

Cirkon v grödenskem peščenjaku z območja Žirovskega vrha in Sovodnja

Zircon in the Val Gardena sandstone from the Žirovski vrh and Sovodenj region, W Slovenia

Dragomir Skaberne

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: cirkon, Grödenska formacija, perm, Žirovski vrh, Slovenija

Key words: zircon, Val Gardena Formation, Permian, Žirovski vrh, Slovenia

Kratka vsebina

Grödenska formacija permske starosti med Cerknim in Smrečjem je zaradi rudnih koncentracij urana in bakra ena zanimivejših formacij v Sloveniji. Litofacialno korelacijo smo skušali izpopolniti z analizo zastopanosti tipoloških oblik cirkona. V grödenskem peščenjaku smo od 64 oblik v Pupinovi tipološki klasifikaciji zasledili 37 različnih oblik cirkona. Povezave med posameznimi oblikami cirkona, ki jih lahko združimo v sedem skupin, so relativno slabe. S tipološkimi oblikami cirkona je možno ločevati in korelirati posamezne litostratigrafske člene s povprečno 82 % zanesljivostjo. Znotraj posameznih členov pa je podrobnejša korelacija na sedanji stopnji raziskanosti nezanesljiva. Glede na najbolj izraženo polje oblik S19 in S24 sklepamo, da so imele največji vpliv med magmatskimi kamninami na izvornem območju magmatske kamnine orogenega območja Ca-alkalne in K-Ca-alkalne se-stave.

Abstract

The Val Gardena Formation of the Permian age in the Žiri region between Cerkno and Smreče is one of more interesting formations in Slovenia because of occurrences of ore concentrations of uranium and copper. We tried to improve the lithofacial correlation by analysis of crystal forms of zircon. In the investigated Val Gardena sandstone, 37 different forms of zircon were found of the 64 types of the Pupin's typologic classification. Correlation between different crystal forms of zircon is relatively low, and they cluster into seven groups. The lithostratigraphic members can be distinguished and correlated according to the zircon crystal forms with the mean certainty of 82 %. However, within the lithostratigraphic members the detailed correlation is uncertain at the present stage of our knowledge. The field of the most frequent zircon crystal forms S19 and S24 indicates the prevailing influence of orogenic types of igneous rocks of Ca-alkaline and K-Ca-alkaline composition between different igneous rocks in the source area.

Uvod

V Sloveniji so kamnine Grödenske formacije, ki jo starostno uvrščamo v permsko periodo, ohranjene in razvite v največjem sklenjenem obsegu in debelini na Žirovskem, med Cerknim in Smrečjem. Na tem območju so v grödenskih kamninah že v prejšnjem stoletju poznali številne pojave bakrove rude. Po odkritju radioaktivnih anomalij na Žirovskem vrhu leta 1960, se je zanimanje za grödenske kamnine zelo povečalo. Nadaljne raziskave so vodile k odprtju Rudnika urana Žirovski vrh, ki pa je od leta 1991 v fazi zapiranja.

Pri raziskovanju in kasnejšem sledenju uranove rude so se geologi srečevali s problemi korelacije, ki so posledica razgibanega rečnega sedimentacijskega okolja, v katerem so se usedali sedimenti, ki grade sorazmerno monotone klastične kamnine spodnjega dela Grödenske formacije. Ti so brez značilnih fosilnih ostankov, brez vodilnih horizontov in s številnimi naglimi facialnimi spremembami ter v nekaterih delih v kompleksnih strukturnih odnosih. V takih razmerah so raziskovalci poskušali priti do podrobnejše litološko facialne korelacije in med drugim tudi do korelacije na osnovi mineralne sestave lahke in težke frakcije.

Veliko podatkov o sestavi in korelaciji grödenskih kamnin je v neobjavljenih poročilih. Iz prvega obdobja raziskav je podatke o razvoju in korelaciji grödenskih kamnin na Žirovskem vrhu zbral O m a l j e v (1965, 1967 a, b). Iz tega obdobja so podatke objavili tudi R i s t i č in M a r k o v (1971) ter P r o t i č s sodelavci (1972), ki izkazujejo tedanjo stopnjo poznavanja grödenskih kamnin v rudišču Žirovski vrh. Leta 1971 je geološke raziskave na območju Žirovskega vrha prevzel Geološki zavod Ljubljana. S tega obdobja sta za korelacijo pomembni predvsem dve deli. L u k a c s in F l o r j a n č i č (1974) sta dokazala, da v osrednjem delu rudišča ni štirih pasov orudenja, temveč so le-ti posledica nagubane strukture (dvojna S struktura). Za litološko facialno korelacijo je pomembno delo B u d k o v i č a (1980), ki je v spodnjem delu Grödenske formacije imenovanem siva grödenska formacija, ločil deset litostratigrafskih horizontov. Ta razdelitev je služila tudi za operativno korelacijo na območju rudnika Žirovski vrh. Od 1978 do 1985 je M l a k a r litostratigrafsko opredelil celotno Grödensko formacijo med Cerknim, Žirovskim vrhom in Smrečjem ter opisal geološko zgradbo obravnavanega ozemlja.

S sestavo grödenskih kamnin na tem območju so se ukvarjali Hinterlechner-Ravnikova, Grad, Ramovš, Grafenauer, Radošević, Janković, Protić, Drovenik, Silvestrova, Orehkova, Dolenc, Skaberne, Štrumberger in drugi. Podrobnejšo korelacijo v spodnjem, pretežno sivem, uranonosnem delu Grödenske formacije so skušali vzpostaviti z analizo mineralov težke frakcije.

V grödenskem peščenjaku je do 1.4%, povprečno 0.28% masnega deleža težke frakcije. Od tega pripada večina neprozornim zrnom: ilmenitu, levkoksenu, magnetitu, hematitu, hematitiziranim drobcem in piritu ter sfaleritu, ki sta avtigena. Med prozornimi težkimi minerali, ki so količinsko podrejeni, so bili ugotovljeni: cirkon, rutil, turmalin, granati, amfiboli, apatit, zoisit (klinzoisit), epidot, pirokseni, titanit, stavrolit, disten in andaluzit, kot pretežno terigena zrna, brookit, ki je lahko terigen ali avtigen in barit kot avtigen mineral. Poleg tega so v težki frakciji tudi kloriti in biotit. Cirkon, rutil, turmalin, granati, amfiboli, apatit, zoisit (klinzoisit) in epidot predstavljajo večino prozornih težkih mineralov, medtem ko so ostali v manjšem številu vzorcev, in sicer v sledovih. Kljub številnim poskusom, tudi z analizo mineralov težke frakcije, niso prišli do podrobnejše korelacije znotraj sivega, spodnjega dela Grödenske formacije (S k a b e r n e, 1995).

Kasneje je Š t r u m b e r g e r (1986 a) začel proučevati uporabnost cirkona kot korelacijskega minerala v spodnjem delu Grödenske formacije. Študij cirkona smo v več fazah nadaljevali do 1990 in ga razširili na večji del Grödenske formacije. Zbrane podatke in izsledke objavljamo v tem prispevku.

Cirkon je namreč prisoten v vseh vzorcih in pogosto predstavlja prevladujočo komponento mineralov težke frakcije. Zaradi spremenljivosti oblik, barv, optičnih in drugih fizikalnih ter kemičnih lastnosti cirkona v odvisnosti od pogojev in okolja njegovega nastanka ter njegove visoke mehanske in kemične stabilnosti med preperevanjem, transportom in diagenezo se cirkon pogosto uporablja za stratigrafsko korelacijo in diferenciacijo sedimentnih, metamorfnih in magmatskih kamnin. Cirkon je tudi pomemben mineral za ugotavljanje petrogeneze, izvora, paleogeografskih interpretacij, določanje absolutne starosti, opredeljevanje mineraloške zrelosti klastičnih sedimentov in kot stabilnostni indikator v razvoju tal (M a r s h a l l, 1967).

Kristalna oblika cirkona

Cirkon je primarni magmatski mineral, ki nastaja večinoma med začetnimi fazami kristalizacije magme. Njegova kristalna oblika se spreminja od dolgih prizmatskih, preko prizmatskih do bipiramidalnih oblik. Na osnovi eksperimentalnih in petroloških študij so ugotovili, da na kristalno obliko cirkona vplivajo predvsem sledeči kemični in fizikalni pogoji:

Razmerje med alkalijami (predvsem Na) in aluminijem: naraščanje razmerja $(Na+K)/Al > 1$ v talini pospešuje nastanek bipiramidalnih kristalnih oblik cirkona (P o l d e r v a a r t, 1956; K o s t o v, 1973; P u p i n & T u r c o, 1972 b; C a r u b a, 1978).

Kislost taline: naraščanje kislosti taline pospešuje nastanek sploščenih kristalnih oblik (C a r u b a et al., 1975).

Količina vode v talini: v „suhih“ magmah se pri cirkonih razvije predvsem prizma (100), v „mokrih“ pa prizma (110) (P u p i n et al., 1978).

Spremembe v kemični sestavi cirkona: nadomeščanje Zr z U, Th, P in vodo domnevno pospešujejo nastanek bipiramidalnih oblik, medtem ko nadomeščanje Zr s Hf pospešuje nastanek prizmatskih oblik (K o s t o v, 1973). Spremenljivost oblike v odvisnosti od koncentracij določenih slednih prvin sta proučevala tudi B e n i s e k in F i n g e r (1993).

Temperatura: z naraščanjem temperature se večja prizma (100) in manjša prizma (110) (P u p i n & T u r c o, 1972 c, 1975). Hkrati s tem je opazna povezava med višjo temperaturo in povečanjem količine Zr, V, Co, Ni in redkih zemelj v magmatskih kamninah (P u p i n, 1985).

Prenasičenost taline s Zr: pri visoki prenasikičenosti taline raste prizma (110) hitreje od prizme (100), pri nizki prenasikičenosti pa je razmerje hitrosti rasti prizem obratno. Rast piramid (211) pa naj bi bila odvisna od količine adsorbiranih drugih atomov na te ploskve (V a v r a, 1990).

Hitrost kristalizacije: hitra kristalizacija pospešuje nastanek dolgih prizmatskih kristalov (K o s t o v, 1973).

Velikost kristalov: oblika kristalov cirkona se spreminja z njegovo rastjo in se kot dominantna razvija prizma (110) nad prizmo (100) (K ö h l e r, 1970; P u p i n & T u r c o, 1972 a, b). To je lahko tudi posledica znižanja temperature.

Cirkoni iz kimberlitov so zaobljeni (K r e s t e n et al., 1975).

Pogoji, ki vplivajo na kristalno obliko cirkonov, niso neodvisni med seboj. Zato je kristalno obliko cirkonov težko vezati le na enega izmed njih. P u p i n in T u r c o (1975) sklepata, da na kristalno obliko cirkonov od navedenih pogojev najbolj vplivata temperatura kristalizacije in razmerje alkalnih ter aluminijevih ionov v magmi. Pri tem pa bi morali vedno upoštevati kinetiko rasti cirkona (V a v r a, 1990).

V metamorfnih kamninah, ki so bile izpostavljene nizki in srednji stopnji metamorfoze, naj bi novonastali cirkon rasel pretežno sintaksialno na starejših zrnih in se tako njegova oblika ne bi bistveno spremenila. Pogosto so zrna cirkona nekoliko zaobljena, kar bi bila lahko posledica delne spremembe med metamorfozo (T u r c o & P u p i n, 1982). Delno zaobljena in avtigeno obrasla zrna cirkona pa so lahko le indikator metasedimentnih kamnin (W y a t t, 1954; V i t a n a g e, 1957; M u r t h y & S i d d i q u i e, 1964). V visoko metamorfnih kamninah so opazili ponekod popolno rekristalizacijo in nastanek novih kristalnih oblik cirkona (G a s t i l et al., 1967; D a v i s et al., 1968; A l i n a t et al., 1979; B l a t t et al., 1980). Možnost takih sprememb pri visoki stopnji metamorfoze nakazujejo tudi novejša raziskave (F a r g e s, 1994).

V sedimentnih in nizkometamorfnih kamninah so cirkonova zrna pogosto zaobljena. Kljub mehanski odpornosti cirkona se njegova zrna zaradi abrazije med transportom lahko zaoblijo. Običajno pa je za izrazitejšo zaoblitev cirkonovih zrn potrebnih več sedimentacijskih ciklov. Poleg tega poročajo tudi o avtigenezi cirkona v sedimentnih kamninah (H u t t o n, 1950; A w a s t h i, 1961). Medtem ko S a x e n a (1966) zelo poudarja pomembnost avtigenega nastajanja cirkona v sedimentnih in nizkometamorfnih kamninah, pa M a r s h a l l (1967) tolikšnemu poudarku nastajanja avtigenega cirkona v diagenetskih in nizkometamorfnih pogojih oporeka.

