

TAFONI – PREDSTAVITEV ZNAČILNOSTI RELIEFNE OBLIKE

Leni Ozis, univ. dipl. geogr.

Jamova 50, SI-1000 Ljubljana

e-mail: leni.ozis@gmail.com

Pregledni znanstveni članek

COBISS 1.02

DOI: 10.4312/dela.41.10.183-201

Izvleček

V članku so predstavljeni tafoni in alveole, plitve vdolbine v skalah in skalnatih stenah. Pojavljajo se v različnih podnebjih in kamninah, nastali naj bi z votlinastim preperevanjem. V slovenski geografski literaturi zasledimo pojem *tafon* redko, samo v povezavi z drugo reliefno obliko – spodmoli. Namen članka je na podlagi obstoječe tuje literature predstaviti glavne značilnosti tafonov, vpeljati nekaj novih pojmov, predstaviti dileme v zvezi z njimi in opredeliti razlike s spodmoli.

Ključne besede: geomorfologija, terminologija, preperevanje, tafoni, alveole, spodmoli

TAFONI – PRESENTING CHARACTERISTICS OF A LANDFORM

Abstract

Landforms tafoni and alveoli – shallow caverns formed in boulders and rock faces – are presented in the article, with greater emphasis given on tafoni. Tafoni occur in different climate and rocks types, they are formed by cavernous weathering. In Slovenian geographical literature term tafoni rarely occurs. Exceptions are some examples of describing tafoni as landforms that are similar to another landform – rock shelters. The aim of this article is to present main characteristics of tafoni, introduce some terms that are being related to tafoni, present dilemmas related to existing knowledge of tafoni, and present tafoni's features that are different from that of rock shelters.

Key words: geomorphology, terminology, weathering, tafoni, alveoli, rock shelters

I. UVOD

Pričujoči članek je pregled obstoječega znanja o reliefnih oblikah, imenovanih *tafoni*, plitvih votlinah ali luknjah v skalah in skalnatih stenah. Najdemo jih na dnu skal in sten, pa tudi višje; dostikrat se pojavljajo v skupinah. So okrogle ali ovalne oblike, z vhodom v obliki oboka, notranjimi konkavnimi stenami in rahlo nagnjenimi tlemi, prekritimi s preperelino. Njihova najbolj prepoznavna značilnost je streha oziroma strop, ki spredaj visi čez odprtino, tako da po obliki spominja na vizir in s tem v večini primerov daje tafonom značilno obliko črke C (Goudie, 2004; Zwalińska, Dąbski, 2012). Raziskovalci si še niso edini glede nastanka tafonov, prevladuje pa prepričanje, da nastajajo s posebno vrsto preperevanja, za katerega so uvedli izraz *votlinasto preperevanje* (angl. cavernous weathering). Pod tem pojmom so zajeti vsi procesi preperevanja, ki privedejo do nastanka tafonov in tudi manjših alveol. Med procesi se največkrat omenja solno preperevanje. Za tafone lahko tudi trdimo, da so konvergentna reliefna oblika. Trditev o konvergentnosti je podprta s številno literaturo, ki omenja pojavljanje tafonov v različnih tipih kamnin in podnebij, za takšno obliko pa lahko veljajo, dokler ne bo na voljo več znanja o procesih njihovega nastanka.

V tujini obstaja veliko geomorfološke literature na temo tafonov. Prve raziskave teh reliefnih oblik so se namreč pojavile že konec 19. st., kar pomeni, da se je od takrat s tafoni ukvarjalo precejšnje število raziskovalcev. Veliko število razpoložljivih virov pa ne pomeni tudi, da so vsi enako kvalitetni v smislu prinašanja novih spoznanj. Sicer je vsak od raziskovalcev s svojim delom prispeval k poznavanju te reliefne oblike, med najpomembnejše pa lahko štejemo tiste, ki so do problema tafonov pristopili čim bolj celostno, saj so se ukvarjali tako s terminologijo kot z opisovanjem oblike in poskušali tipizacije: Martini (1978), Smith (1978), Turkington (1998; 2004), Goudie (2004; 2009) in Uña Alvarez (2008). Tudi v tem prispevku o tafonih se večinoma opiram na ugotovitve teh raziskovalcev. Vsi navedeni avtorji niso poskušali oblikovati teorij o nastanku tafonov, zato se poglavje o teorijah nastanka opira tudi na navedbe nekaterih drugih avtorjev. Veliko različnih virov pa sem uporabila pri navajanju lokacij pojavljanja tafonov po svetu. Ti viri morda ne prinašajo pomembnih spoznanj glede tafonov, so pa podlaga za trditev o konvergentnosti te reliefne oblike.

Za razliko od tujine tematika o tafonih pri nas praktično ni poznana, kar je med drugim posledica dejstva, da te reliefne oblike niso tipične za naše okolje. Pojem *tafoni* v slovenski geografski literaturi zasledimo le v zvezi s spodmoli, reliefno obliko, ki se pojavlja v Slovenski Istri. V povezavi z raziskavami na tem območju jih v svojih delih omenjajo Kunaver in Ogrin (1992 (posredna omemba); 1993), Natek in sod. (1993) ter kasneje ponovno Kunaver (2007). V vseh primerih so tafoni omenjeni samo na kratko kot reliefna oblika, ki je sicer podobna spodmolom, vsi avtorji pa se strinjajo, da gre za dve različni reliefni obliki. Eno omembo zasledimo še pri Kunaverju (2002), in sicer da se v narodnem parku Arches v Utahu pojavljajo sataste izdolbine oziroma satju podobne vdolbine (gre za alveole), ki so podobne tafonom.

Namen mojega članka je tako na podlagi obstoječega znanja iz tujine podrobneje predstaviti značilnosti tafonov, delno tudi manjših alveol, in pri tem vpeljati nekaj novih pojmov, ki se nanje navezujejo. Glede na to, da jih slovenska strokovna literatura omenja samo v povezavi s spodmoli, je eno poglavje namenjeno preverjanju trditev predhodnih slovenskih raziskovalcev, da tafoni niso spodmoli.

2. OSNOVNI POJMI – TAFONI, ALVEOLE IN VOTLINASTO PREPEREVANJE

2.1. Tafoni

Pojem *tafon* izvira s Korzike, kjer je leta 1882 Reusch kot prvi opisal to reliefno obliko. Poimenovanje tafonov je povezano z njihovo votlinasto obliko, in sicer izvira iz množinske besede *taffoni*, ki po korziško pomeni okna, oziroma *tafonare*, kar pomeni »narediti luknjo ali odpreti okno« (Uña Alvarez, 2008). Tudi sicilijanska različica imena – *tafoni* – pomeni okna (Turkington, 2004). Termin *tafon* ima v izvorni obliki končnico -e za edninsko obliko (tafone) in -i za množinsko obliko (tafoni), v teh dveh oblikah se pojavlja tudi v tuji literaturi.

