

Luonnonanalogia- ja ekskursioterveisiä Kyprokselta

Viime toukokuussa Kyproksella Larnacassa järjestettiin 12. kansainvälinen työpaja liittyen luonnonanalogioihin. Järjestäjänä toimi Natural Analogue Working Group (NAWG, www.natural-analogues.com). Pääpaino tällä kertaa oli luonnonanalogioissa, jotka liittyvät sementtiä sisältävien ihmisen rakentamien systemien ymmärtämiseen. Koko ohjelma esityksineen on katsottavissa NAWG:n internetsivuilla (ks. yllä).

Miksi sementti on kiinnostava tutkimuskohde?

Sementtipohjaisia materiaaleja käytetään ja suunnitellaan käytettäväksi monenlaisissa pitkäaikaista kestävyyttä vaativissa systeemeissä, kuten erilaisten ydinjätteiden loppusijoituslaitoksissa ja hiilidioksidin geologiseen varastointiin liittyvissä ratkaisuissa. Erityisesti matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoittaminen perustuu pitkälti betonin yms. materiaalien käyttöön. Sementtiä suunnitellaan käytettäväksi myös savikiviin sijoitetuissa korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoituslaitoksissa, kuten esim. Opalinus Clay savikivimuodostumaan suunnitella olevassa laitoksessa Sveitsissä (www.nagra.ch).

Sementtipohjaiset materiaalit, kuten laastit, betonit ym. eivät ole ikuisia vaan altistuvat muuttumisprosesseille, kuten rakennusallalla hyvin tiedetään. Maan alla olosuhteet voivat kuitenkin poiketa huomattavastikin verrattuna maanpäällisiin olosuhteisiin.

Riippuen siitä mitä materiaaleja sementin lisäksi käytetään, vuorovaikutuksia voidaan joutua arvioimaan luonnon olosuhteiden ja sementtipohjaisten materiaalien kestävyuden lisäksi myös materiaalien välillä. Materiaalit siis voivat olla vuorovaikutuksessa luonnosta suoraan käyttöön otettujen materiaalien kuten savien kanssa, jos ne on sijoitettu erilaisissa systeemeissä lähekkäin, tai jos ne ovat muuten vuorovaikutuksessa keskenään esim. pohjaveden virtauksen välityksellä.

Miten sementti liittyy luonnon analogioihin ja mitä se itse asiassa on?

Äkkiseltään tulisi ajatelleeksi että eihän luonnossa ole sementtiä, koska se on ihmisen tekemää. Mitä luonnon-analogiatutkimukset ja geologia voivat siis kertoa meille

sementtipohjaisten materiaalien käyttäytymisestä erilaisissa ympäristöissä?

Sementti valmistetaan jauhetusta kalkkikivestä, savesta ($\pm$ pieniä määriä esim. bauksiittia) polttamalla ($1\,450^\circ\text{C}$). Tästä muodostuu klinkkeriä, johon vielä lisätään kipsiä ja muita aineita kuten esim. masuunikuo- naa. Sementti muodostuu siis mineraaleista, jotka muodostavat veteen sekoitettuna hydraatiotuotteita, jotka aiheuttavat massan kovettumisen ja sitovat valmiin rakenteen (esim. betonissa erilaiset aggregaatit). Kalsium-silikaattien ja veden hydraatioreaktioissa syntyy kalsium-silikaattihydraatteja (C-S-H) ja portlandiittia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), jotka ovat tärkeitä sementtimineraaleja.

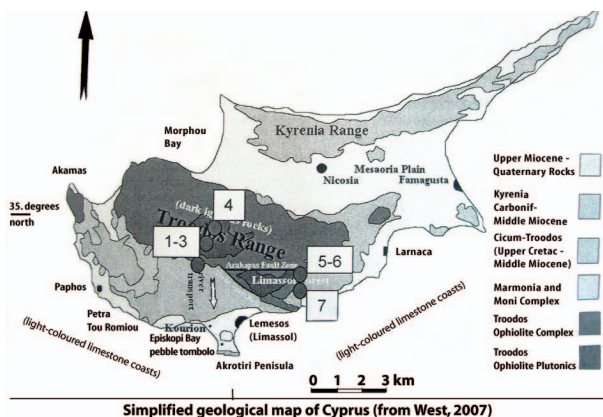
Sementtipohjaisten materiaalien haurastuminen ajan saatossa voi johtua mm. alkalien liukenemisesta ($\text{Na}/\text{K OH}$), mineraalien muuttumisesta tai karbonaatiosta. Tärkeimpiä kysymyksiä ovat siis: Mikä on sementtipohjaisten materiaalien kestävyys pitkällä aikavälillä erilaisissa olosuhteissa ja mitkä ovat niiden liukenemistuotteiden vuorovaikutukset mahdollisten muiden materiaalien kanssa.