Za uporabo kristalne oblike cirkona v petrologiji moramo opazovanje oblik večjega števila cirkonovih zrn kvantificirati. V literaturi zasledimo tri metode:

1. Najstarejše so statistične metode merjenja dolžine in širine kristalov in njunega razmerja - razpotegnjenosti. Te podatke so prikazovali grafično v obliki histogramov ali frekvenčnih porazdelitvenih krivulj. A l p e r in P o l d e r v a a r t (1957) sta na tej osnovi razvila metodo reducirane glavne osi, kjer se iz meritev dolžin (x) in širin (y) izračunajo povprečne vrednosti in standardni odkloni obeh dimenzij.

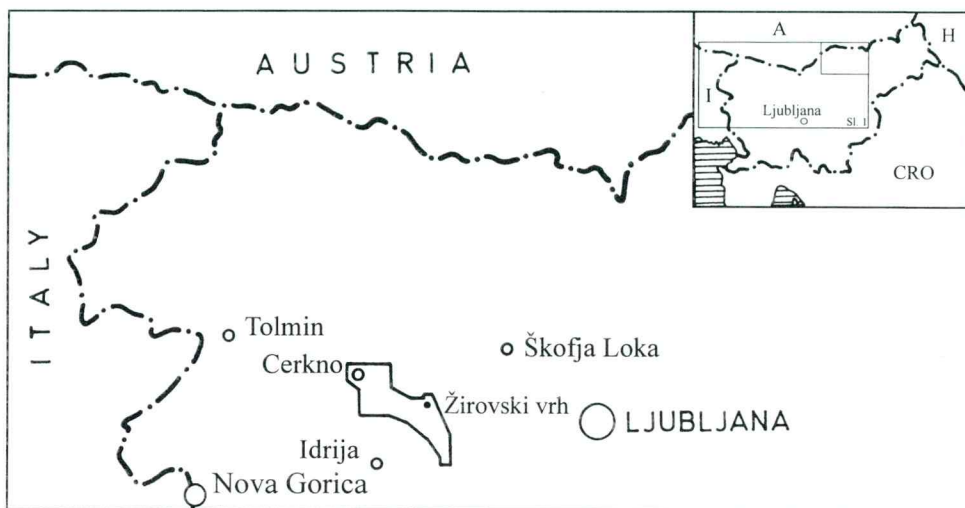
2. Fourierjevo analizo oblik dvodimenzionalnih projekcij cirkonovih zrn je uporabil B y e r l y s sodelavci (1975).

3. Prevladovanje glavnih prizem in piramid pri posameznih kristalnih oblikah cirkona so povezali v skupine in podskupine ter jih prikazali v mrežnem diagramu (P u p i n & T u r c o, 1972 a, c). P u p i n in T u r c o (1972 c, 1975) razlagata prevladujoči razvoj prizme (100) nad prizmo (110) kot posledico naraščanja temperature kristalizacije cirkona in na osnovi tega izračunavata indeks T. Prevladujoči razvoj piramide (101) nad piramido (211) pa vezeta na naraščanje razmerja alkalije/Al in na osnovi tega izračunavata indeks A.

Osnovne geološke značilnosti obravnavanega ozemlja

Kamnine Grödenske formacije se raztezajo med Cerknim, Žirovskim vrhom in Smrečjem v smeri NW-SE na dolžini približno 20 km in širini do 5 km v obliki neena- komerno širokega pasu. V širšem geotektonskem pogledu prištevamo obravnavano ozemlje k Dinaridom, v ožjem smislu pa k idrijsko - žirovskemu ozemlju, ki je del Trnovskega pokrova (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1981). Krovno zgradbo sekajo številni dinarsko in prečno dinarsko usmerjeni prelomi. Starostno uvrščamo kamnine

Grödenske formacije v srednji perm po tridelni ali v spodnji del zgornjega perma (kazanj) po dvodelni razdelitvi perma. V talnini Grödenske formacije leže diskordantno sive do temno sive klastične kamnine, ki jim pripisujemo karbonsko starost, pri čemer dopuščamo možnost, da seže najvišji del teh tudi v spodnji perm. Krovnino Grödenske formacije grade karbonatne sedimentne kamnine zgornjepermske starosti. Obravnavano ozemlje (sl. 1) je Mlakar v letih 1978 do 1982 v okviru raziskovalne naloge *Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije* geološko skartiral. Na podlagi litoloških značilnosti je Grödensko formacijo razdelil na šest superpozicijskih enot A₁, A₂, A_{3/1}, A_{3/2}, B in C, ki jim pripisujemo značaj litostratigrafskih členov, in jih poimenoval.



Sl. 1. Situacijska karta širšega raziskovalnega območja, ki ga je podrobno geološko skartiral Mlakar (1979 - 1982)

Fig. 1. Location map of the larger investigated area geologically mapped by Mlakar (1979 - 1982)

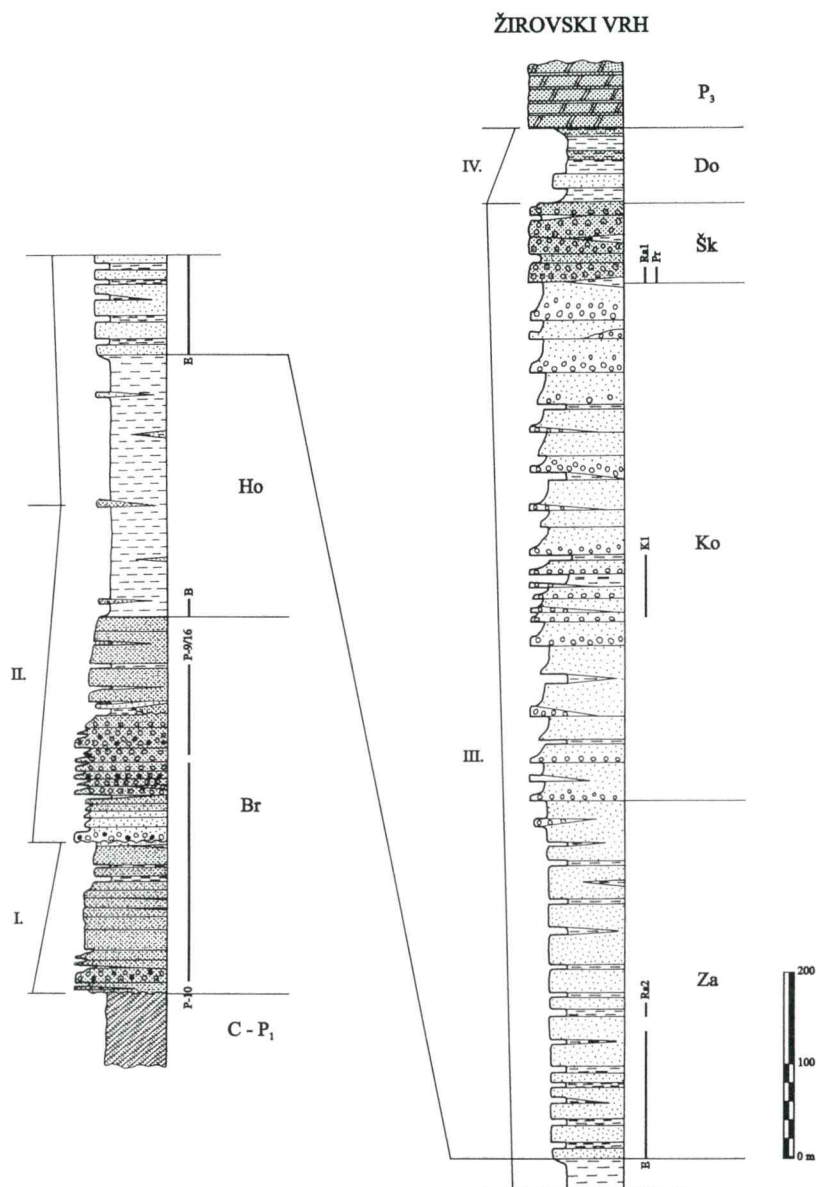
Brebovniški člen (Br - A₁) sestavljajo večinoma sivi in zelenosivi, ponekod rdeči in zeleni peščenjaki in konglomerati ter podrejeno muljevci. Na območju Žirovskega vrha je v zgornji polovici tega člena uranovo orudenje. Debelina člena se spreminja od 10 do 400 m.

Hobovski člen (Ho - A₂) je iz rdečega muljevca z lečami rdečega in sivega drobnozrnatega peščenjaka, v katerem so ponekod pojavi Cu. Člen je debel od 20 do 280 m.

Zalški člen (Za - A_{3/1}) grade večinoma rdeči, različno zrnati peščenjaki in podrejeno muljevci. Njihova debelina se giblje med 180 in 380 m.

Koprivniški člen (Ko - A_{3/2}) sestavljajo konglomerati in različno zrnati peščenjaki, v manjši meri muljevci. Na območju Žirovskega vrha doseže debelina tega člena 550 m.

Škofješki člen (Šk - B) je na območju Škofja in Sovodenj razvit kot siv peščenjak, ki je ponekod tudi oruden s Cu, na območju Žirovskega vrha pa se skupaj z njim pojavlja tudi svetlo siv ponekod rožnat konglomerat. Debelina se spreminja od 20 do 100 m. Na Lavrovcu, kjer predstavlja bočni ekvivalent Zalškega in Koprivniškega člena, pa doseže debelino 740 m.



Sl. 2. Litostratigrafski razvoj Grödenske formacije na območju Žirovskega vrha z lego vzorčevanih profilov P-10, Pr-9/16, Kl, Ra1, projiciranih profilov B, E z območja Sovodnji, Ra2 z območja Golega vrha in Pr z območja Smrečja. Na levi strani so prikazani izdvojeni makrocikli. Osenčeni del profila označuje sivo in zeleno obarvane kamnine

Fig. 2. Lithostratigraphic development of the Val Gardena Formation in the region of Žirovski vrh with positions of sampled profiles P-10, Pr-9/16, Kl, Ra1, projected profiles B, E from the Sovodenj, Ra2 from the Goli vrh and Pr from the Smreče region. Macrocycles are shown on the left. Shadowed part of profile indicated grey and green coloured rocks

Dobračevski člen (Do - C) grade raznobarvni muljevci in podrejeno drobnozrnati peščenjaki. Doseže debelino 120 m, proti SE pa se izklinja.

Skupna debelina Grödenske formacije se, podobno kot debeline posameznih členov, lokalno spreminja in to od 200 do 1750 m ter doseže največji obseg na območju Žirovskega vrh (sl. 2).

Obravnavane grödenske kamnine interpretiramo kot produkt pretežno rečnega sedimentacijskega okolja s skoraj vsemi proksimalno - distalnimi spremembami podobnih od aluvialnih vršajev do prepletajočih in meandrirajočih vodnih tokov z obsežnimi poplavnimi ravninami in plitvimi jezери (S k a b e r n e, 1995).

V zapolnitvi osrednjega dela sedimentnega bazena, ki obsega območje Žirovskega vrha, lahko ločimo štiri makrocikle (sl. 2). Prvi in drugi sta retrogradacijska, tretji, najdebelejši, pa je progradacijski. Četrti makrocikel ima retrogradacijski značaj in se konča z morsko transgresijo in usedanjem karbonatnih sedimentov zgornjega perma (S k a b e r n e, 1995).

Analitska metodologija

Za določitev težke frakcije smo vzeli vzorce iz podrobno posnetih profilov, ki zajemajo posamezne dele litostratigrafskih členov Grödenske formacije. Pri tem smo pazili, da so si bili vzorci po zrnavosti kolikor mogoče podobni. Večinoma pripadajo drobnozrnatemu peščenjaku, zastopani pa so tudi debeleje zrnati litološki različki.

