-erozijski metar.

Summary

Of the master's thesis – student **Amalija Pfeifer,** entitled

RESEARCH OF DINARIC KARST DENUDATION USING STANDARD LIMESTONE TABLET METHOD AND MICRO-EROSION METER

Denudation is a process of Earth's surface lowering, which includes the processes of weathering and erosion. The main factors influencing the intensity of denudation are climate and lithology. In the area of the Dinarides, primarily built of carbonate rocks, denudation not only changes the thickness of carbonate rocks, but also changes the hydraulics and chemical conditions that affect rock weathering and relief formation. There are several groups of methods used for measuring of surface denudation, but in research on Dinaric area measuring the loss of mass of limestone tablets exposed to weathering in different environments, and direct measurements on exposed surfaces with a micro-erosion meter are mainly used. The aim of this thesis was to review published scientific papers related to the denudation of the Dinaric karst, and to provide an overview of the most important methods and their results. The intensity of denudation is affected by several different factors. Climate affects the intensity of denudation so that in humid subtropical and mountain temperate climates the greatest wear occurs, while in arid and semiarid climates carbonate salts are deposited on the surface of the tablet and thus the mass of the tablets increases. The intensity of corrosion in different soil types depends on different composition, structure, soil moisture and amount of CO_2. The measurement results are different due to the specifics of each place.

Keywords: denudation, limestone tablets, micro-erosion meter.

1. Uvod

Denudacija je proces snižavanja površine Zemlje uslijed trošenja stijena, te odnošenja materijala (erozije) iz viših u niže predjele (Gaillardet, 2004.). Trošenje stijena obuhvaća promjene koje se događaju stijenama i mineralima kada su u dodiru s atmosferom, hidrosferom i biosferom. To su procesi koji se događaju zbog erozije, djelovanja atmosferilija, vode, leda, promjena klime i temperature, insolacije i djelovanja živih organizama. Postoji fizikalno (mehaničko), kemijsko, biološko te antropogeno trošenje. Načini trošenja najčešće su međusobno povezani, često dolaze zajedno te ovise o fizikalnim, kemijskim, klimatskim, mineraloško-petrološkim i geološkim uvjetima (Bogunović, 2008.).

Fizikalno trošenje stijena obuhvaća procese kojima se stijena razara i usitnjava i to bez tvorbe novih minerala (bez autigenih minerala). Kemijsko trošenje je proces koji se odvija djelovanjem ugljične kiseline i vode te pod djelovanjem kisika. Za kemijsko trošenje potrebna je povoljna temperatura i oborine (toplina i vlaga). Kod kemijskog trošenja mijenja se mineralni sastav stijena i nastaju novi minerali (autigeni minerali). Hidroliza je proces trošenja silikatnih i karbonatnih minerala. Oksidacijom se mijenja primarna boja, poroznost, volumen i mineralni sastav stijena te nastaju autigeni minerali (Bogunović, 2008.). Biološko trošenje su procesi koji otapaju stijene aktivnošću bakterija i huminskim kiselinama koje nastaju od raspadanja organske tvari te fizikalno trošenje stijena koje je nastalo rastom korijenja drveća. Bioerozija je vrsta biološkog trošenja u kojemu endolitne alge i bakterije buše podlogu (najviše u karbonatnim stijenama) (Bogunović, 2008.).

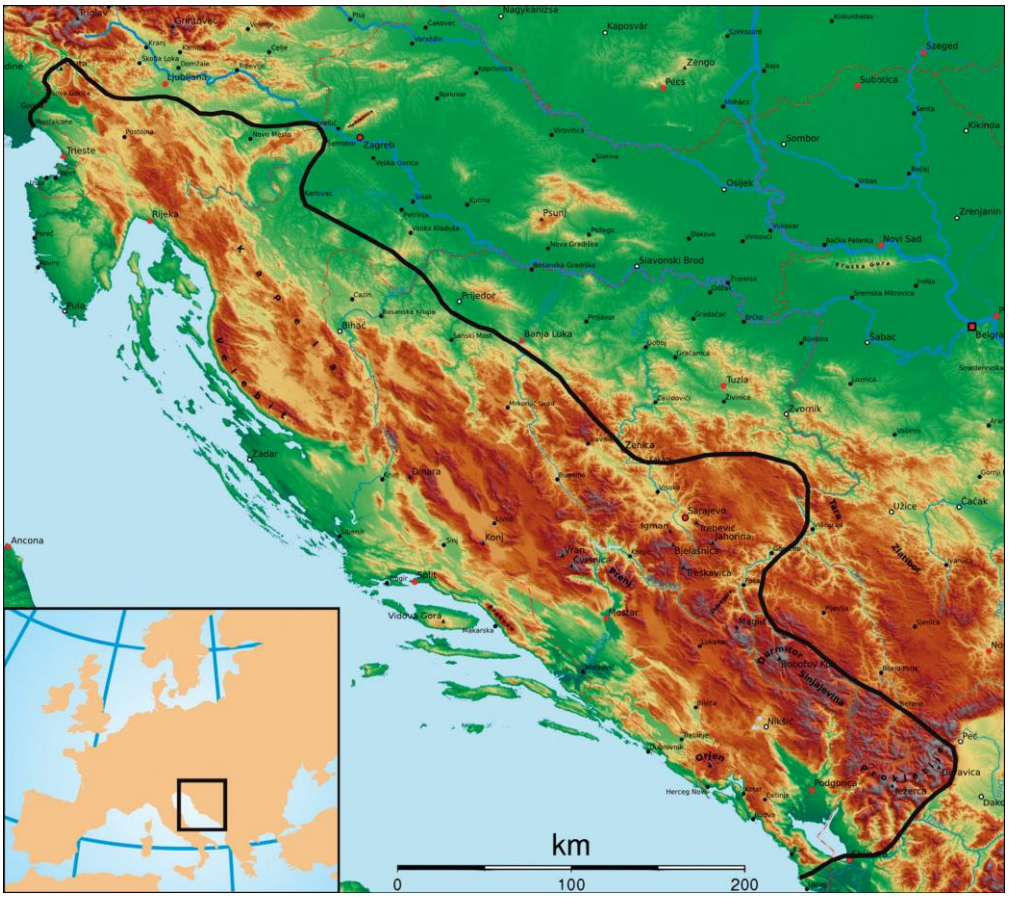
Erozija je proces odnošenja rastresitog materijala nastalog trošenjem stijena pomoću vode, vjetra ili leda. Erozija ovisi o nagibu terena, kompaktnosti sedimenta i biljnom pokrivaču, ali i o agensima erozije. Riječna erozija stoga ovisi o količini vode, nagibu terena i količini prenošenog materijala. Kod veće brzine protjecanja rijeka prenosi više krupnog materijala koji se, kad snažno udara o stijene, usitnjava te na kraju nastaje sitnozrnati materijal. Abrazijska djelatnost valova je veća što je veća brzina i snaga valova te količina prenošenog materijala (veća veličina materijala, manja čvrstoća stijena, manja tvrdoća mineralnih sastojaka stijena). Ledenjačka (glacijalna) erozija je proces kojim ledenjak razara podlogu kretanjem niz padinu te urezuje brazgotine u stijenu. Vjetar također može razarati stijene kada prenosi velike količine pijeska i praha koji se sudara sa stijenama (Bogunović, 2008.).

Svi ovi procesi (trošenje i erozija) u konačnici vode do snižavanja, odnosno denudacije Zemljine površine, te ih je moguće mjeriti. Postoji nekoliko metoda kojima se mjeri intenzitet denudacije, a to su: procjene otapanja na temelju hidrokemijskih opažanja, mjerenje gubitka mase vapnenačkih pločica koje su izložene otapanju u različitim okolišnim uvjetima, izravna mjerenja na izloženim površinama s mikro-erozijskim metrom, dugoročne metode koje su temeljene na geomorfološkim opažanjima pojave poput alogenih „postolja“ i kvarcnih žila te metoda temeljena na kozmogenim nuklidima (Gabrovšek, 2008.).

Oblikovanje reljefa na područjima izgrađenim od karbonatnih stijena dominantno je uvjetovano kemijskim trošenjem (otapanjem) stijena. Otapanje se odvija na, ali i ispod

površine, a produkti kemijskog trošenja (ioni) transportirani su vodom, bez zadržavanja na trošenoj površini. Stoga denudacija ne samo da mijenja debljinu karbonatnih stijena, već se mijenjaju hidraulika i kemijski uvjeti koji utječu na trošenje stijena i oblikovanje reljefa (Perica i sur., 2019.).

Dinarsko gorje je primjer krškog gorja i čini najveće kontinuirano krško područje u Europi koje se proteže oko 60 000 km^2. Dinarsko gorje smješteno je između Panonskog bazena (na sjeveroistoku) i Jadranskog mora (na jugozapadu) te na sjeveru graniči s Alpama, rijekom Sočom, Idrijcom i Dolenjskim poljem, a s unutarnje strane s rijekom Savom te prati dio toka rijeke Kolubare i Morave (slika 1) (Mihevc i sur., 2010.).



Slika 1. *Područje Dinarida. Crna linija označava granicu područja*

Izvor: Zupan Hajna, N. (2019).

Proteže se između 42°–46° N i 14°–21° E, a čine ga različiti prirodni pojasevi, čija je zajednička karakteristika pravac pružanja sjeverozapad – jugoistok, odnosno ili Dinarski pravac pružanja. U središnjem dijelu Dinarskog gorja nalaze se najveći vrhovi, a to su: Snežnik (1796 m), Risnjak (1528 m), Velika i Mala Kapela, Plješivica (1657 m), Velebit (1758 m), Dinara (1913 m), Vitorog (1907 m), Vran, Čvrsnica (2228 m), Prenj (2155 m), Bjelašnica (2067 m), Jahorina, Lelija, Maglić, Durmitor (2522 m), Tara, Njegoš (1721 m), Orjen (1895 m) i Lovćen (1744 m) (Mihevc i sur., 2010.).

Područje grade uglavnom karbonatne sedimentne stijene taložene od kraja paleozoika do paleocena na području Jadranske karbonatne platforme (Vlahović i sur., 2002.). Tijekom mezozoika radilo se o izrazito dinamičnom području, a konačni raspad karbonatne platforme dogodio se krajem krede i paleogena, te je došlo do izdizanja Dinarida (Zupan Hajna, 2019.).