Pri dosedanjih omembah tafonov v slovenski strokovni literaturi so avtorji navajali tako tafoni (Kunaver, Ogrin, 1993; Kunaver, 2007) kot tafone (Natek in sod., 1993; Kunaver, 2007), pri čemer pa ni čisto jasno, ali gre za edninsko ali množinsko obliko. Z namenom večje jasnosti pri poimenovanju teh reliefnih oblik predlagam poslovenjenje pojmov. Namesto izraza *tafone* za edninsko obliko uporabljam v članku izraz *tafon*, s čimer se ohrani moški slovnični spol, tako kot v izvorniku v italijanščini, končnica -i pa še vedno ostaja pri množinski obliki.

Izraz *tafon* se je skozi leta spreminjal. Iz termina *tafoni* izhaja tudi poimenovanje za skale/stene, v katerih se tafoni nahajajo – tafonizirane (angl. tafonized) skale/stene (Abu Ghazleh, Kempe, 2009). Ker tafone najdemo na različnih mestih v skalah in stenah, obstajajo podrobnejša poimenovanja tafonov glede na lego tafonov v skalah/stenah:

- *Basal/base tafoni* (Martini, 1978) oziroma *tafoni na podnožju* (Kunaver, Ogrin, 1993); uporablja se za tafone, ki se nahajajo na dnu sten/skal. Za ta tip tafonov je v uporabi še izraz orlovska luknja (*eagle's break*) (Martini, 1978); zanje bi lahko uporabili tudi izraze tafoni na dnu, spodnji tafoni, talni tafoni.
- *Side/wall tafoni* (Martini, 1978), tudi *sidewall tafoni* (Turkington, 2004) oziroma *lateral tafoni* (Uña Alvarez, 2008). To so tafoni, ki se pojavljajo višje na stenah/skalah; izraze bi lahko prevedli kot *stranski* ali *bočni tafoni*.
- *Sheet tafoni* je izraz za tafone med ploskvami oziroma plastmi (Uña Alvarez, 2008, str. 70–71), kar bi lahko prevedli kot *medplastni tafoni*.

Sicer je tafon splošno sprejet izraz za poimenovanje teh reliefnih oblik, a v literaturi zasledimo še dva izraza za tovrstne oblike: *votlina* (angl. cavern) (Uña Alvarez, 2008) in *niša* (angl. niche) (Blackwelder, 1929; cv: Turkington, Paradise, 2005).

Slika 1: Plitev stranski tafon v bližini mesta Göreme, Kapadokija (foto: L. Ozis)

Figure 1: Shallow side tafoni on wall near the town of Göreme, Cappadocia (photo: L. Ozis)



2.2. Alveole

V povezavi s tafoni je potrebno omeniti še eno reliefno obliko – alveole. To so majhne luknje v skalah/stenah, ki se nahajajo ena zraven druge in so ločene s tankimi stenami (sliki 2 in 3). Po obliki spominjajo na pljučne alveole, švicarski sir (Easterbrook, 1999), celice (Owen, 2013) ali žepke (Dana, 1894; cv: Turkington, Paradise, 2005). Tuji avtorji navajajo alveole kot tafonom podobno obliko oziroma manjše tafone, kljub temu da nastanek enih in drugih še ni pojasnjen. Ker razlika med tafoni in alveolami ni jasno definirana (načeloma naj bi bili tafoni večji in za razliko od alveol se lahko združijo z drugimi tafoni), obstaja precejšnja svoboda pri odločanju, kaj lahko opredelimo kot alveolo in kaj kot tafon (Uña Alvarez, 2008), prihaja pa tudi do prekrivanja med termini.

Tudi za to reliefno obliko v slovenski strokovni literaturi še nimamo izraza. V angleški literaturi se za te drobne reliefne oblike uporablja edninski izraz *alveole*, ki je sopenka latinskega izraza *alveolus*, množinska oblika je *alveoli*. V slovenščini že obstaja poslovenjen izraz za *alveolus*, in sicer *alveola* (npr. pljučna alveola). Za te reliefne oblike predlagam uporabo izraza *alveola* za edninsko obliko in *alveole* za množinsko obliko.

Če pri tafonih velja, da se za njihovo poimenovanje večinoma uporablja le en izraz, je pri alveolah cela množica izrazov, ki opisujejo isto reliefno obliko. Med njimi je največkrat uporabljen izraz 'honeycombs' oziroma *satovje*, kot jih je prvič poimenoval Darwin

leta 1839 (Turkington, Paradise, 2005). Poleg tega izraza zasledimo še izraze *kamnita mreža* (angl. stone lattice), *kamnita čipka* (angl. stone lace), *prečkanje* (angl. fretting) in v italijanščini ‘*sassoscritto*’ (pisanje po kamnu) (Gümüş, Zouros, 2008).

Slika 2: Alveole na skali ob Laguni e Nartës v bližini mesta Valona (Vlorë, Albanija) (foto: L. Ozis)
Figure 2: Alveoli on a rock at Laguna e Nartës near the city of Vlorë (Albania) (photo: L. Ozis)



2.3. Votlinasto preperevanje

Termina *votlinasto preperevanje* oziroma *kavernozno preperevanje* (angl. cavernous weathering/caverning) v slovenski strokovni literaturi ne zasledimo, saj se uporablja izključno za opis nastanka tafonov in alveol. Kunaver in Ogrin (1993) kot prevod izraza ‘cavernous weathering’ navajata izraz *jamasto preperevanje*, ki pa po mojem mnenju ni najbolj ustrezen.

Izraz *votlinasto preperevanje* je prišel v uporabo zaradi dejstva, da nastanek tafonov in alveol še ni povsem znan in tako so s tem pojmom zajete vse oblike preperevanja, katerih končni rezultat je izvotljenje skal in skalnatih sten. Pojem *votlinasto preperevanje* sicer velja tako za tafone kot za alveole, v literaturi pa najdemo primere, ko avtorji želijo še posebej izpostaviti, da gre za preperevanje, s katerim nastane ali ena ali druga reliefna oblika. Za tafone tako obstaja izraz *tafonsko preperevanje* (angl. tafoni weathering) (Martini, 1978), za alveole pa *satasto preperevanje* (angl. honeycomb weathering), vezano na izgled alveol, ki spominjajo na satovje (Turkington, 2004).

3. GEOMORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI TAFONOV

3.1. Morfografske in morfometrične značilnosti tafonov

Goudie (2004) opisuje tafone kot plitve votline okroglih ali ovalnih oblik, z vhodom v obliki oboka, notranjimi konkavnimi stenami, rahlo nagnjenimi tlemi, prekritimi s preperelino in streho oziroma stropom, ki spredaj visi čez odprtino in spominja na vizir. K temu opisu Zwalińska in Dąbski (2012) dodajata, da vizir daje tafonom značilno obliko črke C. Goudiejevo definicijo navajajo tudi drugi avtorji, velja za splošno sprejeto in je uporabljena tudi za opis tafonov v tem članku. Vseeno pa ne moremo trditi, da velja ta definicija za vse oblike tafonov, saj se razlike med njimi pojavljajo na makro- (lokacija v skali/steni), mezo- (izoblikovanost tafonov, združevanje tafonov) in mikroravni (oblikovanost njihovih notranjih sten). Te razlike so:

a) *Razlike na makroravni:*

- lokacija pojavljanja tafonov v skalah in stenah: obstajajo trije tipi tafonov, in sicer tafoni na podnožju, stranski tafoni in medplastni tafoni (glej podpoglavje 2.1.).

