

Namibian Damaramaan graniitteja

PIETARI SKYTTÄ

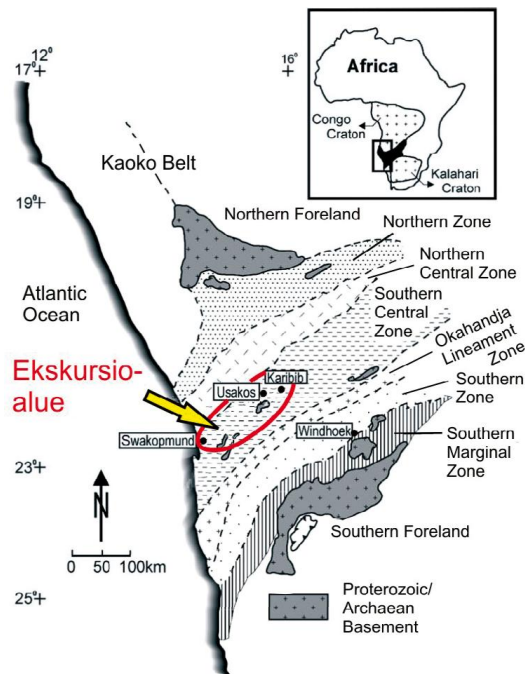
Kuudes kansainvälinen Hutton -graniittisymposium järjestettiin 2.–6. heinäkuuta 2007 Etelä-Afrikan Stellenboschissa, ~40km Kapkaupungista länteen. Symposiumin yhteydessä järjestettiin useita ekskursioita, joista yksi ajoittui kokousta edeltävään viikkoon ja sijoittui Namibian Damaramaan. Ekskursiolle oli annettu nimeksi ”Pan-Afrikan graniitit Damaran jaksolla Namibiassa” (*”Pan-African granites of the Damara Belt, Namibia”*) ja lähempi ennakkotutustuminen sen ohjelmaan paljasti ekskursion tarjoavan hyvän mahdollisuuden tutustua graniittien ja niiden isäntäkivien välisiin suhteisiin ympäristössä, jossa paljastumat ovat laajoja ja sammalpeite vähäinen. Erityisen kiinnostavaksi juuri kyseisen ekskursion teki sen läheinen asiayhteys loppusuoralla olevaan väitöskirjatutkimukseeni, josta tärkeän osan muodostavat myöhäis-Sveko-fennisten graniittien suhteet niiden isäntäkiviin sekä deformaatiohistoriaan. Ilmaisu ”matkailu avartaa” tuli väistämättä myös mieleeni symposiumin internet-sivujen ekskursiot -välilehteä silmäillessäni... Seuraavassa siis matkakertomus Namibian ekskursiolta 24.–29.6.07, muutama sana vierailusta Sea Point -kontaktilla Kapkaupungin läheisyydessä varsinaisen kokouksen viimeisenä päivänä sekä pohdintaa Damaramaan ja Etelä-Suomen graniittien yhtäläisyyksistä ja eroista.

Damaran jakson geologista taustaa (Kisters *et al.* 2007 ja siinä olevien viitteiden mukaan)

Namibian keskiosissa sijaitseva Damaran jakso kuuluu Pan-Afrikan kollisionaaliisiin liuskejaksoihin, jotka syntyivät Gondwanan supermantereen kasvaessa myöhäis-proterotsooisella–varhais-fanerotsooisella maailmankaudella. Damaran jakso on koillis-lounais-suuntainen ja siinä on nähtävissä Kongon ja Kalaharin kratonien törmäämiseen liittyviä rakenteita. Damaran jakson kivet sijaitsevat proterotsooisen pohjan (iältään ~2,0–1,7 Ga) päällä ja ovat syntyneet 300 miljoonan vuoden aikana alkaen ~780 Ma sitten tapahtuneeseen kuoren repeämiseen liittyvällä sedimentaatiolla. Myöhempi kehitys jatkui seuraavasti: merellisten sedimenttien kerrostuminen (730–600 Ma), kuoren konvergenssi (600–580 Ma) ja lopullinen törmäys (550–540 Ma). Termokronologiset tulokset osoittavat, että orogeenin keskiosissa lopullinen ekshumaatio tapahtui ~470–465 Ma sitten (Gray *et al.* 2006). Damaran jakso voidaan jakaa useisiin vyöhykkeisiin (kuva 1; Kisters *et al.* 2004), joista liikuimme keskiosan eteläisellä vyöhykkeellä (*southern Central Zone*). Tällä vyöhykkeellä on paljastuneena sedimenttejä, ”ikkunoita” niiden kerrostumisalustaan (*basement windows*) sekä lukuisia graniitteja. Vyöhykkeellä on paljastuneena vino leikkaus kuoresta siten, että metamorfoosiaste laskee lounaasta koilliseen ollen korkeimmillaan Swakopmundin ympäristössä (gra-