Analogiatutkimuksia on tehty sekä arkeologisissa kohteissa, esim. Hadrianuksen valli Englanissa (Miller et al. 2000), että luonnon geologisista muodostumista esim. Semail ofoliitti Omanissa ja Magarinin alue Jordaniassa. Omanissa on tutkittu lähinnä radionuklidien kulkeutumiseen liittyviä aiheita (katso esim. Bath et al. 1987a ja McKinley et al. 1988).

Magarinissa tavataan luonnossa syntyneitä sementtimineraaleja (myös portlandiittia). Korkean pH:n fluideja muodostuu veden reagoidessa sementtifaasin kanssa. Tutkimuksista onkin saatu paljon tietoa sementti-vesi reaktiossa muodostuvien liuosten kemiasta (McKinley et al. 1988, Chambers et al. 1998).

Kyproksen antia

Työpajassa käytiin läpi myös muita tutkimuksia liittyen luonnonanalogioihin, mutta keskityn tässä sementtiin liittyviin aihepiireihin. Osa esitellyistä tutkimuksista keskittyi itse materiaalin kestävyteen ja osa välillisiin vaikutuksiin erilaisissa loppusijoitusyhteisöissä. Sementtipohjaisten materiaalien liukeneminen voi aiheuttaa kohonneita pH arvoja esim. pohjavesissä, jolloin korke-



Kuva 1. Valokuva ekskursio-oppaasta, Kyproksen yksinekrtaistettu geologinen kartta.

Fig. 1. A photo of the excursion guide. Simplified geological map of Cyprus.

an alkaliniteetin vaikutus on huomion keskipisteenä. Työpajan aikana kuultiinkin sekä korkean, että hieman matalamman alkaliniteetin ympäristöissä esiintyvistä bentoniiteista (savikivi, joka sisältää pääasiassa smektiittiä, yleensä montmorilloniittia) joissa on voitu tutkia alkaliniteetin vaikutusta mineraalien muuttumiseen pitkällä aikavälillä. Kenttäretkellä pääsimme tutustumaan näihin jälkimmäisiin.

Ekskursio

Viimeisenä matkapäivänä oli vuorossa ekskursio Troodosin alueelle (ks. Kuva 1). Kohteinamme oli 1. Amiantos asbesti kaivos, 2. Chrisovrysi lähde, 3. Pieni alkalinen puro-uoma lähellä kohdetta 2., 4. Allas lähteet, 5. Tie

Kalavassoksesta Parsataan, 6. Parsata site. Kohde 7, joka olisi ollut arkeologinen kohde, jäi väliin geologisten kohteiden viedessä aikaa. Troodos vuoristo on kuuluisa ofiooliitti ja sen eri geologisia yksiköitä pääsimme seurailemaan kenttäretken aikana. Kyproksen yleinen geologinen kartta on esitetty kuvassa 1. Kuvassa 2 on muutamia otoksia ofiooliittikompleksin ja plutonisen osan eri osista.

Kohteessa 4 vierailimme ylhäällä vuoristossa, jossa alkalisia lähteitä (pH 9.2–10) esiintyy (kallio on serpenttiinytynyttä harzburgiittia/gabbroa ja edustaa Troodosin plutonisia osia) (Kuva 3). Allas Springs lähteet eivät voi jäädä ohikulkijalta huomaamatta paksujen travertiinisäostumakerrosten vuoksi (Kuva 4). Osassa näistä kal-



Kuva 2. Kuvia matkan varrelta eri osista ofiooliittikompleksia ja plutonisia osia: a) alemmat levyjuonet, b) ylemmät tyynylaavat, c) vuoristoa ultramafisen osan alueella (peridotiittia ja ylempänä gabbroa), d) serpentiniinytynyttä peridotiittia. (Kuvat H.Laine)

Fig. 2. Snap shots of the troodos ophiolite complex: a) Lower sheeted dykes, b) Upper pillow lavas, c) Ultra mafic mountains (peridotite/gabbro), d) serpentine veining in a peridotite boulder. (Photos H. Laine)



Kuva 3. Maisema Allas-lähteiltä. (Kuva H. Laine)
Fig. 3. A view from Allas springs site. (Photo H. Laine)



Kuva 4. Travertiinisaostumia kallion päällä alkali-
listen lähteiden kohteessa (Allas springs) (Kuva
H. Laine)

*Fig. 4. Travertine coatings on the ultramafic
rocks at Allas springs (Photo H. Laine)*

siumkarbonaattisaostumista on myös vilkasta mikrobi-
toimintaa, kuten kuvassa 5 voidaan nähdä ruskeana
massana vaalean travertiinin päällä. Mm. tästä kohteesta
on tehty tutkimuksia myös alkalisisessä ympäristössä
tapahtuvaan mikrobiitoimitaan liittyen (ks. www.natural-analogues.com). Alueelta on saatu tietoa alkalisten poh-
javesien koostumuksesta luonnossa.