b) *Razlike na mezoravni:*

- obstoj vizirja in značilna C-oblika tafonov: vizir je bolj značilen za tafone v skalah (čeprav ni nujno, da ga imajo vsi tafoni v skalah), za tafone na stenah pa je manj značilen;
- združevanje tafonov med rastjo (Martini, 1978; Huggett, 2002; Turkington, 2004; Gümüş, Zouros, 2008; Abu Ghazleh, Kempe, 2009; Zwalińska, Dąbski, 2012). Razlikujemo lahko tri podtipе:

1. *enostavni tafoni*, ki se med rastjo ne združijo z drugimi tafoni;
2. *kompleksni tafoni*, ki nastanejo z združevanjem tafonov med njihovo rastjo. Združujejo se lahko v vodoravni ali navpični smeri, z rastjo v navpični smeri lahko dosežejo vrh stene;
3. *okna ali šotori*, ki nastanejo, kadar en tafon z rastjo izdolbe celotno skalo.

c) *Razlike na mikroravni:*

- izoblikovanost notranjih sten (manjši tafoni znotraj večjega, prisotnost alveol, odsotnost obojega), prisotni ali odsotni dokazi preperevanja na stenah (npr. luskanje pri nekaterih, drugi imajo gladke notranje stene), prisotnost soli, lišajev, sledi vode na stenah itd. (Turkington, 2004; Uña Alvarez, 2008).

Če se pojavljajo težave pri opisovanju izoblikovanosti tafonov, je manj dilem glede njihove velikosti. Tafoni so veliki od nekaj centimetrov do nekaj metrov v dolžino in globino, njihova minimalna globina je vsaj 10 cm (Turkington, 2004, str. 128–129; Walker in sod., 2008). Stranski tafoni so ponavadi večji od tafonov na dnu (Uña Alvarez, 2008). V splošnem so tafoni večji od alveol, ki so velike le nekaj centimetrov do decimetrov in redko večje od enega metra (Turkington, 2004, str. 128–129).

Slika 3: Alveole in tafoni na skalah ob Kokkini paralia (Rdeča plaža), v bližini Akrotirija, Santorini (foto: L. Ozis)

Figure 3: Alveoli and tafoni on rocks near Kokkini paralia (Red Beach), close to Akrotiri, Santorini (photo: L. Ozis)



3.2. Morfostrukturne značilnosti tafonov

Tafone najdemo v različnih kamninah, najpogosteje pa se pojavljajo v srednje- do grobozrnatih kamninah, kot so peščenjaki in graniti (Turkington, 2004). Pojavljanje v teh kamninah bi lahko napeljalo na domnevo, da je za njihov nastanek ključna tekstura kamnine. Očitno ta le ni tako pomembna, saj najdemo tafone v zelo širokem spektru kamnin (preglednica 1).

V literaturi zasledimo dva procesa, ki sta vezana na litološke značilnosti tafonov, in sta bila opisana pri tafonih v granitih in peščenjakih. To sta *case hardening/surface hardening* (cementiranje, utrjevanje površinskega sloja) in *case softening/core softening* (mehčanje notranjosti), ki sta povezana s preperevanjem mineralov. Rezultat cementiranja je utrjena zunanja površina skale oziroma stene – skorja. Z utrjevanjem zunanje površine prihaja v plasti kamnine pod površino do obratnega procesa – mehčanja (Turkington, 2004). Sicer obstajajo domneve, da naj bi se tafoni začeli razvijati ali v delih kamnin brez skorje ali pa v omehčanih delih pod skorjo. Tovrstne domneve niso bile potrjene, tudi ne morejo pojasniti primerov tafonov brez skorje (Smith, 1978; Kejonen, Kielosto, Lahti, 1988). Verjetno ima utrjevanje določen vpliv vsaj na obliko tafonov, in sicer na nastanek proti preperevanju odpornejšega vizirja in s tem značilne C oblike tafonov (Goudie, 2004; Zwalińska, Dąbski, 2012).

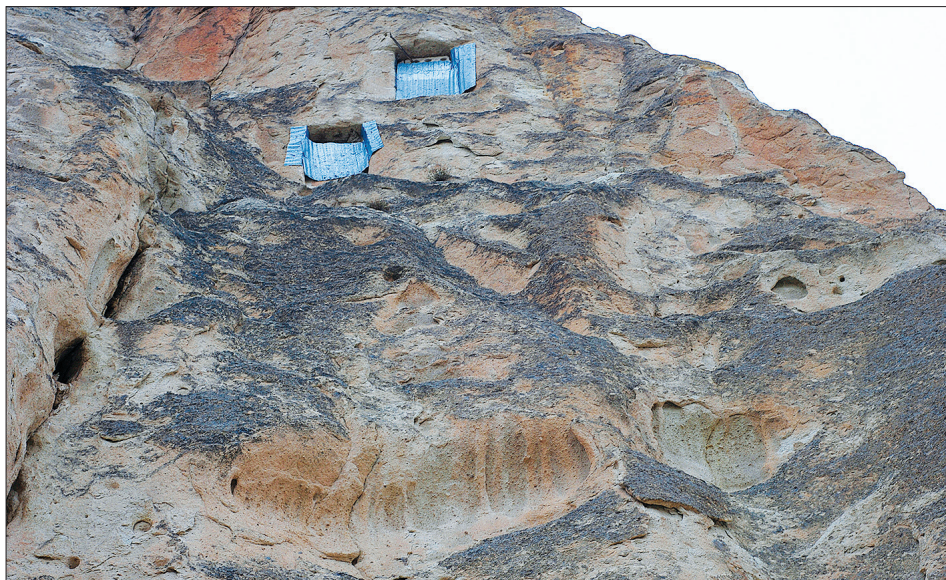
Preglednica 1: Razširjenost tafonov po vrstah kamnin, v katerih se pojavljajo
Table 1: Tafoni locations worldwide according to rock types

Tip kamnine	Lokacije pojavljanja tafonov po svetu
Granit, granitna breča	Evropa: Korzika; Elba; Finska; Sudeti, severozahodna Španija (Galicija), Kastiljsko gorovje Afrika: osrednji del puščave Namib Avstralija: severovzhodni del Južne Avstralije Azija: gora Doeg-Sung, J. Koreja Antarktika: gorovje Sør Rondane Severna Amerika: Papago Park, osrednja Arizona
Peščenjak	Evropa: dolina Ebra, severovzhodna Španija Avstralija: Uluru (Ayers Rock) Azija: ob Mrtvem morju in Petra, Jordanija; hrib Tchinguiz Tepe, Uzbekistan Antarktika: Aleksandrov otok Afrika: rezervat Golden Gate, JAR Severna Amerika: The Valley of Fire, Nevada; Zion National Park, Utah
Metamorfne kamnine (gnajs, amfibolit ...)	Evropa: Toskana (Italija); Finska Azija: območje Dahab, Sinajski polotok (Egipt)
Apnenec	Evropa: Malta Azija: Bahrajn; Omanske gore Afrika: jugovzhodni Maroko, zahodna Alžirija in južna Tunizija
Dolomit	Azija: puščava Negev, Izrael; ob Mrtvem morju, Jordanija
Tuf	Evropa: Santorini; območje Sigri, otok Lesbos Azija: Kapadokija, Turčija Južna Amerika: Arica, Atakama (Čile)
Bazalt	Evropa: jugozahodna Islandija
Eolski kalkarenit	Srednja Amerika: otok Abaco, Bahami
Fliš	Evropa: območje El Chorro, Andaluzija (Španija)
Tip kamnine ni naveden	Evropa: Sicilija, Sardinija, srednja in južna Italija; Ios, Tasos in Naksos (Grčija); južna Španija; Devon, VB Avstralija: osamelci v osrednji Avstraliji Afrika: Srednja Afrika Severna Amerika: puščava Sonora, ZDA