Khan River.
Artikkelin kuvat: Pietari Skyttä



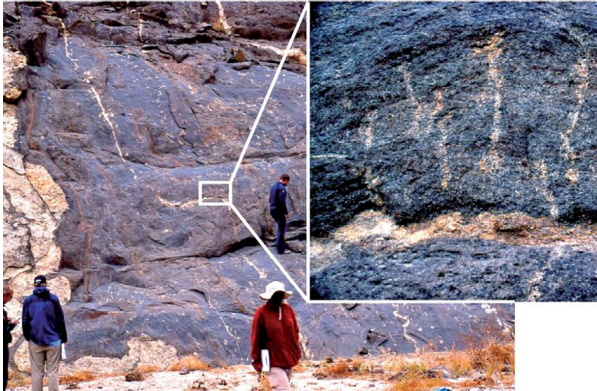
Kuva 1. Ekskursioalueen sijainti ja Damaran jakson vyöhykkeet. Muokattu Kisters *et al.* (2004):sta.
 Fig. 1. Location of the excursion area with Damara belt zones. Modified from Kisters *et al.* (2004).

nuliittifasiuksen alaosissa) ja alhaisimmillaan Karibibin alueella (amfiboliittifasiuksen alaosissa; kuva 1). Metamorfoosi on ollut luonteeltaan joko yksittäinen pitkäkestoinen tapahtuma (Masberg 2000) tai se on käsittänyt useampia erillisiä pulsseja (Nex *et al.* 2001, Jung ja Mezger 2003); joka tapauksessa korkeimmat PT-olosuhteet ajoittuvat heti alueellisen deformaation huipun jälkeen ajalle ~530–510 Ma.

Alueen rakenteelle tyypillisiä ovat ylityöntö-tektoniikkaan liittyvät pitkänomaiset doomirakenteet, joiden pitkät akselit ovat NE-SW-suuntaisia. Nämä rakenteet syntyivät alueellisen deformaation huipuvaiheessa 550–540 Ma sitten. Koillisosan doomirakenteet ovat ylikaatuneet kohti luodetta, kun taas alueen lounaisosan doomit ilmentävät orogeenin suuntaisia tektonisia liikuntoja kohti lounasta. Näiden kahden rakenteellisesti toisiaan vastaan kohitusoran osa-alueen esiintymisen katsotaan heijastavan kuoren eri syvyyksien erilaista vastetta samaan alueelliseen deformaatioon, jossa vallitseva puristus suuntautui likimain kohti luodetta (Kisters *et al.* 2004). Suuressa osassa ekskursioaluetta alueellinen deformaatio on ollut luonteeltaan konstriktionaalista, jonka seurauksena on syntynyt lähinnä voimakkaan lineaarisia rakenteita ja ainoastaan heikompia tasomaisia rakenteita (ts. L(S)-tektoniitteja).

Damaran keskimmaisessä vyöhykkeessä (*Central Zone*) on runsaasti graniitteja (> 70 000 km²) ja tämän johdosta aluetta kutsutaankin orogeenin magmaattiseksi ”akseliksi”. Damaran graniitit on tavallisesti jaoteltu kolmeen ryhmään, jotka kaikki ovat syn- tai myöhäistektonisia alueellisen deformaation päävaiheeseen nähden (Miller 1983): 1) vanhemmat dioriitit ja granodioriitit, punaiset ja harmaat graniitit, 2) tavallisesti porfyiriset bt-montsograniitit ja niihin liittyvät (grano-)dioriitit (tunnetaan yleisnimityksellä Salem-graniitit), 3) hienorakeisesta karkeaan vaihtelevat leukograniitit ja pegmatiitit. Vanhaiset dioriitit ja titaniitti/sarvivälkepitöiset Salem-ryhmän graniitit ovat koostumukseltaan I-tyyppisiä, kun taas leukokraattisemmat Salem-ryhmän graniitit ovat granaattipitoisia S-tyypin graniitteja. S-tyypin graniitit ovat syntyneet Damaran jakson metasedimenttien tai proterotsooisen pohjan osittain sulamisen seurauksena. Petrografisen luokittelun lisäksi myös ikänsä puolesta graniittimagmaattisuus osuu kolmeen jaksoon, joista vanhimman (570–540 Ma) graniitit ovat syntektonisia päädeformaation kanssa. Koostumukseltaan ne vaihtelevat mafisista plutoneista (pieniä) dioriitteihin, granodioriitteihin ja graniitteihin. Merkittävää on, että Salem-tyypin graniiteissa kuvataan sekä S- että I-tyypin graniitteja, jotka ovat keskenään samanikäisiä. Toinen graniittimagmaattisuuden jakso (535–510 Ma) on luonteeltaan rakenteelliseen kehitykseen nähden myöhäis-posttektoninen mutta huippumetamorfoosin kanssa samanikäinen. Tähän ajanjaksoon kuuluvat graniitit ovat S-tyyppisiä. Nuorin vaihe (505–485 Ma) on posttektoninen ja siihen kuuluvat kivet ovat leukograniitteja ja pegmatiitteja joista nuorimmilla on ikää 465 Ma. Huomionarvoista graniittien ikä tarkkailtaessa kuitenkin on, että suuri osa ikämäärityksistä perustuu Rb-Sr tai Pb-Pb -menetelmillä saatuihin tuloksiin tai ovat muihin menetelmiin perustuvia malli-ikä, ja näin ollen eivät valtaosassa tapauksia tarjoa riittävää tarkkuutta orogeenin kehityksen asianmukaiseen tutkimiseen.

