

Field Workshop Izmirissä, Turkissa, 24.–29.9.2006



KARI KOJONEN

Johdanto

Espoossa v. 2000 pidetyn Kansainvälisen mineralogisen assosiaation (IMA, International Mineralogical Association) malmimineralogian komission (COM, Commission on Ore Mineralogy) Short Coursen yhteydessä (Kojonen *et al.* 2000) tuli esille ajatus kansainvälisen geologisen korrelaatio-ohjelman aloittamisesta Au-Ag-telluridiselenidimalmien tutkimiseksi. Asiasta tehtiin anomus prof. Nigel Cookin ja kirjoittajan toimesta ja IGCP486-ohjelma saatiin alkuun vuonna 2003 syksyllä. Projekti jatkuu Oslossa pidettävään vuoden 2008 IGC-kokoukseen asti. Turkissa pidettiin kuluvan vuoden syyskuussa projektin kolmas ”kenttätyöpaja”, johon kuului ekskursioita kultakaivoksille ja kaksi päivää esitelmää Izmirin yliopiston virkistyskeskuksessa n. 20 km Izmirin kaupungin eteläpuolella. Aikaisemmat vastaavat workshopit

pidettiin vuonna 2004 Romaniassa (Cook ja Ciobanu 2004) ja vuonna 2005 Bulgariassa (Cook ja Bonev 2005). Tähänastisista julkaisuista, aikaisemmista kokouksista ja ekskursioista voi lukea nettiosoitteesta <http://www.nhm.uio.no/geomus/homepages/cook/IGCP.html>.

Ekskursiot Länsi-Turkissa

Turkissa on viime vuosina löydetty parikymmentä uutta kultaesiintymää (kuva 1). Niistä Koza Gold Inc. omistaa 88 lisenssiä. 15 lisenssiä kuuluu Ovacikin kultakaivokselle, joka oli yksi ekskursion kohteistamme.

Ensimmäisen ekskursion päämääränä oli Kişladağın kultakaivos Länsi-Turkissa noin 180 km Izmiristä länteen. Kişladağın esiintymässä ovat malmivarat 214.8 miljoonaa tonnia keskipitoisuudella 1.04 g/t Au ja suunniteltu kaivoksen elinikä



Kuva 1. Turkin kultavarannot eri esiintymien kohdalla tonneina kultaa, ekskursion kohteet Kişladağın, Ovacik ja Efemcukuru ovat Turkin länsiosasassa, kuva on uudelleen piirretty Koza Gold Inc:n esitteestä.

Figure 1. The gold potential of Turkey in various deposits shown in the map in terms of tonnes of contained gold. The excursion targets Kişladağ, Ovacik and Efemcukuru are located in the western part of Turkey. Redrawn from the prospect of Koza Gold Ltd.

on syanidikasaliuotus-menetelmällä (heap leaching) 14 vuotta (kuva 2).

Kışladağın plioseeninen kultamalmi on epiterminen porfyrikkultamalmi, isäntäkivenä ovat andesiittis-dasiittiset vulkanogeeniset kivet, joista osa on puolipinnallisia intrusioita. Vulkaniitit ovat paleotsoisten liuskeiden päällä. Kışladağin kultamalmi on pääasiassa latiittiporfyryri-intrusiossa. Vähäisempiä määriä kultaa on tuffissa, joka leikkaa latiitti-intrusiota. Malmio on muodoltaan soikea, sen mitat ovat noin 860 m x 500 m ja sitä on kairattu 450 m maanpinnan alapuolelle. Mineralisoitunut kivi on hypogeenisesti muuttunut illiitiksi ja kaoliniitiksi, jossa on pirotteena turmaliniinia. Voimakas argilliittinen muuttuminen on pinnan lähellä aiheuttanut kvartsiutumista, aluniitin, pyrofylliitin ja kaoliniitin muodostumista. Kulta on yhteydessä stockwork-juoniverkostoon ja paikoin hydrotermiseen breksioitumiseen. Kullan

ohessa on muina malmimineraaleina rikkikiisua ja kuparikiisua. Maksimikultapitoisuudet ovat 3 g/t. Kulta on vapaina rakeina ja kvartsi- sekä rikkikiisurakeissa sulkeumina. Malmin avolouhinta on 10 milj. t/vuosi (kuva 3) ja prosessointi on syanidikasaliuotus + kultan erottaminen ADR-laitoksessa. Syanidiliuotuskierron kesto on 90 päivää ja saanti on 60 %. Kaivos työllistää noin 350 henkilöä ympäröivistä kylistä. Lopullisen avolouhoksen syvyys tulee olemaan 450 m. Kaivoksen syanidiliuotuskasat ja muu murskaus- ja jauhatuslaitteisto vaikuttivat moderneilta ja asiallisilta.

