

RAZPRAVE

LITOLOŠKE IN RELIEFNE ZNAČILNOSTI LUNANSKIH KAMNITIH GOZDOV NA JUŽNOKITAJSKEM KRASU

AVTORJA

dr. Martin Knez*Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI – 6230 Postojna, Slovenija
knez@zrc-sazu.si***dr. Tadej Slabe***Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI – 6230 Postojna, Slovenija
slabe@zrc-sazu.si*

UDK: 551.44(510)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Litološke in reliefne značilnosti lunanskih kamnitih gozdov na južnokitajskem krasu

Kamniti gozdovi so ena najbolj znamenitih oblik kraškega površja. Razvili so se iz podtalnih škrapelj. Značilne primere takšnih pokrajin na Kitajskem imenujemo »shilin«. Razlike med kamnitimi gozdovi, ki se razvijajo v skorajda enakih razmerah, pričajo, da je raznovrstna oblika stebrov posledica predvsem razporeditve in gostote razpok v kamnini, plastnatosti kamnine ter različne sestave posameznih plasti. Skalne oblike na stebrih delimo na podtalne, sestavljene skalne oblike in oblike, ki jih oblikuje deževnica. Zaradi izjemnosti opisanega kraškega pojava na Kitajskem predlagava, da se v mednarodni strokovni literaturi za to vrsto kamnitih gozdov uporablja izraz »shilin«.

KLJUČNE BESEDE

kamniti gozd (shilin), razvoj kraškega površja, skalni relief, Lunan, Yunnan, Kitajska

ABSTRACT

Lithological and relief characteristics of the Lunan stone forests in the South China karst

Stone forests are unique karst surface landforms. The Lunan stone forests developed from underground karren. Where this type of surface is highly developed in China, it is defined as a »shilin«. Diverse examples of stone forests that formed in almost identical conditions show that the shape of the pillars is mainly the consequence of the distribution and density of fissures in the rock, its stratification, and different rock strata composition. The rock forms on the pillars are divided into subcutaneous forms, composed rock forms, and forms shaped by rainwater. Because of the exceptional characteristics of this karst phenomenon in China, we propose that the term »shilin« be used for this type of stone forest in the professional literature.

KEY WORDS

stone forest (shilin), development of karst surfaces, rock relief, Lunan, Yunnan, China

Uredništvo je prispevek prejelo 2. decembra 2005.

1 Lunanski kamniti gozdovi

Raziskovalci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU že desetletje sistematično sodelujemo pri raziskovanju kamnitih gozdov v provinci Yunnan. Mednje spadajo tudi lunanski kamniti gozdovi (slike 1, 2, 3), ki so svojevrstna oblika kraških škrapelj (Chen at al. 1998; Knez 1998; Slabe 1998; Knez, Slabe 2001a, 2001b, 2002). Škraplje, ki jih ob razpokah prepredajo špranje, so sestavljene iz skalnih stebrov (Song 1986; Habič 1980, 109) ali zob (Song 1986; Song, Hong 1992; Yuan 1991). Skalni zobje so manjše štrline, nižje od 5 m, visoki zobje so višji od 3 m, nizki pa nižji od 1 m (Song, Hong 1992). Po obliki se delijo (Song, Hong 1992) na koničaste, oglate in podolgovate. Stebri so visoki od 5 do 50 m in so različnih oblik. Veliki kamniti gozdovi so značilna oblika subtropskih podnebnih razmer (Song 1986, 3, 5).

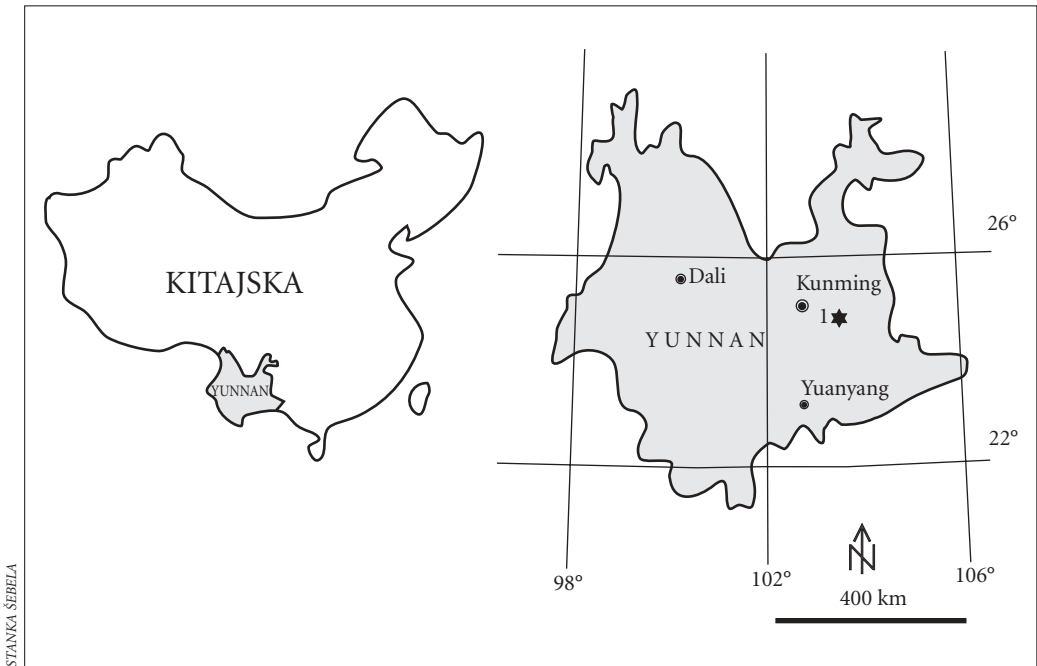
Song (1986, 6, 7, 8) glede na lego loči tri vrste kamnitih gozdov. V podoljih in dolinah nastanejo veliki kamniti gozdovi z vmesnimi vrtačami in udornicami. Pod njimi se pretakajo podzemeljske vode, so občasno poplavljeni (slika 4), ali pa voda teče skozi njih. Kamniti gozd na vrhu hribov je nižji (od 10 do 30 m), stebri rasejo iz skupnega temelja, pokrov naplavine nad njimi je bil tenak. Kamniti gozd na pobočju hribov je vmesna oblika med opisanimi.