Yllä kuvatut taustatiedot takataskussa matkasimme kohti Namibin autiomaata, jossa Stellenboschin yliopiston geologian laitoksen professorit Alex Kisters ja Gary Stevens sekä jatko-opiskelijat/jo valmistuneet Rob Ward ja Shannon Johnson sekä Namibian geologisen tutkimuslaitoksen Charlie Hoffmann toimivat oppainamme. Syvyydeltään erilaisen maankuoren osien paljastuneisuus Damaran jakson (*south Central Zone*) eri osissa antoi meille mahdollisuuden tutustua graniittisten sulien syntymiseen, kulkeutumiseen ja paikoilleen asettumiseen matkalla Atlantin rannikolta kohti sisämaata. Erityisesti saimme nähdä miten geologiset rakenteet ja ki-



Kuva 2. Graniittien syntypaikkoja. Peliittisten sedimenttikivien osittainsulamisen serauksena syntyneitä graniittisia leukosomeja Khan-joen laaksossa. Pienempi kuva osoittaa, että leukosomit ovat kerääntyneet poimurakenteen ekstensionaaliseen osaan; kuvan oikeassa yläosassa lisäksi sulasta kiteytyneitä peritektisiä granaatteja joiden ympäriltä leukosomi on jo kulkeutunut muualle.

Fig. 2. Granite formation sites. Granitic leucosomes formed as a result of partial melting of pelitic sediments in the Khan River valley. Inset shows peritectic garnets (top right) and the occurrence of leucosomes in the extensional domains of the fold structures.

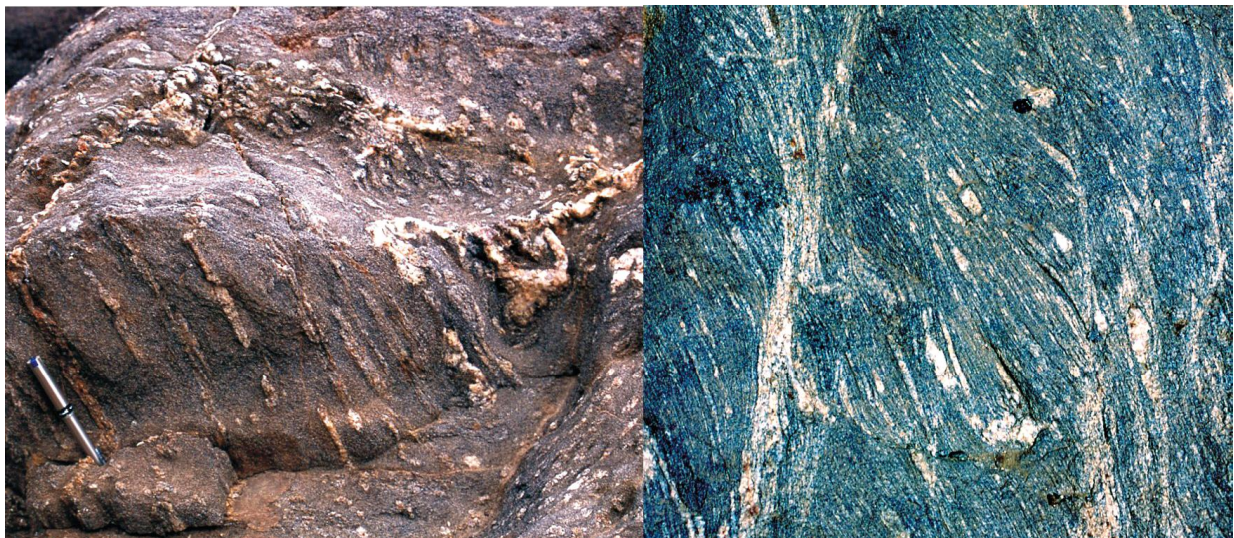
vilajien vaihtelut kontrolloivat em. prosesseja. Alueen hienot paljastumat ja jo satelliittikuvista käsin helposti tulkittavat alueelliset rakenteet ja kivilajijyksiköt antoivat loistavan mahdollisuuden tämänkaltaiseen temaattiseen lähestymistapaan.

P ~ 5 kbar, T 700–750°C = kivisulaa syntyy...

Ensimmäiset kolme päivää retkeilimme Swakopmundin rannikkokaupungista käsin läheisten Khan River ja Swakop River -jokien laaksoissa maastoautojen tarjotessa riittävän vetokyvyn paikoin pehmeässä hiekassa ja sorassa. Veden varaan joutumisesta ei sitä vastoin ollut suurtakaan vaaraa – jokilaaksot täyttyvät vedestä vain satunnaisesti muutamana vuoden välein ja aina vesi ei jaksa virrata

edes valtamerelle asti vaan imeytyy rutikuivaan joenpohjaan. Jo ennen Swakopmundiin asettumistamme olimme edellisenä päivänä matkalla Namibian pääkaupungista Windhoekista kohti Atlantin rannikkoa poikenneet Spitzkoppen A-tyyppin graniitteja katsomaan vaikka ne postorogeenisina (esim. Frindt *et al.* 2004) eivät varsinaisesti ekskursion teemaan istuneetkaan.