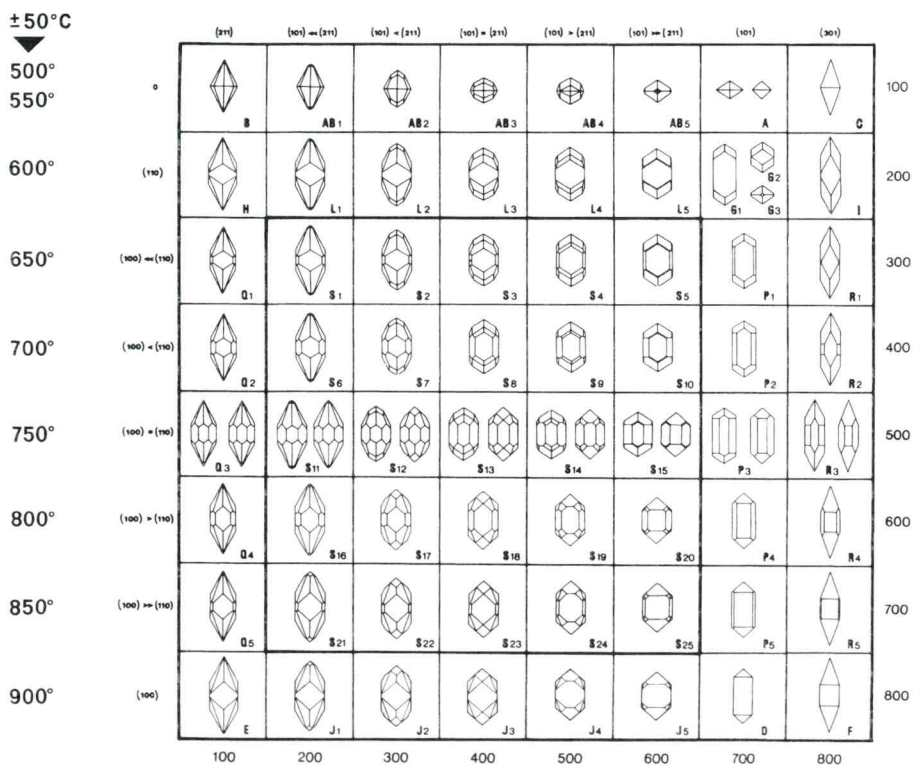
Težko frakcijo so izločili v laboratorijih Geološkega zavoda Ljubljana. Uporabili so gravitacijsko metodo z bromoformom specifične mase 2.89 g/cm^3 in ločili 9 do 20 g frakcije velikosti 0.063 do 0.2 mm.

Kvalitativno in kvantitativno mikroskopsko sestavo težkih mineralov sta določili S. Orehkova in M. Silvestrova.

Tipološke analize cirkonov niso bile izvedene na vseh vzorcih, pri katerih je bila določena kvalitativna in kvantitativna sestava težke frakcije. Omejili smo se na manjše število (56) vzorcev iz devetih profilov. Z njimi smo zajeli pet od šestih litostratigrafskih členov Grödenske formacije (sl. 2). Vendar pokritost z vzorci ni enakomerna. Približno polovica vzorcev izvira iz uranonosnega Brebovniškega člena, medtem ko Dobračevskega člena zaradi slabe razgaljenosti nismo raziskali.

Izmed zrn težkih mineralov smo pod stereolupo izbrali zrna cirkona in pripravili monomineralni preparat, ki je obsegal približno sto zrn. Zaradi majhnega vzorca in nizkega odstotka prozornih težkih mineralov, vsebujejo nekateri preparati tudi manjše število cirkonovih zrn. V populaciji cirkonovih zrn so bila ugotovljena euhedralna in zaobljena zrna. Ker je tipološko analizo mogoče izvesti le na euhedralnih zrnih, smo pri pripravi preparata skušali izbrati čimvečje število takih zrn. Njihovo število se spreminja od 10 do 98 in je povprečno 56. Vsak preparat vsebuje tudi nekaj zaobljenih zrn cirkona.

Kvalitativno in kvantitativno tipološko analizo cirkona, pri kateri smo uporabili Pupinovo tipološko klasifikacijo (sl. 3) (P u p i n & T u r c o, 1972 c; P u p i n, 1980), smo izvedli z elektronskim rasterskim mikroskopom Jeol JSM P-15 na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univezre v Ljubljani. Preparati so bili naperjeni z ogljikom in aluminijem. Tipološko obliko cirkonovih zrn smo določali z direktnim opazovanjem na monitorju. Fotografirali smo le lepša zrna različnih tipoloških skupin in nekatere posebnosti posameznih zrn. Kvantitativne podatke zastopnosti posameznih tipoloških oblik smo statistično ovrednotili s korelacijsko, faktor-sko, klastersko in diskriminantno analizo ter testom t.



Sl. 3. Pupinova tipološka klasifikacija cirkonov (prirejeno po P u p i n-u, 1980, 20, Fig. 1)

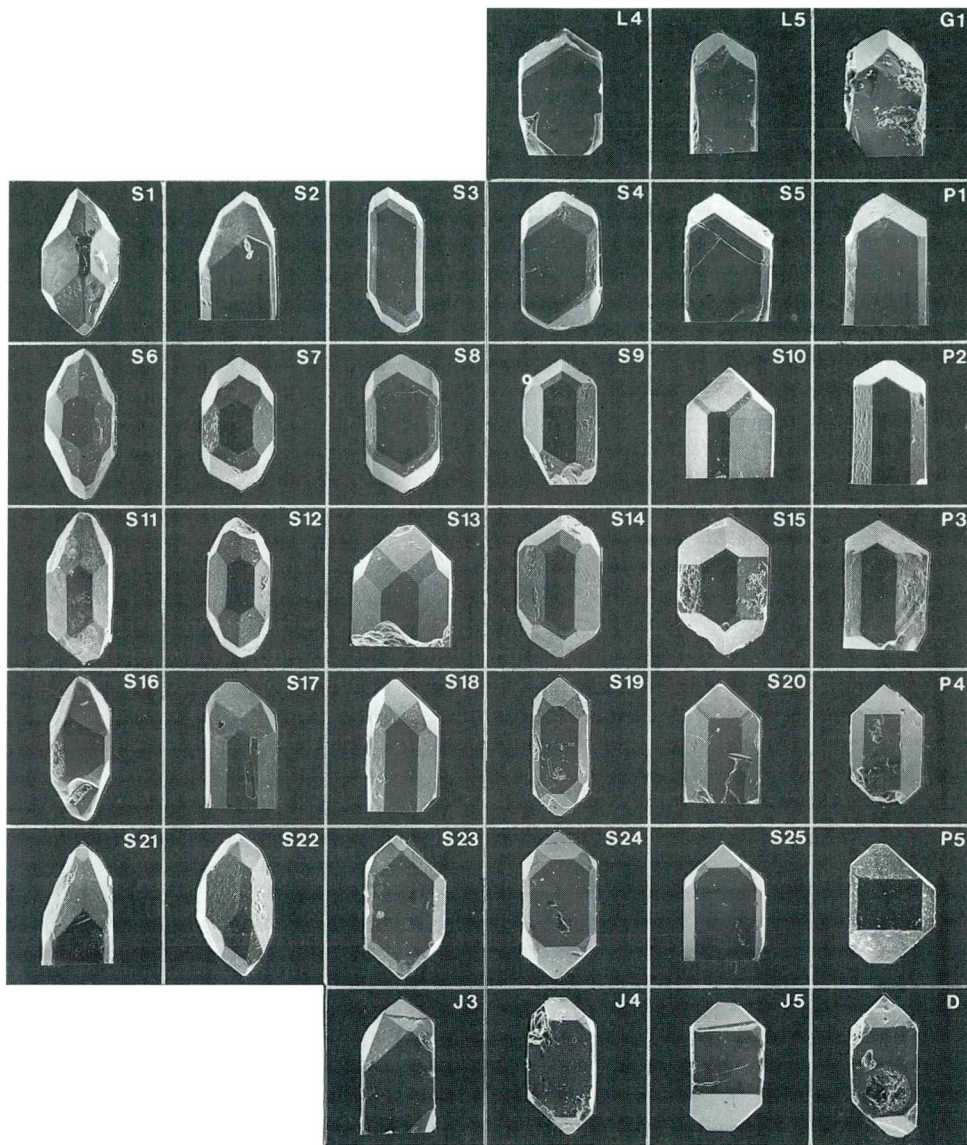
Fig. 3. Pupin's typologic classification of zircon (modified after P u p i n, 1980, 20, Fig. 1)

Rezultati raziskav in razprava

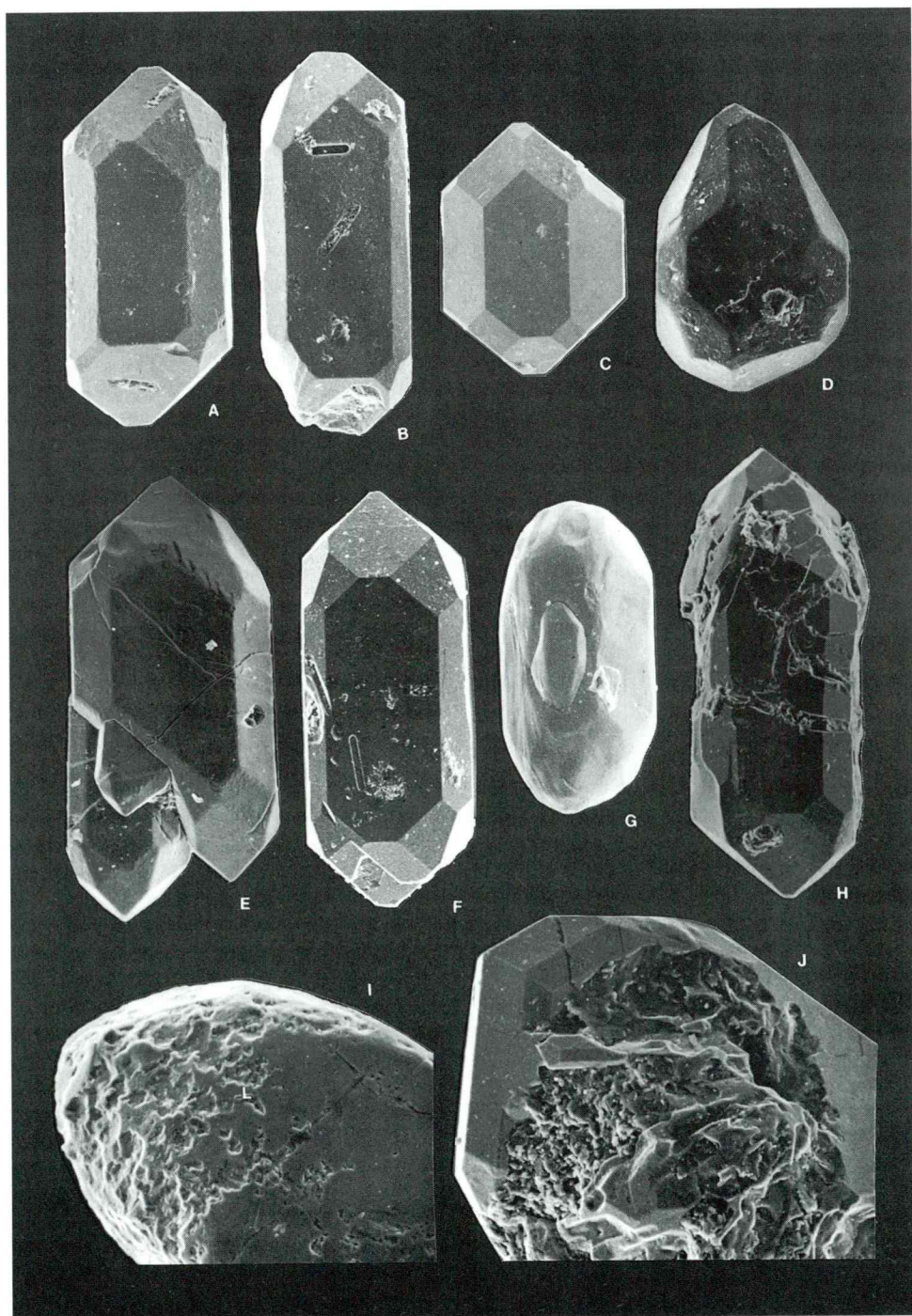
Kristalne oblike in nekatere značilnosti cirkona

V raziskanih vzorcih smo od 64 oblik zajetih v Pupinovi tipološki klasifikaciji našli 37 (sl. 4), ki pripadajo večinoma osrednjemu in spodnjemu delu Pupinove tipološke klasifikacije oblik cirkonov.

Poleg sorazmerno simetrično zgrajenih zrn smo pogosto zasledili tudi asimetrična zrna in zrna z morfološki lastnostmi dveh tipoloških oblik, in sicer večinoma med oblikami, ki jih določajo velikosti piramid (101) in (211): S19 - S20 (sl. 5A), S18 - S20, S17 - S19 (sl. 5C), S22 - S23, S23 - S24 (sl. 5B), S12 - S13, S13 - S14, S12 - S14, S7 - S8, S7 - S9, S10 - P2. V večini opisanih primerov je simetrijska ravnina bolj ali manj asimetričnih zrn v smeri ravnin, ki jih določajo osi c-a in c-b, v redkih primerih pa osi a-b. Pogosto je opazen tudi asimetrični razvoj velikosti prizem. V nekaterih redkih primerih smo opazili zrna, pri katerih se spremeni tudi razmerje med velikostmi prizem (100) < (110): zrna z značilnostmi skupin S17 - S7 (sl. 5D). V primeru zrn z značilnostmi dveh oblik smo pri kvantitativni sestavi upoštevali obe obliki.