Lunanske kamnite gozdove večkrat opisujejo kot obliko pokritega krasa (Chen, Song, Sweeting 1983; Maire, Shouyue, Shixiong 1991; Sweeting 1995, 125)). Karbonatne kamnine, na katerih so nastale škraplje, so bile namreč pokrite z debelimi plastmi naplavin, ki so odločilno vplivale tudi na nastanek in obliko kamnitega gozda (slika 5). Glede na naplavine je kamniti gozd lahko gol, pokrit ali pa pokopan. Hantoon (1997, 311) kamniti gozd opisuje kot epikraško obliko. Mangin (1997, 106) meni, da epikras kamnitega gozda seže do 100 m globoko.

Lunanski gozdovi so nastali predvsem z raztapljanjem kamnine pod tlemi, z vodo iz prsti, ki vsebuje biogeni CO₂ in naplavine. Voda povečuje razpoke in ločuje skale. Pod kislimi tlemi so med stebri



Slika 1: Kamniti gozdovi sestavljeni iz kamnitih stebrov in zob.



Slika 2: Položaj raziskovanega področja v provinci Yunnan, južna Kitajska.



Slika 3: Gosta poseljenost v okolici kamnitega gozda.

nastale široke in globoke špranje, na njihovih stenah pa globoki žlebovi (Yuan 1997). Razkrite karbo-natne kamnine preoblikuje deževnica. Najprej nastanejo zobje in iz njih gozd (Song 1986, 13).

Sprva je bil apnenec, ki je že zakraseval (Jinbiao, Baoguo 1997; Song, Wang 1997, 433), pokrit s permijskim bazaltom in tufom, kar je vplivalo tudi na njegovo oblikovanost in skalo, ki je ponekod metamorfozirala (Song, Yuhui 1997; Ford, Salomon, Williams 1996, 34). Skozi bazalte in tufe je pro-nicala voda in razvijal se je podtalni kras. V mezozoiku je bil del apnenca razgaljen (Song, Wang 1997, 433). V oligocenu in miocenu so se kamniti bloki dvigali in spuščali, kraški relief je bil v spodnjih delih preoblikovan z erozijo (Jinbiao, Baoguo 1997). V eocenu se je vdrl Lunanski graben in odložene so bile debele plasti jezerskih naplavin (Chen, Song, Sweeting 1983; Zhang et al. 1997; Song, Wang 1997, 433). Na naplavinah so v tropskem podnebjju nastale debele plasti lateritne prsti (Sweeting 1995, 124; Ford, Salomon, Williams 1997, 112). V pliocenu se je začel razvijati sedanji kamniti gozd (Jinbiao, Baoguo 1997, 66). V kvartarju je bil velik del naplavin odstranjen, ohranile pa so se v razpokah.

Nivo podzemeljske vode je imel pomembno vlogo pri razvoju gozda (Ford, Salomon, Wil-liams 1997, 114). Z razvojem podzemeljskih vodnih poti so iz zob začeli nastajati stebri (Zhang et al. 1997). Nihajoča podzemeljska voda je širila razpoke (Yuan 1991). Pod gozdovi je danes razvit celovit in raz-novrsten splet vodnih poti (Zhang et al. 1997, 5). Členjenost kamnine zaradi tektonike je povzročila nižanje gladine podzemske vode, odnašanje naplavin s površja in hitrejšo rast gozdov.

Osrednji del kamnitega gozda se razprostira na 80 ha, večji in manjši kamniti gozdovi pa so razpro-stranjeni kar na 350 km² (Chen, Song, Sweeting 1983; Zhang et al. 1997). Osrednji del leži v podolju na nadmorski višini od 1625 do 1875 m. Podzemeljska voda, ki je plitko pod površjem, se po izdatnem deževju dvigne za 10 m. Večina dežja, med 70 in 80 % od 936,5 mm, pade od junija do oktobra (Chen, Song, Sweeting 1983). Poprečna temperatura je 16,3 °C, niha pa od -2 do 39 °C. Stebri so naj-višji v osrednjem delu podolja, kjer se površinske vode stekajo v podzemlje, na robovih kamnitega gozda pa je več naplavine (Sweeting 1995, 125). Habič (1980, 110) ga imenuje plitvi kras. V nižjem delu kam-nitega gozda se voda namreč pretaka tudi po površju.



Slika 4: Kamniti gozd sredi jezera.



MARTIN KNEŽ

Slika 5: Kamniti zobje.

Turistične dele lunanskih kamnitih gozdov letno obišče več kot milijon obiskovalcev. So edinstvena in celovita naravna in kulturna pokrajina, kjer živi, zdaj tudi od turizma, manjšina Sani.

Oblika stebrov v gozdu in njihova višina sta značilnosti določenih vrst kamnine in njihovega topografskega položaja (Zhang, Wang, Wang 1997, 73).

Številni primeri kamnitih gozdov, ki se razvijajo v skorajda enakih razmerah, pričajo, da je raznovrstna oblika stebrov predvsem posledica razporeditve in gostote prelomov in razpok, ki kosajo karbonatne kamnine in njihove različne skladovitosti ter sestave. Upoštevati moramo tudi pomen učinkovitosti njihovega oblikovanja s podtalnimi dejavniki in preoblikovanja z deževnico v različnih obdobjih.

2 Metode

Z različnimi metodami smo zbrali številne nove izsledke o oblikovanju in razvoju kamnitih gozdov kot tudi kraškega površja, epikrasa in prevotljenosti vodonosnika v neposredni bližini razvijajočih se podtalnih škrapelj.