Ensimmäisessä varsinaisessa kohteessa Khan-joen laaksossa tutustuimme metapeliittisten kivien osittainsulamiseen. Leukosomit esiintyivät tyyppillisesti joko melko suoraviivaisina, useimmiten suurempina, liuskeisuuden suuntaisina juonina tai pienempinä, epäjatkovina juonina (kuva 2). Jälkimmäiset ovat syntyneet poimurakenteiden ulkokaarille tai kohtisuoraan alueellisen deformaation



Kuva 3. Sulien muodostumista ja kulkeutumista. Vasemmalla: Konstruktionaalinen (ks. selitys tekstissä) alueellinen deformaatio kontrolloi syntyneiden leukosomien sijaintia ja kulkeutumista, jonka seurauksena leukosomit muodostavat kiveen voimakkaan lineaation. Oikealla: Massiivisissa (vrt. voimakkaasti kerrokselliset) kivilajeissa sulat kulkeutuvat hiertovyöhykkeitä pitkin. Kuvan leveys ~1 m.

Fig. 3. Melt formation and transportation. Left: Constrictional deformation localised the occurrence of granitic leucosomes which presently form a strong lineation within the rock. Right: Within massive rock units the leucosomes were transported along ductile shear zones. Photograph width ~1m.

aiheuttamaa lineaatiota vastaan, ts. ekstensionaaliin kohtiin, joissa vallitseva paine on ollut mahdollisimman pieni ja johon sulamiseen vaadittavat fluidit (Ward *et al.* 2007) ovat päässeet kulkeutumaan. Näistä pienemmistä sulajuonista tai -taskuista sulat ovat kulkeutuneet kohti suurempia juonia, jotka ovat toimineet sulien kuljetusväylinä. Paikalla on siis tapahtunut sekä graniittien syntymistä että kulkeutumista. Todisteena graniittisen sulan poistumiselle systeemistä ovat peritekittiset granaatit, joiden ympäriltä paikoin lähes kaikki kivisula on poistunut (kuva 2), sekä ”pucker”-rakenteet, joissa kivistä poistunut sula on aiheuttanut budinaasin kaulaa muistuttavan rakenteen, jossa isäntäkiven liuskeisuus taipuu sisäänpäin kohti taskua jossa sula sijaitti. Koko paljastuman mitta-kaavassa pienet sulajuonet ja -taskut muodostivat verkoston, joka mahdollisti sulan kulkeutumisen kohti korkeampia kuoren leikkauksia. Suuremmat, vain kivisulan kuljettajina toimineet juonet voitiin erottaa leukosomia synnyttäneistä juonista siitä, että ne olivat yleensä muodoltaan suoraviivaisia eivätkä sisältäneet lainkaan granaatteja.

Kuvan 3 (vasemmanpuol. kuva) paljastuma sijaitsee alueella, jossa alueellisen deformaation viivauk-



Kuva 4. Graniittien paikoilleen asettuminen. Edellisiin kuviin verrattuna korkeammilla kuoren tasoilla graniitit asettuivat paikoilleen; voimakkaasti kerroksellisilla kivilajialueilla intruusioiden muotoja kontrolloivat liuskeisuuden asento ja kivilajikerrosten koostumus. Kuvan oikean puoliskon vaaka-asentoiset graniittipatjat kääntyivät pystyasentoisiksi kohdatessaan kuvan vasemmassa reunassa nähtävän doomirakenteen kyljen, jossa isäntäkiven liuskeisuus on jyrkkäasentoinen. Paikka: Usakos Dome.

Fig. 4. Granite emplacement. On higher crustal levels, the granites were emplaced; the factors controlling the intrusion shapes were the orientation of the host rock foliation and composition in those areas with strongly stratified rocks. Shallow-dipping granite sheets on the right were re-oriented into sub-vertical orientations when reaching the steep limb of the domal structure (on the left). Location: Usakos Dome.

set suuntautuvat kohti lounasta. Paljastumalla ilmenee hyvin restriktionaalisen deformaation vaikutus leukosomien rakenteisiin, jotka muodostavat kivien alueellisen poimutuksen akselisuunnan kanssa yhdensuuntaisen lineaation. Paljastumalla havaitun leukosomin osuus koko kivistä oli huomattavasti edellä kuvattuja paljastumia suurempi huolimatta samoista metamorfisista olosuhteista ja kivilajista. Tämä todennäköisesti johtuu kohteella vaikuttaneen deformaation luonteesta ja hyvin voimakkaasta intensiteetistä, jotka yhdessä estivät tasomaisten leukosomien kulkukanavien muodostumisen ja synnyttivät yksittäisiä sauvamaisia leukosomeja sen sijaan. Yhdessä poimujen ja edellä kuvattujen ”pucker”-rakenteiden (jotka monet olivat myös poimuttuneet!) kanssa sauvamaiset leukosomit synnyttivät epä säännöllisen muotoisilla paljastumaseinämillä varsin mielenkiintoisia kuvioita.