Malmin siirto louhintapaikalta murskaimelle ja edelleen syanidiliuotuskasalle hoidetaan kuorma-autoilla urakoitsijan avulla. Näytteiden analysointi tehdään Vancouverissa ALS Chemexissä, jolla on ISO 9001:2000 akkreditointi.

Toisena ekskursionkohteena oli Ovacikin epiterminen kultakaivos, joka sijaitsee 10 km Berga-



Kuva 2. Kışladağin syanidiliuotuskasan rakennetta: alinna sorakerros, sen päällä savikerros ja päällimmäisenä muovipeite, joka on hitsattu reunoistaan vedenpitäväksi ja varustettu syanidiliuotuksen keräysviemäreillä ja putkistolla. Kuva: Kari Kojonen.

Figure 2. The structure of the Kışladağ heap leaching: lowermost layer of gravel, above that a layer of clay covered with a waterproof welded plastic cloth that has collecting drainpipes for the pregnant cyanide solution. Photo by the author.

masta länteen ja 200 km Izmiristä pohjoiseen ja sen omistaa Koza Gold Inc. Malmi on neljässä kvartsijuonessa porfyirisissä andesiittisissa vulkaniiteissa, jotka ovat mioseenikaudelta (Yilmaz 2002). Kvartsijuonten leveys on jopa yli 20 m. Andesiitteja ja kvartsijuonia leikkaavat myöhäiset doleriittijuonet, joissa ei ole kultaa. Louhinta tapahtuu avolouhoksena (kuva 4) ja maanalaisena kaivoksena.



Kuva 3. Kişladağın avolouhos, seinässä näkyy avolouhoksen keskellä intrusiivinen kulta-pitoinen latiitti. Kuva: Kari Kojonen.

Figure 3. The open pit of the Kişladağ deposit, an intrusive gold bearing latite is visible in the central part of the pit wall. Photo by the author.



Kuva 4. Ovacikin avolouhos; kultapitoinen kvartsijuoni erottuu kuvassa ylhäällä ruskeana vyöhykkeenä louhoksessa olevien työkoneiden oikealla puolella. Kuva: Kari Kojonen.

Figure 4. The open pit of the Ovacik deposit; the gold bearing quartz vein is visible in the right upper part of the figure as a brownish zone on the right side of the vehicles in the pit. Photo by the author.

Todettua (proven) malmia on 4.17 milj.t pitoisuudella 7.6 g/t Au ja todennäköistä malmia 1.24 milj.t pitoisuudella 13.1 g/t Au. Avolouhosta jatketaan vuoteen 2007 ja maanalaisista louhintaa vuoteen 2009. Kulta liuotetaan syanidisaatiolla tankeissa (kuva 5) ja saanti on 91 %, Au:Ag=1:1.

Kulta esiintyy kvartsin raoissa ja vapaina rakeina ja sen raekoko on alle 10 mikrometriä. Malmi jauhetaan 80 % <60 µm. Rikastamolla on kaksi syanidiliuotustankkia. Aktiivihiihlä lisätään tankeihin ja kulta saostuu siihen. Kulta erotetaan hiilestä ja liuos johdetaan elektrolyysiin, jossa kulta ja hopea erotetaan. Jäteaines sijoitetaan jätealtaan (kuva 6), jossa on pohjalla 70 cm savea ja 1.5 mm paksu muovipeite (HDPE-geomembraani) ja jätealtaan vesi pumpataan takaisin prosessiin. Syanidipitoisuus jätealtaan vedessä on 0.02 mg/l. Kaivoksen on määrä tuottaa toiminta-aikanaan 12 tonnia kultaa ja 12 tonnia hopeaa. Kaivos työllistää yhteensä 464 henkilöä.