Na raziskovanih območjih smo izvedli geomorfološko, geološko, strukturno in hidrogeološko kartiranje ter geodetske meritve. V laboratoriju v Postojni smo izvedli modeliranje oblik na mavcu (Slabe 2005).

Na terenu smo izbrali vzorce kamnin, v laboratoriju pa naredili mikroskopske preparate ter opravili litološke, petrološke in stratigrafske preiskave. Zelo pomembni so bili rezultati kalcimetričnih analiz karbonatov. Več nekarbonatnih sedimentov smo preiskali z uveljavljeno paleomagnetno analizo.

Raztapljanje površine karbonatov na več lokacijah spremljamo tudi z mikrometrskimi meritvami. Za prikaz sva izbrala tri primere kamnitih gozdov: Naigu, Pu Chao Chun in Lao Hei Gin.

3 Kamniti gozd Naigu

Kamniti gozd Naigu (slika 6) leži 20 km vzhodno od osrednjega lunanskega kamnitega gozda in je pomembna turistična točka. Kamniti gozd sestavljajo večje skalne gmote in manjši stebri, ki stojijo eden ob drugem ali posamezno. Svojevrstno obliko gozda določata predvsem pretrtost in sestava različnih skladov kamnine, na kateri je v različnih nivojih nastal kamniti gozd. Obsežnost stebrov narekujejo prelomi in razpoke, ki pokončno prepredajo sklade kamnine. V obliki stebrov, ki so pogosto podtalno spodjedeni, in v njihovem skalnem reliefu se jasno kaže pomen njihovega podtalnega oblikovanja, preoblikovanje z deževnico pa počasi napreduje po stebrih navzdol.

Kamniti gozd leži vzdolž dveh tektonsko rahlo dvignjenih hrbtov. Prelomi, ki omejujejo prelomno cono, so izredno močni, vmesni, ki se večinoma vlečejo v smeri severozahod–jugovzhod, pa so dolgi več kilometrov in globoki. Stebri so se oblikovali v prek 100 m debeli skladovnici spodnje permijskih karbonatnih kamnin Qixia formacije. Lastnosti kamnine so skozi geološki prerez zelo različne, zato smo skupine plasti z morfo-genetskega stališča od spodaj navzgor razdelili v tri skupine:

- plastnati mikritni in neporozni apnenec,
- porozni in močno dolomitizirani apnenec ter
- masivni in marogasto dolomitizirani apnenec (Knez, Slabe 2001a).

Stebri se razvijajo na različnih nivojih opisanih skladov kamnine in temu skladna je njihova oblika. Najbolj značilna oblika stebrov je gobasta, ali pa so ob poroznih in močno dolomitiziranih skladih izrazite zajede. To je posledica hitrejšega podtalnega razjedanja in votljenja najbolj poroznega dela kamnine, ki na površju razmeroma hitro razpada. Stebri, katerih vrhovi so v poroznih in močno dolomitiziranih skladih, so ožji in večinoma brez značilnih, pravilnih oblik, ki jih narekujejo dejavniki njihovega razvoja. Plastnat in neporozen apnenec pogosto tvori širše podstavke stebrov, ki so iz poroznih in močno dolomitiziranih ter masivnih in marogasto dolomitiziranih apnencev. Oblika podtalnih skalnih zob praviloma izrazito ne odseva različne sestave kamnine.



TADEJ SLABE

Slika 6: Pogled na prostrani Naigu kamniti gozd.

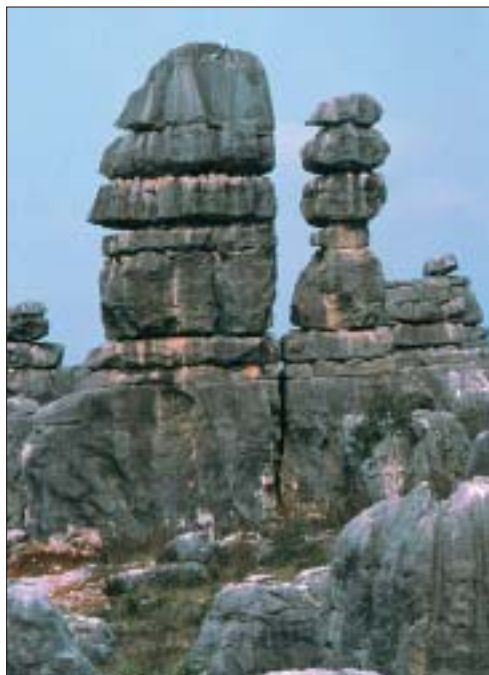
Najbolj izrazite skalne oblike so podtalne in sestavljene. Podtalne so veliki žlebovi na stenah stebrov in podtalni žlebovi na širših vrhovih. Sestavljene oblike pa so žlebovi, ki vodijo iz podtalnih žlebov ali podtalnih vdolbin, ki so na vrhovih. Poglobljanje podtalnih vdolbin in iztekanje vode po žlebovih povzročata razčlenjevanje vrhov stebrov, zlasti obsežnejših, v konice, med katerimi so lijakaste zajede.

Podtalne, praviloma večje skalne oblike se razvijajo na vseh vrstah kamnine v kamnitem gozdu Naigu. Kamnina pa vpliva na njihovo obliko, zlasti na najmanjše, ki imajo na dolomitizirani kamnini pogosto nazobčane robove. Žlebiči, ki jih dolbejo dežne kaplje, so manj izrazita skalna oblika v Naiguju. Na njihov nastanek in razvoj vpliva predvsem sestava kamnine. Skalne oblike so razvite na večini skladov različne kamnine, le malo pa jih je na poroznih in močno dolomitiziranih skladih. V njih so podtalne cevi. Ko so ti skladi kamnine na vrhu stebrov, manjše skalne oblike, ki jih dolbe deževnica, skorajda ne nastajajo, ponekod so le dežne vdolbine, ali pa deževnica preoblikuje večje podtalne oblike. Skalni relief je torej razvit tudi sorazmerno s položajem skladov v stebrih.