... , kulkeutuu ja (P ~ 3±1 kbar, T 550–600°C) asettuu paikoilleen.

Leukosomien kulkeutumiseen pois syntypaikaltaan vaikuttaa painovoima, joka aiheuttaa tiheydeltään ympäröivää kiinteää kiviainesta alhaisemman leukosomin kohoamista ylöspäin kuoressa. Kulkeutumisen reittejä taasen kontrolloivat alueen deformaattorakenteet sekä kivilajijyksiköiden koostumus ja keskinäiset suhteet. Tiivistäen sanottuna Damaran alueella voimakkaasti kerroksellisissa kivilajeissa graniitit pyrkivät kulkeutumaan (sekä asettumaan paikalleen) liuskeisuuden suuntaisina patjoina kun taas massiivisemmissä kivissä, kuten homogeenisissä gneisseissä, sulat kulkeutuvat plastisia hiertovyöhykkeitä pitkin (kuva 3; oikeanpuol. kuva). Oppaidemme mukaan hiertovyöhykkeet esiintyvät joko konjugaattisina systeemeinä tai poimurakenteiden akselitasojen suuntaisina rakenteina. Hiertovyöhykkeissä olevan leukosomin määrän kasvaessa niiden välissä olevat isäntäkiven kappaleet olivat liikkuneet, jolloin syntyi samankaltainen lopputulos kuin intrusiivisessa breksiassa. Yhdellä ekskursionpysähdyksellä pystyimme havaitsemaan koko edellä kuvatun kaltaisen tapahtumasarjan – oikeastaan koko ekskursion parhaita puolia olikin juuri se, että pystyi näkemään kuinka sulat ”liikkuvat” ja kuinka tietyt prosessit ovat ”tapahtuneet” yksittäisten pienten paljastumien tutkimisen sijaan.

Kerroksellisista kivilajeista erityinen merkitys graniittien asettumiseen oli kalkkikivillä, jotka mekaanisesti estivät graniittien tunkeutumisen lävitseen ja siten aiheuttivat graniittipatjojen esiintymisen alapuolellaan. Kalkkikivien läpäisemättömyys aiheutuu siitä, että suhteellisen alhais-

sakin metamorfisissa olosuhteissa ne käyttäytyvät plastisesti eikä niihin sen vuoksi synny rakoja tai murtumia joita pitkin kivisulat saattaisivat liikkua. Kalkkikivien lisäksi muidenkin kerroksellisten kivilajien tapauksessa lienee niin, että ne eivät mielellään päästä graniitteja lävitseen. Tämän väittämän perustan sille, että monissa paikoin jossa kivilajien liuskeisuus oli loiva-asentoinen, graniitit olivat liuskeisuuden suuntaisia patjoja, jotka alueellisten poimurakenteiden kyljille tullessa kääntyivät jyrkempiin asentoihin ja kulkeutuivat korkeammille tasoille maankuoressa (kuva 4).



Kuva 5. Namibian luontoa. Ylhäällä: Quiver-puu (*Aloe dichotoma*) jonka osia bushmanit käyttivät mm. nuoliviivinä. Keskellä: Kirjoittaja Swakopmundin läheisillä dyneillä. Alhaalla: Lähinnä Namibiassa esiintyvä, jopa 1500 vuoden ikäiseksi elävä Welwitschia-kasvi (*Welwitschia mirabilis*), jota voidaan pitää elävänä fossiilina.

Fig. 5. Namibian nature. Top: Bushmen's Quiver Tree. Centre: Author on a dune next to Swakopmund Bottom: Welwitschia, a living fossil plant reaching a maximum age of 1500 years

Ehkäpä ekskursion hienoimmat näkymät ja geologiset kohteet löytyivät Usakosin doomirakenteen keskiosista josta käsin pystyimme katselemaan (i) graniittipatjojen taipumista loivasta jyrkkään asentoon doomin keskeltä reunalle päin (kuva 4), (ii) toisella suunnalla graniittien erilaista esiintymisrunsausta eri kivilajiyksiköiden välillä sekä proteotsooisen pohjan ylityöntymistä Damaran sedimenttien päälle, (iii) kolmannella kantilla doomirakenteen uudelleenpoimutuksen aiheuttamia rakenteita ja (iv) lopulta selkämme takana muuten vaan aukeavaa avaraa maisemaa alkuillan aurinjon kajossa. Usakosin doomi sijaitsee kahden toisiaan vastaan kohtisuorassa olevan rakenteellisen osa-alueen vaihettumisvyöhykkeessä, jossa myös graniiteilla oli huomattava merkitys alueen rakentamiselle: suuren doomirakenteen sisään tunkeutui päädeformaation aikana runsaasti graniittista sulaa, joka heikensi doomirakenteen pysyvyyttä aiheuttaen sen yläosan ”romahtamisen” kohti lounasta, jonka seurauksena doomin yläosa uudelleenpoimuttui tuppimaiseksi poimuksi (”sheath fold”; Johnson ja Kisters 2007).

