

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia



Kuva: Henrik Kallioniemi

19.1.2024 Aimen Hussein Amer,
Turun yliopisto

New insight into the depositional and tectonic constraints over the Paleogene and Neogene evolution within the Arabian Peninsula (Uusi näkökulma Paleogeenisen ja Neogeenisen kauden kerrostumis- ja tektonisen ympäristön evoluutioon Arabian niemimaalla)

Geological studies over the Arabian Peninsula were initiated in the 1930s, and 30 years later an area equivalent to 3.5 million km² was covered, laying the groundwork for the stratigraphic nomenclature of the Arabian Peninsula. Since then, not much has changed in terms of formation ages and formation naming, where subsequent authors largely took the results of the earlier work for granted.

This thesis will evaluate the sedimentological and depositional facies of exposed rock units in the countries of Kuwait and Bahrain with the objective of developing a deposition-

al facies model that can explain the complex facies architecture. During this study, it was revealed that the exposed rock units in Kuwait at the Jal Az-Zor escarpment all belong to the Lower Fars Formation (also known as Kuwait Formation), whereas previous interpretations assigned these rocks to Ghar, Lower Fars, and Dibdibba formations. This study further revealed that the depositional environment of the Lower Fars Formation is dominated by marginal marine deposits manifested by a riverine to tidally influenced estuary setting, which is contrasting to the fluvio-deltaic setting within previous interpretations (Fig. 1).

The origin of the NE-SW trending Jal Az-Zor escarpment has been disputed in Kuwait, where it has been proposed either a surface erosion expression, or an underlying unspecified basement fault. Detailed 2D seismic processing and interpretation revealed unprecedented structural features such as detachment, tight concentric and recumbent folds, thrust faults, and fault propagation folds. Tectonic deformation of the Kuwait Formation (also known as Kuwait Group) within the subsurface at the Jal Az-Zor escarpment