Krš nastaje na područjima građenim od topljivih stijena – to su najčešće vapnenci – kalcijev karbonat ($CaCO_3$) ili dolomit –kalcijsko - magnezijev karbonat ($CaCO_3$ x $MgCO_3$). Dolomitski krš je krš na stijenama u kojima se nalazi više od 50% magnezijevog karbonata. Krški reljef poznat je po topljivosti stijena te zbog toga nastaju mnoge kamenite udubine i uzvisine. Od vapnenca su građene mnoge planine i otoci koji su mezozojske starosti. Na kršu nastaju udubine koje mogu biti nadzemne (ponikve, škrape, kamenice, udoline, uvale, polja) te podzemne (špilje, jame i dr.) (Papac, 2014.).

Također, Dinarski krš prepoznaje se po hidrologiji zbog brojnih rijeka koje imaju brojne vodopade te rijeka ponornica koje teku kroz krški sustav ispod površine tla. Jedne od najpoznatijih ponornica su: Trebišnjica (oko 100 km), Reka (Notranjska) (44 km), Trebižat, Jaruga, Lika (76 km), Gacka (48 km), Vrlika, Krbava, Ombla, Pazinčica (Papac, 2014.).

1.1 Cilj rada

Cilj ovog rada je proučiti znanstvene radove o istraživanju denudacije Dinarskog krša gdje su korištene metode mjerenja gubitka mase vapnenačkih pločica koje su izložene otapanju u različitim okolišnim uvjetima i izravna mjerenja na izloženim površinama s mikro-erozijskim metrom. Proučavanjem znanstvenih radova izdvojit će se razlike u metodologiji različitih istraživanja i dati pregled najvažnijih rezultata.

2. Materijali i metode

Za potrebe izrade ovog rada izvršena je analiza postojeće literature, a što je uključivalo dostupne knjige, znanstvene članke, stručna izvješća, te informacije dostupne na webu. Korišteni znanstveni radovi tematski su vezani uz denudaciju Dinarskog krša gdje su korištene metode standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijski metar.

Također se koriste znanstveni radovi vezani uz denudaciju reljefa diljem svijeta u kojima su korištene ove dvije metode – standardne vapnenačke pločice i mikro-erozijski metar.

3. Metode mjerenja intenziteta denudacije

Postoji nekoliko metoda kojima se mjeri intenzitet denudacije, a to su: procjene otapanja na temelju hidrokemijskih opažanja, mjerenje gubitka mase vapnenačkih pločica koje su izložene otapanju u različitim okolišnim uvjetima, izravna mjerenja na izloženim površinama s mikro-erozijskim metrom, dugoročne metode koje su temeljene na geomorfološkim opažanjima pojave poput alogenih „postolja“ i kvarcnih žila te metoda temeljena na kozmogenim nuklidima (Gabrovšek, 2008.).

U nastavku bit će opisane dvije metode mjerenja denudacije: metoda vapnenačkih pločica i mjerenja upotrebom mikro-erozijskog metra.

3.1 Metoda standardnih vapnenačkih pločica

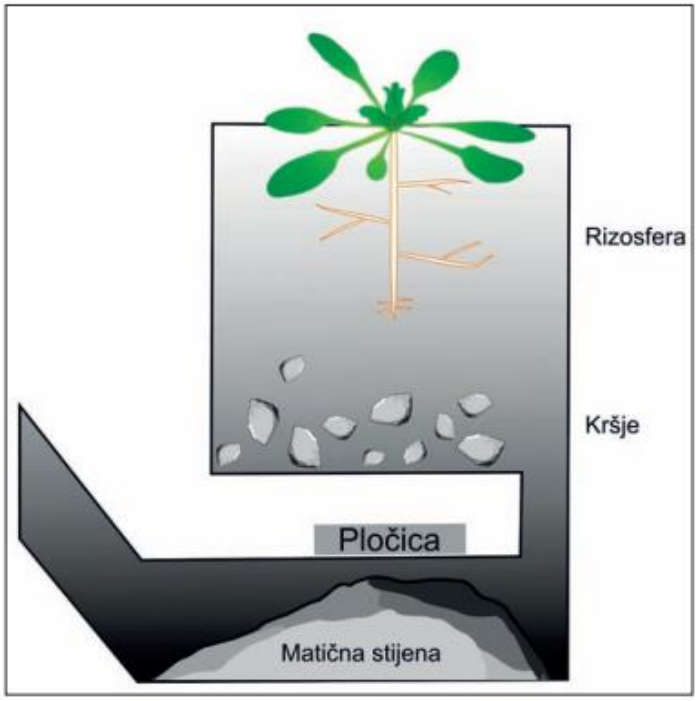
Metoda standardnih vapnenačkih pločica je metoda za egzaktno mjerenje korozije. Koristi se za mjerenje korozije iznad površine, na površini, u tlu i u speleološkim objektima (slika 2), a zbog jednostavnosti i preciznosti jedna je od općeprihvaćenih metoda za mjerenje intenziteta korozije karbonata, te stope denudacije karbonatnih područja (Buzjak i sur., 2013.).

Standardne vapnenačke pločice precizno se izmjere, osuše u laboratorijskim uvjetima, izvažu te izlažu na kiši i kondenzatu na zraku ili vodama u tlu. Nakon određenog vremenskog perioda (preporučljivo je pločice izlagati uvjetima u okolišu barem jednu godinu) prikupljene pločice se ponovno suše, važu te se uz pomoć dobivenih rezultata izračunava intenzitet denudacije. Intenzitet denudacije dobiva se iz gubitka mase podijeljenog s umnoškom gustoće vapnenca i površine pločice. Kod mjerenja intenziteta denudacije najčešće se koristi jedinica µm/god, a može se čitati i kao $m^3/km^2/god$ (Krklec, 2011.).

Mjerenje intenziteta denudacije pomoću standardnih vapnenačkih pločica ima nekoliko prednosti i nedostataka. Prednosti mjerenja pomoću standardnih vapnenačkih pločica su što je ova metoda jednostavne primjene, preciznost (do +/- 0,00005), točnost (+/- 0,0002 prosjek, maksimalna greška +/- 0,0004) i mogućnost uspoređivanja dobivenih rezultata s dobivenim rezultatima iz svijeta. Intenzitet korozije na određenom području nije moguće točno izračunati zbog litoloških razlika između matičnih karbonatnih naslaga i sastava pločica te je to nedostatak ovog mjerenja (Buzjak i sur., 2013.).

Chevalier (1953.) je prvi put mjerio intenzitet korozije pomoću metode vapnenačkih pločica u speleološkom objektu. Godine 1959. mjerenje obavlja Ivan Gams. Newson (1970.) i Trudgill (1972.) su nadopunili metodu pa se metoda do 1977. godine upotrebljavala u raznim varijantama. Godine 1977. na 7. međunarodnom speleološkom kongresu u Sheffieldu (u Velikoj Britaniji) Komisija za kršku denudaciju odredila je standardni izgled, sastav i postupak kako upotrijebiti pločicu. Samo izlaganje pločica trebalo bi trajati barem godinu dana. Tada se

izračunavaju razni parametri intenziteta korozije na temelju razlika u masi prije i nakon izlaganja (Buzjak i sur., 2013.).



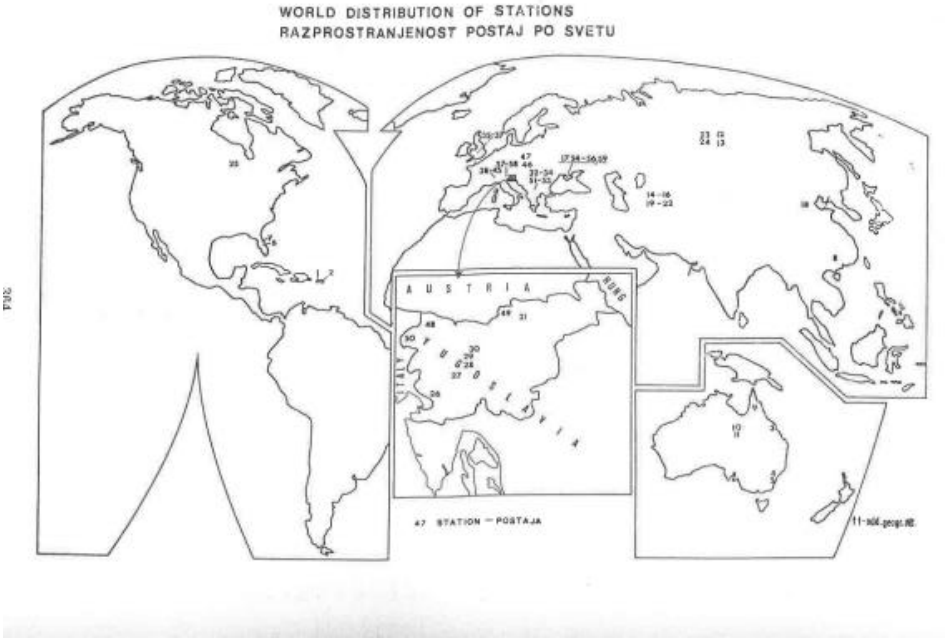
Slika 2. *Prikaz postavljanja pločica u tlo*

Izvor: Buzjak N., Petković A., Faivre S. (2013).

Shaw (1960., prema Buzjak i sur., 2013.) je pokusima u laboratoriju i na terenu potvrdio da korozija ovisi o temperaturi tla. Kod nižih temperatura i u skeletnim tlima (čestice veće od 2 mm) otapanje je slabije dok u vlažnim tlima dolazi do bržeg otapanja karbonata. Postoji razlika kod otapanja vapnenca i dolomitičnog vapnenca ovisno o trajanju pokusa i veličini zrna. Vapnenac se brže otapa od dolomitičnog vapnenca. Dolomitični vapnenac otapa se brzinom koja je proporcionalna vremenu otapanja i obrnuto proporcionalna veličini zrna. Tla s krupnijim česticama (>2 mm) sastoje se od stabilnih mikroagregata i imaju veću makroporoznost, a time i propusnost. Tla sastavljena od sitnijih agregata sadrže više gline i mogu zadržavati više vode. Za kemijska trošenja minerala u tlu bitan je sadržaj CO_2 u tlu te sadržaj CO_2 u atmosferi. Oni su međusobno povezani – kada sadržaj CO_2 u atmosferi raste, raste i sadržaj CO_2 u tlu pa se povećava produkcija ugljične kiseline koja je bitna za koroziju (Buzjak i sur., 2013.).