Povezanost tafonov s strukturnimi značilnostmi skal in skalnatih sten je nejasna, saj se lahko pojavljajo na stikih med plastmi oziroma ob razpokah ali pa se pojavljajo kjerkoli na skalni površini. Tafoni na dnu se načeloma pojavljajo ob nezveznostih v kamnini, drugače pa je s stranskimi/bočnimi tafoni, ki se pojavljajo čisto 'naključno' (Gutierrez Elorza, 2005), oziroma pri njih ni vidnih povezav z nezveznostmi v stenah. Po Smithu (1978, str. 22) je ta 'naključnost' vezana na šibkejšje dele sten, oziroma kjer je stena dovzetnejša za zrnasto preperevanje, kar pa je težje dokazljivo kot očitna prisotnost razpoke ali stika med plastmi.

Slika 4: Stranski tafoni na steni blizu mesta Göreme, Kapadokija; ni vidnih povezav tafonov z nezveznostmi v steni (foto: L. Ozis)

Figure 4: Side tafoni on wall near the town of Göreme, Cappadocia; there are no connections of tafoni with discontinuities in the rock face (photo: L. Ozis)



4. MAKRO- IN MIKROKLIMATSKE ZNAČILNOSTI LOKACIJ STAFONI

Tafone največkrat najdemo v toplih (pol)sušnih območjih – puščavah ali ob obalah, oziroma območjih, bogatih s soljo, kjer prihaja do rednih ali občasnih izsuševanj (Turkington, 2004, str. 128–129). Vseeno pa jih, podobno kot pri kamninskih tipih, ne moremo omejiti samo na en podnebni tip, saj jih najdemo tudi v hladnejših predelih, npr. v Veliki Britaniji, na Finskem, Islandiji, v polarnih območjih Antarktike ter Grenlandije in tudi oddaljene od virov soli (preglednica 1). Ker ni znano, ali je njihova prisotnost izven sušnih in slanih okolij morda povezana s podnebnimi razmerami v preteklosti in bi s tem njihovo pojavljanje v vlažnih okoljih kazalo na to, da gre za fosilno reliefno obliko, lahko o tafonih zaenkrat govorimo kot o aconalni reliefni obliki.

Ker nastanka tafonov ne moremo povezati z makroklimatskimi značilnostmi območij, kjer se nahajajo, se avtorji v raziskavah osredotočajo na mikroklimo okolice tafonov. Tudi preučevanje na mikroravni zaenkrat še ni dalo jasnega odgovora na vprašanje, če in kako klimatski pogoji vplivajo na nastanek tafonov. Navedeni so trije primeri mikroklimatskih elementov, ki jih v svojih delih izpostavljajo raziskovalci, ter dileme povezane z njimi:

- a) *Osončenost in osenčenost tafonov*: Obstajajo predpostavke, da tafonov naj ne bi bilo v območjih, ki nikoli niso izpostavljena sončni svetlobi, oziroma jih ne najdemo npr. v gozdu, kjer je večja osenčenost, večja vlažnost in manjše nihanje temperatur (Martini, 1978; Hejl, 2005, str. 91–94). Ovržejo jih primeri tafonov, ki jih najdemo v senčnih predelih, npr. na Islandiji (Zwalińska, Dąbski, 2012), ob Mrtvem morju (Abu Ghazleh, Kempe, 2009) ali v gozdu v Sudetih (Hall, Migoń, 2010). Čeprav naj bi bila za nastanek tafonov ključna osenčenost, ki naj bi pospeševala solno preperevanje, je Matsuoka (1995, str. 330) na Antarktiki ugotovil, da intenzivna osenčenost ne povzroča intenzivnega razpadanja kamnin. Poleg tega je bilo več sledi preperevanja v senčnih predelih znotraj tafonov kot na zunanjih, osenčenih stenah. Trenutno ne moremo pripisati večje vloge pri nastanku tafonov niti osenčenosti niti osenčenosti, verjetno pa je potrebna idealna kombinacija obojega.
- b) *Vlaga*: Voda naj bi s prodiranjem v steno prinašala in premeščala soli, zaradi katerih bi z naknadnim izsuševanjem prišlo do solnega preperevanja in posledično nastanka tafonov. Za njihov nastanek naj bi bila tako ključna prisotnost vode, bodisi iz tal (podtalnica) bodisi na stikih med plastmi, kjer se zadržuje padavinska voda, ki prodira v steno (Smith, 1978). Padavinska voda naj bi vplivala na nastanek stranskih tafonov, ki sicer niso vezani na zadrževanje vode med plastmi (Matsukura, Tanaka, 2000). Vse domneve, povezane z vlago, še niso natančneje raziskane.
- c) *Veter*: O vetru so sprva razmišljali kot o enem ključnih dejavnikov nastanka tafonov, saj naj bi nastali prav z vetrno erozijo. Njegova vloga je danes omejena samo na premeščanje materiala znotraj tafonov in prenašanje soli. Veter bi lahko vplival tudi na hitrejše sušenje sten in tako spet spodbujal solno preperevanje (Owen, 2013). Enako kot pri vlagi, tudi za delovanje vetra ni natančnejših raziskav, ki bi lahko potrdile ali ovrgle domneve.

V povezavi z mikroklimatskimi pogoji se omenja še en dejavnik, in sicer oblikovanost tafonov. Zaradi strehe oziroma vizirja, ki na zgornji strani zapira votlino, se v notranjosti tafonov ustvari specifična mikroklima – v primerjavi z zunanjimi stenami enakomernejši temperaturni in vlažnostni režim. Ti pogoji naj bi imeli vpliv na absorpcijo in izhlapevanje vode na notranjih stenah. To po Martiniju (1978, str. 61) spodbuja kemične reakcije, zaradi česar minerali intenzivneje razpadajo in posledično zadnje stene tafonov hitreje preperevajo. Kot pri drugih dejavnikih, se tudi tu pojavijo težave pri razlagi. O posebni mikroklimi ne moremo govoriti v primeru tafonov brez izrazitejšega vizirja, ki bi notranje stene ščitil pred zunanjimi vplivi.

5. NASTANEK TAFONOV

Kljub številnim raziskavam o tafonih ostaja glede njihovega nastanka še veliko neznanosti. V splošnem sicer velja, da nastajajo z votlinastim preperevanjem, je pa to precej ohlapen pojem, ki pove bolj malo o posameznih vrstah preperevanja, ki naj bi privedle do nastanka tafonov. Še manj je znanega o procesih, ki odnašajo prepereli material iz tafonov.