Ovacikin kaivoksen malmijuonet ovat venykeitä ja osittain linssimäisiä ja niitä ympäröivät useat hydrotermiset muuttumisvyöhykkeet. Kaivauksilla niiden on todettu kapenevan 250 metrin syvyydessä. Juonien reunat ovat hyvin terävät ja niitä luonnehtii äkillinen kultapitoisuuden lasku. Joissain kohdin juonet ovat breksioituneet yhdessä kvartsin ja kvartsiutuneen andesiitin kanssa. Näissä kohdin kultapitoisuus on suhteessa kvartsin määrään. Vallitseva rakenne kultapitoisissa kvartsijuonissa on kolloforminen raidallisuus, levymäiset karbonaattikorvausrakenteet, breksioituminen useassa vaiheessa ja ontelomaisia kuorirakenteita. Korkeammat kultapitoisuudet liittyvät kolloformis-kuorirakenteisiin raidallisiin kvartsi-adularia juoniin, joissa on Au>5 g/t ja saattaa olla jopa yli 100 g/t Au (kuva 7). Kvartsi-breksiassa on pienempi pitoisuus, noin 1 g/t Au. Malmissa on kyllä lisäksi rikkikiisua ja harvinaista arseenikiisua, lyijyhohdetta ja sinkkivälkettä. Kulta vaihtelee koostumukseltaan muodostaen luonnon Au-Ag-seosmetallin.

Hydroterminen muuttuminen on kohtalaista tai voimakasta lähellä juonia ja vähenee niistä ulospäin terävästi muutaman metrin etäisyydellä. Muuttumista luonnehtii läpikotainen kvartsiutuminen, joka on muodoltaan asymmetrinen kuin avattu kirjekuori. Muuttuminen on voimakkaampaa kvartsijuonen jalkapuolella. Kvartsiutuneita

GEOLOGI 58 (2006)



Kuva 5. Ovacikin kullan ja hopean rikastuslaitos jauhatusmyllyineen ja syanidiliuotustankkeineen. Kuva: Kari Kojonen.
Figure 5. The milling and cyanide leaching tank gold processing plant in Ovacik. Photo by the author.



Kuva 6. Ovacikin kaivoksen jäteallas, josta vesi pumpataan takaisin rikastusprosessiin. Kuva: Kari Kojonen.
Figure 6. Tailings pond of the Ovacik cyanide leaching process. The water is pumped back in to process. Photo by the author.



Kuva 7. Kolloformis-kuorirakenteista kultamalmaa Ovacikin kaivoksesta. Kynän pituus 13.5 cm. Kuva: Kari Kojonen.
Figure 7. Colloform-crustiform gold ore from the Ovacik mine. The length of the pen is 13.5 cm. Photo by the author.



Kuva 8. Efemçukurun kultamalmaa kairausnäytteissä, joissa näkyy rodoniitti-rodokrosiitti-kvartsijuoni ja siinä sulkeumina esiintyvää fylliittiä. Kuva: Kari Kojonen.
Figure 8. Gold ore from drill core at Efemçukuru showing a rhodonite-rhodochrosite-quartz vein with inclusions of wall rock phyllite. Photo by the author.

juonia ympäröi argilliittinen muuttuminen, ja propyliittinen muuttumisvyöhyke on uloimpana. Argillittisessä vyöhykkeessä on smektiittiä, illiittiä ja kaoliniittiä. Adularia on tyypillinen alhaisen sulfidipitoisuuden omaaville kultamalmeille ja se syrjäyttää massiivisesti metasomaattisessa andesiitissa plagioklaasia lähinnä kvartsijuonen jalkapuolella. Adularia on puolestaan paikoitellen

muuttunut savimineraaleiksi, kaoliniitiksi. Ovacikin kultamineralisaation arvellaan muodostuneen 200 °C lämpötilassa illiittiin ja serisiitin sekä adularian esiintymisen takia. Fluidisulkeumista saadut homogenisaatiolämpötilat ovat välillä 150–250 °C keskiarvon ollessa 190 °C. Lämpötilan ja syvyyden suhteen ei ole mitään korrelaatiota. Ovacikin kultapitoiset kvartsijuonet esiintyvät

siirrosvyöhykkeissä, mutta siirrokset leikkaavat niitä eivätkä ole kultapitoisia.