Komisija za kršku denudaciju na Međunarodnom speleološkom kongresu 1977. organizirala je istraživanje denudacije predvođeno slovenskim istraživačem Ivanom Gamsom, a koje je trajalo 1-4 godine (Gams, 1985.). Pločice su bile izložene na oko 60 mjesta po cijelome svijetu. Na kršku denudaciju su utjecali: otjecanje vode, uvjeti u tlu, temperatura, CO_2, kiseline, mikroorganizmi, sastav stijena i dr. Kako bi sve pločice bile jednake odlučili su se za vapnenac iz kamenoloma kod Lipice, dok je Filozofski fakultet u Ljubljani u svojem laboratoriju izradio pločice koje su bile 2-3 mm debljine, 41 mm promjera i težine od 9-12 g. Te su se pločice jetkale i poslale po cijelome svijetu. Pločice su se stavljale u tri različita položaja: 1,5 m iznad

tla, pločice na tlu koje su ležale na stijeni ili pokošenoj travi te pločice u tlu ispod A horizonta. Više od polovice tih poslanih pločica bilo je izgubljeno, ukradeno i polomljeno (Gams, 1985.).



Slika 3. *Prikaz mjernih postaja u svijetu*

Izvor: Gams I. (1985).

Pločice su bile poslane u Australiju, Sovjetski savez, Francusku, Čehoslovačku Socijalističku Republiku, Englesku, SAD, Italiju, Kinu i Jugoslaviju (prikazano na slici 3). Nakon godinu dana pločice su bile ponovno izvagane u laboratoriju (Gams, 1985.).

Tablica 1. *Prikaz korozije po klimatskim zonama (u mg.10^{-3}/cm^2/dan)*

		Pločice		
Klima	**Padaline**	**U zraku**	**Na tlu**	**U tlu**
Tropska humidna	(3,61)	(3,14)	(1,79)	(5,77)
Suptropska humidna do semihumidna	3,33	3,33	3,48	10,38
Suptropska aridna do semiaridna	(1,49)	(1,33)	(1,69)	(6,45)
Umjereno topla humidna	4,15	10,33	2,18	8,19
Umjereno topla gorska	3,82	3,24	2,9	10,86

Umjereno topla semiaridna do semihumidna	1,59	2,01	1,77	1,85
Submediteranska	3,06	5,66	1,43	2,17

Izvor: Gams I. (1985).

U Tablici 1. prikazana je korozija po klimatskim zonama. Pločice su najviše izgubile na težini u humidnoj suptropskoj i gorskoj, umjereno toploj klimi. Tamo ima obilnih orografskih padalina. U aridnoj zoni klima najviše utječe na trošenje pločica koje su u zraku ili na tlu, dok u humidnoj zoni utječe na one u tlu. Pločice u zraku najviše su izgubile na težini u Postojnoj, Ljubljani i kod Slovenj Gradeca zbog toga jer se nalaze u kotlini i imaju veliku temperaturnu inverziju, onečišćeni zrak, veliku dnevnu temperaturnu amplitudu i čestu maglu po noći (Gams, 1985.).

Pločice koje su bile u gustoj crnogoričnoj šumi (šuma Dobrova) izgubile su 2,91 $mg10^{-3}/cm^2/dan$ na težini dok su na otvorenom polju pločice izgubile 16,25 $mg10^{-3}/cm^2/dan$. Dvije pločice koje su bile izložene godinu dana na otvorenome u prirodi izgubile su prosječno 267 $mg10^{-3}/cm^2/dan$ (od 3.6.1978. – 17.6.1979.), dok su tri pločice izložene oko deset mjeseci (od 27.8.1978. – 17.6. 1979.) izgubile 67 $mg10^{-3}/cm^2/dan$ tj. četiri puta manje. Dvije pločice na otvorenome prostoru su izgubile puno više na težini jer su bile izložene dulje vrijeme jakome ljetnome suncu (Gams, 1985.).

U suptropskoj humidnoj i semihumidnoj klimi pločice koje su na tlu dosta se troše jer na njih djeluje sunce i padaline, ali se još više troše u tropskoj i suptropskoj klimi. Pločice u zraku i pločice na tlu u submediteranskoj klimi imaju najveću razliku u trošenju. U aridnoj i semiaridnoj klimi dolazi do nakupljanja kalcijevog praha kojeg je ostavila voda na donjoj strani pločice. U humidnoj suptropskoj i umjerenoj klimi je najveće trošenje pločica koje se nalaze u tlu dok je malo trošenje u submediteranskoj klimi gdje su zime vlažne, a ljeta sušna. U aridnoj klimi pločice su teže zbog nakupljanja kalcijevog karbonata (Gams, 1985.).

U planinama gdje su smrznuta tla i gdje su zbog mraza slabi biološki procesi, te gdje ima najviše padalina (Kanin – 8,38 mm/dan), gdje temperatura ide ispod 0° C od sredine listopada do početka svibnja (Kredarica) pločice koje se nalaze u tlu najmanje su izgubile na težini. Na golim stjenovitim područjima prisutna je mala površinska korozija zbog niske tvrdoće površinske vode. Kod Planine na niskom kršu zabilježena je duplo veća korozija od korozije u Julijskim Alpama na 2000 m (Gams, 1985.).

A Droppa i J. Delannoy (1981. – 1983.) mjerili su koroziju posebno u vrućem (A. Droppa) i hladnom (J. Delannoy – zima i proljeće) dijelu godine. Korozija u hladnoj polovici godine u dolini Demänovke (Čehoslovačka Socijalistička Republika) bila je manja od one u toplom dijelu godine i to u svim položajima pločica. Rijeka Demänovka je vrlo agresivna jer izvire iz silikatnog sliva. J. Delannoy je izmjerio u Demänovskoj dolini veću koroziju zimi i u proljeće.

Prvu godinu korozija bi zbog glatke površine pločica morala biti najmanja iako to nije posve točno jer drugu i treću godinu korozija se nije mnogo povećala (Gams, 1985.).

U aridnoj klimi je manja korozija od one u humidnoj klimi, a to se vidi po očuvanosti karbonatnih kulturnih spomenika (npr. Egipat i Engleska). J. Kunaver mjerio je koroziju na Kaninu na kamenitome tlu te je izmjerio prosječno trošenje 4,56 $mg10^{-3}/cm^2$/dan što odgovara snižavanju oko 6,14 $mm10^{-3}$. Mjerio je također s mikro-erozijskim metrom i to 7-8 godina te je izmjerio da se u prosjeku godišnje troši oko 18,9 $mm10^{-3}$ što iznosi tri puta više. Izmjerio je više zbog toga jer se mjerenjem s pločicama donja strana pločice koja je na stijeni zaštiti te na nju ne djeluje korozija kako bi morala (Gams, 1985.).

Trošenje pločica također se može pretvoriti iz $mg10^{-3}/cm^2$/dan u smanjenje volumena površine u $mm10^{-3}$ godišnje (odnosno m^3 $CaCO_3/km^2$ godišnje). Na slici je prikazana formula pretvaranja. Z označava snižavanje površine (u mm 10^{-3} godišnje), V označava koroziju (u m^3/km^2/godišnje) (Gams, 1985.).

$$\text{Z oz. V} = \frac{\text{mg} \cdot 10^{-3}/\text{cm}^2/\text{dan} \times 365}{2{,}71 \times 100}$$

Slika 4. *Formula za računanje karbonatne erozije*

Izvor: Gams I. (1985).

J. Delannoy (1982.) je u Vercorsu dobio srednje vrijednosti korozije za pločice u zraku 4,7 mm 10^{-3} (to je 2,7 – 3,9% cjelokupne denudacije krša), pločice na tlu 3,2 mm 10^{-3} (1,9 – 2,7%), pločice na stijeni ispod mahovine 11,1 mm 10^{-3} (6,5 – 9,2%), pločice u šumi u tlu 30,8 mm 10^{-3} (18,1- 25,6%) te cjelokupna denudacija krša je 120 – 170 m^3/km^2/god. J. Delannoy mjerio je trošenje pločica u vodi u špilji u Vercorsu. Mjerio je 340 dana u Goufre Bergeru te je utvrdio trošenje u mg $10^{-3}/cm^2$/dan: -40m bilo je 5,255, -200 m bilo je 4,370, -260 m bilo je 11,885, -700 m bilo je 0,116, -950 m bilo je 2,341. Na mjestu Bury nakon 385 dana izmjereno je: -15 m bilo je 0,283, -60 m bilo je 32,044, -100 m bilo je izmjereno 0,3669 mg $10^{-3}/cm^2$/dan (Gams, 1985.).

U humusnom tlu dolazi do bržeg trošenja pločica. Na Floridi se mjerila trošenost pločica na dva mjesta gdje je jedna pločica bila na glini, a druga na kori drveta (panj). Kod mjerenja je došlo do velike razlike zbog trajanja u poplavljivanju tla. Trošenje pločica na močvarnom tlu bilo je šest puta veće (31,44 mg $10^{-3}/cm^2$/dan) u odnosu na tla koja nisu bila poplavljena. Mjerenjem se istraživala razlika trošenja pločica između pločica koje su na sjevernoj hladnijoj strani i onih na toplijoj strani. Nije se utvrdila neka velika razlika u trošenju pločica (Gams, 1985.).

S pločicama koje su se nalazile u zraku ili na tlu dobivena su pouzdana mjerenja te se to može odnositi i na karbonatne predmete kao što su npr. kulturni spomenici i sl. Na mjestima koja su u kotlini i gdje ima onečišćenog zraka (pa tako i u Sloveniji) mjerenja pločicama u zraku

su udvostručena. U mjestima koja imaju mnogo padalina odnosno u kojima je velika vlažnost kroz godinu je prisutno brže trošenje površine te nastajanje krških depresija. Zbog aluvijalnog naplavljivanja i karbonatnih vodonepropusnih stijena kod vodonepropusnog krša dolazi do bržeg trošenja površine. Krški oblici najviše su vidljivi na mjestima gdje je prisutno duže naplavljivanje. U aridnoj klimi prisutno je lokalno povećanje pločica u tlu zbog plitkog horizonta gdje se nakupljaju karbonatne soli te tako tamo nema krških depresija. Uporaba pločica smatra se najboljom metodom za istraživanje krške denudacije. Kako bi istraživanje bilo što preciznije dobro je koristiti što više pločica na duži period te u različitim mjestima (mora se paziti da mjesto nije antropogeno promijenjeno) (Gams, 1985.).

