

## Abstract

The Limpopo Complex (LC) of southern Africa is one of the best-studied Precambrian granulite facies terrains in the world, yet workers still disagree on fundamental aspects of the geological evolution of this complexly deformed high-grade terrain. Most workers agree that the two marginal zones were exhumed in the late-Archaeon, but disagree on the timing of major tectono-metamorphic events that affected the Central Zone (CZ) of Limpopo Belt, and the mechanism/s of its formation. There are currently two main schools of thought: The first school regards the LC as a late-Archaeon orogenic zone that resulted from a north-south collision of the Zimbabwe and Kaapvaal cratons. Granitic plutons throughout the entire LC are considered to be accurate time-markers for this orogeny. The second school suggests that the CZ evolved as a result of a major Paleoproterozoic tectono-metamorphic event based mainly on the interpretation of metamorphic mineral ages. The present study focuses on two aims, namely (i) to provide a synthesis of published data as a basis to understand the ongoing age controversy concerning the evolution of the CZ, and (ii) to show that specific fold types in the CZ can be related to either the late-Archaeon or the Paleoproterozoic event.

New age, structural, metamorphic, and petrographic data are presented to show that (i) major sheath folds reflect the peak tectono-metamorphic event that affected the CZ in the late-Archaeon, while (ii) major cross folds developed as a result of a transpressive event in the Paleoproterozoic. The age of formation of the **Avoca sheath fold** located about 40 km west of Alldays is accurately constrained by the age of emplacement of different structural varieties of precursors to the Singelele Gneiss: penetratively deformed syn- to late-tectonic Singelele gneisses with a zircon SHRIMP age of  $2651 \pm 8$  Ma, date the time of formation of the sheath fold that is characterized by a single population of linear elements that define the central fold axis. The Avoca sheath fold documents top-to-the-NNE movement of material during the exhumation of the high-grade CZ rocks. Weakly foliated late-tectonic L-tectonites with a zircon SHRIMP age of  $2626.8 \pm 5.4$  Ma, outcrop near the centre of the sheath fold, and provide a minimum age for the shear deformation event. An almost undeformed (post-tectonic) variety of the Singelele Gneiss was emplaced after the shear event.

A detailed metamorphic study of metapelitic gneisses from the large **Baklykraal cross fold**, located about 20 km east of the Avoca sheath fold, documents a single decompression-cooling (DC) *P-T* path for the evolution of this structure. Three studied metapelitic samples characterized by a single generation of garnet provide a Pb-Pb age of  $2023 \pm 11$  Ma, that accurately constrain the time of formation of this major fold to the Paleoproterozoic. A metapelitic sample characterized by two generations of garnet provide a slightly older Pb-Pb age of  $2173 \pm 79$  Ma, that is interpreted to also reflect the late-Archaean event.

The Baklykraal cross fold is characterized by two populations of linear elements: the one population defines the shallow N-S oriented fold axes, while the second population is associated with top-to-the-NNE movement of material during exhumation, resulting in folds with a nappe-like geometry. A DC *P-T* path for the Campbell cross fold (Van Kal, 2004) located just west of Musina, suggests that cross folds developed under significantly lower *P-T* conditions than is the case with sheath folds, providing an explanation for the lack of significant anatexis associated with the Paleoproterozoic event. The late-Archaean orogeny in contrast, was accompanied by widespread anatexis during a major magmatic event that is characterized by an abnormal high radiogenic signature.

This study, for the first time, provides evidence that link specific fold types, and thus deformational events, to different tectono-metamorphic events. The main conclusion is that the CZ was exhumed as the result of two distinct orogenies, one in the late-Archaean, and the other in the Paleoproterozoic.

## Uittreksel

Die Limpopo Kompleks (LK) van Suid-Afrika is een van die beste bestudeerde Prekambriese granulietterreine in die wêreld, maar navorsers verskil nogsteeds wat fundamentele aspekte van die geologiese evolusie van dié kompleks vervormde hoë-gradse terrein betref. Die meeste navorsers stem saam dat die twee grenssones ontbloot is in die laat-Argeïkum, maar verskil oor die tydstelling van hoof tektono-metamorfe gebeurtenisse wat die Sentrale Sone (SS) van die LK geaffekteer het asook die meganisme/s van die ontstaan van hierdie sone. Twee denkgroepe bestaan huidiglik: die een groep ag die LK as 'n laat-Argeïese orogenetiese sone wat die gevolg is van 'n noord-suid bosting tussen die Zimbabwe en Kaapvaal kratons. Granitiese plutone regdeur die hele LK word geag as akurate tyd-merkers vir dié orogenie. Die tweede denkgroep het voorgestel dat die SS ontwikkel het as die resultaat van 'n hoof Paleoproterosoïese tektono-metamorfe gebeurtenis, hoofsaaklik op grond van die interpretasie van metamorfe mineraal ouderdomme. Die huidige studie fokus op twee doelwitte, naamlik (i) om 'n sintese van gepubliseerde data as grondslag aan te bied om die voortgesette ouderdom kontroversie oor die evolusie van die SS beter te begryp, en (ii) om te bewys dat spesifieke plooitipes in die SS verwant is aan of die laat-Argeïese of Proterosoïese gebeurtenis.