Kot dokaze za delovanje procesov preperevanja pri nastajanju tafonov se v literaturi navaja prisotnost luskanja ter počasnejšega in manj intenzivnega procesa zrnatega preperevanja v tafonih. To naj bi bilo prisotno predvsem v zrnatih kamninah (graniti in peščenjaki). Obstajajo tudi ocene hitrosti preperevanja v tafonih, in sicer je bila hitrost preperevanja ocenjena na 0,04–0,3 mm na leto; meritve so bile opravljene na granitu v Južni Koreji in na dolomitu v izraelski puščavi Negev (Matsukura, Tanaka, 2000). Z nastankom tafonov raziskovalci povezujejo tako mehanično preperevanje (zmrzalno, temperaturno, vlaženje in sušenje) kot kemično preperevanje (raztapljanje, hidrolizo in hidratacijo; Turkington, 2004). Največ raziskovalcev se strinja, da tafoni nastajajo s solnim preperevanjem (Martini, 1978; Matsuoka, 1995; Matsukura, Tanaka, 2000; Gümüş, Zouros, 2008; André, Hall, 2005; Goudie, 2009; Abu Ghazleh, Kempe, 2009; Sanchez del Corral, Thum, 2012; Zwalińska, Dąbski, 2012; Dorn in sod., 2013 idr.). Razlog za to naj bi bila prisotnost različnih soli (halita, sadre in različnih oblik magnezijevega sulfata) v tafonih (Goudie, 2009). Soli se nahajajo v vodi, ki pronica skozi kamnino, v preperelini, v luskah, ki so ločene od sten, in v razpokah v tafonih (Turkington, 2004, str. 128–129). Pri teh razlagah se pojavljajo določene dileme: v vseh tafonih namreč ne najdemo večjih količin soli ali pa so te zanemarljive (Campbell, 1999). Poleg tega ni znano, ali soli vplivajo na mehanično (neposreden vpliv) ali kemično preperevanje (posreden vpliv z razpadanjem mineralov) ali pa kar na oboje (Turkington, 1998). Za solno preperevanje je pomembno, da je vir soli (npr. morje) v bližini, kar pa privede do težav pri razlagi nastanka tafonov, ki so oddaljeni od virov soli (Hall, Migoń, 2010). Poleg tega so za izhlapevanje vode in odlaganje solnih kristalov potrebni dovolj sušni klimatski pogoji, kar pa spet oteži razlago nastanka tafonov v vlažnejših okoljih. Odrpta vprašanja v povezavi z ustreznimi pogoji za delovanje solnega preperevanja zaenkrat onemogočajo, da bi to vrsto preperevanja lahko šteli kot ključno za nastanek tafonov.

Sicer se raziskovalci intenzivno ukvarjajo z iskanjem ključne vrste preperevanja, manj pozornosti pa posvečajo potencialnim erozijskim procesom, ki bi lahko vplivali na nastanek tafonov. Študije iz 30. letih 20. stol. so štele veter kot ključni dejavnik nastajanja tafonov, saj naj bi nastajali predvsem z vetrno erozijo (Turkington, Paradise, 2005). Med raziskovalci zdaj prevladuje mnenje, da vetrna erozija ni razlog za izvotljenje skal in sten (Turkington, 2004). Z izjemo domnev o nastanku z vetrno erozijo, raziskave o vplivih erozijskih procesov na nastanek tafonov zaenkrat še ne obstajajo.

Številni raziskovalci so kljub nepopolnemu védenju o nastanku tafonov poskušali oblikovati teorije o njihovem nastanku. Prvi sklop so splošne teorije, ki nastanek tafonov pripisujejo delovanju procesov preperevanja, pri čemer ne pojasnijo vseh dilem, povezanih s tafoni. Takšni primeri so teorije Twidalea in Bourn (1976), Smitha in McAlisterja (1986) ter Matsukure in Tanake (2000). Drugi avtorji, npr. Gümüş in Zouros (2008), Uña Alvarez (2008) in El Sharkawy (2009), razlagajo razvoj tafonov kot ciklični in sestavljeni iz več faz: nastanek, rast, združevanje in v končni fazi podrtje stropa, kateremu ponovno sledi nastanek tafonov.

Obstajajo tudi primeri teorij, ki veljajo samo za tafone iz nekega območja, npr. za tafone na Finskem (Kejonen, Kielosto, Lahti, 1988) ali tafone na Islandiji (Zwalińska,

Dąbski, 2012). Tafoni na Finskem naj bi se začeli oblikovati ob razpokah v zgornji prepereli plasti balvanov (skorji), značilno obliko pa naj bi dobili s preperevanjem te skorje (Kejonen, Kielosto, Lahti, 1988). Tafoni na Islandiji naj bi bili prvotno plinski mehurčki v bazaltnih skalah, ki so se s preperevanjem kamnine najprej odprli, kasneje pa večali in dobili za tafone značilno obliko (Zwalińska, Dąbski, 2012). Navedeni teoriji sta sicer natančnejši v primerjavi s splošnimi teorijami, zaradi pestrosti kamnin in podnebij, v katerih se pojavljajo tafoni, ter tudi razlik med samimi tafoni, pa ju je nemogoče posploševati na vse tafone. Splošne teorije pa so po drugi strani preveč pomanjkljive, da bi jih lahko uporabili za posamezne primere tafonov.

Če povzamemo različne teorije o nastanku tafonov, se tafoni začnejo razvijati na šibkih, oziroma za preperevanje dovzetnih delih skale/stene. Za njihov nastanek in nadaljnji razvoj je potrebna prisotnost vode in soli ter ugodna mikroklima v okolici in znotraj tafonov, tako da lahko prihaja do solnega preperevanja. Razvoj tafonov ima več faz: v prvi fazi so tafoni manjše plitve votline. V drugi fazi rastejo s preperevanjem in se združujejo ter tako nastanejo kompleksni tafoni. Končna faza rasti je podrtje stropa votline, s čimer se ciklus razvoja tafonov zaključí, hkrati pa se začne nov ciklus. Več teorij skupaj sicer ponudi približno razlago o nastanku in razvoju tafonov, še vedno pa ostajajo določene neznanke glede vzrokov za nastanek tafona v prvi fazi, podrobnosti o strukturnih značilnostih skal/sten in možnostih delovanja drugih vrst preperevanja, razen solnega, pri njihovem nastanku in rasti.

Slika 5: Številne alveole in tafoni na hribu v bližini Isfahana (Iran) (foto: L. Ozis)

Figure 5: Numerous alveoli and tafoni on a hill near Isfahan (Iran) (photo: L. Ozis)



6. RAZLIKE MED TAFONI IN SPODMOLI

Do zdaj smo lahko v slovenski geografski literaturi tafone zasledili le v povezavi s spodmoli (Kunaver, Ogrin, 1992; Kunaver, Ogrin, 1993; Natek in sod., 1993; Kunaver, 2007), zato je na tem mestu smiselno narediti primerjavo med obema reliefnima oblikama. Spodmoli, podobno kot tafoni, predstavljajo votline v skalnatih stenah. Kot pri tafonih, njihov nastanek še ni natančno pojasnjen. V literaturi ne zasledimo veliko primerov, da bi ti dve obliki primerjali med sabo. Izjema so Smith (1978) in slovenski avtorji. Po Smithu (1978) sta *tafon* in *spodmol* (angl. rock shelter, abri) dve različni reliefni obliki. Med preučevanimi votlinami v Sahari tako ločuje med *cliff foot recesses* (vdolbina, niša na vznožju klifa) in tafoni. Niše so večje od tafonov in se nahajajo izključno na vznožjih sten, obe obliki pa naj bi nastali z votlinastim preperevanjem.