O postopnem in raznolikem razvoju kamnitega gozda, ki je povezan z razvojem jam pod njim, pričajo tudi sledi razvoja jame Bayun v njenem osrednjem delu. Iz jamskih naplavin in njenega skalnega reliefa lahko razberemo več obdobij razvoja v epifreatičnem predelu vodonosnika, nato pa hiter padec gladine podzemeljske vode, kar je verjetno povzročilo tudi hitrejšo rast kamnitega gozda (Šebela et al. 2001).

4 Kamniti gozd Pu Chao Chun

Pu Chao Chun je manjši kamniti gozd (slika 7), 15 km južno od osrednjega lunanskega kamnitega gozda. Kamniti stebri so na grebenu, kjer je njihova mreža najbolj gosta in na pobočju pod njim. Obliko mu določa predvsem svojevrstna razporeditev različno debelih, v zgornjem delu večinoma tenkih skladov kamnine, na katerih je v različnih nivojih nastal kamniti gozd. Obsežnost in podolgovatost stebrov mu narekujejo tudi prelomi in razpoke, ki pokončno prepredajo sklade kamnine. V obliki ste-



Slika 7: Kamniti stebri v Pu Chao Chun.

brov in v njihovem skalnem reliefu se jasno kaže pomen njihovega podtalnega oblikovanja, preoblikovanje z deževnico pa počasi napreduje po stebrih navzdol.

Kamnina se prek geološkega prereza praktično ne spreminja. Vseskozi sledimo večinoma biomiokrosparitnemu apnencu s skoraj sto odstotnim deležem CaCO_3 , apnencu, ki v tem profilu kaže podobne sedimentacijske razmere in ne glede na debelino plasti kaže enak odziv na vpliv erozijskih in korozijskih procesov (Knez, Slabe 2001b). Debelina plasti odločilno vpliva in se jasno odraža na morfološkem videzu posameznih kamnitih stebrov.

V zgornjem delu kamnitega gozda so stebri večinoma posamezni in manjših prečnih prerezov. Skladi kamnine so tam najtanjši. Bolj čokati in tesneje drug ob drugem so spodnji deli stebrov, ki se oblikujejo na debelem skladu kamnine. Ob tankih skladih so izrazite zajede, hitreje razpadajo in pod njimi so vrhovi pogosto razmeroma ravni, če pa so na vrhu debelejši skladi, so vrhovi ostri. V spodnjem delu kamnitega gozda, kjer je manj kamnitih stebrov, so le ti nastali na debelih skladih kamnine, zato so praviloma spodaj širši, navzgor pa se ožijo.

Dobro so razvite vse vrste skalnih oblik, ki pričajo o razvoju kamnitega gozda. Podtalne skalne oblike so veliki podtalni žlebovi in podtalne fasete ter podtalni žlebovi in podtalne vdolbine na obsežnejših vrhovih. Slednji podtalni žlebovi so se pogosto razvili iz podtalnih cevi ob lezikah. Razkrile so se, ko so razpadli zgornji skladi. Na dolgotrajnejših nivojih prsti, ki je obdajala stene, so nastale podtalne zajede. Izrazit delež skalnega reliefa je iz sestavljenih skalnih oblik. Delimo jih na tiste, ki nastajajo zaradi neposrednega prepletanja podtalnih dejavnikov in deževnice, in na tiste, katerih svojevrstna oblika je posledica preoblikovanja podtalnih oblik z deževnico. Sestavljene skalne oblike so žlebovi, ki vodijo iz podtalnih žlebov, in podtalnih vdolbin, ki so na vrhovih ter podtalnih votlin med lezikami kamnine. Na robovih so nastala lijakasta ustja. Razgaljene podtalne skalne oblike preoblikuje deževnica, ki dolbe žlebiče, žlebove in dežne vdolbinice, na navpičnih in previsnih stenah pa tudi dežne fasete, ki nastanejo zaradi polzenja vode po hrapavi površini skale. Škavnice največkrat nastanejo na dnu razgaljenih podtalnih skalnih oblik.

5 Kamniti gozd Lao Hei Gin

Kamniti gozd Lao Hei Gin (slika 8) leži 18 km severno od osrednjega kamnitega gozda Shilina. Posamezni in gručasti kamniti stebri ter večji korozijsko in erozijsko preoblikovani bloki kamnine zavzemajo okrog 2 km² površine. Kjer so stebri gručasti, so med njimi le špranje ali razpoke. Nastali so na različnih nivojih skorajda vodoravnih skladov kamnine in temu skladne so tudi njihove oblike. Večje gručaste kamniti stebrov so sestavljene iz več deset stebrov. Na razmeroma veliki površini kamnitega gozda so le posamezni stebri in skalni zobje. Nekateri stebri imajo obliko kvadrastih stolpov ali pa so gobasti. Pogosto so sestavljeni iz več kvadrov, ostankov skladov kamnine med lezikami in razpokami. Posamezni stebri so razmeroma veliki, široki in visoki, ali pa so nizki (od 1 do 2 m) in široki.

Prvotni apnenc je na področju kamnitega gozda Lao Hei Gin močno diagenetsko spremenjen: v kamnini lahko pod mikroskopom opazujemo subhedralna do euhedralna zrna dolomita, ki tvorijo hipidiotopično do idiotopično strukturo. Razen povsem zgornjega dela kamnite stebre v grobem gradijo dolospariti in dolomikrospariti tipa grainstone.