Sl. 4. Tipološke oblike cirkona ugotovljene v grödenskem peščenjaku
Fig. 4. Typologic forms of zircon found in the Val Gardena sandstone



Pri nekaterih zrnih opazujemo tudi bolj ali manj kompleksne zraščence dveh, treh ali več oblik (sl. 5E, F).

Poleg opisanih euhedralnih zrn cirkona so prisotna tudi zrna z različno stopnjo zaobljenosti. Pri nekaterih slabo zaobljenih zrnih je še mogoče določiti prvotno obliko, medtem ko pri bolj zaobljenih lahko sklepamo le na skupino oblik (sl. 5G), pri zelo zaobljenih zrnih pa tudi to ni več mogoče.

Zrna cirkona so rahlo rožnata, redkeje temneje rožnata ali brezbarvna. Temnejše rožnate barve so večinoma relativno majhna zrna, ki smo jih opredelili v tipološko obliko S20 ali S25. V redkih cirkonovih zrnih zasledimo tudi conarno zgradbo. Nekatera zrna cirkona so nekoliko motna in vsebujejo vključke neprozornih mineralov. Redka med njimi so magmatsko korodirana ali imajo odtise podolgovatih kristalov (sl. 5B, F).

Zaradi usmerjenih pritiskov so posamezna zrna cirkona enkrat ali večkrat počena in zlomljena, njihovi deli pa so lahko deloma zmaknjeni (sl. 5H). V razpokah je zrasla illit-sericitna episonova, ki veže posamezne dele cirkonovih zrn. Spremembe fizikalno-kemične sestave raztopin so povzročile delno raztapljanje in najedanje posameznih zrn (sl. 5I, J) ter ponekod ponovno izločanje avtigenega cirkona (sl. 5J).

Kvantitativno in kvantitativno kemično sestavo cirkonov je določal Š t r u m - b e r g e r (1986 b) z elektronskim mikroanalizatorjem. Raziskal je tri vzorce iz profila P-10, v katerih je določil kvantitativno kemično sestavo 40 zrn cirkona. Na vsakem zrnu je analiziral tri točke: na obeh robovih in v sredini. Določal je Si, Zr, Hf, Y, U, Th, Fe in P; pri tem so bile vsebnosti P na meji detekcije in jih ne navajamo. Analizirana zrna so pripadala sledečim tipološkim oblikam: S3, S4, S5, S12, S18, S19, S24, P1, P2, P3, P4 in L5. Povprečne vsebine ugotovljenih oksidov so v tabeli 1.

Sl. 5. Zrna cirkona z morfološkimi lastnostmi dveh tipoloških oblik A. S19 - S20, (Pr-9/16/92.8), pov.: 300×; B. S23 - S24 z odtisi manjših podolgovatih kristalov, (Pr-9/16/15.4), pov.: 300×; C. S17 - S19, (B1/11.0), pov.: 270×; D. S17 - S7, (Pr-9/16/88.0), pov.: 270×; E. zraščene tri delno razviti zrna cirkona oblike S19 in S17, (Pr/8.5), pov.: 270×; F. zraščene tri zrna cirkona oblike S19 z odtisi manjših podolgovatih kristalov, (Pr-9/16/59.2), pov.: 300×; G. zaobljeno zrno zraščena cirkona, ki je imelo verjetno obliko S11 ali S12 ali S13, (Kl/7.2), pov.: 270×; H. zdrobljeno zrno cirkona oblike S19 (spodnji del), posamezne dele veže illit-sericitna episonova, (E/173.7), pov.: 300×; I. najedeno zaobljeno zrno cirkona, (E/23.3), pov.: 530×; J. najedeno zrno cirkona, na katerem je opazna avtigena rast (Pr-9/16/23.3), pov.: 400×

Fig. 5. Zircon grains with morphologic properties of two typologic forms A. S19 - S20, (Pr-9/16/92.8), mag.: 300×; B. S23 - S24 with impressions of small elongated crystals, (Pr-9/16/15.4), mag.: 300×; C. S17 - S19, (B1/11.0), mag.: 270×; D. S17 - S7, (Pr-9/16/88.0), mag.: 270×; E. intergrowth of three partly developed zircon crystal forms S19 in S17, (Pr/8.5), mag.: 270×; F. intergrowth of zircon crystal forms S19, (Pr-9/16/59.2), mag.: 300×; G. rounded grain of zircon intergrowth of possibly S11 or S12 or S13 types, (Kl/7.2), mag.: 270×; H. broken zircon grain of type S19 (lower part), parts of zircon are bound by illite-sericite epimatrix, (E/173.7), mag.: 300×; I. etched rounded grain of zircon, (E/23.3), mag.: 530×; J. etched grain of zircon with authigenic overgrowth, (Pr-9/16/23.3), mag.: 400×

Tabela 1. Kemična sestava nekaterih tipoloških oblik cirkona (v %)
 Table 1. Chemical composition of some typological forms of zircon (in %)

Tip.	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	FeO	OXS	N
S3	33.28	64.21	1.79	0.06	0.00	0.01	0.02	99.31	1
S4	32.99	65.86	1.15	0.01	0.00	0.04	0.01	100.06	1
S5	32.70	65.20	0.00	0.10	0.03	0.10	0.00	99.13	2
S12	33.22	64.99	2.14	0.05	0.01	0.15	0.02	99.84	2
S18	33.29	64.95	1.60	0.15	0.21	0.00	0.25	100.45	6
S19	32.52	64.78	1.56	0.13	0.11	0.01	0.20	99.31	15
S24	32.23	64.33	1.66	0.19	0.10	0.00	0.89	98.70	3
P1	33.01	65.30	1.54	0.04	0.05	0.00	0.00	99.94	4
P2	33.10	65.66	1.50	0.03	0.06	0.00	0.00	100.35	1
P3	34.00	65.22	0.81	0.05	0.03	0.05	0.00	100.16	1
P4	32.46	65.21	1.20	0.11	0.00	0.15	0.00	99.13	3
L5	33.25	65.21	0.90	0.08	0.01	0.10	0.08	99.63	1

Tip. - tipološka oblika; OXS - vsota oksidov; N - število analiziranih zrn; (po Š t r u m b e r - g e r j u , 1986 b)

Tip. - typological form; OXS - sum of oxides; N - number of analyzed grains; (after Š t r u m b e r g e r , 1986 b)

Podrobnejša analiza povezave tipoloških oblik in kemične sestave ni možna, ker niso analizirane vse najbolj zastopane oblike in je bilo število zrn cirkona v nekaterih skupinah premajhno. Poleg tega ne razpolagamo s podatki posameznih meritev. Kljub temu je iz tabele 1 razvidno, da imajo tipološke oblike S18, S19 in S24, med katerimi sta S19 in S24 med najbolj zastopanimi v celotni populaciji cirkonovih zrn, povišane vrednosti Y₂O (> 0.12 %), ThO₂ (> 0.10 %), in FeO (> 0.19 %), pri čemer so razlike pri ThO₂ in FeO izrazite, za Y₂O pa se mejni vrednosti približujeta tudi obliki S5 in P4. Iztopajoče visoke vrednosti UO₂ (> 0.09 %) imajo oblike S5, S12 in P4. Pri porazdelitvi HfO₂ sta opazni dve populaciji. Prvo s koncentracijami HfO₂ < 1.30 % in povprečjem 0.81 % sestavljajo oblike S4, S5, P3, P4 in L5, drugo s koncentracijami HfO₂ > 1.30 % in povprečjem 1.58 % pa oblike S3, S12, S18, S19, S24, P1 in P2. Ti dve skupini ne odražata sistematične spremenljivosti vsebnosti HfO₂ glede na Pupi-novo tipološko klasifikacijo.

Analiza tipoloških oblik cirkona

Kvantitativno analizo tipoloških oblik cirkona smo izvedli z vidika ugotavljanja povezav med tipološkimi oblikami (spremenljivkami) in vzorci (enotami), ki so z njimi opredeljeni. Pri tem smo upoštevali le oblike, ki so v populaciji vseh euhedranih oblik cirkona zastopane z več kot 1.5 %. Tako smo v analizo vključili tipološke oblike S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18, S19, S20, P4, S22, S23, S24 ter vzorce opredeljene z njimi.

Povezave med spremenljivkami (tipološkimi oblikami) smo raziskovali s korelacijsko, faktorsko analizo vrste R in metodo razvrščanja v skupine vrste R.

S korelacijsko analizo obravnavamo in opazujemo sočasno dva parametra (spremenljivki). Za mero povezanosti spremenljivk smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient, ki predpostavlja linearno povezavo med spremenljivkama. Korelacijska

analiza je razkrila slabo povezanost posameznih tipoloških oblik cirkona, saj je absolutna vrednost največjega korelacijskega koeficienta le 0.48, medtem ko je najmanjša vrednost korelacijskega koeficienta na ravni izračunanega tveganja $p < 0.05$ 0.27.

Faktorska analiza je multivariatna metoda, s katero raziskujemo odvisnosti med opazovanji. Faktorska analiza vrste R razkriva strukturo odvisnosti med spremenljivkami. Faktorji, oziroma glavne komponente so sintetične spremenljivke, ki predstavljajo linearno transformacijo opazovanih spremenljivk. Določene so na tak način, da so med seboj neodvisne, pravokotne druga na drugo, in tako, da izrazijo čim večji delež celotne ali z že izdvojenimi faktorji še nepojasnene variance prvotnih spremenljivk. Pri analizi glavnih komponent smo upoštevali model s sedmimi faktorji, ki razloži 73.9 % celotne variance. Vsebinsko opredelitev faktorjev smo izvedli na osnovi faktorске strukture varimaksno rotiranih normaliziranih faktorjskih uteži, z upoštevanjem kritične vrednosti faktorске uteži večje ali zelo blizu 0.70 (navedene v oklepaju).

1. faktor pojasnjuje 18.7 % celotne variance in je dvopolaren. Poudarjen je pozitivni pol, na katerega sta vezani obliki S8 (0.74) in S19 (0.75) ter slabše izraženi negativni pol, ki ga najbolj obremenjuje oblika S24 (-0.68).

2. faktor opredeljuje 13.7 % celotne variance in ima razvit predvsem negativni pol. Obremenjujeta ga predvsem obliki S17 (-0.79) in P2 (-0.69).

3. faktor razloži 11.0 % celotne variance. Na pozitivni krak je vezana predvsem oblika S18 (0.80).

4. faktor pojasnjuje 9.2 % celotne variance. Poudarjeno je razvit njegov negativni del, obremenjen z obliko S13 (-0.78).

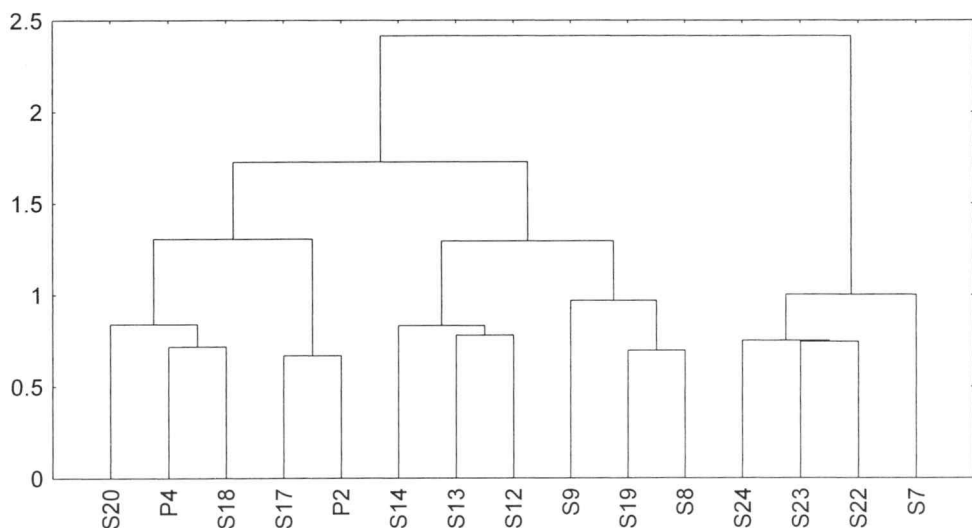
5. faktor razloži 8.5 % celotne variance, z izrazitejšim negativnim delom, na katerega je vezana predvsem oblika S7 (-0.89).