Također je teško raditi pokuse s vapnenačkim pločicama na ledu ili snijegu jer će se pločice odlomiti te ih je nakon godinu dana teško naći. Dobra mjesta za izradu pokusa sa vapnenačkim pločicama su na humusnoj ilovači ili na stijeni u špilji. Kada se pločice postavljaju u špilje dobro je staviti više pločica (4-8 pločica) i to na dva mjesta kako bi pokus uspio ako se koja pločica slučajno odlomi (Gams, 1996.).

Zambo i suradnici (Zambo, 1985.-1986.; Zambo i Ford, 1997.; Zambo i sur., 2001.) provode višegodišnja istraživanja supkutane korozije. Istraživanjima potvrđuju da otapanje vapnenca u plitkim tlima pokazuje sezonske razlike. Nakon topljenja snijega i ljeti zabilježeni je prvi maksimum, dok je sekundarni početkom zime. U vršnoj zoni profila potvrđuju se varijacije i sezonalnost. U najdubljem dijelu profila zabilježeni su najstabilniji uvjeti. Istraživane su debljina pedološkog pokrova, nagib padina, klimatski uvjeti, temperatura tla, režim vlaženja, vlažnost tla i produkcija CO_2 u tlu zbog korozijskog kapaciteta tla u ponikvama. U dnu ponikve tlo ima najviši korozijski kapacitet i to zbog konstantno povećane vlažnosti pri dnu ponikve zbog usmjerene infiltracije s padina. Korozija karbonata u tlu ovisi o akumulaciji organskih kiselina i CO_2 koji nastaju zbog disanja korijenja u rizosferi, raspadanja organske tvari i drugih procesa raspadanja koji su povezani s mikroorganizmima. Kada usporedimo koroziju u tlima, intenzitet korozije je veći u tlima s više gline, dok je u rendzinama manji. U rendzinama je količina procjedne vode i otopljenih karbonata u procjednoj vodi puno veća. To je zbog toga jer rendzine na karbonatima u svom sastavu imaju više regolita, a udio $CaCO_3$ je do 50%. Pokusima je dokazano da je intenzitet korozije proporcionalan s udjelom organske tvari u tlu, te da se korozijski kapacitet tla mijenja ovisno o mogućnosti obnove organskih sastojaka. Od 12-16˚C temperature tla odvija se najjača korozija zbog ekološkog optimuma za razvoj i aktivnost mikroorganizama (Buzjak i sur., 2013.).

Plan (2005.) je istraživao utjecaj litologije, hrapavosti površine pločice, morfologiju terena, vegetacijski pokrov te utjecaj nadmorske visine na koroziju. Na 11 lokacija u tlo i 2 lokacije na površini na sjevernoj padini masiva Hochschwab u Austrijskim Alpama postavljeno je 70 vapnenačkih pločica različitog sastava. Zaključio je da intenzitet korozije jako ovisi o litologiji i zbog toga je korozija vapnenačkih pločica bila veća od korozije dolomitnih pločica. Različite vrste vegetacije nemaju znatan utjecaj na koroziju (Plan, 2005.). Time je potvrdio istraživanja Gavrilovića i sur (1989.) o utjecaju hrapavosti površine pločice na intenzitet korozije (Buzjak i sur. 2013.). Pločice hrapave površine imaju veću koroziju od onih s poliranom površinom. Također je potvrdio da je intenzitet korozije obrnuto proporcionalan s porastom nadmorske

visine (smanjenje količine CO_2 u tlu zbog manje bioprodukcije). Na nadmorskoj visini od 660 m izmjereno je 40 am/a, dok je na nadmorskoj visini od 2130 m izmjereno samo 14 am/a. U ponikvama je zbog vlage intenzitet korozije veći nego na ravnim površinama (Plan 2005.).

Nekada su se istraživanja intenziteta korozije pomoću vapnenačkih pločica vršila sa manjim brojem tih vapnenačkih pločica koje su bile različitog litološkog sastava i s pojedinačnim mjerenjem te se na kraju dobiveni rezultati nisu mogli međusobno uspoređivati. Kasnije su se u okviru Međunarodne speleološke unije organizirala višegodišnja istraživanja pomoću standardnih vapnenačkih pločica gdje je cilj bio utvrditi klimatsku varijabilnost površinske korozije. Brojnim istraživanjima saznali smo da intenzitet površinske korozije ovisi o klimi, vegetaciji, vlažnosti te o antropogenim utjecajima. Antropogeni utjecaji koji utječu na intenzitet korozije su način korištenja zemljišta, gnojenje i industrijska zagađenost zraka. Također na intenzitet korozije utječu relativna vlažnost zraka, rosa, mikroklima i ostali lokalni čimbenici koji se kod mjerenja ne mogu predvidjeti ili izbjeći. Kod mjerenja sa većim brojem vapnenačkih pločica na istome mjestu sa istim litološkim, klimatološkim i vegetacijskim uvjetima došlo je do veće razlike kod rezultata i time se može zaključiti da je korozija vapnenca vrlo varijabilan proces. Rezultati se na kraju nisu mogli međusobno uspoređivati, a neki su i kontradiktorni (Gavrilović i sur., 1989.).

Danas antropogeni utjecaj ima veliko djelovanje na intenzitet korozije. Mineralna gnojiva direktno utječu na površinski sloj vapnenca te tako dolazi do površinske i dubinske korozije. Mineralna gnojiva se mogu jako razlikovati po kemijskome sastavu. Kao primjer uzeta su dva mineralna gnojiva: jedan s 52-53 % P_2O_5 i 11% dušika i drugi s 17-19 % P_2O_5, te je napravljen eksperiment (pokus se radio s vodom obogaćenom gnojivom te destiliranom vodom). Na početku, voda s gnojivom je bila agresivnija od destilirane vode te se tijekom prva četiri dana otopilo 42,14% i 55,64% vapnenca u vodi s gnojivom, a u destiliranoj vodi 31,95%. Na kraju pokusa bilo je više otopljenog vapnenca u destiliranoj vodi. Time je dokazano da mineralna gnojiva imaju utjecaj na koroziju i da na tlima koja su gnojena ima više površinske korozije nego na tlima bez gnojenja, ali zato je tamo intenzivnija dubinska korozija (Gavrilović i sur., 1989.).

Od 1993. do 1997. godine obavljena su istraživanja u Japanu koja su objavili Urushibara-Yoshino i drugi te potvrdili da intenzitet korozije ovisi o litološkim karakteristikama terena. Matsukura i Hirose u Japanu također tvrde da intenzitet korozije ovisi o litologiji i obilježju okoliša (Buzjak i sur., 2013.).

3.2 Mikro-erozijski metar

Mikro-erozijski metar koristi se za direktna mjerenja intenziteta denudacije na površini stijene. High i Hanna (1970.) prvi put koriste mikro-erozijski metar koji je izumljen 1960-ih godina (Spate i sur., 1985.). Do danas mikro-erozijski metar je izmijenjen te dorađen nekoliko puta. U površinu stijene pričvršćeni su vijci od nehrđajućeg čelika na kojemu se nalazi mikrometar. Promijenjeni i dorađeni mikro-erozijski metar nalazi se na nožicama koje se nalaze u svakom uglu trokuta, a na tim nožicama nalazi se metalni jednakostranični trokut u osnovi

(Krklec, 2011.). Postoji mikro-erozijski metar (MEM) i mikro-erozijski metar koji se okreće (TMEM).

Kod mjerenja s mikro-erozijskim metrom treba također paziti na preciznost koja ovisi o nekoliko faktora, a to su: utjecaj temperature na mikrometar, vijke i stijenu, erozija stijene pomoću uređaja (ovisi o tvrdoći stijene), nepreciznost kod mjerenja te trošenje instrumenata. Može doći do grešaka koje mogu iznositi i više od 0,02 mm po očitanju, a to su kod mjerenja već velike greške (Krklec, 2011.).



Slika 5. *Mikro-erozijski metar*

Izvor: Stephenson W. J., Finlayson B.L. (2009). Measuring erosion with the micro-erosion meter – Contributions to understanding landform evolution. Earth – Science Reviews 95. 53-62.

Na poluotoku Kaikoura na Južnom otoku na Novom Zelandu dvadeset godina mjerila se brzina erozije pomoću mikro-erozijskog metra. Mjerilo se na glinenoj platformi te je tamo prosječna godišnja stopa trošenja bila 1,48 mm/god i na vapnenačkim platformama gdje je izmjerena prosječna godišnja stopa iznosila 1,10 mm/god (srednja vrijednost za obje platforme iznosi 1,43 mm/god). Intenzitet erozije veći je tijekom ljeta zbog mikromorfoloških karakteristika mjernog mjesta (Stephenson i sur., 1996.).

U jugoistočnoj Australiji koristi se mikro-erozijski metar za mjerenje snižavanja površine vapnenca. Mjerenja su se obavljala na mjestu Cooleman Plain i špilji Yarrangobilly Caves kako bi se kasnije mjerenja uspoređivala s ostalim mjerenjima koja su bila na mjestima slične litologije te klimatskim uvjetima. U mjestu Ginninderri blizu glavnog grada Australije Canberre obavlja se mjerenje pomoću devet vapnenačkih pločica koje su različite litologije tj. prikupljenih iz različitih mjesta i izloženih u istim klimatskim uvjetima. Došlo je do velikih razlika kod mjerenja, a najviše zbog klime, vremenskih uvjeta te pločica koje su bile različite litologije (u Ginninderri). Izmjerena srednja vrijednost trošenja za mjesta Cooleman Plain i Yarrangobilly Caves je 0,013 mm a^{-1}, a za Ginninderru 0,006 mm a^{-1}. Lišajevi i mahovina su uzrokovali probleme kod nekih mjerenja (Smith i sur., 1995.).

U Marengo (Victoria, Australija) mjerila se mikrotopografija površine stijene pomoću TMEM koji je imao digitalni brojač povezan s prijenosnim računalom. Mjerilo se oko jedan

dan (od jutra – 6:00 h do večeri – 22:00 h) u kasno proljeće. Između očitanja zabilježeni su maksimalni pozitivni porasti od 0,226 mm i snižavanje od 0,026 mm. Do najvećih promjena površine (do prirasta) dolazi u rano jutro te kasno popodne zbog širenja i skupljanja lišajeva. Lišajevi se po danu osuše, a kasnije se opet hidratiziraju. Oni tako reagiraju na promjenu temperature i vlažnosti (Gómez-Pujol i sur., 2007.).

4. Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom različitih metoda

4.1 Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom standardnih vapnenačkih pločica

Na području dinarskog krša metoda standardnih vapnenačkih pločica upotrebljava se od njenih začetaka i do danas je najkorištenija metoda za istraživanje denudacije karbonatnih područja.

Mjerenja u Podpeški jami prva su mjerenja karbonatne korozije na području Dinarida i jedna od najstarijih mjerenja u svijetu koristeći metodu vapnenačkih pločica. Godine 1957.-1959. Ivan Gams piše o pokusima koji su se radili u Podpeški jami. Korištene su četiri pločice, od toga su dvije bile vapnenačke i dvije granitne. Jedna vapnenačka pločica i jedna granitna pločica položene su u tok vode, a druge dvije pločice (jedna vapnenačka i jedna granitna pločica) u ilovasti prah. Na pločice koje su bile stavljene u tok vode djelovala je erozija vode i korozija, dok je na one u ilovastom prahu djelovala samo korozija. Pločice su prije pokusa bile nekoliko tjedana u vodi, onda su se osušile i izvagale. Pokusom su pločice izgubile na težini s time što je vapnenačka pločica koja je bila stavljena u tok vode bila već prije malo polomljena. Vapnenačka pločica u ilovastom prahu izgubila je 0,3 g (0,787%), a granitna 1,1 g (2,33%) na težini. One postavljene u tok vode izgubile su: vapnenačka 3,25 g (8,21%) i granitna 0,62 g (1,23%) (Gams, 1959.).

Godine 1963.-1964. su „Jamarski klub“ iz Ljubljane i Odjel za geologiju „Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani“ radili pokuse sa vapnenačkim pločicama u Julijskim Alpama. Pločice su postavili u špilju Mačkovicu i u organski sloj iznad same špilje te nakon jedne godine izmjerili koliko su pločice izgubile na težini. Ponornice koje teku iz nekarbonatne površine i imaju niski sadržaj tvrdoće su agresivnije i zato su pokusi s pločicama uspješniji. To su ustanovili R. Rebek i speleolog A. Droppa u špilji Mačkovici. Pločice koje su povezane s žicom, učvršćene na stijenu ili vijak su kod poplave izložene brzoj vodi koja ih može oštetiti. Godine 1995./1996. u Postojnskoj jami radio se pokus s četiri pločice koje su bile učvršćene na stijenu i na betonsku ploču. Tada se dio jedne pločice odlomio i voda ga je odnijela na drugo mjesto dok su ostale tri pločice ostale na mjestu. Jedna pločica dobila je na težini, druga je izgubila dok je treća ostala ista. Do promjena je došlo jer je dio pločice kod poplava bio u vodi i u šljunku. To nam dokazuje da je rijeka ponornica Pivka u špilji Pivki neagresivna (Gams, 1996.).

Godine 1963. – 1964. „Jamarski klub“ u Ljubljani i Odjel za geologiju „Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani“ izradili su pokus sa vlastitom metodom. Napravili su vapnenačke pločice pravilnog oblika, pločice su bile od vapnenca iz Logarčka i Luknje, osušili su ih i izvagali te izmjerili površinu pomoću milimetarskog papira. Postavili su ih na četiri mjesta (I mjesto - u šumi kod Planine iznad špilje Mačkovice na 470 m nadmorske visine, srednja godišnja temperatura je +9 ˚C, godišnje 1400 – 2000 mm padalina, pločica je

bila u okomitom položaju; II mjesto – u špilji Mačkovici, 70 m ispod površine, pločice su u jezeru sa sigom; III mjesto – u Julijskim Alpama kod Velikog Draškog vrha u humusu ispod 10 cm pokrova, 2000 m nadmorske visine, srednja godišnja temperatura +2 ˚ C, godišnje 2500 – 3000 mm padalina, u okomitome i vodoravnome položaju; IV mjesto – isto mjesto kao III mjesto samo su pločice bile na sitnom šljunku u vodoravnome položaju). Nakon godinu dana izračunali su debljinu otopljene površine pomoću formule koja je prikazana na slici (Rebek, 1964.).

$$\frac{G_0 - G_1\ (mg)}{A\ (mm^2) \cdot 2{,}71\ (mg/mm^3)} = d\ (mm)$$

Slika 6. *Formula debljine otopljene površine pločice*

Izvor: Rebek R. (1964).

$G_o - G_1$ (mg) prikazuje razliku u težini pločice, A (mm^2) prikazuje površinu pločice, 2,71 (mg/mm^3) je specifična težina vapnenca. Na mjestima se položilo više pločica kako bi se izračunala aritmetička sredina težine pločice te se dobili bolji i precizniji rezultati mjerenja. Može se zaključiti da su vapnenci iz različitog mjesta jednako topivi (vapnenačke pločice iz Logarčka izgubile su 14,3 +/- 0,9 μ/god, a iz Luknje 13,6 +/- 1,5 μ/god). U šumi iznad špilje Mačkovice je toplije te je korozija intenzivnija od mjesta kod Velikog Draškog vrha gdje je hladnije i ima više padalina (šuma – 13,6 +/- 1,5 μ/god, mjesto kod Velikog Draškog vrha – 8+/- 0,7 μ/god i 7,7 +/- 0,1 μ/god). Pločice koje su bile u organskom sloju ispod 10 cm pokrova izgubile su na težini šest puta više od pločica koje su bile na samom tlu (mjesto kod Velikog Draškog vrha, pločice u humusu 8,0 +/- 0,7 μ/god i 7,7 +/- 0,1 μ/god te pločice na sitnom šljunku kod mjesta Velikog Draškog vrha 1,3 +/- 0,2 μ/god). Položaj vapnenačkih pločica ne utječe na intenzitet trošenja pločica (pločica u vodoravnom položaju - 8,0 +/- 0,7 μ/god, pločica u okomitome položaju -7,7 +/- 0,1 μ/god). 70 metara ispod površine na pločicama je nastala siga (0,8 +/- 0,1 μ/god). Apsolutnu vrijednost korozije nije moguće dobiti iz ovih rezultata. Podaci su uspoređeni s podacima Franca Jenka te su zaključili da je izračunata debljina otopljene površine preniska jer su pločice previše obrušene (Rebek, 1964.).

J. Kunaver (1978.) pratio je trošenje na Kaninu te je izračunao godišnje 94 m^3/km^2 korozije što znači da se na godinu površina snizi za 94 mm 10^{-3}. Pločice u zraku koje su na unutarnjem kršu u prosjeku izgube 10 – 11,5 mg $10^{-3}/cm^2/dan$ (godišnje 13,5 – 15,5 mm 10^{-3}). J. Kunaver je na Kaninu htio potvrditi svoj zaključak da je u depresiji veća korozija zbog debelog sloja snijega koji je tamo u zimi, ali je na kraju zaključio suprotno. Na vrhu vrtače je trošenje bilo 5 mg $10^{-3}/cm^2/dan$, na sredini vrtače 3,66 mg $10^{-3}/cm^2/dan$, a blizu dna 6 mg $10^{-3}/cm^2/dan$. Na početku (na vrhu) debelog sloja po kojem teče površinska voda je trošenje bilo 6,26 mg $10^{-3}/cm^2/dan$ dok je na kraju bilo 4,24 mg $10^{-3}/cm^2/dan$ (Gams, 1985.).

Ivan Gams (1981., 1985., 1987.) istraživao je na 59 lokacija i upotrijebio je oko 1500 vapnenačkih pločica. Na svakoj lokaciji pločice su se postavljale na tri položaja: u zraku (1,5 m iznad tla), u tlu i na dodiru tla i stijene (Buzjak i sur., 2013.). Kod mjesta Sežana u blizini Trsta (Šepulje, Divača) na 347 m nadmorske visine, gdje prevladava smeđe tlo zabilježeno je

3,70 mm/dan padalina i trošenje pločica 6,17 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 404 dana, 1979. – 1980. godina), 9,44 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 404 dana, 1979. – 1980. godina) i godine 1981. – 1982. zabilježeno je 7,59 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 637 dana) (Gams, 1985.).

Kod mjesta Logatec (Lom, vrtača - doline) na 520 – 490 m nadmorske visine, gdje prevladava tamnosmeđe obraslo tlo zabilježeno je 5,70 mm/dan padalina i trošenje 9,05 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 735 dana, 1978. – 1980. godine). Na prisojnoj strani (izložena je suncu) zabilježeno je trošenje od 9,44 $mg10^{-3}/cm^2$/dan, 9,12 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 8,19 $mg10^{-3}/cm^2$/dan, dok je na osojnoj strani bilo 11,76 $mg10^{-3}/cm^2$/dan, 11,23 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 11,03 $mg10^{-3}/cm^2$/dan. Godine 1978. – 1982. na dnu gdje je duboko koluvijalno tamno sivo tlo zabilježeno je najveće trošenje od 12,12 $mg10^{-3}/cm^2$/dan, 18,27 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 8,40 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1943 dana). Mjerenja su se obavljala kod mjesta Vrhnika, Paukarjev dol (vrtača – dolina) na 320 m nadmorske visine s 4,62 mm/dan padalina. Na prisojnoj strani gdje je rendzina zabilježeno je trošenje od 10,32 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 8,87 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 751 dana, 1978. – 1980. godina). Na osojnoj strani gdje su siva vlažna tla trošenje je bilo od 10,43 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 8,98 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 751 dan od 1978. – 1980. godine), dok je na dnu gdje su duboka koluvijalna tla zabilježeno trošenje od 3,17 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 1,25 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1954 i 1959 dana, 1978. – 1983. godina), te 3,77 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1610 dana, 1979. – 1983. godina) (Gams, 1985.).