Pomembna razlika v posameznih paketih plasti je v ugotovljenih različnih stopnjah sekundarne poroznosti in rekristalizacije, kar se odraža tudi na morfološkem videzu kamnitih stebrov. Spodnji del stebrov gradijo dolospariti do dolomikrospariti tipa grainstone, kjer skoraj ne opazimo sekundarne poroznosti. Osrednji del stebrov gradijo zelo sekundarno porozni dolomiti. Kristali dolomita so v povprečju manjši od kristalov v spodnjem paketu plasti hkrati pa tudi manj čisti. Zgornji del stebrov pa je zgrajen ponovno v sekundarno skoraj neporoznih apnencih in dolomitih. Samo vrhovi so iz rekristaliziranega sekundarno neporoznega apnenca. Dolomitna kamnina razpada večinoma v zrnih.

Močno sekundarno porozni osrednji deli stebrov tako pod tlemi kot na površju preperevajo in razpadajo hitreje. Visoki stebri so zato praviloma izrazite gobaste oblike. Delno porozni in neporozni skladi

so namreč obstojnejši in obsežnejši. Ponekod zgornjih delov stebrov ni več, ohranjeni so le nizki stebri, ki so oblikovani v spodnji neporozni kamnini, ki izdanja iz tal. Močno porozna kamnina v osrednjem delu stebrov je pogosto prevotljena s podtalnimi cevmi, ki jih preoblikuje deževnica, polzeča po stebrih navzdol. Redki vrhovi stebrov, ki se oblikujejo na takšni kamnini, so največkrat neenotnih oblik.

Skalni relief sestavljajo vse značilne skupine skalnih oblik, podtalne, tiste, ki jih dolbe deževnica in sestavljene skalne oblike. Značilnosti jim v precejšnji meri določa sestava različnih skladov kamnine, še zlasti, ko je razkrita. Na podtalne oblike se manj izrazito odraža.

V prvi sklop podtalnih oblik sodijo različno veliki podtalni žlebovi, ki so nastali zaradi strnjenege pretakanja vode na stiku stene in naplavine, ki je prekrivala kamnino in zapolnila špranje ob pokončnih razpokah. Premer največjih žlebov doseže več metrov. Členijo vse štiri različne sklope plasti. Na vrhovih višjih stebrov so bili preoblikovani z deževnico, porozni osrednji skladi pa preperevajo prehitro, da bi se na njih ohranili dlje časa. So torej predvsem značilnost nižjih stebrov in skalnih zob. Tudi podtalne fasete, ki nastanejo na razmeroma prepustnem stiku skale z naplavinami, so ohranjene praviloma na neporoznih skladih oziroma na šele kratkotrajno razgaljenih, močno poroznih skladih.

Obsežnejši vrhovi stebrov in zob so razčlenjeni s srednje velikimi in manjšimi podtalnimi žlebovi in vdolbinami (Slabe 1999, 259), ki so nastali pod prstjo, s katero je bila skala le deloma prekrita, torej zaradi penikanja vode skozi prst in njenega pretakanja ob stiku s kamnino. Sestavljene skalne oblike so večji žlebovi na zgornjem delu sten stebrov. Nastanejo zaradi iztekanja vode iz podtalnih žlebov, ki so na obsežnejših vrhovih stebrov, ali pa vodijo iz lijakastih zajed. Na dnu le teh so podtalne vdolbine oziroma so nekoč bile. Na robu vrhov so torej večja ali manjša lijakasta ustja, ki so največkrat preoblikovana z deževnico. Še zlasti izraziti so na neporoznih skladih, oziroma, ko je vrh v apnenčasti kamnini, segajo do spodaj ležečih močno poroznih plasti. Njihova razporeditev in oblika, saj so razmeroma ozki in globoki, je določena s pretrstostjo kamnine, nazobčanost skalnega oboda pa tudi z njeno sestavo.



MARTIN KNEŽ

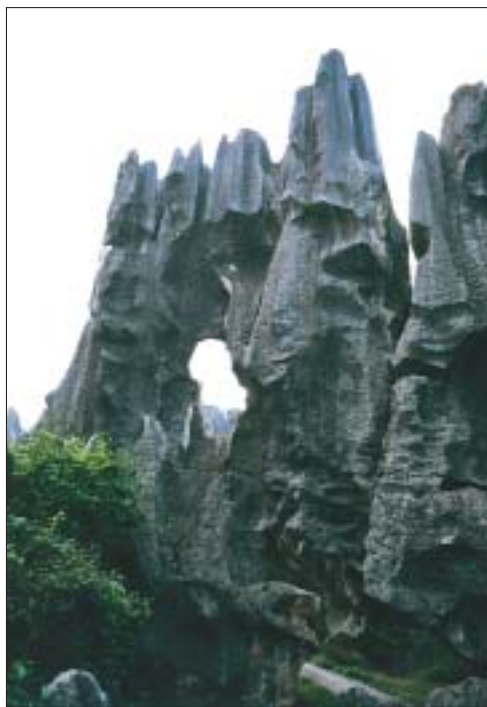
Slika 8: Gobasta stebra v Lao Hei Gin kamnitem gozdu.

Na dolgotrajnejših nivojih prsti in naplavin, ki obdajajo stebre, nastanejo polzvonovi (Slabe 1999).

Skalne oblike, ki jih dolbe deževnica, zlasti najmanjše, kot so žlebiči in dežne vdolbinice, na tej skali ne nastanejo. Skala je grobo hrapava, na njej so le skalne oblike, katerih velikost presega posamezne razčlembe hrapavosti. Izjema je manjši, najvišje ležeči predel kamnitega gozda, kjer so na vrhovih zob iz apnenca nastali žlebiči. Razčlenjenost večine vrhov je torej določena s sestavo in pretrtostjo kamnine. Iz podtalnih vdolbin nastajajo izrazito razčlenjene in hrapave škavnice, le dno tistih, ki je prekrito s tenko plastjo naplavine in poraščeno, ostaja ravno in razmeroma gladko. Na zgornjem delu strmih sten so žlebovom podobne razčlembe, ki so največkrat zelo ozke in sorazmerno globoke, oglatih oblik; njihov premer meri od 1 do 10 cm, dolge pa so od 2 do 3 m.