Pääasiallinen kohteemme oli kuitenkin luonnon-
analogiatutkimuskohde Parsatan kylässä lähellä Limas-
solia (Kohde 6 kuvassa 1). Parsatan kylässä maisema
muodostuu ihmisen muokkaamista terasseista, jotka ovat



Kuva 5. Alkalinen lähde. Vaaleat osat ovat travertiinisaostumaa ja oranssit mikrobikasvuston aiheuttamaa. (Kuva H. Laine)

Fig. 5. An alkaline spring. Bacterial growth (orange) and travertine coating (pale gray). (Photo H. Laine)



Kuva 6. Mangaanipitoisia liuskeita, jotka sisältävät myös smektiittiä. Edustavat sedimenttejä tyynylaavojen yläpuolella. (Kuva H. Laine)

*Fig. 6. Mn-rich shale formation that contains also
smectite. (Photo H. Laine)*

luultavasti esi-roomalaisia. Kylän alapuolinen terassi sijaitsee bentoniitti- ja mangaanipitoisten liuskemuodostumien päällä (Perapedhi muodostuma) (Kuva 6). Perapedhi muodostuma peittää paikoitellen hyvin epätasaista tyynylaavakerrosta (ylemmät tyynylaavat Troodos-kompleksissa) (kuva 7). Alueella on yleisiä myös maanviere-mät jotka tekevät alkuperäisten geologisten yksiköiden havainnoinnista hankalaa. Bentoniittimuodostumat (kuva 8) sijaitsevat siis ns. tyynylaavojen yläpuolella stratigrafiassa. Parsatassa tutkitaan bentoniitin ja alkalisten pohjavesien vuorovaikutusta. Näistä tutkimuksista vaihe II on juuri päättynyt ja tulokset on julkaistu (ks. Alexander & Milodowski 2011).



Kuva 7. Parsatan tutkimusaleutta. Vaaleammat bentoniittimuodostumat ovat kerrostuneet vaihtelevan topografian päälle (tyynylaavoja). (Kuva H. Laine)

Fig. 7. Alternating topography at the Parsata site area, whites are bentonite, darker pillow lavas (Photo H. Laine)



Kuva 8. Kairauspiste Parsatan kohteessa bentoniitissa. (Kuva H. Laine)

Fig. 8. Bentonite drilling site at Parsata. (Photo H. Laine)

Lopuksi

Kuten aina, matkalla oli mukavaa ja sai tutustua taas moniin uusiin ihmisiin. Geologiaa oppii parhaiten, kun pääsee itse näkemään asioita ja mikä mukavinta, pääsee näkemään paikkoja, joihin ei muuten tulisi matkattua. Malmigeologiaan keskittyvällä kierroksella Kypros avautui taas aivan eri tavalla kuin nyt tällä kertaa. Kiitokset myös matkan mahdollistaneille Saanio & Riekkola Oy:lle ja Posiva Oy:lle lienevät paikallaan.

Summary

In May 2011 the Natural Analogue Working Group organised a 12th work shop in Cyprus, Larnaca. During the work shop the current status of the studies related to the natural analogues were discussed and presentations were given on the wide range of topics, although the main focus was on the analogues related to the cementitious systems. The work shop ended with an excursion to Troodos range, where several sites were visited. Especially of interest were sites where alkaline springs are located (Allas Springs) and Parsata village, where bentonite interactions with alkaline groundwaters are investigated.

HEINI LAINE

Saanio & Riekkola Oy
Heini.laine@sroy.fi

Referenssiluettelo

- Alexander, W.R. ja Milodowski, A.E. 2011. Cyprus Natural Analogue Project (CNAP) – Phase II Final Report. Posiva working report 2011-08. pp.216.
- Bath, A.H., Berner, U., Cave, M., McKinley, I.G. ja Neal, C., 1987. Testing geochemical models in a hyperalkaline environment. Teoksessa: Côme, B. ja Chapman, N.A., eds., Natural analogues in radioactive waste disposal, Brussels, April 28-30, 1987, Symposium: Radioactive Waste Management Series, EUR 11037 EN, p. 167–178.
- Miller, W., Alexander, R., Chapman, N., McKinley, I. ja Smellie, J. 2000. Geologic disposal of radioactive wastes & natural analogues—Lessons from nature and archaeology. Waste Management Series, New York, Pergamon, v. 2, 316 p.
- McKinley, I.G., Bath, A.H., Berner, U., Cave, M. ja Neal, C. 1988. Results of the Oman analogue study. Radiochimica Acta, v. 44/45, no. II, p. 311–316.
- Chambers, A.V., Haworth, A., Ilett, D., Linklater, C.M. ja Tweed, C.J. 1998. Geochemical modelling of hyperalkaline water/rock interactions. Teoksessa: Smellie, J.A.T., ed., MAQARIN natural analogue study, phase III, volume I: Svensk Kärnbränsleförslörjning A.B., v. 1, SKB TR-98-04, 401 p.