Kod Postojnske jame i kod vremenske postaje Ljubljana - Bežigrad vidljivo je da se tlo nekad obrađivalo i tu je zabilježeno malo trošenje pločica (Gams, 1985.). U mjestu Notranjska kod Postojne u Sloveniji na 535 metara nadmorske visine, gdje prevladava rendzina te humidna, kontinentalna klima zabilježeno je 1980. – 1982. godine 3,10 mm/dan padalina i trošenje pločica 11,32 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1212 dana). Godine 1979. – 1982. zabilježeno je na istome mjestu 5,31 mm/dan padalina te trošenje pločica 2,04 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1057 dana). Iste godine zabilježeno je 4, 81 mm/dan padalina te trošenje pločica koje su bile izložene 566 dana – 8,34 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (Gams, 1985.). U Ljubljani kod Bežigrada na 290 metara nadmorske visine s 4,03 mm/dan padalina, gdje prevladava rendzina i zrak je onečišćeni zabilježeno je trošenje od 15, 29 $mg10^{-3}/cm^2$/dan, 2,18 $mg10^{-3}/cm^2$/dan i 2,20 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 780 dana, od 1978. – 1983. godine), dok je kod Slovenj Gradeca (Šmartno, na 420 metara nadmorske visine s 3,17 mm/dan padalina) zabilježeno trošenje od 16,25 $mg10^{-3}/cm^2$/dan (pločice su bile izložene 1396 dana, od 1978. – 1982. godine) (Gams, 1985.).

Ivan Gams (1981.) istražio je da je najveći intenzitet korozije zabilježen u porječju izvorskih dijelova Kupe i Soče (više od 100 m^3 $(CaCO_3+MgCO_3)/km^2$/god), kod porječja Zagorske Mrežnice 76 m^3 $(CaCO_3+MgCO_3)/km^2$/god, dok je kod porječja Ogulinske Dobre zabilježeno 94 m^3 $(CaCO_3+MgCO_3)/km^2$/god.

Mjerenjem je zaključio da su u humidnoj suptropskoj i gorskoj umjerenoj klimi pločice najviše izgubile na masi. Na području koje je pokriveno vegetacijom zabilježen je veći

intenzitet korozije u odnosu na područje bez vegetacijskog pokrova. Intenzitet korozije ovisi o tipu vegetacije, godišnjem dobu, insolaciji, konfiguraciji terena i značajkama tla. Masa pločica je manja kad su pločice ukopane u tlo, a veća na površini tla. Intenzitet korozije u različitim tipovima tala ovisi o različitom sastavu, strukturi, vlažnosti tla i količini CO_2. U aridnoj i semiaridnoj klimi masa pločica je veća zbog taloženja karbonatnih soli na površini pločice zbog sušenja gornjeg sloja tla (Buzjak i sur., 2013.).

Dušan Gavrilović (1984., prema Buzjak i sur., 2013.) istraživao je intenzitet korozije karbonata u trajanju od 777 do 1173 dana tako što je postavio pločice na sedam lokacija različite nadmorske visine na krškom području Srbije i Crne Gore. Zabilježena je veća korozija (4,4 do 7,2 puta) na mjestima gdje su pločice bile ukopane u tlo od mjesta gdje su bile izložene na površini. Usporedio je koroziju pločica iznad tla (u Srbiji) na većoj nadmorskoj visini s više padalina s korozijom pločica ukopanim u tlo na mjestima s nižom nadmorskom visinom s manje padalina te rezultatima istraživanja koje je dobio Ivan Gams. Na kraju je zaključio da intenzitet korozije više ovisi o biljnom pokrovu, konfiguraciji terena, vlažnosti tla i sadržaju CO_2 u tlu nego o količini padalina i temperaturi zraka. Na intenzitet korozije također utječe hrapavost pločica. Ona povećava površinu izloženu trošenju pa tako i intenzitet korozije (Buzjak i sur., 2013.).

Kod pločica koje su bile u horizontalnom položaju na goloj vapnenačkoj površini i na potpuno otvorenom prostoru zabilježeno je najmanje razlika u mjerenju (do 15%), na pločicama koje su bile u horizontalnom položaju na goloj vapnenačkoj površini zaklonjene niskom vegetacijom zabilježeno je više razlika (razlika između najviše i najniže vrijednosti je 84%), dok je kod pločica koje su ukopane na istome mjestu u različitim položajima zabilježeno najviše razlika u mjerenju (do 120%). Utvrđeno je da se najbolji rezultati dobiju kod mjerenja s 10 pločica i mjerenjem dužem od dvije godine. Došlo je i do pogreške kod mjerenja sa trodimenzionalnim oblikom pločica. One su bile izložene koroziji nejednakog intenziteta sa svih strana te je do trošenja u pravilu dolazilo samo s jedne strane zbog padalina koje su se izlučivale. Utvrdili su da je najbolje vapnenačke pločice premazati neutralnim lakom sa svih strana osim jedne strane kojom bi mjerili intenzitet korozije (Gavrilović i sur., 1989.).

Kako bi se utvrdila vrijednost korozije na čistom i laporovitom vapnencu izvršeno je istraživanje u prirodi i u laboratorijskim uvjetima. Pločice dimenzija 40 x 40 x 4 mm pripremljene su rezanjem iz kompaktnih komada stijena, osušene su i stabilizirane u eksikatoru te je izmjerena njihova masa sa točnošću od pet decimala grama. Vapnenačke pločice dobivene su od koraljnih vapnenaca s planine Veliki Greben, dok je laporoviti vapnenac s površinskog kopa Popovac kod Paraćina. Nakon izlaganja uvjetima u prirodi pločice su ponovno mjerene te je utvrđen intenzitet otapanja obje vrste stijena (pod utjecajem brojnih faktora). Kako bi saznali koliki je utjecaj imao litološki faktor izveden je pokus u laboratoriju. Tamo su pločice posebno bile stavljene u destiliranu vodu. Uzorci vode uzimali su se u različitim vremenskim intervalima te je određena koncentracija kalcija i magnezija. Stehiometrijskim izračunavanjem utvrdila se težina pločica, usporedbom gubitka mase pločica utvrđen je odnos brzine i opsega otapanja čistog i laporovitog vapnenca. Iz srednje vrijednosti indeksnog broja koja je 134,1 vidimo da se laporoviti vapnenac otapa 1,34 puta više od čistog vapnenca (zbog različite strukture i

kemijskog sastava). Najveća razlika u intenzitetu otapanja stijena se s vremenom smanjuje. Pločicama koje su bile u prirodi utvrđeno je da je intenzitet otapanja laporovitog vapnenca veći za 2,26 puta od čistog vapnenca. Time se može zaključiti da prirodni faktori više utječu na laporoviti vapnenac te se oni brže otope i da je površinska korozija intenzivnija, a dubinska slabija (Gavrilović i sur., 1989.).

Pomoću standardnih vapnenačkih pločica mjeren je intenzitet supkutane korozije u gornjem i donjem dijelu doline rijeke Krke (Perica, 1998.). Dok je na mjestu oko Krčića kod Knina masa pločica porasla (0,0186 - 0,7797 μm/god), kod mjesta Skradin masa pločica se smanjila (0,0568 – 0,2436 μm/god). Tlo spada u alkalne ilovače s visokim udjelom $CaCO_3$ i niskim udjelom humusa. Pločice su bile izložene 416 dana u Krčićima te 432 dana kod Skradina. Mjesto Krčić ima više padalina i nižu prosječnu godišnju temperaturu u odnosu na Skradin. Kod mjesta Skradin pločice su bile stavljene u tlo – laka glina, s malim udjelom $CaCO_3$ i devetnaest puta veći udio humusa nego kod mjesta Krčića. Humusa ima više zbog toga što je mjesto bogatije vegetacijom. Kod Skradina u tlu je udio $CaCO_3$ manji za 2,6 – 3,6 puta nego u mjestu Krčić (Perica, 1998.).

Pahernik (1998.) piše o utjecaju klime i reljefa na intenzitet površinske korozije karbonata na području Velike Kapele. Intenzitet korozije ovisi o temperaturi, odnosno da li se korozijski procesi događaju u toplijim krajevima (tropima) gdje je povećana biološka aktivnost i veća proizvodnja CO_2 ili hladnijim subpolarnim krajevima gdje je koncentracija CO_2 u padalinama i zraku skoro izjednačena. Mjerenjem tvrdoće vode i padalina tj. površinskog otjecanja dobiju se najtočniji podaci o koroziji karbonata. Ovom metodom mjerenja u krškim područjima vidljiva je povezanost parametara u svijetu te na području Dinarida (Pahernik, 1998.).

Rezultati intenziteta korozije koji su dobiveni metodom karbonatnih pločica ovise o bioklimatskim osobinama okoliša gdje se pločice nalaze. Izračunati intenzitet korozije odnosi se na površinsku koroziju čistog vapnenca gdje nisu uključene razlike u litološkim osobinama karbonata, geološkim i morfostrukturnim osobinama mjesta koje se istražuje. Pločice su okruglog oblika, promjera 4,1 cm, debljine 2-3 mm, površine 30 cm^2, mase 8-11 g, vapnenac iz kojeg su izrađene je iz kamenoloma kod Lipice iz Republike Slovenije, kredne je starosti, udio $CaCO_3$ je 97,9-98,7%. Pločice su izvagane te su ostavljene na otvorenome prostoru u dva položaja: u zraku, oko 150 cm iznad tla te u tlu od 5-10 cm dubine. Pločice su tamo bile položene dvije godine te su nakon toga vagane i izračunalo se ukupno smanjenje težine pločica u mg $10^{-3}/cm^2$/dan pomoću Gamsove formule. Pločice su bile postavljene blizu meteoroloških stanica kako bi dobili što točnije izračune. Prema podacima klimatoloških stanica (Crikvenica, Jasenak, Delnice, Ogulin, Senj, Stara Sušica, Zalesina, Vrelo Ličanke i Skrad) izračunate su prosječne godišnje količine padalina i temperatura zraka na području Velike Kapele (Pahernik, 1998.).

Standardne vapnenačke pločice postavljale su se u dva područja: u zraku (oko 150 cm od tla) i u tlo. U zraku je bilo postavljeno 11 vapnenačkih pločica na 11 različitih mjesta, dok su na 7 mjesta vapnenačke pločice postavljene u tlo na 5 do 10 cm dubine. Nakon izračunatih vrijednosti intenziteta korozije vidljivo je da su 35-40 % veće vrijednosti korozije zabilježene

kod mjerenja pomoću standardnih vapnenačkih pločica koje su bile postavljene u tlu od onih postavljenih u zraku. Područje Velike Kapele nalazi se većim dijelom pod šumskom vegetacijom, a to znači da je tlo vrlo bogato humusom. S porastom nadmorske visine zabilježeno je smanjivanje razlika između subkutane korozije i korozije golog vapnenca. U Ledenicama (na 250 m) iznosi 2,01 mm 10^{-3}god, u Jasenku (620 m) 1,31 mm 10^{-3}god te na Bjelolasici (1534 m) 0,54 mm 10^{-3}god. Do toga dolazi zbog dugotrajnog snježnog pokrivača odnosno tankog i duže zamrznutog tla, te reducirane vegetacije u višim hipsometrijskim razredima (Pahernik, 1998.).