6. faktor veže nase 7.0 % celotne variance in ima razvit predvsem pozitivni krak, obremenjen pretežno z obliko S9 (0.85).

7. faktor razloži 5.8 % celotne variance in je dvopolaren. Na negativni pol je vezana oblika S12 (-0.79), na pozitivnega pa S23 (0.69).

S hierarhično metodo razvrščanja v skupine vrste R smo, podobno kot s faktorško analizo, skušali razkriti načine povezav med posameznimi spremenljivkami, tipološkimi oblikami cirkona in jih grafično predstaviti (sl. 6). Za ugotavljanje podobnosti med spremenljivkami smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient, za podobnosti med skupinami pa Wardovo razdaljo. Metoda razvrščanja v skupine je potrdila faktorško strukturo. Pri razdalji povezav 0.9 se pokaže sedem skupin (sl. 6), ki z manjšimi razlikami predstavljajo sedem faktorjev. Razlike se pojavljajo pri negativnem polu prvega in sedmega faktorja. Obliki, ki obremenjujeta predvsem negativni krak sedmega faktorja (S12, S14) sta vezani z obliko (S13) negativnega pola četrtega faktorja, medtem ko se obliki (S22, S23) pozitivnega dela sedmega faktorja povezujeta z obliko (S24) na negativnem delu prvega faktorja.

Pregled povezav med spremenljivkami (tipološkimi oblikami) cirkona kaže, da so le-te relativno slabo povezane med seboj. Sestavljajo sedem skupin nekoliko bolj povezanih oblik. Posamezne skupine pa vsebujejo le eno do tri oblike. Analiza postavlja pod vprašaj tudi Š t r u m b e r g e r j e v (1986 a) način združevanja posameznih oblik v nove skupine, npr. obliki S19+S24 združeni v skupino A in obliki S18+S23 združeni v skupino B. V nove skupine so združene oblike, med katerimi so negativne korelacije ali so vezane na različna pola istega faktorja ali nastopajo na različnih faktorjih in v različnih skupinah. To kaže na genetsko nasprotujoče in nezdružljive lastnosti, oziroma oblike, ki jih zato ne bi smeli združevati.



Sl. 6. Dendrogram hierarhične razvrstitve tipoloških oblik cirkona v skupine
Fig. 6. Hierarchical tree diagram of cluster analysis of typologic forms of zircon

Povezave med vzorci (enotami) smo raziskovali z metodo razvrščanja v skupine in diskriminantno analizo.

S hierarhično metodo razvrščanja v skupine vrste Q smo skušali objektivno ugotoviti število skupin, ki jih sestavljajo enote, opredeljene z zgoraj podanimi tipološkimi oblikami cirkona. Zaradi prevelikega iztopanja smo iz nadaljnje analize izločili enoto E/207.3. Pri hierarhičnem združevanju 55 enot v skupine smo za merilo podobnosti med enotami uporabili Evklidsko razdaljo, za merilo podobnosti med skupinami pa Wardovo razdaljo. Pri razdalji podobnosti 60 lahko opredelimo štiri skupine (sl. 7). Člane štirih hierarhično ugotovljenih skupin smo določili z nehierarhično metodo voditeljev.

Analiza variance, s stopnjo tveganja p (v oklepaju) določeno na osnovi testa F , kaže, da izdvojene skupine najboljše opredeljujejo oblike S19 (0.0000), S7 (0.0000), S17 (0.0000), S24 (0.0000), S12 (0.0001), P2 (0.0031), S23 (0.0038), S22 (0.0059) in S9 (0.0454).

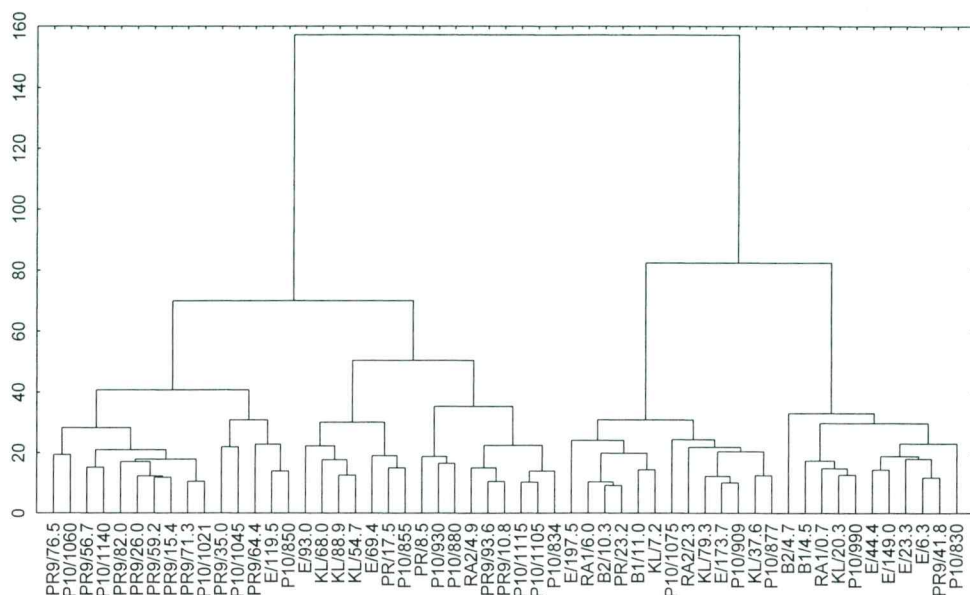
1. skupino določa največja relativna frekvenca oblik S19 (32.90 %) in najmanjša oblik S22 (1.83 %) in S17 (11.92 %) ter obsega 20 enot.

2. skupina ima največ oblik S7 (14.52 %) in najmanj P2 (0.83 %) in S19 (16.27 %) ter vsebuje le 8 enot.

3. skupino opredeljuje maksimalna koncentracija oblik S24 (21.09 %), S22 (5.68 %), S23 (3.83 %) in minimalna koncentracija oblik S12 (1.88 %) ter povezuje 14 enot.

4. skupino določa največja zastopanost oblik S17 (18.80 %), S12 (6.61 %), P2 (6.61 %) in najmanjša zastopanost oblik S24 (5.00 %), S7 (3.81 %) in S23 (0.48 %) ter je sestavljena iz 13 enot.

Pripadnost enot (vzorcev) posameznim klsterskim skupinam je prikazana v tabeli 2.



Sl. 7. Dendrogram hierarhične razvrstitve enot (vzorcev) v skupine

Fig. 7. Hierarchical tree diagram of cluster analysis of cases (samples)

Porazdelitev enot v skupine (tabela 2) in njihova prostorska razvrstitev v posameznih profilih kaže ponekod določeno korelacijo z izdvojenimi sedimentacijskimi enotami, medtem ko drugod takih povezav ni zaznati. Tako lahko ugotovimo, da dosedaj zbrani podatki tipoloških oblik cirkona ne omogočajo zaneslivejše podrobne korelacije znotraj posameznih litostratigrafskih členov. Temu je najbrž vzrok relativno hitro spreminjanje sestave različnih tipoloških oblik cirkona, ki je lahko izraz vpliva lokalnih izvornih območij ali premajhnega števila raziskanih enot, s katerimi bi lahko razkrili morebitne zakonitosti njihovega spreminjanja.

Ker se je podrobnejša korelacija s tipološkimi oblikami cirkona izkazala za neizrazito, smo skušali ugotoviti, kako bi bilo mogoče z njimi korelirati in razlikovati večje enote, posamezne litostratigrafske člene. Za to smo uporabili diskriminantno analizo, s katero določimo diskriminantne funkcije, ki najbolj ločujejo izdvojene skupine. Diskriminantne funkcije so neodvisne linearne kombinacije merjenih spremenljivk, ki največ prispevajo k ločitvi skupin. Iz diskriminantnih funkcij lahko izpeljemo klasifikacijske funkcije, ki določajo posamezne skupine. Na njihovi osnovi je mogoče napovedati pripadnost enote posamezni skupini ali uvrstiti nove enote v določene skupine.

Diskriminantno analizo smo izvedli za apriorno razvrstitev enot (vzorcev) v pet skupin (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalški člen, 4 - Koprivniški člen in 5 - Škofješki člen), ki so določene na osnovi prostorske lege vzorčevanega profila. Izbrali smo analizo s postopnim vključevanjem posameznih spremenljivk v diskriminantni model. V model so bile vključene spremenljivke (tipološke oblike): S8 (0.009), S23 (0.015), P4 (0.009), P2 (0.085), S22 (0.110), S18 (0.152), S7 (0.106), S19 (0.326)

Tabela 2. Razvrstitev enot (vzorcev) v člene, klusterske in diskriminantne skupine
 Table 2. Classification of cases (samples) into the members, cluster and discrimination groups

SAM	MEM	GC	GD	SAM	MEM	GC	GD
*P10/830	1	4	3	*B1/4.5	1	4	5
P10/834	1	1	1	B1/11.0	1	1	1
*P10/850	1	3	3	*B2/10.3	2	1	5
P10/855	1	2	1	B2/4.7	2	4	2
P10/877	1	1	1	Ra2/2.3	3	1	3
*P10/880	1	1	4	Ra2/4.9	3	1	3
P10/909	1	1	1	E/207.3	3		3
P10/930	1	1	1	E/197.5	3	1	3
P10/990	1	4	1	E/173.7	3	1	3
P10/1021	1	3	1	E/149.0	3	4	3
P10/1045	1	3	1	E/119.5	3	4	3
P10/1060	1	3	1	E/93.0	3	2	3
P10/1075	1	1	1	E/69.4	3	2	3
P10/1105	1	1	1	*E/44.4	3	4	4
P10/1115	1	1	1	E/23.3	3	4	3
P10/1140	1	3	1	E/6.3	3	4	5
Pr9/16/10.8	1	3	1	*Kl/7.2	4	1	5
Pr9/16/15.4	1	3	1	*Kl/20.3	4	4	1
Pr9/16/26.0	1	3	1	Kl/37.6	4	1	4
Pr9/16/35.0	1	4	1	Kl/54.7	4	2	4
Pr9/16/41.8	1	4	1	Kl/68.0	4	2	4
Pr9/16/56.7	1	3	1	Kl/79.3	4	1	4
Pr9/16/59.2	1	3	1	Kl/88.9	4	2	4
Pr9/16/64.4	1	3	1	Pr/8.5	5	1	5
Pr9/16/71.3	1	3	1	Pr/17.5	5	2	5
Pr9/16/76.5	1	3	1	Pr/23.3	5	1	5
*Pr9/16/82.0	1	3	3	Ra1/0.7	5	4	5
Pr9/16/93.6	1	2	1	Ra1/6.0	5	1	5

SAM - enota (vzorec); * - nepravilno uvrščena enota (vzorec); MEM - člen (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalski člen, 4 - Koprivniški člen in 5 - Škofješki člen); GC - klusterske skupine (1 - 4 neimenovane); GD - diskriminantne skupine (oznake enke kot pri MEM - členih)

SAM - case (sample); * - incorrectly classified case (sample); MEM - member (1 - Brebovnica Member, 2 - Hobovše Member, 3 - Žala Member, 4 - Koprivnik Member, 5 - Škofje Member); GC - cluster groups (1 - 4, unnamed); GD - discrimination groups (symbols the same as for MEM - member)

in S14 (0.326), ki so navedene po postopnem zmanjševanju diskriminacijske moči in podano stopnjo tveganja izločitve (p), določeno na osnovi testa F. Oblike S24, S13, S12, S17, S9 in S20 niso bile vključene v model. Za ločitev med petimi skupinami (litostratigrafskimi členi) so bile določene štiri diskriminantne funkcije, ki s standardiziranimi funkcijskimi in faktorskimi strukturnimi koeficienti kažejo sledeče povezave med njimi in spremenljivkami vključenimi v model. Pri tem navajamo le spremenljivke, katerih faktorski strukturni koeficienti dosegajo ali presegajo vrednost 0.40 in so navedeni v oklepaju. Ti koeficienti so podobni faktorskim utežem pri faktorski analizi in boljše izražajo vsebinsko opredelitev določene diskriminantne funkcije kot standardizirani funkcijski koeficienti.

1. diskriminantna funkcija pojasni 60.9 % razlik med skupinami in je dvopolarna. Na pozitivni pol sta vezani obliki S23 (0.54) in S22 (0.45), na negativnega pa S8 (-0.60).

2. diskriminantna funkcija razloži 21.0 % razlik med skupinami. Pri njej je razvit predvsem negativni krak, katerega obremenjuje večinoma oblika P4 (-0.67).

3. diskriminantna funkcija razlikuje skupine 12.0 % in je asimetrična, s poudarjenim negativnim delom, na katerega je vezana predvsem oblika P2 (-0.55).