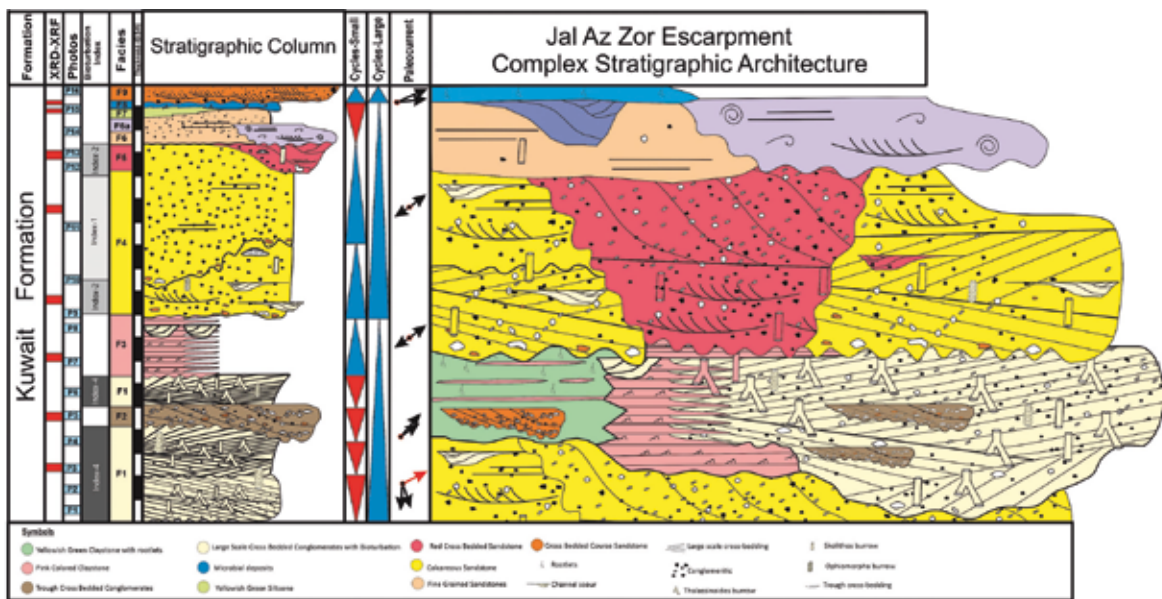


Figure 1. Stratigraphic illustration showing a representative stratigraphic section of the Kuwait Formation exposed at the Jal Az-Zor escarpment, in the state of Kuwait. The facies architecture demonstrated herein that the complex vertical and lateral facies relations would impact the expected vertical stratigraphic record depending on your position in the depositional setting.

Kuva 1. Stratigrafinen pylväs esittää tyypillisen stratigrafisen leikkauksen Kuwaitin muodostumasta, joka on paljastunut Jal Az-Zorin jyrkänteellä Kuwaitin valtiossa. Tässä esitetty fasies-arkkitehtuuri osoittaa, että monimutkaiset vertikaaliset ja lateraaliset fasies-suhteet vaikuttavat odotettuun vertikaaliseen stratigrafiaan riippuen sijainnista kerrostumisympäristössä.

reflects the initial stage of fault propagation folding resulting from the Kuwait Arch plunge towards the south of the Jal Az-Zor area. Kinematic analysis suggests that the Jal Az-Zor escarpment is a surface expression of a principal displacement zone that is dominated by dextral strike-slip motion and is found to play a major role in the rotation of the Arabian Plate since the early Pleistocene (Calabrian).

Throughout this study, it has been observed that detachment could have occurred along the Dammam and Rus formations. Subsequent analysis of the composition of these two formations indicates that the Rus Formation exhibits a greater potential for generating detachment surfaces. The Rus Formation was earlier thought to be dominated by evaporites which favours detachment and was considered a regional seal covering the majority of the

Arabian Peninsula. However, detailed sedimentological fieldwork at the Horse-Racing Club outcrop in Bahrain and subsequent published borehole data suggest that the Rus Formation in Bahrain is predominantly composed of dolomites.

These changes in understanding facies types and spatial distribution open the door for an in-depth evaluation of the whole Arabian Peninsula facies distribution. The complexity of the Arabian Peninsula's sedimentology and structural development was highlighted in this thesis, demonstrating the need for a re-evaluation of the region's facies nomenclature and tectonic history in light of current geological knowledge and newly available data.

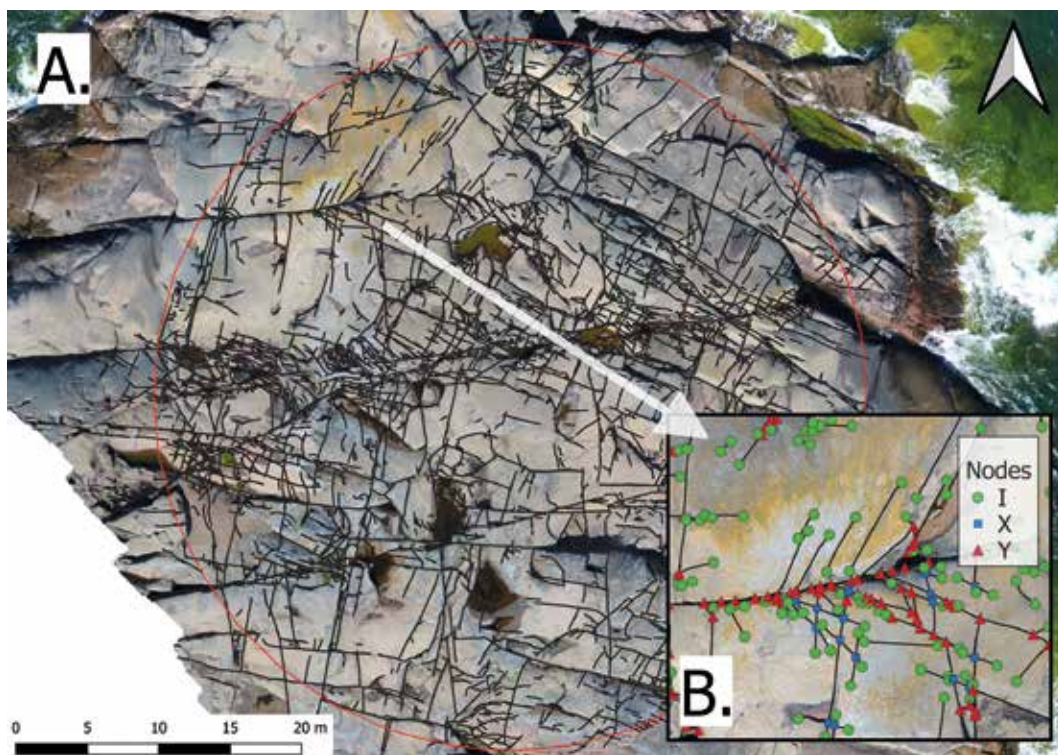
Väitöskirja verkossa: <https://www.utupub.fi/handle/10024/176347>