Kolmantena ekskursiokohteena oli viiniviljelmien keskellä kauniissa mäntymetsässä sijaitseva Efemçukurun juonessa oleva kultamalminaihe (Oyman *et al.* 2003), joka sijaitsee n. 50 km Izmiristä lounaaseen Izmir-Ankara-sutuurivyöhykkeen länsipäässä. Alueen kallioperä koostuu heikosti deformatuneista ja metamorfotuneista flysch-tyyppisistä metasedimenteistä ja mafisista vulkaniiteista. Niissä on nuorempia ryoliittisia juonia, joiden paksuus on 1–2 m. Kestane-Beleni-juoni, joka sisältää Efemçukurun kultaesiintymän, leikkaa fylliittejä ja hornfelsejä. Rakenteellisesti alue sijaitsee lähellä pohjois-etelä suuntaista Seferhisarhorstia, joka muodostui tektonisen törmäyksen tuloksena Länsi-Turkissa myöhäistertiäärillä. Juonessa ovat päämineraaleina kvartsi, rodoniitti ja rodokrosiitti (kuva 8).

Juonen kulku on N–NW, kaade 60 °, paksuus 1.5–15 m, pituus 1200 m ja syvyys 250 m. Malminarat parhaassa juoniesiintymässä ovat 1.8 milj. t pitoisuudella 13.14 g/t Au. Kulta on hienorakeista kooltaan 2.5–50 µm ja se esiintyy pirooteena sulfideissa ja niiden pinnalla sekä paikoitellen rakeina silikaatti-karbonaattiharmeissa ja rikkikiisun, sinkkivälkkeen, lyijyhohteen sekä kuparikiisun yhteydessä. Juoni on alhaisen sulfidaation tyyppiä ja siihen liittyy myöhäistä hydrotermistä breksioitumista.

Efemçukurun arvioidaan sisältävän 2.4 milj. t kultamalmin keskipitoisuudella 14.4 g/t Au. Malmin louhinta on suunniteltu ympäristösyistä kokonaan maanalaisena kaivoksena, jolloin maastoon tulee mahdollisimman vähän jälkiä kaivostoiminnasta.

Esitelmät

Osanottajat saivat tilaisuuden esittää tutkimustuloksiaan projektin aihepiiriin liittyvistä tutkimusaiheista (Cook *et al.* 2006) kahden viimeisen päivän aikana Dokuz Eylul yliopiston virkistyskeskuksessa, jossa on erinomaiset audiovisuaaliset laitteet. Kokouksen abstraktivolymyissä on 29 pidennettyä abstraktia, jotka käsittelevät Au-Ag-seleniditelluridi-esiintymiä Venäjältä, Kreikasta, Bulgariasta, Romaniasta, Kirgiisiasta, Uzbekistanista, Sardinian, Slovakiasta, Suomesta, Turkista, Ser-

biasta, Macedoniasta ja Kanadasta. Osanottajia tässä workshopissa oli n. 50 henkilöä, vaikka osa venäläisistä ja turkkilaisista esitelmäsihtijöistä jäi saapumatta.

Vaikutelmia ja jatkotoimenpiteitä

Turkki on vuoristoista aluetta, joten sitä johtuen turkkilaisia kultaesiintymiä voisi kutsua hyvällä syyllä orogeenisiksi. Mesotermisiä ne eivät kuitenkaan ole, vaan tunnusmerkeiltään ja mineralogialtaan tyyppillisesti epitermisiä. Siispä ne ovat orogeenis-epitermisiä. Kultakaivokset ovat teknikaltaan täysin moderneja ja niiden rakentamisessa on käytetty ilmeisesti apuna ulkomaisia kaivosalan yrityksiä. Turkista on löytynyt yli 20 uutta kultaesiintymää, joten sen on nouseva kullantuottaja, voitaisiin puhua jopa kultakuumeesta. Myös Balkanin alueella, Romaniassa ja Bulgariassa on suuri kultamalminpotentiaali, joka odottaa ulkomaisia sijoittajia kaivostoiminnan aloittamiseksi.

Suomessa on tunnetusti useita Au-Ag-seleniditelluridikultaesiintymiä (Eilu 1999), joissa on ollut jopa kaivostoimintaa, ja lisää on luvassa. Niinpä IGCP468-projektin koordinaattorien taholta on suunniteltu seuraavan ja viimeisen Field Workshopin järjestämistä Suomessa loppukesällä 2007 ja yhteenvetosymposiota IGC-kongressiin Osloon kesällä 2008.