6 Rezultati in razprava

Področje kamnitih gozdov gradita spodnjepermijski karbonatni formaciji Qixia in Maokou. Formaciji sta dve od pomembnejših bazalnih formacij, v katerih so nastali številni kamniti gozdovi v Lunanu v južnem delu Yunnana. Značilnosti formacije Qixia so mikritni apnenci z interkalacijami dolomita in doloapnenca z vmesnimi polami skrilavca. V spodnjem delu formacije Maokou se apnenci izmenjujejo z dolomiti in doloapnenci. V zgornjem delu sledimo zaporedju apnencev, ki so ponekod tankoplastoviti, drugod pa gradijo več metrov debele sklade, ter masivnemu apnencu, ki v posameznih horizontih vsebuje tudi do več decimetrov velike gomolje roženca. Glavne litološke lastnosti formacije Maokou so v grobem podobne formaciji Qixia, le da pri karbonatih formacije Maokou ne zasledimo večjega vpliva poznodiagenetske dolomitizacije in ponekod znatne sekundarne poroznosti. Pri obeh opazimo močno diagenetsko spremenjenost osnovne kamnine, ki je nedvomno tudi posledica intenzivne vul-



TADEJ SLABE



TADEJ SLABE

Slika 9: Podtalne zajede in fasete.

Slika 10: Polzvon.

kanske (bazaltna lava) dejavnosti na prehodu iz paleozoika v mezozoik. Kamnina ima izredno visok odstotek karbonata.

Na raziskanem področju zasledimo znatne variacije v debelini, poroznosti, stopnji in načinu dolomitizacije, vsebnosti vključkov in barvi posameznih plasti, kar se zrcali v oblikovanosti kamnitih gozdov.

Morfološke značilnosti so odsev različnih dejavnikov, od katerih so najpomembnejši geološki. Eden temeljnih je **razpokanost kamnine**, ki vpliva na obliko gozda in obsežnost kamnitih stebrov. Razporeditev stebrov (tloris kamnitih gozdov) je skladna s pretrtostjo kamnine. Stebri so lahko povezani v nize med izrazitimi prelomnimi predeli, so tesno drug ob drugem, ali pa kamniti gozd oziroma njegove dele sestavljajo posamezni, široki ali ozki stebri. Stebri, ki imajo manjše prečne prereze, praviloma nastanejo ob gosti mreži razpok, ob redkejši mreži pa večje skalne gmote, ki imajo širše vrhove.

Posebno pomemben dejavnik je **plastnatost kamnine**, ki vpliva na obliko kamnitih stebrov. Na stebre, ki se razvijajo na debelih skladih in skladih z enakomerno strukturo kamnine, le-te skorajda ne vplivajo. Vzdolžni prerez stebrov na tankih skladih kamnine je pogosto nazobčan, saj so razčlenjeni z zajedami, ki nastanejo ob lezikah, ali pa se v njihovi zunanji obliki odraža neenakomerna odpornost različnih skladov kamnine.

Od geoloških dejavnikov ne smemo izpustiti sestave kamnine. **Sestava kamnine**, zlasti če je raznovrstna, lahko odločilno vpliva na oblikovanost kamnitih stebrov, tako na njihov vzdolžni prerez kot na obsežnost prečnega prereza. Porozni skladi so pogosto prevotljeni in hitreje razpadajo, skladi kamnine s slabše topnimi sestavinami pa največkrat štrlijo iz sten.

Za razumevanje tako regionalnega kot lokalnega razvoja kamnitih stebrov moramo izpostaviti tudi vpliv **podtalnega oblikovanja kamnine**, ki je botrovalo značilnemu oblikovanju stebrov na raznovrstni kamnini in svojevrstnemu skalnemu reliefu. Deževnica ostri vrhove stebrov in preoblikuje sledi njihovega prvotnega podtalnega oblikovanja.



TADEJ SLABE

Slika 11: Podtalni žlebovi.



TADEJ SLABE

Slika 12: Podtalna cev.



MARTIN KNEZ

Slika 13: Vrhovi kamnitih stebrov s skalnimi oblikami, ki jih dolbe deževnica.

Svojevvrsten razvoj kamnitih gozdov se odraža tudi v njihovem **skalnem reliefu**. Deževnica postopoma preoblikuje podtalni skalni relief. Najbolj izrazite, zlasti največje skalne oblike so podtalne in sestavljene. Podtalne so fasete (slika 9), veliki žlebovi, zajede in polzvonovi (slika 10), podtalni žlebovi (slika 11) ter vdolbine na širših vrhovih, sestavljene oblike pa so žlebovi, ki vodijo iz podtalnih žlebov ali podtalnih vdolbin in členijo stene stebrov. Mnogi stebri so podtalno spodjedeni, vrhove pa imajo preoblikovane z drugotnimi podtalnimi skalnimi oblikami in oblikami, ki jih dolbe deževnica. Svojevvrsten je skalni relief obsežnejših skalnih stebrov, še zlasti tistih, ki imajo obsežnejše vrhove, bodisi na debelih skladih kamnine, kjer nastanejo drugotne podtalne oblike, bodisi na vrhovih, ki nastanejo zaradi razpadanja tenkih skladov kamnine, ko se v podtalne oblike ali pa v velike žlebove, ki jih preoblikuje deževnica, razvijejo podtalne cevi (slika 12), ki so nastale ob lezikah. Obe obliki posredno vplivata tudi na oblikovanost sten stebrov zaradi odtekanja vode iz njih in dolbljenja žlebov. Na dolomitni kamnini, na zelo porozni ali z večjimi vložki zapolnjeni kamnini, manjše skalne oblike praviloma ne nastanejo.