Kuten Usakosin doomirakenteesta ja siihen liittyvistä graniiteista näkyy, poimurakenteet toisaalta päästivät graniitteja liikkumaan mutta toisaalta ne muodostivat rakenteellisia ”ansoja” joihin graniitit asettuivat. Suuren antiformirakenteen harjaan asettunut uraanipitoinen leukograniitti Rössingin uranikaivoksen alueella on hyvä esimerkki jälkimmäisestä. Itse kaivoksesta emme nähneet kuin reunojen sivukivikasat, mutta jo niistä päätellen saattoi hyvin uskoa kaivoksen olevan maailman suurin uraani-avolouhos.

Jotain yhteistä Etelä-Suomen graniittien kanssa?

Damaramaan graniitit olivat etupäässä suuria, loiva-asentoisia patjoja siitäkin huolimatta, että kartta- ja ilmakuvissa ne usein näyttävät ovaalinmallisilta intrusioilta. Samaan tapaan suuri osa Etelä-Suomen graniiteista (ainakin ne tilavuudeltaan suurimmat) tuntuvat olevan loivassa asennossa olevia patjoja jotka vaihtelevissa määrin taipuvat ja poimuttuvat nuorempien hiettojen ja poimutusten yhteydessä. Poikkeavaa Damarassa Svekofeniiniseen orogeeniaan nähden oli se, että deformaation päävaiheen jälkeen esiintyvillä graniiteilla ei ollut mitään tiettyä rakenteellista sijaintia, kun taas ainakin Uudenmaan liuskejaksolla nuorimmat graniitit sijaitsevat alueen päärakenteita leikkaavien hiettojen yhteydessä (Väisänen ja Skyttä 2007). Ehkä lisävaloa graniittien ja rakenteiden

ikäsuhteista ja rakennekehityksen detaljeista Damaramaassa toisivat tarkemmat ikämääritykset, sillä tällä hetkellä suuri osa graniiteista ja rakenteista luokitellaan yhteen 20–30 Ma kestävään päävaiheeseen vaikka joillain paljastumilla havaittiin selviä leikkaussuhteita keskenään hyvinkin erilaisten faasien välillä. Samaten mielenkiintoista olisi nähdä onko samanikäisiksi oletettujen Salem-ryhmän I- ja S-tyyppin graniittien välillä todellisia ikäeroja, sillä Suomessa I-tyyppit kuuluvat varhais-Svekofenniseen kehitykseen ja S-tyyppit myöhäis-Svekofenniseen aikaan (esim. Nironen 2005).

4 mm/a = kuivaa

Namibin autiomaan luontoa kuvailee kuivuus, jota ylläpitävät erittäin vähäiset sademäärät ja kuuma auringonpaiste. Otsikon sademäärä saavutetaan Swakopmundin kaupungissa Atlantin rannikolla, mutta Hutton-kokoukseen osallistuneen tsekkiläisen geologin mukaan pohjoisemmassa, Kaokon alueella, sama määrä vettä saadaan viidessä vuodessa... Swakopmundissa kuivuutta hiukan lieventää mereltä usein nouseva paksu sumu joka tuo kosteutta rantakaistaleen kasvillisuudelle. Tästä vyöhykkeestä hiukan sisämaahan päin onkin seutua, jolla likimain ainoastaan omalaatuiset Welwitschia-kasvit (kuva 5) selviytyvät hengissä. Vähän enemmän kosteutta tarvitsevat busmanien monin tavoin hyödyntämät quiver-puut (kuva 5; quiver = nuoliviiini). Tyypillisiä eläimiä alueella ovat ainakin hyyppi-, keihäs- ja kuduantiloopit, seeprat, strutsit ja paviaanit. Näitä kaikkia näimme myös ekskursioiden aikana – sekä maastossa että illallispöydässä (paviaania kukaan ei tosin ainakaan tiennyt syövänsä!). Damaran maisemat ovat laajoja tasankoja, jokilaaksoja, vuoristoa ja tasangoilta Spitzkoppen tapaan korkeuksiin kohoavia yksittäisiä vuoria. Myös dynejä löytyy ja maisemat niiden päältä käsin olivat varsin mahtavia etenkin aamuauringon noustessa (kuva 5). Suomen kesän aikaan eteläisellä pallonpuoliskolla on talvi ja säät sen mukaiset vaikka aivan Suomen pakkasiin ei ylletäkään. Kuitenkin mittari heilui aamuisin Swakopmundin +6°C:sta Stellenboschin kuuraiseen nurmikenttään – päiväsaikaan lounaseväitä sitten jo mieluiten nauttikin varjostavan puun suojissa.

Sea Point -kontakti

Stellenboschin yliopistokaupungissa järjestetyn kokouksen viimeisenä päivänä tutustuimme Kapkaupungin rantaviivalla sijaitsevaan Sea Pointin kontaktiin, jossa porfyriset graniitit (~540 Ma)



Kuva 6. Sea Pointin kontakti Kapkaupungin läheisyydessä. Tällä paikalla tehtyjen havaintojen perusteella tunnistettiin graniittien intrusiivinen luonne ja kivisulasta kiteytymällä tapahtuva syntymekanismi. Taustalla Signal Point, jonka takana Pöytävuori.