3.5.2024 Nikolas Ovaskainen,
Turun yliopisto

Monimittakaavaisten rakoverkoston geometria ja topologia – menetelmät ja karakterisointi (Geometry and topology of multiscale fracture networks – Methodology and characterization)

Raot vaikuttavat useisiin kallioperän fysikaalisiin ominaisuuksiin. Tämän vuoksi kallioperän rakoverkoston tutkiminen on välttämätöntä nesteiden virtauksen mallintamisessa, radionuklidien ja geotermisen lämmön kulkeutumisen ennustamisessa sekä kallioperärakentamisen suunnitteluun liittyvien haasteiden

ratkaisemisessa. Rakoverkoston havainnointi ja analyysi on kuitenkin haasteellista, sillä rakojen koko voi vaihdella senttimetreistä aina kilometrien kokoihin tektonisiin rajavyöhykkeisiin. Tämän ongelman ratkaisemiseksi väitöskirjassa keskitytään moniulotteisten rakoverkoston geometrian ja topologian tutkimusmenetelmien hyödyntämiseen ja jatkoketkelykseen. Työssä hyödynnetään sekä olemassa olevia että uusia menetelmiä, jotka on kehitetty tämän työn aikana. Väitöskirjassa esitellään ja käytetään menetelmiä, jotka mahdollistavat eri mittakaavoissa kerättyjen tietojen suoran vertailun. Rakoverkoston geometriset ominaisuudet käsittävät rakojen pituudet, suunnat ja rakojen alueellisen jakautumisen. Topologisten ominaisuuksien analysoinnissa



Kuva 2. Ahvenanmaan Getan rantakallio, johon on lisätty kuvasta digitoidut rakoviivat (A). Rakoviivoista analysoidut topologiset noodit kuvaavat rakojen välisiä yhteyksiä (B). Kuva paljastumasta: Nicklas Nordbäck.

Figure 2. The coastal cliffs of Geta in Åland, with digitized fracture lines added from the photo (A). The topological nodes analyzed from the fracture lines depict the connections between the fractures (B). Out-crop photo: Nicklas Nordbäck.

keskitytään verkottuneisuuden ja rakojen välisten leikkaussuhteiden selvitykseen (kuva 2). Verkottuneisuus antaa arvokasta tietoa rakoverkon virtauspotentiaalista, kun taas leikkaussuhteet antavat mahdollisesti tietoa rakojen ikäsuhteista.