7 Sklep

Številni primeri kamnitih gozdov, ki se razvijajo v skorajda enakih razmerah, pričajo, da je raznovrstna oblika stebrov predvsem posledica značilnosti kamnine, od razporeditve in gostote prelomov in razpok, ki jo kosajo in njihove različne skladovitosti do sestave. Upoštevati moramo tudi pomen učinkovitosti njihovega oblikovanja s podtalnimi dejavniki in preoblikovanja z deževnico, torej tudi poteka njihovega razvoja v različnih obdobjih.

Lunanski kamniti gozdovi so oblikovani v spodnjepermijskih karbonatih formacij Qixia in Maokou s pestrим menjavanjem zelo čistih apnencev, dolomitiziranih apnencev in dolomitov, menjavanjem tankih in debelih plasti, ter ponekod izrazito poznodiagenetsko dolomitiziranostjo in sekundarno poroznostjo. Skladi so večinoma vodoravni ali nagnjeni za 5 do 10 stopinj. Zaradi živahne tektonike so razlomljeni s številnimi vertikalnimi in subvertikalnimi prelomi in razpokami.

Različna pretrrtost, skladovitost in sestava kamnine se odražajo v obliki kamnitih gozdov in kamnitih stebrov. V istem kamnitnem gozdu, ki je nastal na pestro sestavljeni kamnini, so lahko stebri različnih, a značilnih oblik, kar je posledica njegovega razvoja na različnih nivojih raznovrstnega stolpca kamnin.

Na obliki kamnitih stebrov, ki so iz debelejših in enakomerno sestavljenih skladov kamnine, se odraža predvsem razvoj iz podtalnih škrapelj v kamniti gozd, sledi podtalnih dejavnikov postopoma preoblikuje deževnica. Prečni prerezi kamnitih stebrov, ki so nastali na tenkih skladih kamnine, so pogosto nazobčani, njihovi vrhovi, tudi ožjih stebrov, ki so praviloma koničasti, pa največkrat ravni, kar je posledica hitrega razpadanja tenkih skladov. Porozni skladi kamnine so največkrat podtalno prevotljeni in na površju hitreje razpadajo, stebri so zato ob njih ožji, vrhovi na takšni kamnini pa nimajo značilnih oblik. Odpornejši skladi kamnine štrlijo iz prečnega prereza. Vrhovi ožjih stebrov so ostri, ostrijo jih tako podtalni dejavniki kot deževnica. Obsežnejši vrhovi so razčlenjeni s konicami in lijakastimi vdolbinami.

Svojevvrsten skalni relief nastane, ko se skala oblikuje pod tlemi. Razgaljeno skalno preoblikuje deževnica, ki dolbe žlebiče, žlebove (slika 13) in škvavnice.

Na razvoj kamnitih gozdov, hitrost njihove rasti v določenem obdobju, vplivajo tudi položaj in razvoj kraških votlin pod njimi, oziroma način odtekanja vode s kraškega površja in z njo tudi naplavin in prsti. Različna obdobja razvoja lahko razberemo iz kraških votlin.

Zaradi izjemnosti opisanega kraškega pojava na Kitajskem predlagava, da se v mednarodni strokovni literaturi za to vrsto kamnitih gozdov uporablja izraz »*shilin*«.

Podobna oblikovanost kraškega površja se razkriva tudi ob umetnem razgaljanju pri posegih v nizki in pokriti Dolenjski kras (Knez, Otoničar, Slabe 2003).

8 Viri in literatura

- Chen, X., Gabrovšek, F., Chuxing, H., Yuzhang, J., Knez, M., Kogovšek, J., Hong, L., Petrič, M., Mihevc, A., Otoničar, B., Mengxiong, S., Slabe, T., Šebela S., Wenqing, W., Shouyue, Z., Zupan Hajna, N. 1998: South China Karst I. Ljubljana.
- Chen, Z. P., Song, L. H., Sweeting, M. M. 1983: The pinnacle karst of the stone forest, Lunan, Yunnan, China: an example of sub-jacent karst. *New Directions in karst*. Norwich.
- Ford, D., Salomon, J. N., Williams, P. 1996: Les »Forets de Pierre« ou »Stone forests« de Lunan. *Karstologia* 28/2. Le-Bourget-du-Lac.
- Ford, D., Salomon, J. N., Williams, P. 1997: The Lunan stone forest as a potential world heritage site. *Stone forest, a treasure of natural heritage*. Beijing.
- Habič, P. 1980: S poti po kitajskem krasu. *Geografski vestnik* 52. Ljubljana.
- Hantoon, P. W. 1997: Definition and characteristics of stone forest epikarst aquifers in South China. *Proceedings of 12th International Congress of Speleology*. La Chaux-de-Fonds.
- Jinbiao, Y., Baoguo, Y. 1997: Paleoenvironment during formation of Lunan Stone Forest. *Stone forest, a treasure of natural heritage*. Beijing.
- Knez, M. 1998: Lithological properties of the three Lunan stone forests (Shilin, Naigu and Lao Hei Gin). *South China Karst I*. Ljubljana.
- Knez, M., Otoničar, B., Slabe, T. 2003: Subcutaneous stone forest (Trebnje, Central Slovenia). *Acta carsologica* 32/1. Ljubljana.
- Knez, M., Slabe, T. 2001a: Oblika in skalni relief stebrov v Naigu kamnitem gozdu (JZ Kitajska). *Acta carsologica* 30/1. Ljubljana.
- Knez, M., Slabe, T. 2001b: The lithology, shape and rock relief of the pillars in the Pu Chao Chun stone forest (Lunan stone forests, NW China). *Acta carsologica* 30/2. Ljubljana.
- Knez, M., Slabe, T. 2002: Lithologic and morphological properties and rock relief of the Lunan stone forests. *Evolution of karst: From prekarst to cessation*. Ljubljana.
- Maire, R., Shouyue, Z., Shixiong, S. 1991: Genèse des karsts subtropicaux de Chine du Sud (Guizhou, Sichuan, Hubei). *Karstologia mémoires* 4. Le-Bourget-du-Lac.
- Mangin, A. 1997: Some features of the Stone forest of Lunan, Yunnan, China. *Stone forest*. Beijing.
- Slabe, T. 1998: Rock relief of pillars in the Lunan Stone Forest. *South China Karst I*. Ljubljana.
- Slabe, T. 1999: Subcutaneous rock forms. *Acta carsologica* 28/2. Ljubljana.
- Slabe, T. 2005: Two experimental modellings of karst rock relief in plaster: subcutaneous »rock teeth« and »rock peaks« exposed to rain. *Zeitschrift für Geomorphologie* 49. Berlin-Stuttgart.
- Song, L. H. 1986: Origination of stone forest in China. *International Journal of Speleology* 15. Bologna.
- Song, L. H., Hong, L. 1992: Control of geological structures over development of cockpit karst in south Yunnan, China. *Tübingen Geographische Studien* 109. Tübingen.
- Song, L. H., Wang, F. 1997: Lunan Shilin Landscape in China. *Proceedings of 12th International Congress of Speleology*. La Chaux-de-Fonds.
- Song, L. H., Yuhui, L. 1997: Definition of Stone forest and its evolution in Lunan County, Yunnan, China. *Stone forest, a treasure of natural heritage*. Beijing.
- Sweeting, M. M. 1995: *Karst in China. Its Geomorphology and Environment*. Berlin, Heidelberg, New York.
- Šebela, S., Slabe, T., Kogovšek, J., Hong, L., Pruner, P. 2000: Baiyun cave in Naigu shilin, Yunnan Karst, China. *Acta geologica sinica* 75/3. Beijing.
- Yuan, D. 1991: *Karst of China*. Beijing.
- Yuan, D. 1997: A global perspective of Lunan Stone forest. *Stone forest, a treasure of natural heritage*. Beijing.
- Zhang, F., Geng, H., Li, Y., Liang, Y., Yang, Y., Ren, J., Wang, F., Tao, H., Li, Z. 1997: Study on the Lunan stone forest karst, China. Beijing.
- Zhang, F., Wang, F., Wang, H. 1997: Lunan Stone forest landscape and its protection and conservation. *Stone forest, a treasure of natural heritage*. Beijing.