Fig. 6. Sea Point contact in the vicinity of Cape Town. Granite's intrusive nature and crystallisation from magma were recognised here. Signal Point and Table Mountain behind the outcrop.

leikkaavat alueen metasedimenttejä (kuva 6). Kohteen merkittävyys selittyy 1800-luvulla käydyistä väittelyistä graniittien alkuperästä: neptunistit tulkitsivat, että graniitit ovat syntyneet merivedestä ja plutonistit uskoivat graniittien kiteytyneen kivisulasta. Plutonistinen näkemys oli tuotu esille jo 1813 (Playfair ja Hall 1813), mutta riittävän arvovaltaisen kannattajan näkemys sai vasta Charles Darwinista jonka havaintojen myötä (Darwin 1844) se jäi vallitsevaksi ajattelutavaksi. Kontaktin lisäksi paljastuman yläpuolella havaitsimme epäjatkuvuuspinnan, jossa pystyasentoisten, rantaviivaan asti yltävien metasedimenttien yläpuolella sijaitsivat vaakasentoiset Pöytävuoren sedimentit. Tämä kaikki yhdistettynä Gondwana-mantereen repeämiseen ja puoliskojen erkanemiseen Afrikan ja Etelä-Amerikan mantereiksi kuuleman mukaan saa paikalla ekskuroivan, geologiaa ensimmäistä vuotta lukevan keskiverto-opiskelijan ajattelemaan professoristaan: ”Mitähän ihmettä toi oikein höpöttää???”

Kiitokset

Kiitokset ekskursioiden ja kokouksen järjestäjille sekä Turun Yliopistosäätiölle, Geologian Valtakunnalliselle Tutkijakoululle ja TKKn Geoympäristötekniikan laboratoriolle matkan rahoituksesta.

Summary – Granites of the Namibian Damaraland

Sixth international Hutton symposium on the origin of granites and related rocks was organised in Stellenbosch, South Africa in 2.–6.7.2007. Several field excursions accompanied the symposium. I was able to attend the pre-conference field trip “Pan-African granites of the Damara belt, Namibia” the week before the conference. The aim of the excursion was to illustrate some of the important factors controlling melting, melt migration and final granite assembly through an oblique section across an orogen.

The Damara Orogen is one of the collisional Pan-African Orogens which were formed during the assembly of the Gondwana supercontinent at late Proterozoic to early Phanerozoic times. The Damara belt consists of several zones (fig. 1); we visited the south Central Zone where Damaran sediments (780–600 Ma) overlie the Proterozoic basement (~2.0–1.7 Ga). Abundant granites occurring in the area have been classified into three groups based both on petrography and age. The majority of the granites are syntectonic with the main phase of deformation (at 550–540 Ma) leading to the development of thrust-related domes characteristic in the area. Structural evolution during the collision led to the development of two orthogonal fabric domains, which are considered to reflect different response to the same deformation at different crustal levels – the deeper crust experienced orogen-parallel extrusion while the upper crustal parts were thrust across the orogen. The metamorphic peak was reached at 530–510 Ma, soon after the main collision. Metamorphic grade is at the highest along the Atlantic coastline (lower granulite facies) and decreases towards the Karibib region (lower amphibolite facies).

The first localities illustrated us controls on initial partial melting of high-grade metapelites in the Khan River area. The first leucosomes were preferentially formed in extensional sites (fig. 2; folds or perpendicular to regional stretching lineation) where fluids were able to saturate and further cause partial melting. The larger leucosome dykes occurring on the same outcrops on the other hand mainly acted as melt transport pathways and could be recognised from the leucosome-forming veins in that they did not contain any garnet. The regional deformation was constrictional especially in the deeper crustal levels. It caused the leucosomes to form highly elongate rods defining a strong lineation at certain localities (fig. 3; left side).

Shear zones acted as melt transport channels in homogeneous rock types (fig. 3; right side) whereas mechanical anisotropy (layering and foliation) were the main factors controlling melt migration and emplacement in strongly stratified rocks. Best example of the latter was a marble layer that did not allow granites to penetrate through it but caused them to crystallise beneath it. Regional fold structures acted both as melt pathways and traps: the sub-horizontal granite sheets in the Usakos Dome were transported upwards along the steep limbs of the dome (fig. 4) while many granites were trapped into hinges of variably sized antiforms.

Kirjallisuus – References:

- Darwin, C. 1844. Geological observations on the volcanic islands visited during the voyage of H.M. S. Beagle, together with some brief notes on the geology of Australia and the Cape of Good Hope. London: 176 s.
- Frindt, S., Haapala, I. ja Pakkanen, L. 2004. Anorogenic Gross Spitzkoppe granite stock in central western Namibia: Part 1. Petrology and geochemistry. *American Mineralogist* 89: 841–856.
- Gray, D.R., Foster, D.A., Goscombe, B., Passchier, C.W. ja Trouw, R.A.J. 2006. Ar-Ar thermochronology of the Pan-African Damara Orogen, Namibia, with implications for tectonothermal and geodynamic evolution. *Precambrian Research* 150: 49–72.
- Johnson, S.D. ja Kisters, A.F.M. 2007. Fold collapse and crustal extrusion above syntectonic granite sheets: Field examples from the south Central Zone of the Damara belt, Namibia. *Teoksessa: Miller, J.A. ja Kisters, A.F.M. (toim.). 6th International Hutton Symposium on the origin of granites and related rocks. Abstract Volume and Program Guide, 95–96.*
- Jung, S. ja Mezger, K. 2003. Petrology of basement-dominated terranes: Regional metamorphic T-t path from U-Pb monazite and Sm-Nd garnet geochronology (Central Damara Orogen, Namibia). *Chemical Geology* 198: 223–247.
- Kisters, A.F.M., Jordaan, L.S. ja Neumaier, K. 2004. Thrust-related dome structures in the Karibib district and the origin of orthogonal fabric domains in the south Central Zone of the Pan-African Damara belt, Namibia. *Precambrian Research* 133: 283–303.
- Kisters, A., Hoffmann, C. ja Ward, R. 2007. 6th International Hutton Symposium on the origin of granites and related rocks. FT1 Pre-conference field trip to the Pan-African granites of the Damara belt, Namibia. *Field trip guide book, 51 s.*
- Masberg, P. 2000. Garnet growth in medium-pressure granulite-facies metapelites from the Central Damara Orogen: igneous versus metamorphic history. *Geological Survey of Namibia Communications* 12: 115–124.
- Miller, R. McG. 1983. The Pan-African Damara orogen of South West Africa/Namibia. *Geological Society*

of South Africa, Special Publication 11: 431–515.
Nex, P., Oliver, G.J.H. ja Kinnaird, J.A. 2001. Spinel-bearing assemblages and P-T-t evolution of the Central Zone of the Damara Orogen, Namibia. *Journal of African Earth Sciences* 32: 471–489.
Nironen, M. 2005. Proterozoic orogenic granitoid rocks. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). *Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14*, Elsevier, Amsterdam, 443–480.
Playfair, J. ja Hall., B. 1813. Account of the structure of Table Mountain and other parts of the peninsula of the Cape; drawn up by Prof. Playfair, from the observations made by Capt. Basil Hall, R.N. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 7: 269–278.
Väisänen, M. ja Skyttä, P. 2007. Late Svecofennian shear

zones in southwestern Finland. *GFF* 129: 55–64.
Ward, R.A., Stevens, G. ja Kisters, A.F.M. 2007. Deformation controlled, fluid-induced anatexis of meta-sediments to produce migrated S-type magmas: A field and experimental study on the Damara Orogen, Namibia. Teoksessa: Miller, J.A. ja Kisters, A.F.M. (toim.). *6th International Hutton Symposium on the origin of granites and related rocks. Abstract Volume and Program Guide*, 222–223.

Pietari Skyttä

Geoympäristötekniikan laboratorio
Teknillinen Korkeakoulu
PL 6200, 02015 TKK
puh. 09-451 2725,
pietari.skytta@tkk.fi

K.H. Renlundin Säätiö, apurahoja geologisiin ja ympäristöprojekteihin vuodelle 2008

K.H. Renlundin säätiö julistaa haettavaksi projektirahoitusta yhteensä n. 400 000 €. Säätiö tukee taloudellisesti käyttökelpoisten maakamaran raaka-aine- ja vesivarojen etsintää, tutkimusta ja teknis-taloudellisia selvityksiä. Säätiö tukee myös mineralogian ja geologian alojen teknistä innovaatiota, sekä geologisesti suuntautuneita ympäristöhankkeita. Säätiö voi rahoittaa julkaisutoimintaa, sekä tieteellisiä

jatkotutkintotoita, joiden aihepiiri liittyy säätiön tavoitteisiin. HUOM. hakuajat muuttuneet. Rahoitushakemukset lähetetään 30.11.2007 mennessä osoitteeseen: Prof. Carl Ehlers, Institutionen för geologi och mineralogi, Åbo Akademi, FIN-20500 Turku. Sähköposti: carl.ehlers@abo.fi

(lisätietoja: www.abo.fi/renlund).

K.H. Renlunds Stiftelse, understöd för geologi- och miljöprojekt 2008

K.H. Renlunds Stiftelse lediganslår projektunderstöd sammanlagt c. 400 000 €. Stiftelsen understöder geologiska forskningsprojekt vars mål är att utnyttja och upptäcka tekniskt och ekonomiskt användbara resurser och vattentillgångar, innovationsverksamhet inom mineralogi och geologi, samt forskning och utvecklingsarbete inom geologiskt inriktade miljöfrågor. Stiftelsen kan även stöda publikationsverksamhet vars avsikt är att öka kändheten om ovannämnda verksamheter. Stöd

av vetenskapliga påbyggnadsarbeten vars teman sammanfaller med Stiftelsens syften kan även komma i fråga. OBS förändring i ansökningsförfarandet. Ansökningar bör inlämnas före den 30.11.2007. Ansökningarna sändes till prof. Carl Ehlers, Institutionen för geologi och mineralogi, Åbo Akademi, FIN-20500, Åbo. e-post: carl.ehlers@abo.fi.

(upplysningar: www.abo.fi/renlund).