Smithovo razmišljanje je vplivalo na mnenje Kunaverja in Ogrina (1993), ki spodmolom v Slovenski Istri pripisujeta podobnost z nišami in ne s tafoni. Tafone opisujeta kot kroglaste izvotline, ki »... navadno ne spominjajo na spodmole in niso vezane samo na podnožja vzpetin.« (Kunaver, Ogrin, 1993, str. 61). V delu iz leta 1992 avtorja tako tafonom kot spodmolom pripisujeta nastanek z eksfoliacijo, v kasnejšem delu (1993) pa v povezavi s tafoni omenjata votlinasto preperevanje. Tudi za spodmole ne trdita več, da nastajajo z eksfoliacijo, ampak s selektivnim preperevanjem apnenca na stiku s flišem. Kunaver v kasnejšem delu (2007) tako tafonom kot spodmolom pripisuje nastanek s selektivnim preperevanjem, vztraja pa pri domnevi, da tafoni in spodmoli niso ista reliefna oblika. Drug primer iz slovenske literature (Natek in sod., 1993) tafone omeni kot spodmolom po zunanjem izgledu podobno obliko, ki naj bi nastajala z eksfoliacijo, nastanka spodmolov pa ne pripisuje delovanju istih procesov, temveč naj bi šlo za kombinacijo mehničnega preperevanja, denudacije in korozije.

V literaturi so tudi redki primeri, da bi obe reliefni obliki šteli za tafone, kot jih npr. Mol in Viles (2011), ki sta preučevali votline različnih oblik in velikosti v peščenjakih v rezervatu Golden Gate, JAR, pri čemer sta vse imenovali tafoni, čeprav določeni primerki merijo nekaj deset metrov v globino in širino ter več kot deset metrov v višino in so tako preveliki za tafone. Glede na to, da podobno kot pri tafonih, nimamo natančne definicije, ki bi določala velikost, obliko in nastanek spodmolov, lahko kot v primeru navedenih avtoric prihaja do enačenja obeh oblik. Zaenkrat tudi še nimamo dovolj znanja, da bi potrdili, ali so domneve raziskovalcev o (sorodni) morfogenezi oblik pravilne. Toda spodmole šteti za večje tafone, kot jih Mol in Viles (2011), vseeno ni ustrezno. Da gre za dve različni reliefni obliki, kažejo naslednje značilnosti enih in drugih:

- tafone najdemo tudi v večjih skalah (skalnatih blokkih), medtem ko spodmoli nastajajo samo v skalnatih stenah;
- razlika v velikosti, saj so lahko spodmoli nekajkrat večji kot tafoni;
- oblikovanost notranjih sten, kjer pri tafonih lahko nastajajo manjši tafoni in alveole, pri spodmolih pa tega ne zasledimo;
- tafoni lahko med rastjo skalo tako izpodjedajo, da od nje ostanejo samo oknom podobne oblike;

- tafoni so izoblikovani v obliki črke C zaradi vizirja, ki spredaj zapira votlino. Sicer se vizir ne pojavlja pri vseh tafonih, je pa to ena od lastnosti, ki jih več kot očitno ločuje od spodmolov.

Naštete razlike med tafoni in spodmoli tako potrjujejo predhodna razmišljanja slovenskih raziskovalcev, da so preučevane reliefne oblike iz Slovenske Istre spodmoli in ne tafoni.

7. SKLEP

Tafoni so površinske reliefne oblike, o katerih je bilo v tuji literaturi že dosti napisanega, v tem prispevku pa so prvič podrobneje predstavljeni tudi v slovenski literaturi. S tematiko tafonov se je ukvarjalo že veliko število raziskovalcev, zato o njih obstaja veliko literature. Njena kakovost je zelo različna, zato je bila pri izboru virov potrebna precejšnja selekcija. Glavne značilnosti tafonov so bile povzete po avtorjih, ki so do problema tafonov pristopili najbolj celostno. Kljub združevanju ugotovitev različnih avtorjev z namenom čimbolj natančne predstavitve dosedanjih spoznanj, pa v povezavi s tafoni ostaja še veliko nerešenih dilem. Veliko število opravljenih raziskav je sicer prineslo podatke o njihovi obliki, velikosti, lokacijah in nastanku. Z večanjem znanja se je tudi izpopolnila terminologija, saj obstajajo poimenovanja tako različnih vrst tafonov kot tudi skal/sten, kjer se nahajajo, in procesov, ki jih oblikujejo. Vseeno pa je trenutno še vedno težko oblikovati natančno definicijo tafonov. Razlog je v vedno večji količini razpoložljivih podatkov o tafonih. Vemo, da izoblikovanost tafonov ni enotna, da se pojavljajo v različnih kamninah in podnebjih, kljub številnim raziskavam pa še vedno ni pojasnjeno, s katerimi procesi nastajajo.

Trenutno obstajata dve možnosti za razlago njihovega nastanka. Ena je, da jih opisujemo kot obliko, nastalo z votlinastim preperevanjem. To naj bi bila posebna oblika preperevanja, katere mehanizmi delovanja sicer še niso natančno pojasnjeni, viden pa je njen rezultat – tafoni (in alveole). Druga možnost je razmišljanje o tafonih kot konvergentni reliefni obliki. To bi po eni strani pojasnilo njihovo pojavljanje na različnih koncih sveta, pri katerem zaenkrat ni možno prepoznati nekega vzorca, po drugi strani pa odpira nova vprašanja, povezana z njihovim nastankom. Pri votlinastem preperevanju je znan vsaj ključni proces nastanka, torej preperevanje. Pri opisovanju tafonov kot konvergentne reliefne oblike pa je procesov lahko več. Morda bodo raziskovalci z razmišljanjem o sodelovanju več procesov pri nastanku tafonov prišli do novih spoznanj, s čimer bodo tudi lažje oblikovali natančnejšo definicijo. Možnosti za nova spoznanja vsekakor so, saj obstajajo območja, kjer tafoni sploh še niso bili preučeni in morda bodo raziskovalci ravno tam prišli do novih spoznanj o njihovem nastanku. Tafoni iz navedenih razlogov ostajajo hvaležna tematika za raziskovanje.