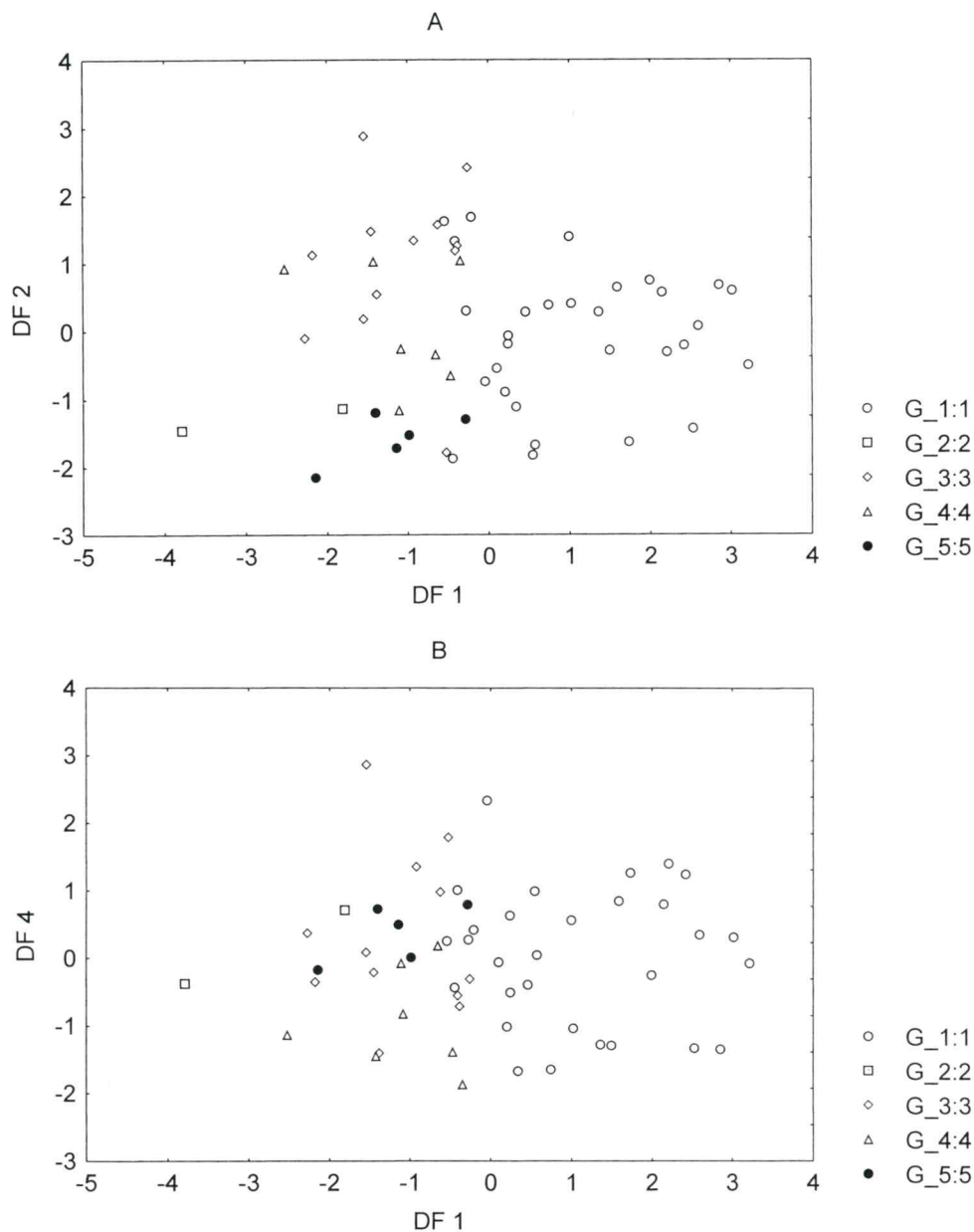
4. diskriminantna funkcija pojasni še preostalih 6.1 % razlik med skupinami. Tudi ta funkcija ima bolj razvit negativni pol, ki ga obremenjujeta pretežno obliki S18 (-0.42) in S14 (-0.40).

Navedene štiri diskriminantne funkcije, od katerih sta le prvi dve statistično značilni na stopnji tveganja $p < 0.05$, značilno razlikujejo 1. skupino (Brebovniški člen) od vseh ostalih skupin oziroma členov ter 3. skupino (Zalški člen) od 5. skupine (Škofješki člen), medtem ko razlike med ostalimi skupinami niso statistično značilne na isti stopnji tveganja. Ločitev posameznih skupin je prikazana v bivariatnih diagramih treh standardiziranih diskriminantnih funkcij DF 1, DF 2 in DF 4 (sl. 8).

Po opredelitvi diskriminantnih funkcij smo izračunali klasifikacijske funkcije, s katerimi smo določili lege posameznih enot in težišč njihovih skupin ali centroidov. Razdalje med centroidi in enotami v večdimenzionalnem prostoru so izražene z Mahalanobisovo razdaljo. Na njihovi osnovi lahko ocenimo verjetnost pripadnosti določene enote posamezni skupini. Tako smo zaradi poznavanja merskega prostora in enot v njem aposteriornost ocenili uspešnost klasifikacije posameznih enot v skupine. V 1. skupino (Brebovniški člen) je bilo od 30 enot pravilno uvrščenih 25 enot ali 83.3 %, v 2. skupino (Hobovski člen) je bila od 2 enot pravilno določena 1 enota ali 50 %, v 3. skupino (Zalški člen) je bilo od 12 enot pravilno opredeljenih 10 enot ali 83.3 %, v 4. skupino (Koprivniški člen) pa je bilo od 7 enot pravilno uvrščenih 5 enot ali 71.4 % in v 5. skupino (Škofješki člen) je bilo od 5 enot pravilno klasificiranih 5 enot ali 100 %. Za posamezne enote (vzorke) so opredelitve v posamezne diskriminantne skupine navedene v tabeli 2, nepravilno uvrščene enote pa so dodatno označene.

Zastopanost določenih tipoloških oblik cirkona v litostratigrafskih členih, je prikazana s povprečnimi vrednostmi v tabeli 3 in s histogrami na sliki 9. S testom t smo preverili statistično značilnost srednjih vrednosti zastopanosti določenih oblik v raziskanih členih. Statistično značilno različne srednje vrednosti na stopnji tveganja $p < 0.05$ so za posamezne člene označene v tabeli 3.

Z diskriminantno analizo smo pokazali, da je na osnovi tipoloških oblik cirkona možno relativno (povprečno 82 %) zanesljivo ločiti in korelirati posamezne litostratigrafske člene Grödenske formacije na območju Sovodnja in Žirovskega vrha.



Sl. 8. Bivariatna diagrama standardiziranih diskriminatnih funkcij A. DF1 - DF2 in B. DF1 - DF4, ki ločujejo enote (vzorke) litostratigrafskih členov (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalski člen, 4 - Koprivniški člen, 5 - Škofješki člen)

Fig. 8. Scatterplot of normalised scores of discriminate functions A. DF1 - DF2 and B. DF1 - DF4 of cases belonging to the lithostratigraphic members (1 - Brebovnica Member, 2 - Hobovše Member, 3 - Zala Member, 4 - Koprivnik Member, 5 - Škofje Member)

Tabela 3. Srednje vrednosti relativne zastopanosti določenih tipoloških oblik cirkona v litostratigafskih členih (v %)

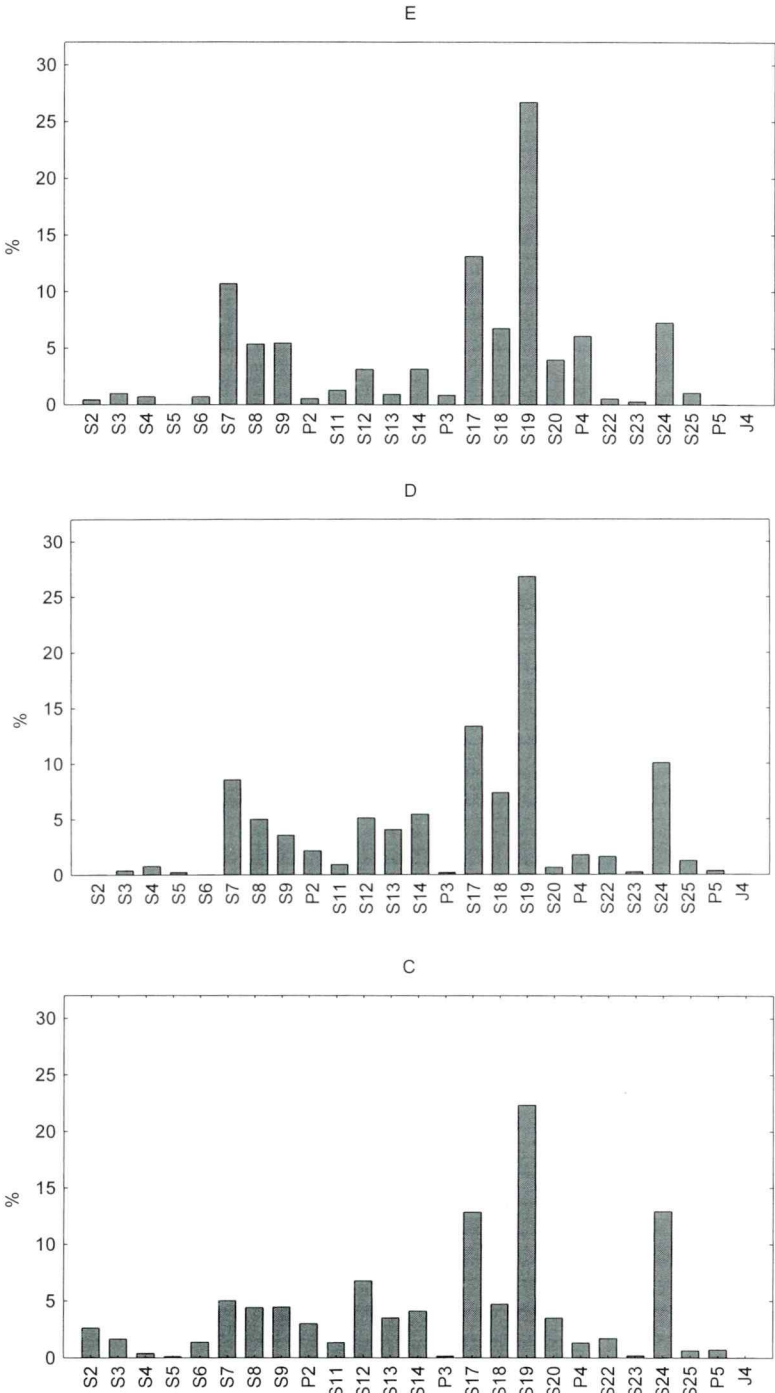
Table 3. Means of relative frequencies of the determined typological forms of zircon in the lithostratigraphic members (in %)