Väitöskirja koostuu kolmesta artikkelista, jotka vastaavat tutkimuskysymyksiin rakoverkoista ja esittelevät uusia menetelmiä näiden tutkimuksia varten. Ensimmäisessä artikkelissa tutkimuskysymyksenä on siirrosten, niiden vauriovyöhykkeiden ja kinemaattisesti siirrokseen liittymättömien rakojen tunnistaminen. Toisessa artikkelissa määritetään, kuinka paljon rakodataa pitää kerätä rakoverkostojen tarkkaa analysointia varten. Kolmannessa artikkelissa selvitetään miten rakojen ominaisuuksia, kuten pituutta, pystytään ennustamaan sellaisissa mittakaavoissa, joissa niiden empiirinen havainnointi on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tuloksina menetelmien soveltamisessa havaittiin, miten kallioperässä jo olemassa olevat raot ja siirrokset vaikuttavat myöhempien rakojen kehittymiseen ja miten rakohavaintojen osittaisnäytteenoton avulla rakoverkkoanalyysien tarkkuutta voidaan arvioida. Rakodataa kerättiin myös mittakaavassa, jossa on aikaisemmin tehty vähän rakotutkimuksia. Uuden datan perusteella pystytään antamaan uusia arvioita rakopituuksien ennustettavuudesta kiteisessä kallioperässä.

Väitöskirja verkossa: <https://urn.fi/URN:IS-BN:978-951-29-9691-9>

10.5.2024 Nicklas Nordbäck,
Turun yliopisto

Etelä-Suomen kallioperän hauraiden rakenteiden karakterisointi: siirros- ja rakojärjestelmien kehityksen ja ominaisuuksien selvittäminen ja ennustaminen eri mittakaavoissa (Characterisation of brittle structures of bedrock in southern Finland: Unravelling the evolution and properties of fault and fracture systems and their prediction at different scales)

Tämän väitöskirjan tavoitteena on kehittää ymmärrystä Fennoskandian kilven hauraasta tektonisesta evoluutiosta, jonka tiedetään olevan monimutkainen ja sisältävän useita siirrosten synty- ja reaktivoitumisvaiheita. Tämä työ täydentää aiempia julkaisuja Lounais-Suomen kallioperän rakennekehityksestä uusien rako- ja siirrossysteemien karakterisoinnin ja ikämääritysten avulla. Olkiluodon ydinjätteen loppusijoituspaikan kallioperän osalta näiden uusien tulosten yhdistämisen perusteella pystyttiin määrittämään sekä hauraiden siirrosten suhteelliset ikäsuhteet että absoluuttiset iät. Olkiluodon aineisto ei kuitenkaan kata ajallisesti maankuoren evoluutiota mesoproterotsooisen kauden alkuosassa, minkä vuoksi ajanjaksoon 1,6–1,3 Ga liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Tällä väitöskirjatutkimuksella pyritään täydentämään aiempaa tietämystä laatimalla uusiin alueellisiin rakenneaineistoihin perustuvia malleja 1,58 Ga ikäisen Ahvenanmaan rapakivibatoliitin paleojännityskentästä. Lisäksi tässä työssä esitellään Etelä-Suomesta kartoitettujen monimittakaavaisten lineamenttitutkimusten tulokset, jotka antavat tietoa hauraiden rakenteiden skaalautumisesta, alueellisten muodonmuutosten lokalisoitumisesta sekä lisäävät ymmärrystä hauraan kuoren kehityksestä erilaisissa jännitysolosuhteissa.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella maankuoren hauraan tektonisen kehityksen vaiheet Lounais-Suomessa ovat seuraavat: 1) hauras muodonmuutos alkoi luode-kaakko-pohjoisluode-eteläkaakkosuuntaisessa puristuksessa noin 1,75 Ga sitten, kun kallioperä oli jäähtynyt ja hauraiden rakenteiden muodostuminen oli mahdollista. Tätä puristusta seurasi kaksi peräkkäistä ekstensiovaihetta: 2) pohjois-eteläsuuntainen ekstensio vaikutti yli 1,6 Ga ikäisten rapakivigraniittien asettumiseen ja 3) etelä-länsi-luode-kaakkosuuntainen ekstensio 1,58 Ga Ahvenanmaan rapakiven paikoilleen asettumiseen sekä diabaasijuonten ja sedimenttialtaan kehitykseen. Näitä vaiheita seurasi kulkusiirrosteektoniikka, mukaan lukien 4) länsiluode-itäkaakko-luode-eteläkaakkosuuntainen puristus välillä 1,55–1,4 Ga ja 5) koillinen-lounas-suuntainen puristus noin 1,3–1,2 Ga. 6) 1,1 Ga svekonorjalaisen orogeenian alkuvaiheessa koillinen-lounas-itäkoillinen-länsiluonas-suuntainen puristus johti kaateiltaan loiva-asentoisten siirrosten muodostumiseen Olkiluodossa. Kaikki tätä myöhäisemmät tektoniset tapahtumat rajoituivat jo aiemmin muodostuneiden siirrosten uudelleenaktivoitumiseen. Kallioperästä havaittujen tensorakojen absoluuttinen ikä on tuntematon, mutta niiden vähimmäisiäksi voidaan arvioida n. 540 Ma perustuen niissä esiintyviin kambrikautisiin sedimenttitäyttyksiin.