Tafonov v našem okolju ne poznamo, kar se kaže tudi v majhnem številu omemb teh oblik v slovenski strokovni literaturi. Pri kratkih omembah tafonov so se avtorji ukvarjali le z izoblikovanostjo in delno z nastankom tafonov, v nobenem primeru pa ni šlo za poglobljeno preučevanje teh reliefnih oblik. Definicije pojma *tafon* tako v slovenski

strokovni literaturi ni zaslediti, tudi raba samega termina ni bila dosledna, pojma *alveola* pa tudi ne zasledimo. Posledično v slovenski literaturi tudi ne najdemo drugih terminov, npr. o njihovem položaju v steni (tafon na podnožju itd.) ali nastanku (votlinasto prepe-revanje). Pričujoči prispevek služi kot poskus zapolnitve teh vrzeli v védenju o tafonih. Tafone se je do sedaj v slovenski strokovni literaturi omenjalo samo kot spodmolom podobno obliko iz Slovenske Istre. Sicer ne moremo trditi, da pri nastanku enih in drugih oblik delujejo isti ali različni procesi, se pa tafoni in spodmoli razlikujejo v izoblikova-nosti, velikosti in lokacijah pojavljanja (skale in stene). Kratka predstavitev teh razlik v prispevku naj služi kot osnova za prihodnje raziskave tafonov in spodmolov, da ne bo prihajalo do enačenja ene reliefne oblike z drugo.

Viri in literatura

- André, M. F., Hall, K., 2005. Honeycomb development on Alexander Island, gla-cial history of George VI Sound and palaeoclimatic implications (Two Step Cliffs/ Mars Oasis, W Antarctica). *Geomorphology*, 65, 1–2, str. 117–138. DOI:10.1016/j.geomorph.2004.08.004
- Abu Ghazleh, S., Kempe, S., 2009. Geomorphology of Lake Lisan terraces along the eastern coast of the Dead Sea, Jordan. *Geomorphology*, 108, str. 246–263. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.02.015
- Blackwelder, E., 1929. Cavernous rock surfaces of the desert. *American journal of science*, series 5, 17, str. 393–399. DOI:10.2475/ajs.s5-17.101.393
- Campbell, S. W., 1999. Chemical weathering associated with tafoni at Papago Park, Cen-tral Arizona. *Earth surface processes and landforms*, 24, 3, str. 271–278. DOI:10.1002/(SICI)1096-9837(199903)24:3<271::AID-ESP969>3.0.CO;2-T
- Dana, J. D., 1894. *Manual of geology*. New York, Ivison, Blakeman, Taylor & Co, 1087 str.
- Darwin, C., 1839. *Journal of researches (Voyage of the Beagle)*. London, H. Colburn, 615 str.
- Dill, H. G., Weber, B., Gerdes, A., 2010. Constraining the physical-chemical conditions of Pleistocene cavernous weathering in Late Paleozoic granites. *Geomorphology*, 121, 3–4, str. 283–290. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.04.025
- Dorn, I. R., Gordon, S. J., Casey, D. A., Cervený, N., Dixton, J. C., Groom, K. M., Hall, K., Harrison, E., Mol, L., Paradise, T. R., Sumner, P., Thompson, T., Turkington, A. V., 2013. The role of fieldwork in rock decay research: case studies from the fringe. *Geomorphology*, 200, str. 59–74. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.12.012
- Easterbrook, D. J., 1999. *Surface processes and landforms*. New Jersey, Prentice Hall, 546 str.
- El Sharkawy, M., 2009. Geomorphology of tafoni caves in Dahab area south to Sinai Peninsula. *The Egyptian journal of environmental change, special issue: Living with landscapes*, str. 72–80.
- Goudie, A. S., 2004. Tafoni. V: Goudie, A. S. (ur.). *Encyclopedia of geomorphology*. London, Routledge, str. 1034–1035.
- Goudie, A. S., 2009. Cavernous weathering. V: Gines, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (ur.). *Karst rock features: karren sculpturing*. Ljubljana, Postojna, Založba ZRC, 561 str.

- Gümüş, E., Zouros, N., 2008. Cavernous weathering in Sigri area, Lesvos island, Greece. Proceedings of the international conference "Studying, modeling and sense making of planet Earth", Lesvos, June 1–6. Lesvos, University of Aegean, Department of geography, str. 1–11. URL: <http://www.geo.aegean.gr/earth-conference2008/papers/papers/A03ID194.pdf> (Citirano 29. 9. 2014).
- Gutierrez Elorza, M., 2005. Climatic geomorphology. Amsterdam, Elsevier Science & Technology, 774 str.
- Hall, A. M., Migoñ, P., 2010. The first stages of erosion by ice sheets: evidence from central Europe. *Geomorphology*, 123, 3–4, str. 349–363. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.08.008
- Hejl, E., 2005. A pictorial study of tafoni development from the 2nd millennium BC. *Geomorphology*, 64, 1–2, str. 87–95. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.05.004
- Huggett, R. J., 2002. Fundamentals of geomorphology. London, Routledge, 400 str.
- Kejonen, A., Kielosto, S., Lahti, S. I., 1988. Cavernous weathering forms in Finland. *Geografiska Annaler*, series A, 70, 4, str. 315–322.
- Kunaver, J., Ogrin, D., 1992. Exfoliation-generated rock shelters in limestone escarpments in western Dinaric Slovenia. Proceedings of the international symposium "Geomorphology and sea", and the meeting of the Geomorphological commission of the Carpatho-Balkan countries, Mali Lošinj, September 22–26. Zagreb, Faculty of Science, Department of Geography, str. 267–274.
- Kunaver, J., Ogrin, D., 1993. Spodmoli v stenah kraškega roba. *Annales*, 3, 3, str. 61–66.
- Kunaver, J., 2002. Naravni parki in naravne znamenitosti v zgornjem toku rek Kolorado, Green River in San Juan. *Geografski obzornik*, 49, 3, str. 3–11.
- Kunaver, J., 2007. Ponovno o spodmolih na Velem Badinu in njihovem nastanku. *Proteus*, 69, 9–10, str. 417–428.
- Martini, I. P., 1978. Tafoni weathering with examples from Tuscany, Italy. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 22, 1, str. 44–67.
- Matsukura, Y., Tanaka, Y., 2000. Effect of rock hardness and moisture content on tafoni weathering in the granite of Mount Doeg-Sung, Korea. *Geografiska Annaler*, series A, 82, 1, str. 59–67. DOI:10.1111/j.0435-3676.2000.00112.x
- Matsuoka, N., 1995. Rock weathering processes and landform development in the Sør Rondane Mountains, Antarctica. *Geomorphology*, 12, 4, str. 323–339. DOI:10.1016/0169-555X(95)00013-U
- Mellor, A., Short, J., Kirkby, S. J., 1997. Tafoni in the El Chorro area, Andalucia, Southern Spain. *Earth surface processes and landforms*, 22, 9, str. 817–833. DOI:10.1002/(SICI)1096-9837(199709)22:9<817::AID-ESP768>3.0.CO;2-T
- Mol, L., Viles, H. A., 2010. Geoelectric investigations into sandstone moisture regimes: implications for rock weathering and the deterioration of San rock art in the Golden Gate Reserve, South Africa. *Geomorphology*, 118, 3–4, str. 280–287. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.01.008
- Mol, L., Viles, H. A., 2011. The role of rock surface hardness and internal moisture in tafoni development in sandstone. *Earth surface processes and landforms*, 37, 3, str. 301–314. DOI:10.1002/esp.2252