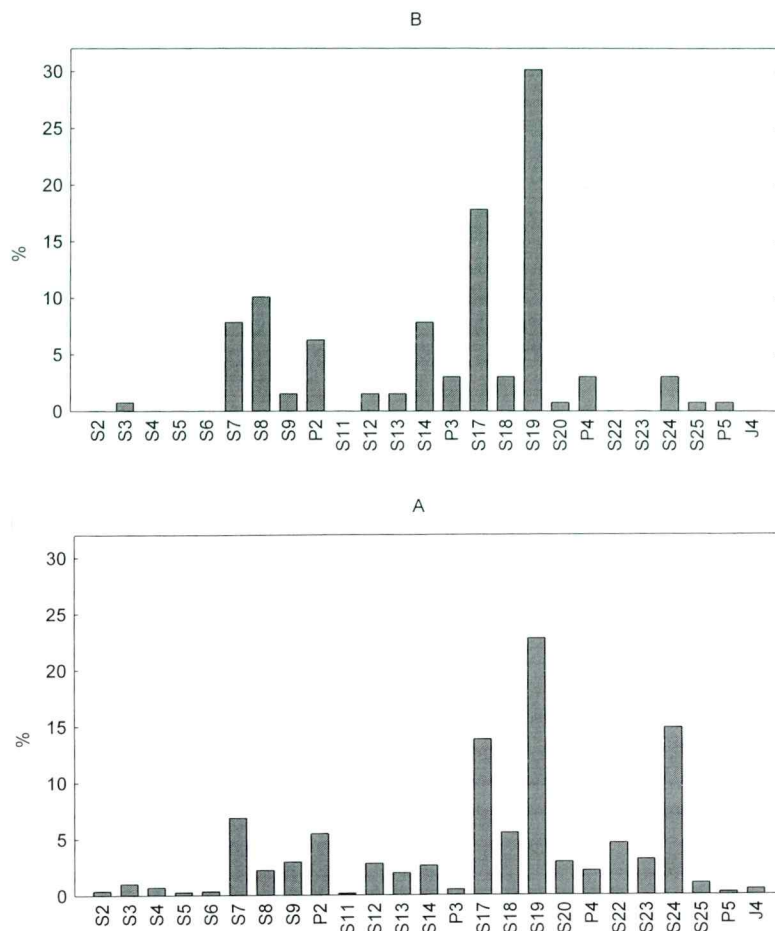
Var	1 Br N=30	2 Ho N=2	3 Za N=12	4 Ko N=7	5 Šk N=5
S2	.38 ³	.00	2.62 ¹	.00	.43
S3	1.01	.78	1.68	.40	1.01
S4	.71	.00	.39	.78	.71
S5	.28	.00	.15	.23	.00
S6	.37	.00	1.38	.00	.71
S7	6.85	7.83	5.02	8.56	10.71
S8	2.23 ^{2,3,4,5}	10.10 ^{1,3,4}	4.42 ^{1,2}	5.02 ^{1,2}	5.36 ¹
S9	2.95	1.56	4.47	3.56	5.45
P2	5.46 ⁵	6.28	3.02	2.17	.53 ¹
S11	.18 ^{3,5}	.00	1.34 ¹	.93	1.29 ¹
S12	2.79 ³	1.56	6.76 ¹	5.11	3.13
S13	1.97	1.56	3.50	4.06	.92
S14	2.63 ^{2,4}	7.83 ¹	4.11	5.45 ¹	3.15
P3	.51 ²	3.05 ^{1,3}	.18 ²	.21	.85
S17	13.81	17.82	12.86	13.34	13.13
S18	5.53	3.05	4.74	7.38	6.76
S19	22.77	30.15	22.34	26.81	26.70
S20	2.94	.78	3.50 ⁴	.65 ^{3,5}	3.96 ⁴
P4	2.18 ⁵	3.05	1.33 ⁵	1.78 ⁵	6.07 ^{1,3,4}
S22	4.63 ^{2,3,4,5}	.00 ¹	1.73 ¹	1.64 ¹	.54 ¹
S23	3.16 ^{2,3,4,5}	.00 ¹	.19 ¹	.23 ¹	.28 ¹
S24	14.82 ^{2,5}	3.05 ¹	12.91	10.05	7.26 ¹
S25	1.07	.78	.65	1.27	1.06
P5	.26	.78	.73	.36	.00
J4	.53	.00	.00	.00	.00

Var - tipološke oblike cirkona; 1 Br - Brebovniški člen; 2 Ho - Hobovski člen; 3 Za - Zalski člen; 4 Ko - Koprivniški člen; 5 Šk - Škofješki člen; N - število enot (vzorcev); X^{1,2} - statistično značilne razlike med srednjimi vrednostimi v členi ($p < 0.05$);

Var - typological forms of zircon; 1 Br - Brebovnica Member; 2 Ho - Hobovše Member; 3 Za - Zala Member; 4 Ko - Koprivnik Member; 5 Šk - Škofje Member; N - number of cases (samples); X^{1,2} - statistically significant differences between means in members ($p < 0.05$);

Do sedaj smo Pupinovo tipološko klasifikacijo oblik cirkona uporabljali le za kvantitativno določevanje prisotnosti posameznih oblik cirkona v analiziranih vzorcih (enotah), profilih in litostratigafskih členih, da bi jih čim boljše opredelili, ločili in korelirali. Sedaj bomo skušali na osnovi podatkov P u p i n a (1980, 1985) interpretirati tudi sestavo magmatskih kamnin, iz katerih naj bi izvirala zrna cirkona v peščenjakih Grödenske formacije na Žirovskem. Zaradi sorazmerno majhnih razlik v zastopanosti posameznih oblik v različnih litostratigafskih členih (tabela 3) in neuravnoteženega števila raziskanih vzorcev v posameznih členih, bomo podali interpretacijo na osnovi tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona vseh ovrednotenih enot (sl. 10). Iz tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona (sl. 10) so razvidne tri modalne vrednosti, ki nastopajo na območju tipoloških oblik

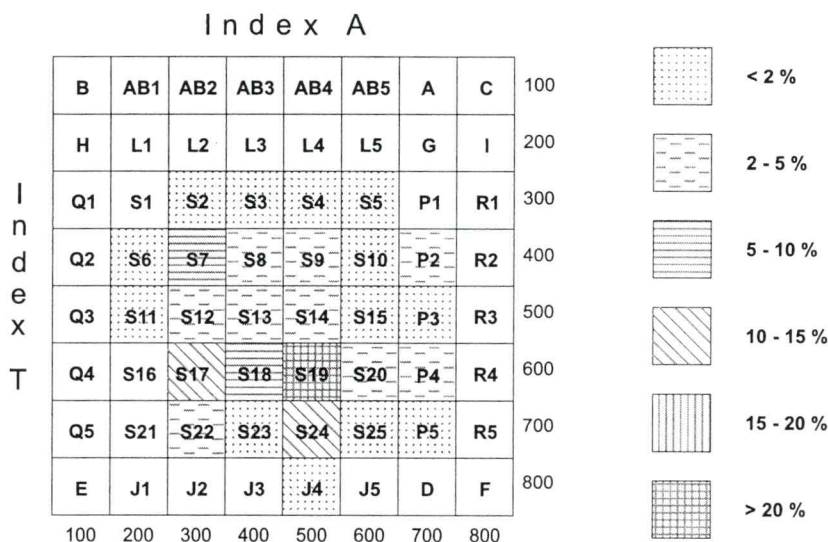




Sl. 9. Frekvenčni histogrami zastopanosti 25 tipoloških oblik cirkona v posameznih litostrati-
grafskih členih: A. Brebovniški člen, B. Hobovski člen, C. Zalški člen, D. Koprivniški člen, E.
Škofješki člen

Fig. 9. Frequency histograms of the presence of 25 typologic forms of zircon in the lithostrati-
graphic members: A. Brebovnica Member, B. Hobovše Member, C. Zala Member, D. Koprivnik
Member, E. Škofje Member

[S19 (23.80 %) + S24 (12.72 %)], S17 (13.62 %) in S7 (7.05 %). Najbolj je izraženo pol-
je, ki ga določata modalni obliki S19 (23.80 %) in S24 (12.72 %) ter podrejeno S18
(5.61 %) kar naj bi nakazovalo magmatske kamnine orogenih območij nastale iz vro-
če in suhe magme Ca-alkalne in K-Ca-alkalne sestave. Modalna oblika S17 in delno
oblika S18 naj bi označevali kamnine kremenovo dioritne (tonalitne) sestave. Tretja
modalna oblika S7 naj bi nakazovala manjšo prisotnost hibridnih, migmatitnih ka-
mnin monzonitne in granodioritne sestave. Manjša zastopanost tipoloških oblik sku-
pine P [P2 (4.11 %), P3 (0.52 %), P4 (2.32 %)] pa naj bi bila značilna za podrejeno pri-
sotnost kamnin alkalne sestave s svojim izvorom iz zemeljskega plašča.



Sl. 10. Tipološka frekvenčna porazdelitev cirkona v grödenskem peščenjaku

Fig. 10. The typologic frequency distribution of zircon in the Val Gardena sandstone

Zgornjo interpretacijo izvornih magmatskih kamnin Grödenske formacije potrjuje tudi modalna sestava in sestava litičnih zrn peščenjakov in prodnikov v konglomeratih. Izvorno območje naj bi globalno tektonsko predstavljal recikliran orogen (S k a b e r n e, 1995). Med litičnimi zrni magmatskih kamnin prevladujejo kisle predornine: rioliti, kremenovi rioliti in trahiti, ki naj bi ustrezali sestavi, opredeljeni s poljem oblik S24, S19 in deloma S18. V podrejeni količini se pojavljajo tudi zrna bazičnih predornin, spilitov in granitoidnih kamnin. Med slednjimi smo glede na razmerje med K-glinenci in plagioklazi ter njihovimi preraščanji ločili dva različka. V prvem prevladujejo K-glinenci, ortoklaz in mikroklin nad plagioklazi, v drugem pa prevladuje mikropertit in plagioklazi nad K-glinenci, medtem ko je količina kremenca v obeh različkih približno enaka. Glede na strukturo in sestavo oba uvrščamo med granite (S k a b e r n e, 1995).

Sklepi

Grödenska formacija na Žirovskem med Cerknim in Smrečjem je bila zaradi rudnih koncentracij urana in bakra deležna precejšnjega zanimanja geologov. Pri svojem delu smo se srečevali s problemi podrobnejše korelacije, predvsem v spodnjem, uranosnosnem delu Grödenske formacije. Litofacialno korelacijo smo skušali dopolniti s korelacijo na osnovi mineralne sestave lahke in težke frakcije. Med težkimi minerali je cirkon med najbolj zastopanimi komponentami in je prisoten v vseh vzorcih. Zaradi spremenljivosti kristalnih oblik, fizikalnih in kemičnih lastnosti v odvisnosti od pogojev njihovega nastanka in mehanske ter kemične stabilnosti med preperevanjem, transportom in diagenezjo, smo cirkon uporabili kot korelacijski mineral. Kri-

stalna oblika cirkona je lastnost, ki jo je sorazmerno enostavno opazovati, opredeliti in kvantificirati, a je odvisna od številnih fizikalnih in kemičnih pogojev, ki pa niso neodvisni eden od drugega. P u p i n in T u r c o (1972 c, 1975) navajata, da je njegova kristalna oblika najbolj odvisna od temperature kristalizacije in razmerja alkalij in aluminija v magmi. Na osnovi razmerja prizem (100) in (110) ter piramid (101) in (210) sta izdelala mrežni diagram tipoloških oblik cirkona (P u p i n & T u r c o, 1972 c; P u p i n, 1980), ki smo ga uporabili za kvantitativno opredelitev kristalnih oblik cirkona.

V grödenskih peščenjaki smo zasledili euhedralna in zaobljena zrna cirkona. Med euhedralnimi zrnji smo prepoznali 37 različnih tipoloških oblik osrednjega in spodnjega dela Pupinove tipološke klasifikacije, ki obsega 64 kristalnih oblik cirkona. Poleg bolj ali manj simetričnih zrn so prisotna tudi zrna z morfološkimi lastnostmi dveh tipoloških oblik ali kompleksnejši zraščenci.

Na osnovi do sedaj zbranih podatkov o kemični sestavi različnih tipoloških oblik cirkona, ne moremo podati zanesljivejših povezav med kemično sestavo cirkona in njegovo kristalno obliko, ker niso bile analizirane vse najbolj zastopane oblike ali pa je bilo število analiziranih zrn posameznih oblik premajhno. Podatki kažejo tudi na določene razlike v količini Hf, Y, Th, U in Fe, ki nadomeščajo Zr v kristalni strukturi posameznih tipoloških oblik cirkona.

Povezave med tipološkimi oblikami S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18, S19, S20, P4, S22, S23, S24, ki so zastopane z več kot 1.5 %, so relativno slabe. Nekoliko trdnješe povezave tipoloških oblik lahko združimo v sedem skupin. Morebitno združevanje posameznih oblik v nove apriorno določene skupine bi moralo sloneti na ugotovljenih naravnih povezavah.

Razvrstitev enot (vzorcev), opredeljenih z zastopanjem posameznih tipoloških oblik cirkona, v posamezne skupine na sedanji stopnji raziskanosti ne kaže na možnost zanesljivejše podrobnejše korelacije znotraj litostratigrafskih členov Grödenske formacije. Posamezni litostratigrafski členi pa se glede na zastopanost tipoloških oblik značilno razlikujejo. K njihovemu ločevanju največ prispevajo oblike S8, S23, P4, P2, S22, S18, S7, S19 in S14. Z njimi je na raziskovanem ozemlju možno posamezne člene ločevati in korelirati s povprečno 82 % zanesljivostjo.

Na osnovi tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona in podatkov P u p i n a (1980, 1985) smo skušali interpretirati sestavo magmatskih kamnin na izvornem območju. Najbolj izraženo polje oblik S19 in S24 naj bi nakazovalo prevladujoč vpliv magmatskih kamnin orogenih območij, ki so kristalizirale iz suhe vroče magne Ca-alkalne in K-Ca-alkalne sestave. Tako interpretacijo potrjujejo tudi rezultati analiz modalne sestave in litičnih zrn v peščenjaki ter prodnikov v konglomeratih (S k a b e r n e, 1995).