Väitöskirja verkossa: <https://www.utupub.fi/handle/10024/177021>

27.9.2024 Assi-Johanna Soini,
Helsingin yliopisto

3D-huokoisuus-, virtaus- ja kuljetusominaisuudet keskeisinä parametreinä aurinkokunnan kehityksessä ja tilassa: kondriittien mittaukset, mallit ja simulaatiot mikro- ja mesomittakaavassa (3D porosity, flow, and transport properties as essential parameters in the evolution and state of the Solar System: Chondrite measurements, models, and simulations at the micro- and mesoscale)

Tämä väitöskirja tutkii aurinkokunnan varhaista evoluutiota meteoriittien ja erityisesti kondriittien avulla, jotka ovat ensimmäisiä protoplanetaarisessa kiekossa syntyneitä kiinteitä kappaleita. Väitöskirjatyö on toteutettu lähes tuntemattomalla alueella, mikä tekee väitöskirjasta perustavanlaatuisen tärkeän nykytietämykselle. Meteoriittien lämpöominaisuuksien mittauksia on tehty vain vähän, eikä niitä ole aiemmin tehty meteoriiteista, joiden kolmiulotteinen huokoisuus on määritetty. Nämä ominaisuudet ovat kuitenkin välttämättömiä parametreja aurinkokunnan prosessien, evoluution sekä asteroidien ja pienkappaleiden tilan tarkassa kvantitatiivisessa mallintamisessa. Lisäksi virtaus- (mm. permeabiliteetti ja tortuositeetti) ja kuljetusominaisuudet (mm. lämmönjohtavuus ja terminen diffusiviteetti) ovat riippuvaisia huokoisuuden rakenteesta ja tekstuurista. Tämän vuoksi huokoisuuden tarkempi tutkimus on ratkaisevan tärkeää olemassa olevien mallien parantamiseksi, mikä hyödyttää viime kädessä avaruustutkimusta ja planetaarisen tutkimuksen sovelluksia, mukaan lukien robotti- ja miehitetyt lennot, avaruusalusten suojaus, avaruuden resurssien hyödyntäminen sekä asteroidien uhka-arvio satelliittien ja itse Maan kannalta.