Provedena je analiza klimatskih elemenata (temperatura zraka i padaline) koji utječu na intenzitet korozije. Izračunata je pozitivna eksponencijalna funkcija za koroziju gole površine i padalina te negativna funkcija za koroziju i temperaturu zraka. Na kraju se može zaključiti da dolazi do manje promjene intenziteta korozije s promjenom temperature zraka nego s padalinama. Na pločicama koje su bile postavljene u tlo uočeno je da je prisutan antropogeni utjecaj na intenzitet korozije. U Ledeničkom, Jasenačkom i Mrkopanjskom polju postavljene pločice pokazuju veći utjecaj na subkutanu koroziju nego na drugom području zbog toga što su postavljene u obrađivano tlo. U primorskoj padini (Ledenice) je veći intenzitet korozije od one u kontinentalnoj (Ogulin) iako mjerne postaje imaju slične količine prosječnih godišnjih padalina. To je zbog toga što je u primorskoj padini viša temperatura zraka. Na mjernoj točci Samarskih stijena zabilježen je slabiji intenzitet korozije zbog manje količine padalina na zavjetrinskoj padini od one na privjetrini. U Mrkopanjskom i Jasenačkom polju nema šumske vegetacije, time su smanjeni biogeni procesi, a i vjetar utječe na odnošenje kišnih kapi i snijega s površine pločica. To sve jako utječe na intenzitet korozije (Pahernik, 1998.).

Površinska korozija raste s porastom nadmorske visine, a time i padalina. Na primorskoj padini Velike Kapele zabilježen je porast padalina od one na kontinentalnoj padini zbog privjetrinske i zavjetrinske fasade s obzirom na smjer kretanja glavnih ciklonskih putanja (iz sjeverozapada). Postoje anomalije kod intenziteta površinske korozije koje se događaju zbog mikroklimatskih osobina (ekspozicija mjerne točke, reljefni oblici, tip vegetacije i dr.). Kako nadmorska visina raste, također i raste intenzitet korozije, ali temperatura zraka pada pa je zato zabilježena negativni korelacijski trend. U području Dinarida zabilježen je pad intenziteta korozije u hipsometrijskom pojasu od 900-1100 m. Smanjenje intenziteta korozije zabilježeno je zbog smanjenja produkcije CO_2, biokemijskih procesa, te pada temperature zbog toga što na tim visinama završava šumski vegetacijski pojas. U području Velike Kapele pa tako i na najvišoj mjernoj točci Bjelolasici (1500 m) nije zabilježen pad intenziteta korozije zbog toga što je područje prekriveno šumskom vegetacijom (bukove šume). Smanjenje intenziteta korozije iznad granice šumske vegetacije je zbog nedostatka biomase, te viših temperatura koje utječu na raspadanje biomase te na produkciju CO_2. Kada se usporedi analiza intenziteta korozije gole površine i subkutane korozije može se uz pomoć koeficijenta korelacije zaključiti da postoji veći broj čimbenika koji utječu na intenzitet subkutane korozije (Pahernik, 1998.).

Na 85 lokacija u speleološkim objektima dinarskog krša u Sloveniji Prelovšek (2012.) je proveo istraživanje zbog mjerenja intenziteta korozije i taloženja siga. Njegovi rezultati uspoređeni su s rezultatima koji su dobiveni mjerenjem pomoću mikro-erozijskog metra.

Magnituda procesa je jednaka, ali došlo je do razlika u rezultatima u nekim fazama mjerenja (najviše na početku mjerenja). Kod mjerenja mikro-erozijskim metrom dolazi do promjena u mjerenju zbog sporog djelovanja korozije i malih promjena koje se lakše vide kad se mjeri metodom vapnenačkih pločica (Prelovšek, 2012.)

Godine 2011. postavljeno je 60 pločica na osam lokacija na otoku Visu, dvije na području Velikog Rujna te dvije na području Starigrada – Paklenice. Mjerenje gubitka mase pločica trajalo je jednu godinu. U ovome istraživanju koristile su se vapnenačke pločice koje su dobivene iz vapnenca iz kamenoloma pokraj Lipice u Republici Sloveniji. Koristile su se baš ove vapnenačke pločice zbog toga jer su kod prethodnih mjerenja korištene pločice od istog vapnenca te se zbog toga dobiveni rezultati mogu međusobno uspoređivati. Vapnenačke pločice postavljale su se na površinu i u tlu na različitim dubinama ovisno o dubini pedološkog pokrova i skeletnosti tla. Vapnenačke pločice bile su pričvršćene žicom s plastičnom izolacijom kako ne bi došlo do međusobne interakcije. Nakon jedne godine izlaganja, pločice su isprane u destiliranoj vodi, osušene u sušioniku 24 h na 50°C te izvagane (Krklec, 2011.).

Vrijednost intenziteta korozije varira od 0,02585 μm/god do 11,66981 μm/god ovisno o mjestu gdje su postavljene vapnenačke pločice te načinu postavljanja. Mjesta postavljanja vapnenačkih pločica imaju različite klimatske uvjete. Iz dobivenih podataka može se vidjeti da je vrijednost intenziteta korozije pločica koje su postavljene na površini viša od onih postavljenih na različitim dubinama tla (osim mjernog mjesta na području Velikog Rujna na Velebitu gdje je vrijednost intenziteta korozije pločica koje su na dubini u tlu viša od onih na površini). Pretpostavlja se da je do toga došlo zbog fiziološke sušnosti tla na otoku (bura). Intenzitet korozije mijenja se ovisno o dubini na kojoj su postavljene pločice (na pet mjesta intenzitet korozije pada s dubinom, dok na četiri mjesta intenzitet korozije raste s dubinom) (Krklec, 2011.).

U smjeru juga smanjuje se vrijednost intenziteta korozije pločica koje su na površini i na različitim dubinama tla (iznimka su pločice na dva mjerna mjesta). Do toga dolazi zbog klimatskih prilika (vjetar). Dolazi do padanja vrijednosti intenziteta korozije na pločicama koje imaju poliranu gornju plohu i to zbog toga što s ovih pločica brže otječe voda te su kraće izložene korozivnom djelovanju vode. Djelovanje korozije ovisi i o vrsti tla gdje su postavljene pločice. Najniža srednja vrijednost zabilježena je kod tipova tala: litosol, koluvij karbonatni skeletan antropogeniziran, antropogena tla terasa, plitka na kristalnim dolomitima sa uloščima vapnenca. Dolazi do manjeg intenziteta korozije zbog toga što je voda u tlu više zasićena kalcijevim karbonatima. Najviše srednje vrijednosti intenziteta korozije zabilježene su na tipovima tla: terra rossa, litosol, smeđe tlo koluvijalno na vapnencima i dolomitima gdje je manja zasićenost kalcijevim karbonatom te je zabilježeni veći intenzitet korozije (Krklec, 2011.).

Na brzinu trošenja utječe sastav pločica. Pločice s dijelovima od kalcita jače se troše, dok se one s dolomitnim kristalima manje troše. Zbog bržeg trošenja kalcita dolazi do slabljenja veza između kalcita i dolomita te se dolomitni kristali odvajaju od površine pločica (Krklec, 2011.).

Godine 2013. obavlja se analiza standardnih vapnenačkih pločica kojom dobiveni podaci pokazuju da se otapanje pločica ne odvija samo na površini pločica već i u mikrošupljinama u pločici. Zbog otapanja u mikrošupljinama dolazi do povećanog raspadanja ukupne površine u odnosu na površinu pločica. Standardne vapnenačke pločice sastoje se od materijala koji ima različitu sposobnost otapanja te nisu homogenog sastava. Dobiveni podaci pokazuju da je otapanje izraženo na mikritičnome kalcitnome matriksu. Zbog toga dolazi do smanjivanja površine i nastanka mikrošupljina na mjestu kontakta s dolomitnim zrnima te se to zrno dolomita s vremenom odstranjuje (Krklec i sur., 2013.).

4.2 Istraživanje denudacije Dinarskog krša upotrebom mikro-erozijskog metra

U Hrvatskoj su s mikro-erozijskim metrom mjerili Furlani i Krklec (Buzjak i sur., 2013.). Godine 2011. mjerena je korozija pomoću mikro-erozijskog metra na trinaest različitih lokacija, od toga je jedanaest lokacija na otoku Visu. Mjerenje korozije trajalo je jednu godinu. Izmjereni podaci pokazuju nam razlike u mjerenju. Mjerenja koja su bila na mjestima izgrađenim od vapnenca pokazuju da ima denudacije. Na nekim mjestima izmjerene su pozitivne i negativne vrijednosti. Vidimo da su rezultati mjerenja različiti zbog specifičnosti svakog mjesta (npr. mjerno mjesto koje je prekriveno lišajevima daje prirast na stijeni ili kod mjernog mjesta koje se nalazi uz rub vegetacije moguće je opadanje materijala na mjerno mjesto te se time akumulira sitna prašina na mjernome mjestu (Krklec, 2011.).

Na intenzitet denudacije utječu i mikromorfološke karakteristike mjernog mjesta (npr. kod neravne površine stijene oblikovao se maleni žlijeb na kojemu dolazi do otjecanja vode kada dođe do padalina te je zbog toga moguće izmjeriti viši intenzitet denudacije). Kod mjerenja pomoću mikro-erozijskog metra moguće je da dođe do greške mjernog uređaja. Preciznost mikro-erozijskog metra ovisi o brojnim faktorima pa se pretpostavlja da je ovdje došlo do utjecaja temperature na mikrometar, vijke i stijenu. Tako je i bilo kod sezonske varijacije u vrijednostima intenziteta denudacije. Skoro sve izmjerene vrijednosti bile su negativne (Krklec, 2011.).

Intenzitet denudacije ne prikazuje nikakvu ovisnost o pedološkom pokrovu, nagibu i ekspoziciji padalina (Krklec, 2011.).