Za rešitev nakazanih, a nerešenih vprašanj bi bilo potrebno raziskave tipoloških oblik cirkona nadaljevati.

Zircon in the Val Gardena sandstone from the Žirovski vrh and Sovodenj region, W Slovenia

Summary

In Slovenia the largest continuous belt of clastic rock of the Val Gardena Formation of Permian age extends in the Žiri region between Cerklje and Smrečje belonging

to Idrija - Žiri overthrust structure. Because of occurrences of ore concentrations of uranium and copper the formation has drawn attention of many geologists. M l a k a r (1979 - 1982) geologically mapped the Žiri region and subdivided the Val Gardena Formation into six superposition units A_1 , A_2 , $A_{3/1}$, $A_{3/2}$, B and C to which the character of lithostratigraphic members can be ascribed. They are named by Mlakar A_1 - Br - Brebovnica Member, A_2 - Ho - Hobovše Member, $A_{3/1}$ - Ko - Koprivnik Member, $A_{3/2}$ - Za - Zala Member, B - Šk - Škofje Member and C - Do - Dobračeva Member. Thickness of the Val Gardena Formation locally changes from 200 to 1750 m and is the greatest in the region of Žirovski vrh. The beds underlying the Val Gardena Formation consist of dark grey clastic rocks of attributed Carboniferous age. Their upper part might be of Lower Permian age. The overlying beds are the Upper Permian carbonate rocks.

Geologists working in the Val Gardena Formation, especially in the lower uranium bearing part (Brebovnica Member), had problems with detailed correlation. We tried to improve the lithofacial correlation by mineral composition of light and heavy fraction. Zircon was chosen as discrimination mineral among the minerals present for many reasons. The crystal forms, physical and chemical properties of zircon vary depending on its crystallisation conditions. The mineral is mechanically and chemically very resistant during weathering, transport, and diagenesis. It is one of the most frequent components in the relatively quickly changeable suite of heavy minerals and is present in all samples. The crystal form of zircon is a property that is relatively easy to observe, determine, and quantify, but it is dependent of numerous physical and chemical conditions, which are more or less interdependent from each other. P u p i n and T u r c o (1972c, 1975) pointed out that the crystal forms of zircon depend the most of temperature and the ratio between alkalis and Al in magma. They constructed a reticular diagram of typological classification according to the ratio of developed prisms (100), (110), and pyramids (101), (210) of zircon crystals, which was used for determination of the frequencies of the forms of zircon.

In the Val Gardena sandstone the zircon grains are euhedral and rounded. On examined euhedral grains of zircon 37 typological forms were determined from the middle and lower part of the Pupin's typological classification which comprises 64 different forms. Grains with properties of two typological forms and complex intergrowths are found beside more or less symmetrical ones.

Data on chemical composition of different typological forms collected till now do not allow reliable conclusion on relation between the chemical composition of zircon and its crystal forms. Nevertheless, the chemical data show some differences in the content of Hf, Y, Th, U, and Fe substituting Zr in the crystal structure between types of zircon.

For the quantitative evaluation only the typological forms S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18 S19, S20, P4, S22, S23, S24 having the relative frequencies greater than 1.5 % in the entire zircon form population were considered. The correlation between different types of zircon is relatively low. Some higher correlation of the typological forms clustered into seven groups. If one would want to apply a combination two or more typological forms as new larger a priori defined groups, they should base on the established natural connections.

Clusters of cases (samples) defined by the relative frequencies of the typological forms of zircon does not show a possibility for more detailed and confident correlation within the lithostratigraphic members of the Val Gardena Formation on the basis of the available data. However, the lithostratigraphic members of the Val Gardena

Formation are statistically different on the $p < 0.05$ level. The typological forms S8, S23, P4, P2, S22, S18, S7, S19 and S14 make the most significant contribution to their discrimination. The lithostratigraphic members can be discriminated and correlated with the mean certainty of 82 %.

At the end, we tried to interpret the composition of igneous rocks in the source area according to the relative frequencies of the crystal forms of zircon population in the Val Gardena sandstone. The outstanding field of the most frequent zircon types S19, S24, and data from Pupin (1980, 1985) indicate the prevailing influence of orogenic type igneous rocks of Ca-alkaline and K-Ca-alkaline compositions. The modal, lithic grains and pebbles composition of the Val Gardena sandstone and conglomerate confirmed such interpretation (Skaberne, 1995).

For answers of the indicated unsolved questions further typological investigations of zircon in the Val Gardena sandstone would be needed.

Zahvala

Zahvaljujem se kolegom Simonu Pircu, Ladislavu Placerju in Bojanu Ogorelcu za koristne pripombe, ki so pripomogle k izboljšavi rokopisa. Za tehnično pomoč velja moja zahvala Vladimirju Segalli, Miranu Udovču in Mirjam Vrabec. Raziskave je finančno omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo R Slovenije.

Literatura

Alinat, M., Pupin, J. P. & Turco, G. 1979: Le zircon dans les roches de la série métamorphique de „L'Anticlinal“ de Tulle (Corrèze, Massif Central français). Implications pétrogénétiques. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 59, 25-40, Zürich.

Alper, A. & Poldervaart, A. 1957: Zircons from the Animas stock and associated rocks, New Mexico. - Econ. Geol., 52, 952-971, El Paso.

Awasthi, N. 1961: Authigenic tourmaline and zircon in the Vindhyan formations of Sone Valley, Mirzapur District, Uttar Pradesh, India. - J. Sediment. Petrol., 31, 482-484, Tulsa.

Blatt, H., Middleton, G. V. & Murray, C. R. 1980: Origin of sedimentary rocks. 2nd ed., - Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, N. J., 782 pp.

Budkovič, T. 1980: Sedimentološka kontrola uranove rude na Žirovskem vrhu. - Geologija, 23/2, 221-226, Ljubljana.

Benisek, A. & Finger, F. 1993: Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. - Contrib. Mineral. Petrol., 114, 441-451, Heidelberg.

Byerly, G. R., Markovich, J. V. & Malcuit, R. J. 1975: Use of Fourier shape analysis in zircon petrographic studies. - Bull. Geol. Soc. Amer., 86, 956-958, Boulder.

Caruba, R. 1978: Morphologie des zircons synthétiques. - Can. Mineral., 16, 315-323, Ottawa.

Caruba, R., Baumer, A. & Turco, G. 1975: Nouvelles synthèses hydrothermales du zircon: substitutions isomorphiques; relation morphologie - milieu de croissance. - Geochim. Cosmochim. Acta, 39, 11-26, Oxford.

Davis, G. L., Hart, S. R. & Tilton, G. R. 1968: Some effects of contact metamorphism on zircon ages. - Earth Planet. Sci. Letters, 5, 27-34, Amsterdam.

Farges, F. 1994: The structure of metamict zircons: a temperature-dependent EXAFS study. - Phys. Chem. Minerals, 20, 504-514, Berlin.

Gastil, R. G., DeLisle, M. & Morgan, J. 1967: Some effects of progressive metamorphism on zircons. - Bull. Geol. Soc. Am., 78, 879-906, Boulder.

Hutton, C. O. 1950: Studies of heavy detrital minerals. - Bull. Geol. Soc. Am., 61, 635-716, Boulder.

Kresten, P., Fels, P. & Berggren, G. 1975: Kimberlitic zircons - A possible aid in prospecting for kimberlites. - Mineral. Dep., 10, 47-56, Berlin.

Köhler, H. 1970: Die Änderung der Zirkonmorphologie mit dem Differentiationsgrad eines Granits. - N. Jb. Mineral. Mh., 9, 405-420, Stuttgart.

- K o s t o v, I. 1973: Zircon morphology as a crystallogenic indicator. - *Kristall und Technik*, 8, 11-19, Berlin.
- L u k a c s, E. & F l o r j a n č i č, A. P. 1974, Uranium ore deposits in the Permian sediments of Northwest Yugoslavia. - *Formation of Uranium Ore Deposits, Proceedings of a Symposium*, Athens, 6-10 May 1974, International Atomic Energy Agency, Vienna, 313-329.
- M a r s h a l l, B. 1967: The present status of zircon. - *Sedimentology*, 9, 119-136, Oxford.
- M l a k a r, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. - *Geologija*, 12, 5-72, Ljubljana.
- M l a k a r, I. 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1985: Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije. - *Arhiv IGGG, Ljubljana* (neobjavljeno).
- M u r t h y, M. V. N. & S i d d i q u e, H. N. 1964, Studies of some zircons from some garnetiferous sillimanite gneisses (Khondalites) from Orissa and Andhra Pradesh, India. - *J. Geol.*, 72, 123-128, Chicago.
- O m a l j e v, V. 1965: Ležišče uranijuma Žirovski vrh. - *Nuklearna energija*, 3, Beograd.
- O m a l j e v, V. 1967 a: Razvoj grčedenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu urana Žirovski vrh. - *Radovi IGRI*, 3, 33-65, Beograd.
- O m a l j e v, V. 1967 b: Korelacija slojeva u ležištu Žirovski vrh. - *Radovi IGRI*, 3, 125-149, Beograd.
- P l a c e r, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. - *Geologija*, 24/1, 27-60, Ljubljana.
- P o l d e r v a a r t, A. 1956: Zircon in rocks. 2. Igneous rocks. - *Am. J. Sci.*, 254, 433, New Haven.
- P r o t i č, M., R a d o š e v i č, S. & G r a d, K. 1972: Terrigene Permablagerungen als uranführende Sedimente in Slowenien. - *Proceedings of the 2nd International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps*, *Geologija*, 15, 77-90, Ljubljana.
- P u p i n, J. P. 1980: Zircon and granite petrology. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220, Heidelberg.
- P u p i n, J. P. 1985: Magmatic zoning of Hercynian granitoids in France based on typology. - *Schweiz Mineral Petrogr. Mitt.*, 65, 29-56, Zürich.
- P u p i n, J. P. & T u r c o, G. 1972 a: Une typologie originale du zircon accessoire. - *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 95, 348-359, Paris.
- P u p i n, J. P. & T u r c o, G. 1972 b: Application des données morphologiques du zircon accessoire en pétrologie endogène. - *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 275, 799-802, Paris.
- P u p i n, J. P. & T u r c o, G. 1972 c: Le zircon accessoire en géothermométrie. - *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 274, 2121-2124, Paris.
- P u p i n, J. P. & T u r c o, G. 1975: Typologie de zircon accessoire dans les roches plutoniques dioritiques, granitiques et syénitiques. Facteurs essentiels déterminant les variations typologiques. - *Pétrologie I*, 2, 139-159, Paris.
- P u p i n, J. P., B o n i n, B., T e s s i e r, M. & T u r c o, G. 1978: Rôle de l'eau sur les caractères morphologiques et la cristallisation du zircon dans les granites. - *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 20, 721-725, Paris.
- R i s t i č, M. & M a r k o v, C. 1971: Mineraloško-geohemijske odlike, sredina taloženja, indikatori orudnjenja i način postanka ležišta urana Žirovski vrh u SR Sloveniji. - *Radovi IGRI*, 3, 1-34, Beograd.
- S a x e n a, S. K. 1966: Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks. - *Sedimentology*, 6, 493-502, Oxford.
- S k a b e r n e, D. 1995: Sedimentacijski in postsedimentacijski razvoj grčedenske formacije med Cerknim in Žirovskim vrhom. - *Doktorska disertacija*, Univerza v Ljubljani, I. del, 500 pp., II. del, 192 pp. + 46 pril., Ljubljana.
- S t r u m b e r g e r, V. 1986 a: Korelacija sive grčedenske formacije na podlagi mineraloških lastnosti cirkona. Vrednotenje in eksploatacija uranovih nahajališč. - *Referati 2. jugoslovanskega posvetovanja o jederskih surovinah*, Škofja Loka, 19.-21. junija 1986, 201-216, Škofja Loka.
- S t r u m b e r g e r, V. 1986 b: Poročilo o korelaciji litoloških členov grčedenske formacije na osnovi mineraloško geokemičnih lastnosti mineralov težke frakcije. - *Arhiv IGGG, Ljubljana* (neobjavljeno).
- T u r c o, G. & P u p i n, J. P. 1982: Age et métamorphisme: des facteurs intervenant sur la coloration, le zonage, les „surcroissances“ des zircons. - *9^e Réun. Ann. Sc. de la Terre*, 612, Paris.
- V a v r a, G. 1990: On the kinetics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 90-99, Heidelberg.
- V i t a n a g e, P. W. 1957: Studies of zircon types in the Ceylon Precambrian complex. - *J. Geol.*, 65, 117-128, Chicago.
- W y a t t, M. 1954: Zircons as provenance indicators. - *Am. Mineralogist*, 39, 983-990, Washington.