- Natek, K., Žumer, J., Ogrin, D., Topole, M., Hrvatin, M., Gabrovec, M., 1993. Geomorfološka inventarizacija Kraškega roba. Raziskovalna naloga. Ljubljana, GIAM ZRC SAZU, 62 str.
- Owen, A. M., 2013. Tafoni development in the Bahamas. V: Lace, M. J., Mylroie, J. E. (ur.). Coastal karst landforms. New York, London, Springer, 381 str.
- Reusch, H., 1882. Notes sur la géologie de la Corse. Bulletin de la Société Géologique de France, 3, 11, str. 53–67.
- Sanchez del Corral, A., Thum, H., 2012. Geomorphology and late Holocene morphogenesis of Tchinguiz Tepe hill (Old Termez, Uzbekistan, Central Asia). Quaternary international, 281, str. 89–104. DOI:10.1016/j.quaint.2012.06.033
- Sancho, C., Fort, R., Belmonte, A., 2003. Weathering rates of historic sandstone structures in semiarid environments (Ebro basin, NE Spain). Catena, 53, 1, str. 53–64. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00197-2
- Smith, B. J., 1978. The origin and geomorphic implications of cliff foot recesses and tafoni on limestone hamadas in the northwest Sahara. Zeitschrift für Geomorphologie, 22, 1, str. 21–43.
- Smith, B. J., McAlister, J. J., 1986. Observations on the occurrence and origins of salt weathering phenomena near Lake Magadi, southern Kenya. Zeitschrift für Geomorphologie, 30, str. 445–460.
- Turkington, A. V., 1998. Cavernous weathering in sandstone: lessons to be learned from natural exposure. Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology, 31, 4, str. 375–383. DOI:10.1144/GSL.QJEG.1998.031.P4.11
- Turkington, A. V., 2004. Cavernous weathering. V: Goudie, A. (ur.). Encyclopedia of geomorphology. London, Routledge, str. 128–129.
- Turkington, A. V., Paradise, T. R., 2005. Sandstone weathering: a century of research and innovation. Geomorphology, 67, 1–2, str. 229–253. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.09.028
- Twidale, C. R., Bourne, J. A., 1976. The shaping and interpretation of large residual granite boulders. Journal of the Geological Society of Australia, 23, 4, str. 371–381. DOI:10.1080/00167617608728952
- Uña Alvarez, E. De, 2008. Description and nomenclature of the tafoni features (cavernous rock forms). Research approaches in granite terrains. Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe Coruña, 33, str. 65–82. URL: http://www.udc.gal/iux/almacen/articulos/cd33_art05.pdf (Citirano 29. 9. 2014).
- Viles, H. A., 2005. Microclimate and weathering in the central Namib Desert, Namibia. Geomorphology, 67, 1–2, str. 189–209. DOI:10.1016/j.geomorph.2004.04.006
- Walker, L. N., Mylroie, J. E., Walker, A. D., Mylroie, J. R., 2008. The caves of Abaco Island, Bahamas: keys to geologic timelines. Journal of cave and karst studies, 70, 2, str. 108–119. URL: <http://caves.org/pub/journal/PDF/v70/cave-70-02-108.pdf> (Citirano 15. 9. 2014).
- Zwalińska, K., Dąbski, M., 2012. Cavernous weathering forms in SW Iceland: a case study on weathering of basalts in a cold temperate maritime climate. Miscellanea geographica, 16, 1, str. 11–16. DOI: 10.2478/v10288-012-0016-3

TAFONI – PRESENTING CHARACTERISTICS OF A LANDFORM

Summary

Tafoni (sing.: tafone) and similar smaller landforms alveoli (sing.: alveole) are hollows or caverns formed by the process called cavernous weathering. This type of weathering causes hollowing-out of boulders and rock faces. Scientists are not yet sure which exact processes are involved in the formation of tafoni and alveoli, that is why they use the term cavernous weathering to describe all types of weathering that may result in formation of these landforms. Some of researchers even think these cavernous landforms are not related to each other.

In Slovenian geographical literature the term tafoni rarely occurs. Only few researchers mentioned the term tafoni in their works but it was more for distinguishing between tafoni and rock shelters (abris) which also represent caverns in rock faces, but are obviously landforms of different origin. The aim of this article is therefore to present tafoni and alveoli more in detail to Slovenian professional community and introduce some terms that are being related to them.

The term tafoni originates from the word ‘taffoni’ – Corsican for ‘windows’. The reason for this is that tafoni were described for the first time in Corsica by Reusch in 1882. In more than hundred years of research, scientists found out more about their shape, processes that could be involved in their formation and rock types and climate types in which tafoni occur. Tafoni were first considered to be typical for arid environments, but now we know that they occur in many parts of the world – dryland and coastal regions are maybe only more prevalent than others. They can be found in almost every rock type, mainly in granite and sandstone (medium and coarse-grained rock types), but also in tuff, limestone, gneiss and basalt. Tafoni occur in a wide range of climates – from (semi)arid and moderately humid to extremely cold polar climates.

Tafoni by definition usually have a spherical/elliptical shape, concave inner walls and visors, which give them typical C-shape. Their size is from several centimetres to several metres in width and depth, which is larger than alveoli which are never larger than a few decimetres. Unlike alveoli, tafoni can interconnect with each other – this larger type of tafoni is a complex cavern in contrast to the single tafoni cavern – and smaller tafoni and also alveoli can form on the backwalls of larger tafoni. The growth of such tafoni can hollow out almost the whole boulder and all that is left in the end is a tent-like arch.

Depending on the position of tafoni on the rock faces or boulders, we recognize three types of tafoni: basal, side/wall and sheet tafoni. Basal tafoni are formed at the base (foot) of rock faces/boulders, side tafoni are located on rock faces, and sheet tafoni occur between bedding planes. The formation of basal and sheet tafoni can be related to the presence of discontinuities in rocks, but side tafoni can be developed everywhere on rock faces/boulders, and their origin is not related to discontinuities.

Although there is already considerable knowledge about tafoni among the researchers from all over the world, the exact processes involved in their formation are still unknown. We also do not know yet which mechanisms remove weathered material

out of tafoni. Flaking and granular disintegration on the inner walls of tafoni are the evidence of the activity of some processes. In the formation of tafoni, some type of physical weathering (salt weathering, frost weathering and wetting/drying weathering) or chemical weathering (solution, hydrolysis and hydration reactions) or even both of them can be involved. Chemical weathering processes are considered to correlate with microclimate inside tafoni or the differences between inner and outer walls of tafoni. Inside the cavern there are smaller temperature fluctuations and higher relative humidity, which affect the absorption and evaporation of water in the inside walls, and consequently chemical reactions. Since tafoni can be found in great numbers in salt-rich environments (high salt concentrations and dry conditions from time to time) researchers connect their creation to salt weathering. The reason for their assumptions is the presence of salt crystals on walls, in seepage, flakes and in sediment inside tafoni, especially in coastal and desert tafoni. However, since there are examples of tafoni without any presence of salt inside them, researchers believe that there also need to be some other processes in action. With all the dilemmas linked to the question of their formation, tafoni can be considered as convergent landforms.

One of the main reasons why the interpretation of tafoni formation is so difficult lays in significant differences among tafoni from different locations from all over the world. These differences also make creating theories of their formation difficult. There have been some attempts to create general theories that could describe tafoni formation and development, but none of them could adequately include all the key dilemmas linked to tafoni's characteristics. Many questions about tafoni remain unanswered and researchers consequently have the opportunity for future explorations of these landforms.

(Translated by the author)