Nuwe ouderdom-, struktuur-, metamorfe-, en petrografiese data word aangebied om te wys dat (i) die piek tektono-metamorfe gebeurtenis wat die SS in die laat-Argeïkum geaffekteer het, weerspieël word deur hoof skede plooie (ii) en dat hoof dwarsplooie ontwikkel het as die resultaat van 'n transpresiewe gebeurtenis gedurende die Paleoproterosoïkum. Die ouderdom van vorming van die **Avoca skede plooie**, ongeveer 40 km Wes van Alldays geleë, word akkuraat beperk deur die inplasingsouderdom van verskillende strukturele variasies van die voorloper tot die Singelele Gneis: deurdringend vervormde sin- tot laat-tektoniese Singelele gneisse met 'n zirkoon ouderdom van  $2651 \pm 8$  Ma, dateer die tyd van vorming van die skede plooie wat gekenmerk word deur 'n enkel populasie van liniêre elemente wat die sentrale plooie definieer. Die Avoca skede plooie dokumenteer beweging van materiaal na die NNO gedurende die herontbloting van die hoë-gradse gesteentes van die SS; swak gefolieerde laat-tektoniese L-tektonieke met 'n zirkoon ouderdom van  $2626.8 \pm 5.4$  Ma, dagsoom naby in die middel van die skede plooie, en voorsien 'n minimum ouderdom vir die skuifskurvervorming. 'n Byna

onvervormde (na-tektoniese) variasie van die Singelele Gneis is ingeplaas na die skuifskur gebeurtenis.

‘n Gedetailleerde metamorfe studie van metapelietiese gneisse van die groot **Baklykraal dwars plooï**, wat ongeveer 20 km oos van die Avoca skede plooï geleë is, dokumenteer ‘n enkel dekompresie-afkoellings *P-T* pad vir die evolusie van die struktuur. Drie bestudeerde metapelietiese monsters wat gekenmerk word deur ‘n enkel generasie van granaat, voorsien ‘n Pb-Pb ouderdom van  $2023 \pm 11$  Ma, wat die tyd van ontwikkeling van die groot plooï akkuraat berperk tot die Paleoproterosoïkum. ‘n Metapelietiese monster wat gekenmerk word deur twee duidelike generasies van granaat, voorsien ‘n effense ouer Pb-Pb ouderdom van  $2173 \pm 79$  Ma, wat ook die laat-Argeïse gebeurtenis weerspieël.

Die Baklykraal dwarsplooï word gekenmerk deur twee populasies van liniêre elemente: die een populasie definieer die vlak N-S georiënteerde plooïas, terwyl die tweede populasie geassosieer word met beweging van materiaal NO gedurende herontbloting, wat aanleiding gee tot plooïe met ‘n nappetipe geometrie. ‘n Dekompresie-afkoellings *P-T* pad vir die Campbell dwarsplooï (Van Kal, 2004), wat net wes van Musina geleë is, is ‘n aanduiding dat die dwarsplooïe ontwikkel het onder aansienlike laer *P-T* toestande as in die geval van die skede plooïe, en voorsien dus ‘n verduidelikking vir die feit dat die Paleoproterosoïse gebeurtenis nie gepaard gegaan het met beduidende anatekse nie. Die laat-Argeïse orogenie, in kontras, het wel gepaard gegaan met wydverspreide anatekse gedurende ‘n hoof magmatiese gebeurtenis wat gekenmerk word deur abnormale hoë radiogenetiese U en Th waardes.

Hierdie studie voorsien vir die eerste keer bewyse dat spesifieke plooïtipes, en dus vervormingsgebeurtenisse, in die SS aan verskillende tektono-metamorfe gebeurtenisse gekoppel kan word. Die hoof gevolgtrekking is dat die SS herontbloot was as die resultaat van twee orogenië, een in die laat-Argeïkum en die ander in die Paleoproterosoïkum.