Summary

The third Field Workshop of International Geoscience Project 486 "Au-Ag telluride-selenide deposits" was held at the Dokuz Eylul University, Geochemistry and Ore Deposits Division, Izmir, Turkey, 24–29 September 2006. The Field Workshop included three days of excursions to the gold deposits of Kişladağ, Ovacik and Efemçukuru in western Turkey, and a two day scientific symposium at the Dokuz Eylul University training center. The Kişladağ deposit is an epithermal latite porphyry-hosted gold deposit, which has 214.8 Mt ore reserves at an average grade of 1.04 g/t Au. The ore is processed by cyanide heap leaching with a gold recovery of 60 %. Gold occurs as free grains and as inclusions in quartz and pyrite. Open pit mining takes place at a rate of 10 Mt/year and the planned lifetime for the mine is 14 years. The mine

employs 350 people from the surrounding villages. The Ovacik epithermal gold ore is hosted in four quartz veins in andesitic volcanogenic rocks. The width of the quartz veins is up to 20 m. Proven ore reserves are 4.15 Mt at an average of 7.6 g/t Au; indicated reserves are 1.24 Mt at a grade of 13.1 g/t Au. The ore is mined both from open pit and underground. The ore is processed after milling to 80 % <60 µm with cyanide tank leaching and collected with coconut active charcoal. The tailings are led to a specially built tailings pond with 70 cm clay layer and above that a HDPE geomembrane. The water from the pond is pumped back to process. The cyanide content of the water is 0.02 mg/l. The mine has 464 employees. The Efemçukuru vein deposit is hosted by rhodonite-rhodochrosite-quartz veins, with phyllite and hornfels as wall rocks. Ore reserves in the vein are 1.8 Mt at an average grade of 13.4 g/t Au. The thickness of the vein varies from 1.5 to 20 m, the length is 1,200 m, the depth 250 m and dip 60° to N–NW. Gold is fine-grained, with size limits 2.5–50 µm, occurring as disseminations within sulphides and on their crystal faces, and in some places in the gangue of silicates and carbonates. The vein is of low sulfide epithermal type and includes late stage hydrothermal breccia. Future mining is planned totally as an underground operation for environmental reasons. The 2-day symposium at Dokuz Eylul University included 29 papers dealing with Au-Ag telluride-selenide deposits from Bulgaria, Canada, Finland, Greece, Romania, Kyrgyzstan, Macedonia, Sardinia, Slovakia, Russia, Serbia, Turkey, and Uzbekistan. The total number of participants in the Field Workshop was 59. The excursion targets represent all epithermal orogenic gold deposits with the typical mineral paragenesis quartz-adularia-sericite-pyrophyllite and fluid inclusion temperatures about 200 °C. The Field Workshop showed clearly that Turkey has a great gold potential, alongside Bulgaria,

Rumania, Russia and Finland. The fourth Field Workshop of IGCP486 is planned to be held in Finland in August 2007 and the final summary symposium of the project will take place at the International Geology Congress in Oslo, Norway in 2008. See the project website: <http://www.nhm.uio.no/geomus/homepages/cook/IGCP.html>.

Kirjallisuus – References

- Cook, N.J. ja Bonev, I.K. (toim.) 2005. Au-Ag-Te-Se deposits. Proceedings of the 2005 Field Workshop, Kiten, Bulgaria, 14–19 September 2005, Geochemistry, Mineralogy and Petrology 43, Sofia, Bulgarian Academy of Science, Bulgarian Mineralogical Society, 160 s.
- Cook, N.J. ja Ciobanu, C.L. (toim.) 2004. Gold-silver-telluride deposits of the Golden Quadrilateral, South Apuseni Mts. Romania. Guidebook for the International Field Workshop of IGCP project 486, Alba Julia, Romania, 31st August–7th September 2004, IAGOD Guidebook Series 12, 266 s.
- Cook, N. J., Özgenc. I. ja Oyman T.(toim.) 2006. Au-Ag-Te-Se deposits. Proceedings of the 2006 Field workshop, Izmir, Turkey, 24–29 September 2006, Geochemistry & Ore Deposit Division, Dokuz Eylul University, 174 s.
- Eilu, P. 1999. Fingold – a public database on gold deposits in Finland. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 146, 224 s.
- Kojonen, K., Carlson, L., Hölttä, P. ja Lahti, S. (toim.) 2000. Modern Approaches to Ore and environmental mineralogy. MSG Mini-Symposium, Espoo, Finland, June 11–17, 2000, Geologian tutkimuskeskus, opas 48, 101 s.
- Oyman, T., Minereci, F. ja Piskin, Ö. 2003. Efemçukuru B-rich epithermal deposit. Ore Geology Reviews 23:35–53.
- Yılmaz, Y. 2002. Ovacik gold deposit – an example of quartz-adularia-type gold mineralization in Turkey. Economic Geology 97:1829–1839.