9 Summary: Lithological and relief characteristics of the Lunan stone forests in the South China karst

(translated by Wayne J. D. Tuttle)

For ten years, karstologists from the Karst Research Institute of the Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts have been systematically involved in research of stone forests in Yunnan province, cooperating most productively with karstologists from the Geographical Institute of the University of Kunming. So far, we have successfully concluded five bilateral projects, and a sixth is in progress. Using various methods we have obtained numerous new findings about the formation and development of stone forests, as well as about the karst surface, epikarst, and hollowed aquifer in the immediate vicinity of developing subsoil karren. In the areas studied we conducted geomorphological, geological, structural, and hydrogeological mapping and geodetic surveying. In the laboratory in Postojna we conducted experiments in the modeling of rock forms in plaster. In the field we collected rock samples and in the laboratory made microscopic preparations and conducted lithological, petrological, and stratigraphical studies. The results of calcimetric analyses of carbonates were very important. Many noncarbonate sediments were analyzed using standard paleomagnetic analysis. The dissolving of the surface of carbonates at several locations was also tested with micrometric measuring.

Stone forests are unique karst surface landforms. The Lunan stone forests developed from underground karren, and where this type of surface is highly developed in China, it is defined as a »shilin« landscape.

Numerous examples of stone forests (shilin) that developed in almost identical conditions show that the diverse shape of the pillars is primarily a consequence of

- the properties of the rock,
- the distribution and density of joints and fissures in the rock, and
- its diverse stratification and composition.

Furthermore, we must also consider the significance of the effect on their shaping by subsoil factors and later transformation by rainwater, that is, the course of their development in various periods.

The Lunan stone forests formed in early Permian carbonates of the Qixia and Maokou formations. Characteristic of these are frequent alternations of very pure limestone, dolomitized limestone, and dolomite, the alternation of thin and thick layers, and in some places distinctive late diagenetic dolomitization and secondary porosity. The layers are mostly horizontal or inclined by five to ten degrees. Due to vigorous tectonic action, they are fractured by numerous vertical and subvertical joints and fissures.

The diverse fracturing, stratification, and rock composition are reflected in the shapes of the stone forests and their stone pillars. In the same stone forest, which developed on diversely composed rock, pillars may be of various but typical shapes, the consequence of their development on different levels of a diverse rock column.

The shape of stone pillars occurring on thicker and uniformly composed rock strata reflects primarily the development from subsoil karren into a stone forest, and the traces of subsoil factors are gradually reshaped by rainwater. Cross sections of stone pillars occurring on thin rock strata are often jagged, and their tops (even of thinner pillars), which as a rule are pointed, are often flat, the consequence of the rapid disintegration of thin strata. Porous rock strata are most often perforated below the ground and disintegrate faster on the surface; the pillars are therefore narrower and the tops on such rock have no characteristic shapes. More resistant rock strata protrude from the cross section. The tops of the narrower pillars are sharp, sharpened as much by subsoil factors as by rainwater. The broader tops, however, are dissected by points and funnel-like cups.

A unique rock relief occurs when the rock is shaped under the ground. Exposed subsoil relief forms are transformed by rainwater that hollows flutes, channels, and solution pans.

The development of stone forests and their rate of growth in a particular period are also influenced by the position and development of karst caves below them, that is, by the manner the water – and the sediment and soil with it – flows from the karst surface. Various periods of development can also be determined from the karst caves.

Because of the exceptional characteristics of this karst phenomenon in China, we propose that the term »shilin« be used for this type of stone forest in the professional literature.