Pomoću mikro-erozijskog metra (MEM) te mikro-erozijskog metra koji se okreće (TMEM) obavljaju se mjerenja na sjeveroistočnome Jadranu kako bi se usporedio intenzitet erozije između obalnog i kopnenog krša. Zabilježeno je snižavanje na unutrašnjem području klasičnog krša – srednja vrijednost je 0,018 mm/god, dok je na području Istre zabilježeno 0,009 mm/god. U Tršćanskom zaljevu zabilježena je srednja vrijednost snižavanja od 0,14 mm/god te na mjestu duž Istarske obale 0,04 mm/god. Do različitog intenziteta trošenja dolazi zbog različite klime (u Istri je mediteranska klima dok je na području klasičnog krša planinska klima), količine padalina (više padalina je na području klasičnog krša) te izvora slatke vode (u Tršćanskome zaljevu ima više podmorskih izvora od Istarske obale) (Furlani i sur., 2009.).

Na području Kanina (Julijske Alpe), Kunaver je 1978. godine vršio istraživanje snižavanja karbonata pomoću mikro-erozijskog metra i ono iznosi od 0,017 – 0,075 mm na godinu što ovisi o mikrolokaciji mjesta gdje se mjeri. U Furlaniji (Italija) je zabilježeno snižavanje karbonata za 0,01 – 0,04 mm na godinu. Ovakve razlike zabilježene su zbog, kao što su to autori objasnili, petrografskih osobina karbonata (Pahernik, 1998.).

5. Zaključak

Proces denudacije je proces snižavanja površine Zemlje zbog odnošenja materijala iz viših u niže predjele te ispunjavanja depresija talogom koji se u njima akumulira. Postoji nekoliko metoda kojima se mjeri intenzitet denudacije, a u ovom radu opisane su dvije najpoznatije: metoda standardnih vapnenačkih pločica i mikro-erozijski metar. Metoda standardnih vapnenačkih pločica koristi se za egzaktno mjerenje korozije. Koristi se za mjerenje korozije iznad površine, na površini, u tlu i u speleološkim objektima. Intenzitet denudacije mjeren na krškim područjima metodom vapnenačkih pločica dobiva se iz gubitka mase podijeljenog s umnoškom gustoće vapnenca i površine pločice, a izražava se u μm/god, odnosno m^3/km^2/god. Mikro-erozijski metar koristi se za direktna mjerenja intenziteta denudacije na površini stijene.

Na intenzitet denudacije utječe više različitih čimbenika, a neki od njih su: mikromorfološke karakteristike mjernog mjesta, mikrotopografija površine stijene, značajke tla, sastav tla, struktura tla, vlažnost tla, klima, količini CO_2, insolacija, litologija, tip vegetacije, godišnja doba, padaline, temperatura zraka, nadmorska visina, hrapavost pločica, antropogeni utjecaj, mikroorganizmi i dr.

U humidnoj suptropskoj i gorskoj umjerenoj klimi pločice su najviše izgubile na masi. U aridnoj i semiaridnoj klimi masa pločica je veća zbog taloženja karbonatnih soli na površini pločice zbog sušenja gornjeg sloja tla. U aridnoj zoni klima najviše utječe na trošenje pločica koje su u zraku ili na tlu, dok u humidnoj zoni utječe na one u tlu.

Na području koje je pokriveno vegetacijom zabilježeni je veći intenzitet korozije u odnosu na područje bez vegetacijskog pokrova. Intenzitet korozije u različitim vrstama tla ovisi o različitom sastavu, strukturi, vlažnošću tla i količini CO_2.

Na intenzitet korozije također utječe hrapavost pločica. Ona povećava površinu izloženu trošenju pa tako i intenzitet korozije. Intenzitet korozije jako ovisi o litologiji i zbog toga je korozija vapnenačkih pločica bila veća od korozije dolomitnih pločica. Može se također zaključiti da je intenzitet korozije obrnuto proporcionalan s porastom nadmorske visine.

Intenzitet korozije mijenja se ovisno o dubini na kojoj su postavljene pločice. U humusnom tlu dolazi do bržeg trošenja pločica. U mjestima koja imaju mnogo padalina odnosno u kojima je velika vlažnost kroz godinu je prisutno brže trošenje površine te nastajanje krških depresija.

Danas antropogeni utjecaj ima veliko djelovanje na intenzitet korozije. Mineralna gnojiva direktno utječu na površinski sloj vapnenca te tako dolazi do površinske i dubinske korozije.

Uporaba pločica smatra se najboljom metodom za istraživanje krške denudacije. Kako bi istraživanje bilo što preciznije dobro je koristiti što više pločica na duži period te u različitim mjestima.

6. Literatura

1. Bogunović M. (2008). Postanak tla. Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. Zavod za pedologiju. Zagreb.

2. Buzjak N., Petković A., Faivre S. (2013). Intenzitet prirasta i supkutane krške korozije u dolini rijeke Krke (Hrvatska). Hrvatski geografski glasnik 75/2, 59-79 (2013.).

3. Furlani S., Cucchi F., Forti F., Rossi A. (2009). Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia). Geomorphology 104. 73-81.

4. Gabrovšek F. (2008). On concepts and methods for the estimation of dissolutional denudation rates in karst areas.

5. Gaillardet J. (2004). Denudation. U: Goudie, A.S. (Ur.), Encyclopedia of Geomorphology, Routledge, New York, 240-244.

6. Gams I. (1959). Poskus s ploščicami v Podpeški jami. Naše jame. 1. 76-77.

7. Gams I. (1985). Mednarodne primerjalne meritve površinske korozije s pomočjo standardnih apneniških tablet. Razprave IV. Reda SAZU: 361-386.

8. Gams I. (1996). Meritve korozije v jamah s pomočjo apnenčevih ploščic. Naše jame. 38. 101-104.

9. Gavrilović D., Manojlović P. (1989). Metodološki problemi merenja intenziteta površinske korozije u krasu. Odsek za geografiju i prostorno planiranje. PMF. Beograd. 15. 26-27.

10. Gómez-Pujol L., Stephenson W. J., Fornós J. J. (2007). Two-hourly surface change on supra-tidal rock (Marengo, Victoria, Australia). Earth Surface Processes and Landforms 32, 1-12.

11. HIGH C. & HANNA G. K. (1970). A method for the direct measurement of erosion of rock surfaces. British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, 5, 24.

12. Krklec K. (2011). Korozija karbonatnih stijena i geneza reljefa na otoku Visu – korelacija s odabranim priobalnim lokalitetima.

13. Krklec K., Marjanac T., Perica D. (2013). Analysis of „standard“ (Lipica) limestone tablets and their weathering by carbonate staining and SEM imaging, a case study on the Vis Island, Croatia. Acta Carsologica 42/1, 135-142.

14. Mihevc A., Prelovšek M., Zupan Hajna N. (2010). Introduction to the Dinaric Karst. Karst Research Institute at ZRC SAZU, Postojna.

15. Pahernik M. (1998). Utjecaj klime i reljefa na intenzitet površinske korozije karbonata gorske skupine Velike Kapele. Acta Geographica Croatica, 33. 47-57.

16. Papac G. (2014). Dinarsko gorje. https://www.dinarskogorje.com/dinarski-krscaron.html (pristupljeno: 21. rujna 2020.).

17. Perica D. (1998). Geomorfologija krša Velebita, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geografski odsjek, 220.

18. Perica D., Krklec K., Domínguez-Villar D. (2019). Istraživanje denudacije površine na području NP "Krka". 7. Hrvatski geografski kongres, Knjiga sažetaka, Orešić, Danijel ; Lončar, Jelena ; Maradin, Mladen - Zagreb : Hrvatsko geografsko društvo, 2019, 205-207.

19. Prelovšek M., (2012). The Dynamics of Present-Day Speleogenetic Processes in the Stream Caves of Slovenia, Carsologica 15, Karst research Institute, ZRC SAZU, Postojna, Slovenija.

20. Plan L. (2005). Factors controlling carbonate dissolution rates quantified in a field test in the Austrian alps. Science direct. Geomorphology 68. 201-212.

21. Rebek R. (1964). Poizkus merjenja korozije. Naše jame. 6. 38-40.

22. Smith D. I., Greenaway M. A. Moses C., Spate A. P. (1995). Limestone weathering in Eastern Australia. Part 1: Erosion rates. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 20, 451-463.

23. SPATE A. P., JENNINGS J. N., SMITH D. I. & GREENAWAY M. A. (1985). The micro-erosion meter: Use and limitations. Earth Surface Processes and Landforms, 10/5. John Willey & Sons: 427-440.

24. Stephenson W. J., Kirk R. M. (1996). Measuring erosion rates using the micro-erosion meter: 20 years of dana from shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zeland. Marine Geology 131 (1996) 209-218.

25. Vlahović I., Tišljar J., Velić I., Matičec D. (2002). The karst Dinarides are composed of relics of a single Mesozoic platform: facts and consequences. Geol. Croat. 55 (2), 171–183.

26. Zambo L. (1985-1986). Impact of karst soils on limestone solution and some practical experiences, Annales Universitatis Scientarium Budapestinensis, Saparatum Sectio Geographica Tomus XX-XXI, 87-95.

27. Zambo L., Ford D. C. (1997). Limestone dissolution processes in Beke doline, Aggtelek National Park, Hungary, Earth Surface Processes and Landforms 22, 531-543.

28. Zambo L., Horvath G., Telbisz T. (2001). Investigations of microbial origin of karst corrosion of soils depending on different temperatures, Chinese Science Bulletin 46, Supp., 28-32.

29. Zupan Hajna N. (2019). Dinaric karst – Geography and geology. In: White, W.B., Culver, D.C. and Pipan, T. (eds). Encyclopedia of Caves. 353-362.

7. Životopis

Amalija Pfeifer rođena je 18. rujna 1993. godine u Murskoj Soboti u Sloveniji. Živi u selu Grabrovnik s obitelji. Osnovnu školu pohađala je u Štrigovi, a nakon toga 2008. godine upisala je Ekonomsku i trgovačku školu Čakovec smjer upravni referent koju je završila 2012. godine. Godine 2014. upisala je preddiplomski stručni studij Održivi razvoj smjer ekoinženjerstvo na Međimurskom veleučilištu u Čakovcu te ga 2017. godine završila. Godine 2017. upisala je diplomski studij Agroekologija smjer agroekologija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Materinji jezik joj je hrvatski, a razumije (B_2), govori (B_1) i piše (B_2) njemački jezik, razumije, govori i piše (C_1) slovenski jezik te razumije (B_1), govori (A_2) i piše (A_2) engleski jezik. Poznaje rad na računalu (Office, SolidWorks i dr.) i posjeduje B kategoriju vozačke dozvole.