Tämä työ esittää ainutlaatuisia havaintoja, mittauksia, malleja ja simulaatioita meteorii- teista sekä mikro- että mesomittakaavassa ja tietoja niiden 3D-huokoisuudesta sekä virtaus- ja kuljetusominaisuuksista. Työssä pohditaan myös meteoriittien ja niiden emokappaleiden evoluutiota kerätyn aineiston perusteella. Havainnot tuovat uutta tietoa meteoriittien huokoisuudesta ja todistavat näiden ominaisuuksien kriittisyyden meteoriittien sekä niiden emokappaleiden evoluutiopolkujen ymmärtämisessä. 3D-huokoisuusanalyysi osoittaa, että kondriittien eri kemiallisilla ja petrologisilla tyypeillä on toisistaan eroavia huokoisuus- rakenteita sekä primaarisen ja sekundaarisen huokoisuuden asteita, mikä viittaa erilaisiin syntymekanismeihin ja -paikkoihin. Yhteinen piirre on, että suuri osa huokoisuudesta on yhteydessä toisiinsa muodostaen niin sanot- tua jatkuvaa huokoisuutta. Jatkuvan huokoi- suuden laajuus, osuus, tiheys ja sinuositeetti vaihtelevat kondriittien välillä, mikä heijastaa niiden virtaus- ja kuljetusominaisuuksia ja nii- den kompleksisia suhteita.

Tämän tutkimuksen keskeinen löydös on uusi mikrohuokoisuustyyppi, joka muistuttaa visuaalisesti kosmista verkkoa. Tämä raken- ne tarjoaa selityksen havaitulle korrelaation puutteelle kondriittien petrologisen tyyppin ja huokoisuuden välillä, jota yleisesti käytetty

sipulikuorirakenteen akreetio- ja sintrausmal- li kondriittien emokappaleiden evoluutiolle ei ratkaise. Havaittu verkkomainen mikro- huokoisuus osoittaa rajallisen ymmärryksen meteoriittien huokoisuuden kehittymisestä ja piirteistä, ja se voi liittyä metamorfoosias- teeseen, nesteavusteiseen metamorfoosiin ja hydrotermiseen muuttumiseen emokappaleen akreetion aikana, jolloin vesijää on ollut läsnä. Löydetty huokoisuusrakenne selittää tiettyjä havaittuja ominaisuuksia, kuten korkeiden petrologisten tyyppien samanaikaisen korkean huokoisuuden, korkean lämmönjohtavuuden ja alhaisen permeabiliteetin, jotka eivät ole nykyisten mallien mukaisia. Näin ollen tämä tutkimus esittää, että jään läsnäolo on otet- tava huomioon emokappaleiden sipulikuori- rakenteen akreetio- ja sintrausmallissa, mikä tarjoaisi uuden ja parannellun lähestymistä- van kondriittien evoluution tutkimukseen. Emokappaleen akreetio vesijään läsnä ollessa ja sen mahdollinen myöhempi hajoaminen ja uudelleen kasautuminen saattavat lopulta selittää havaitut huokoisuusrakenteet kondrii- teissa yleisesti.

Väitöskirja verkossa: <https://helda.helsinki.fi/items/68212c25-404a-4690-b0b2-3f887ae86800>

Ohjesääntö

Veistoksen symboliikka

1 § Väittelijä yrittää kavuta tieteen huipulle, missä on vähän tilaa, sillä siellä on jo suuri tutkija.

Hallussapito-oikeus

2 § Veistoksen ja siihen liittyvän kunniakirjan hallussapito-oikeus on vain viimeksi geologiasa väitelleellä tohtorilla.

3 § Hallussapito-oikeus lakkaa sinä päivänä, jolloin joku muu yrittää julkisesti kavuta tieteen huipulle.

Luovutus

4 § Toiseksi nuorin tohtori luovuttakoon kunniakirjan ja veistoksen nuorimmalle tohtorille a. karonkassa henkilökohtaisesti, b. karonkassa välitysmiehen kautta, c. muuten mahdollisimman nopeasti.

Tulkinnallisia huomautuksia

5 § Hallussapito-oikeuden keinotekoinen jatkaminen tulkittakoon joko seuraavan yrittäjän tieteellisen panoksen aliarvioimiseksi tai oman panoksen yliarvioimiseksi.



Kuva: Henrik Kallioniemi